

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

На правах рукописи



ХУДЯКОВА Ирина Николаевна

**ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СХЕМНЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ
РЕШЕНИЙ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ
ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА НЕОСУШЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Сергей Леонидович Иванов

Санкт-Петербург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1 ПОТЕНЦИАЛ ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ	12
1.1 Роль торфяного сырья в народном хозяйстве. Запасы и структура залежей торфа в России и в мире	12
1.2 Существующие комплексы машин и оборудования для добычи и переработки торфяного сырья	18
1.3 Технические решения по добыче торфяного сырья на неосушенных месторождениях	22
1.4 Структурные схемы систем горного оборудования. Их характеристики, свойства и возможность их применения для оценки эффективности схемных решений	33
1.5 Анализ процессов механического обезвоживания торфяного сырья	36
1.6 Выводы по главе и задачи исследования	41
ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНИМАЕМЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ	44
2.1 Рациональное использование месторождений торфяного сырья в рамках климатосберегающих технологий	45
2.2 Структуры комплексов для добычи и переработки торфяного сырья на неосушенных месторождениях и обоснование наиболее эффективной структуры	46
2.3 Аналитическое представление структуры АТДК ГО и ее формализация	61
2.4 Подходы к оценке вероятности безотказной работы АТДК ГО	66
2.5 Алгоритм выбора параметров функциональных элементов АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья для заданных условий функционирования	67
2.6 Выводы по главе 2	73
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АТДК ГО	74
3.1 Оценка основных параметров функциональных элементов	74
3.2 Экспериментальная оценка предварительного отжатия торфяного сырья и методика проведения эксперимента	92
3.3 Выводы по главе 3	99
ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА НЕОСУШЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ	100

4.1 Математическая модель формирования структуры АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья	100
4.2 Программа оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и параметров функциональных элементов в комплексе «добыча-переработка»	110
4.3 Реализация технических решений для функционирования комплекса оборудования.....	112
4.3.1 Плавучая платформа комплекса.....	112
4.3.2 Трансформируемое сооружение – укрытие	115
4.4 Предложения по предварительному обезвоживанию торфяного сырья в выемочном рабочем органе экскаватора (манипулятора)	119
4.5 Выводы по главе 4	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	122
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	125
ПРИЛОЖЕНИЕ А Программа для ЭВМ «Оценка необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе «добыча-переработка».....	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о государственной регистрации патента на изобретение «Плавучая платформа».....	165
ПРИЛОЖЕНИЕ В Свидетельство о государственной регистрации патента на изобретение «Трансформируемое сооружение»	167
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Справка о внедрении результатов диссертационной работы	169

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Реализация «Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» (Стратегия) предполагает ввод новых генерирующих мощностей, функционирующих на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии, к которым относится торф. Существующие комплексы оборудования торфодобывающих компаний представляют собой достаточно сложные технические системы, требующие структурной модернизации и применения комбинированных агрегатированных комплексов горного оборудования для повышения эффективности его рационального использования. При этом процесс производства торфяной продукции, как правило, предполагает подготовку и осушение торфяных месторождений для обеспечения условий применения горной техники, что влечет за собой понижение уровня грунтовых вод и, как следствие, нарушение биосферного равновесия ареала, повышение экологических и пожарных рисков, значительных затрат, связанных с рекультивацией выработанных месторождений в будущем. Результаты оценки потенциала торфодобывающих предприятий на соответствие принципам НДТ – наилучших доступных технологий, внедряемых в соответствии с Федеральным законом № 219-ФЗ (ред. от 03.07.2016) и Стратегией, утвержденной 09.06.2020, в рамках проектов климатически нейтральной хозяйственной деятельности, показывают, что целесообразно отойти от способов добычи связанных с осушением разрабатываемых площадей.

Для осуществления добычи и переработки торфяного сырья без предварительного осушения территорий необходимо создание агрегатированных торфодобывающих комплексов (АТДК) на единой базовой платформе и агрегируемых с ней модулей и функциональных элементов, при комплексной механизации основных и вспомогательных процессов на борту АТДК.

Степень разработанности темы исследования

Вопросами механизации добычи и переработки торфяного сырья, занимались ученые: Антонов В.Я., Афанасьев А.Е., Богатов Б.А.,

Гамаюнов С.Н, Горячев В.И., Гревцев Н.В., Жигульская А.И., Зюзин Б.Ф., Косов В.И., Кремчеев Э.А., Малков Л.М., Мисников О.С., Михайлов А.В., Опейко Ф.А., Селеннов В.Г., Солопов С.Г., Терентьев А.А., Штин С.М., Ялта-нец И.М., Clarke D., Leinonen A., Malterer T. и др.

Их исследования посвящены вопросам механизации трудоемких процессов добычи и переработки торфяного сырья. Однако, переходя от поверхностно-послойной добычи торфяного сырья к карьерной и стремясь к уменьшению отрицательного воздействия на окружающую среду, необходимо научно обосновывать и выбирать приемлемые схемные и конструктивные решения агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования (АТДК ГО) для работы на неосушенных месторождениях на принципах климатически нейтральной хозяйственной деятельности, что требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью работы является установление закономерностей изменения основных параметров функциональных элементов агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования для работы на неосушенных месторождениях в рамках формирования возможных схемных решений при структурно-параметрическом синтезе комплекса по блочно-иерархическому принципу и определение энергомассовых характеристик составляющих его функциональных элементов от заданной производительности, для научно обоснованного технического решения в виде единого комплекса горного оборудования для добычи торфяного сырья в указанных условиях функционирования и отдельных конструктивных решений функциональных элементов АТДК ГО, включая базовый, что имеет существенное значение для горной отрасли страны.

Идея работы заключается в предварительной оценке по критерию удельных энергозатрат сформированной блочно-иерархической структуры АТДК ГО и основных энергомассовых характеристик его функциональных элементов для условий функционирования на неосушенном месторождении, при этом технические параметры функциональных элементов АТДК ГО

взаимоувязаны между собой, формируются по специальному алгоритму, реализованному в математической модели, позволяющему осуществлять решение задачи оценки величин установленной мощности, массы и производительности функциональных элементов комплекса при максимально возможной их загрузке с учетом пооперационных потерь и снижения массы перерабатываемого торфяного сырья каждым последующим функциональным элементом, по мере глубины переработки сырья.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

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

2. Провести анализ методик формирования агрегатированных структур систем и комплексов горного оборудования на основе принципов структурного и параметрического подходов с последующей разработкой алгоритма по оценке предлагаемых схемных решений АТДК ГО для работы на неосушенном месторождении.

3. Провести теоретические и экспериментальные исследования и выявить закономерности изменения основных энергомассовых характеристик функциональных элементов и составляющих их модулей АТДК ГО для работы на неосушенных месторождениях в функции его производительности по каждому типу функциональных элементов, в рамках соответствующих схемных решений комплекса, а также оценочные лабораторные исследования по целесообразности предварительного обезвоживания торфяного сырья через перфорированную стенку.

4. Разработать математическую модель изменения основных энергомассовых параметров агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования для работы на неосушенных месторождениях в рамках возможных схемных решений при структурно-параметрическом синтезе комплекса.

5. Ранжировать по критерию удельных энергозатрат выявленные схемные решения агрегатированных торфодобывающих комплексов горного оборудования (АДТК ГО) предназначенных для работы на неосушенных месторождениях.

6. Предложить технические решения по отдельным функциональным элементам и комплексу в целом применительно к условиям неосушенных торфяных месторождений и разработать рекомендации по формированию и оценке эффективности структур систем на основе регрессионных моделей процесса функционирования элементов и модулей комплекса для выбора основных конструктивно-технологических параметров на ранних стадиях процесса их проектирования.

7. Разработать прикладную компьютерную программу, реализующую результаты научных исследований.

Научная новизна работы:

Предложен алгоритм формирования основных энергомассовых характеристик агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования блочно-иерархической структуры и его функциональных элементов для условий функционирования на неосушенном месторождении в рамках возможных схемных решений комплекса и разработана математическая модель АДТК ГО, позволяющая оценить основные параметры функциональных элементов и модулей – установленной мощности, массы и производительности, на принципах структурно-параметрического синтеза для научно обоснованного выбора ряда конструктивно-технологических параметров комплекса на ранних стадиях процесса их проектирования.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Представлена структурная формула агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования как объекта, включающего функциональные элементы составляющие АДТК ГО с учетом подсистем, образующих его функциональных элементов, различной физической природы (привод, трансмиссии, силовое оборудование, управление). Показана возможность

оценки надежности АТДК ГО на основе структурной формулы. Дан алгоритм оценки и выбора рациональных конструктивных и схемных решений АТДК ГО для работы на неосушенных торфяных месторождениях, включающий выявленные функциональные зависимости установленной мощности и массы функциональных элементов системы от заданной производительности.

Предложены технические решения отдельных функциональных элементов АТДК ГО, защищенные патентами на изобретения Российской Федерации, создана прикладная компьютерная программа для ЭВМ по оценке основных параметров функциональных элементов АТДК ГО.

Результаты исследований использованы ООО «НПКФ Эпицентр», г. Санкт-Петербург на стадии формирования исходных данных для разработки технического задания на проектирование комплекса оборудования по добыче и переработке торфяного сырья для участка недр местного значения.

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач используется комплексный подход, включающий научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований, обработку и анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований в области горных машин и оборудования торфяного производства и функционирования этих машин, а также компьютерное моделирование.

Методологической основой работы является системный подход к изучаемым средствам добычи, включающий теоретический анализ и обобщение результатов фундаментальных и прикладных работ отечественных и зарубежных авторов, методы теории проектирования горнодобывающих комплексов, многокритериального анализа, имитационного моделирования.

Соответствие паспорту специальности

Тема исследования соответствует п.4 «Обоснование и выбор конструктивных и схемных решений машин и оборудования во взаимосвязи с горно-техническими условиями, эргономическими и экологическими требованиями» области исследований паспорта специальности 05.05.06 – Горные машины.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Разработанный алгоритм оценки изменения величин основных параметров функциональных элементов агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования для работы на неосушенных месторождениях с учетом структурной формулы АТДК ГО, описывающей характер связей этих элементов в структурной схеме комплекса как системы, и реализованный в математической модели функционирования комплекса, позволяет производить оценку энергомассовых характеристик АТДК ГО в целом и его функциональных элементов в отдельности с учетом заданной производительности комплекса по добыче и карьерной переработке торфяного сырья.

2. Выявленные энергомассовые зависимости в функции производительности функциональных элементов комплекса оборудования для добычи и карьерной переработки торфяного сырья, достоверно описаны уравнениями регрессии в виде экспоненциальных, степенных и линейных зависимостей, входящих в состав модели функционирования АТДК ГО для работы на неосушенных месторождениях, при этом модель формирует основные параметры отдельных функциональных элементов комплекса, агрегатированных на плавучей платформе, как базовом элементе, и на борту карьера и взаимоувязывает их между собой, обеспечивая максимально возможную загрузку горного оборудования комплекса, с учетом пооперационных потерь и изменения массы торфяного сырья, по мере глубины и объемов его переработки.

Степень достоверности результатов исследования:

Теория построена на известных, проверяемых данных, фактах, в т.ч. для предельных случаев, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертационной работы. Использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике. Экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании.

Апробация результатов. Основные положения работы, результаты теоретических и экспериментальных исследований докладывались и получили положительную оценку на международных конференциях: 12-ая, 13-ая, 14-ая

Международные конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2016, 2017, 2018 гг.); 57-ая Международная научная конференция студентов и молодых ученых в Краковской горно-металлургической академии (г. Краков, Польша, 2016 г.); Международная научно-практическая конференция «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME» (г. Санкт-Петербург, 2018, 2019, 2020 гг.); Международная научная конференция студентов и молодых ученых во Фрайбергской горной академии *Freiberger-St.Petersburger Kolloquiumjunger Wissenschaftler*, (г. Фрайберг, Германия, 2018 г.); Международная научно-техническая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (г. Екатеринбург, 2019 г.); 62-ая Международная научная конференция в Горно-геологического университета. им. И. Рыльского, (г. София, Болгария, 2019 г.); 78-ая международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники образования» (г. Магнитогорск, 2020 г.).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования, в анализе параметров горных машин и оборудования, влияющих на применение их как функциональных элементов в составе агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования; в составлении структурной формулы АТДК ГО, отражающей типы взаимодействия функциональных и базового элементов, в обосновании выбора схемного решения для комплекса оборудования, в разработке алгоритма и математической модели комплексной добычи торфяного сырья на неосушенных месторождениях и его первичной переработки на борту самоходной плавучей платформы; в разработке прикладной компьютерной программы оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров функциональных элементов комплекса горного оборудования в системе «добыча-

переработка»; в получении исходных данных и научных экспериментах; в обработке и интерпретации экспериментальных данных; в разработке рекомендаций по проектированию и созданию комплекса оборудования для добычи и переработки торфяного сырья; в подготовке публикаций, отражающих основные положения и результаты диссертационного исследования.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 14-ти печатных работах, в том числе в 3 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (далее – Перечень ВАК), в 3 статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus; получены 2 патента на изобретения.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы и 4-х приложений. Диссертация изложена на 169 страницах машинописного текста, в том числе содержит 16 таблиц, 47 рисунков. Список цитируемой литературы включает 105 источников.

ГЛАВА 1 ПОТЕНЦИАЛ ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ

1.1 Роль торфяного сырья в народном хозяйстве. Запасы и структура залежей торфа в России и в мире

Торф – органическая горная порода, образующая в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенного увлажнения при недостатке кислорода и содержания не более 50 % минеральных компонентов на сухое вещество [28].

Торфяное месторождение представляет собой геологическое образование, которое состоит из напластований торфа и характеризуется в своих естественных границах избыточным увлажнением, специфическим растительным покровом и которое по размерам и запасам торфа может являться объектом промышленного или сельскохозяйственного использования [28].

Торфяные залежи – это естественные напластования одного или нескольких видов торфа от поверхности месторождения до минерального дна (или сапропеля), подразделяются на четыре типа: низинный, переходный, смешанный и верховой [28]. Тип залегания оказывает большое влияние на свойства торфа и его характеристики.

Рассматривая торфяную залежь как объект, подвергаемый при добыче процессу копания для получения торфяного сырья, в качестве основных общетехнических свойств торфяной залежи следует в первую очередь учитывать глубину залегания, степень разложения, влагу, плотность, прочность.

В зависимости от типа залежи ее глубина может изменяться в диапазонах: для низинного типа залежи 1,2-3,3 м; переходный – 1,7-2,8 м; смешанный – 2,4-3,1 м; верховой тип – 1,6-5,1 м.

Что касается степени разложения торфяной залежи, то самой низкой степенью обладают залежи верхового типа (19-47 %), средние значения присущи смешанному и переходному типу (28-44 %), самой высокой степенью разложения у низинного типа залежи (27-50 %).

Влага торфяной залежи в естественном состоянии также меняется от ее типа и конкретного торфяного месторождения, и составляет в среднем 88-94 %.

Влага и степень разложения непосредственно влияют на плотность торфа в залежи (800-1100 кг/м³) [60, 69].

С точки зрения выемки и выбора рабочего органа для процесса копания немаловажно учитывать такую характеристику торфяной залежи, как пнистость – это отношение объема пней и остатков стволов деревьев в залежи к ее объему, выраженное в процентах. Она характеризуется послойно и средней величиной (на всю глубину залежи). Диапазон пнистости залежи варьируется от 1,3-3,0 (для верхового типа залежи), 1,4-2,5 для смешанного и переходного типа, 1,0-1,5 для низинного типа [60, 69, 104].

Общая площадь торфяников в мире оценивают в $5 \cdot 10^8$ га. Для северных районов характерна большая заторфованность. Наиболее интенсивное торфо-накопление характерно для Северной Европы, Западной Сибири (Россия) и Северной Америки (США, Канада), а также для некоторых тропических стран: Индонезия, Малайзия, Бразилия, Заир, Руанда и др. [81, 101, 102].

По объемам добычи торфяного сырья на первом месте находится Финляндия, на ее долю приходится 37 % мировых объемов добычи (рисунок 1.1) [77, 102].

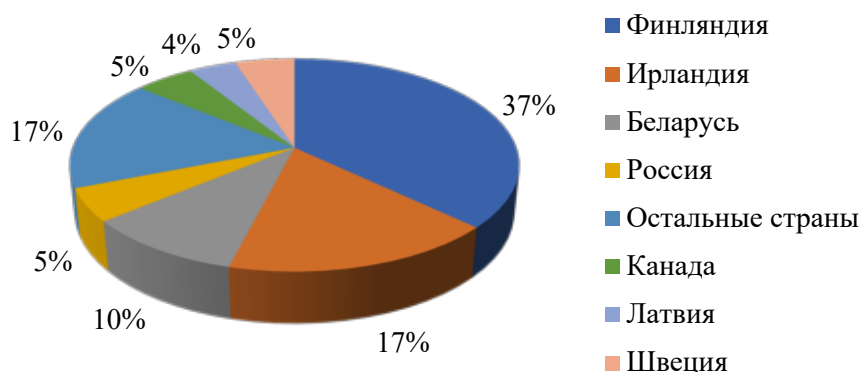


Рисунок 1.1 – Мировые объемы добычи торфа, %

Россия обладает богатейшими торфяными ресурсами, и по запасам торфа занимает первое место в мире. По оценкам специалистов в России сосредоточено около 47 % мировых запасов [77] торфа (около 235 млрд. т),

месторождения которого занимают значительные площади на Севере, Северо-Западе, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке.

Торф, в отличие от других полезных ископаемых, относится к возобновляемым природным ресурсам. Прирост его ежегодных запасов на не затронутых разработкой месторождениях, превышает $6 \cdot 10^7$ т торфяного сырья условной влаги 40 % [37, 52, 77, 100].

В настоящее время торф находит широкое применение в народном хозяйстве (рисунок 1.2) [19, 38].



Рисунок 1.2 – Основные направления использования торфа [17]

I В химическом производстве торф является ценным сырьем для получения большого ряда химических продуктов: спирта, битумов, гуминовых кислот, кормовых дрожжей и др. Для получения качественных продуктов гидролиза (кормовые дрожжи, спирт, фурфурол и др.) лучшим сырьем являются верховой торф степенью разложения не более 10-15 %.

Гуминовые кислоты получают главным образом из низинных торфов высокой степени разложения. Они находят широкое применение в промышленности (при изготовлении защитных коллоидов металлов, для увеличения емкости аккумуляторов, в керамической и силикатной промышленности и т. д.). В сельском хозяйстве гуминовые кислоты могут служить как стимуляторы

роста растений. Битумы получают только из торфов верхового типа высокой степени разложения [36].

II В аграрном секторе торфяное сырье и места его добычи используются в нескольких направлениях. Торф может быть использован в качестве удобрения. Для этой цели лучшим является низинный торф с более высоким содержанием калия, фосфора, магния, кальция и азота. В ландшафтном дизайне торф используют для улучшения и обогащения естественных качеств почвы [22, 36].

III Экологическое направление. Благодаря абсорбирующим свойствам, использование торфа часто происходит для ликвидации различных разливов нефтепродуктов, масел и других опасных для природы химикатов.

Торф задерживает вредоносные вещества и оздоравливает почву, поглощает радионуклиды, сводит к минимуму присутствие нитратов и тяжелых металлов в выращиваемых растениях [17], помогает формировать почвенную структуру значительно более высокого качества, улучшает доступ воздуха в почву, способствует лучшему проникновению влаги, повышает устойчивость к воздействию вредных веществ [36].

IV Торф в ТЭК. Неоправданно низка доля использования местных видов топлива (торф, отходы лесной промышленности и сельского хозяйства, твердых бытовых отходов) в региональных энергетических балансах [20, 50, 78, 100].

В связи с этим Закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» утверждает основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики, содержащие целевые показатели объема производства и потребления электрической энергии с использованием торфа в совокупном балансе производства и потребления электрической энергии. В России до 2030 года особое внимание стоит уделить топливному сектору. Перспективной областью применения торфяного сырья в качестве топлива в России являются изолированные и удаленные энергорайоны, а также резервированные системы электроснабжения особо ответственных потребителей

(повышенной категории надежности) [22, 65, 92]. В принятой 09.06.2020 «Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года» торфяная отрасль включена в топливно-энергетический комплекс РФ. В связи с торфо-разработками в Стратегии предусматриваются мероприятия в сфере охраны окружающей среды и противодействию изменениям климата стимулированием применения наилучших доступных технологий (НДТ), проектирования, строительства оборудования и генерирующих объектов на основе использования топливного торфа для удаленных и изолированных территорий, стимулирование научных исследований и поддержку разработки перспективных технологических и технических решений направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и минимизацию экологических рисков [65].

Увеличению доли применения торфяного сырья в малой [93] теплоэнергетике России способствует ряд факторов:

1. Сравнение цен на торфяное топливо с ценами на другие виды энергетического сырья, в пересчете на условное топливо дает следующие результаты: торф – 100 %; Кузнецкий уголь – более 190 %; Воркутинский уголь – 130-185 %; Читинский – 182-211 %; мазут топочный – 180-252 %. Принципиально это соотношение сохраняется для всех Европейских районов страны [52].

2. Существенно повышает конкурентоспособность торфяного топлива его экологическая безопасность, простота утилизации торфяной золы, снижение вредных выбросов в атмосферу, в первую очередь для диоксидов, SO_2 , NO_2 [52].

Коксование торфа. В результате сухой перегонки получают твердый остаток – торфяной кокс и сопутствующие продукты – подсмольная вода и смолы, которые служат ценным сырьем для последующей химической переработки для получения воска, парафинов, фенолов, уксусной кислоты и др. [36].

Газификация торфа осуществляется в газогенераторах, где получают различные виды энергетической продукции и позволяют наиболее

рационально использовать заложенную в нем энергию для производства тепла и электричества [36].

Основные виды топливной продукции:

– Торф топливный фрезерный представляет собой сепарированную (очищенную от посторонних предметов) массу торфяной крошки, получаемую при фрезерном способе добычи торфа. Такое торфяное сырье является рентабельным при плече поставки не более 100 км. Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива не более 50 % (согласно ГОСТ 13672-76). Теплота сгорания составляет не менее 7,9 МДж/кг (согласно ГОСТ 147-2013) [30].

– Кусковой торф – местное горючее вещество стабильного качества, диаметром 40-70 мм и длиной 50-200 мм с массовой долей влаги в рабочем состоянии не более 45 % (согласно ГОСТ Р 51062-2011). Теплота сгорания не менее 12,9 МДж/кг (согласно ГОСТ 147-2013) [28, 29, 49].

– Торфяные брикеты и полубрикеты. Массовая доля влаги в рабочем состоянии от 16 до 40 % в зависимости от сорта (согласно ГОСТ Р 54248-2010). Форма торфяных брикетов определяется конструкцией матричного канала брикетирующего пресса и должна иметь следующие размеры в мм: для брикетов в виде прямоугольной четырехгранной призмы с закругленными углами: длина – 80-220 мм, ширина – 40-95 мм, высота – 15-70 мм [30].

V Торф в строительстве имеет применение в гидротехническом и дорожном строительстве (приканальные дамбы, дорожные насыпи). Кроме того, широкое применение в строительстве зданий специального назначения имеют торфоизоляционные плиты и торфяные панели, производство которых предъявляет особенно строгие требования к сырью [36].

VI Торф в медицине находит широкое применение вместо грязей при курортном лечении целого ряда заболеваний. Для этого используются торфы высокой степени разложения (50-70 %). Такие торфы богаты органическими коллоидами – гуматами торфа, которые составляют преобладающую массу и придают ему важные лечебные свойства: пластичность, большую теплоемкость, низкую теплопроводность, бактерицидность, гигроскопичность и др. [36].

1.2 Существующие комплексы машин и оборудования для добычи и переработки торфяного сырья

Отличительной особенностью торфяной отрасли от остального горнодобывающего комплекса является метеозависимость существующих способов добычи, а также сама торфяная база – болота. При этом следует корректировать имеющиеся подходы в добыче торфа, искать пути совершенствования технологических процессов и машин для его добычи и переработки [47, 70].

Добыча торфа осложняется тем, что в естественном виде торф содержит до 88-94 % влаги, что исключает возможность разработки месторождения без предварительной подготовки [2, 78].

При влажности торфяного сырья свыше 52 % его нельзя использовать в качестве топлива. Для использования торфа в качестве топлива массовая доля влаги должна быть 45-50 % и ниже в зависимости от вида топливной продукции, а для торфяных удобрений и грунтов – массовая доля влаги должна составлять не более 60 % (согласно ГОСТ Р 51661.5-2000) [29].

Как известно из фундаментальных работ выдающихся ученых и специалистов-практиков: Антонов В.Я., Веллер М.А., Власов В.П., Варенцов В.С., Горячкин В.Г., Косов В.И., Солопов С.Г., Самсонов Н.Н., Малков Л.М., Фомин В.К., в горном деле при разработке торфяных месторождений выделяют два основных способа добычи торфа – поверхностно-послойный и карьерный. Они в свою очередь подразделяются на множество других, исходя из которых стоит выделить:

1. гидравлический;
2. гидроэлеваторный;
3. экскаваторный;
4. фрезерный.

Фрезерный способ добычи торфа предполагает использование большого парка машин (рисунок 1.3) для разработки месторождения. Этот способ предполагает открытую добычу торфа на заранее осушенных и подготовленных полях. На них сушат торфяную крошку, полученную методом послойно-

поверхностного фрезерования 1. Для ускорения сушки фрезерная крошка ежедневно подвергается одному или двум ворошениям специальными ворошилками 2. Высушенная крошка собирается валкователем 3 в валки, из которых затем уборочной машиной 4 убирается для хранения в штабеля при помощи штабелирующей машины 5 [4, 14, 77, 99].



Рисунок 1.3 – Машины для фрезерного способа добычи торфа

Добыча кускового торфа

Технология и механизация производства кускового торфа коренным образом отличается от производства фрезерного торфа – готовая продукция здесь вырабатывается в виде кусков [15, 27, 52].

Технологический процесс производства кускового торфа включает в себя операции по экскавации, переработке и формованию торфа, стилке и сушке кусков, уборке и штабелированию готовой продукции. В процессе сушки выполняются ворошка и валкование кусков. При ворошке куски

отрывают от подстилающей поверхности торфяной залежи и переворачивают, что способствует выравниванию влаги в разных местах объема кусков и сокращению продолжительности сушки, при этом все эти операции выполняют специализированные машины или агрегатированные с трактором прицепные агрегаты [27, 77]. В настоящее время применяют два способа производства кускового торфа: экскаваторный и фрезформовочный [52, 56].

Экскаваторный способ добычи кускового торфа

Добыча при этом способе производится на всю глубину залежи, но не более чем на 4,0-4,5 м. При экскаваторном способе торф, добываемый из залежи, попадает в диспергирующее устройство, где перерабатывается и при помощи шнека подается в бункер-накопитель. Из бункера он перегружается в стилочную машину, которая формует куски и выстилает их на поля сушки. Разостланный торф в процессе сушки переворачивают и, если необходимо, валкуют. Убирается торф бункерными уборочными машинами [35, 52, 77].

Основное оборудование при добыче кускового торфа экскаваторным способом – торфодобывающий экскаватор, работающий в паре со стилочной машиной (рисунок 1.4).



1)



2)

Рисунок 1.4 – Машины, применяемые при экскаваторном способе добычи кускового торфа: 1) Торфодобывающий экскаватор МТК-14, 2) стилочная машина МТК-13

Для перекладки кусков торфа в фигуры используются универсальные машины МТК-21 и МТК-21Б [49, 51]. Для уборки торфа применяется уборочная машина МТК-32 с челночной схемой работы, которая, двигаясь от штабеля, набирает торф в бункер и потом задним ходом возвращается к штабелю для разгрузки [42, 77].

Фрезормовочный способ добычи кускового торфа

Данный способ существенно отличается от экскаваторного. Основные отличия заключаются в том, что копание торфа заменено глубоким фрезерованием, что обеспечивает хорошее измельчение и перемешивание торфяной массы; уменьшается глубина экскавации, что снижает эксплуатационную влажность торфа и сокращает продолжительность сушки и позволяет получать повышенные сезонные сборы; исключена необходимость транспортирования торфомассы на поля сушки и, соответственно, отсутствуют специальные поля сушки; после окончания разработки торфяного месторождения не остается карьеров [46, 77, 79].

Существует три варианта производства кускового торфа: фрезормовочный способ, послойно-поверхностный, глубоко-щелевой – с фрезерованием дисковыми и винтовыми фрезами на глубину до 1,0 м [1, 35, 48, 77]. Наиболее распространен способ с фрезерованием дисковыми (рисунок 1.5) или винтовыми фрезами.



Рисунок 1.5 – Фрезерование с использованием дисковой фрезы

Гидравлический способ добычи торфа

Гидравлический способ (рисунок 1.6) добычи торфяного сырья использует мощную водяную струю для размыва залежи и превращении ее в гидромассу, которую трубопроводным транспортом подают на поля сушки, где после формируют на кирпичи [35, 43, 77].



Рисунок 1.6 – Гидравлический способ добычи торфа

Операции технологического процесса добычи торфа из залежи гидравлическим способом и транспорт гидромассы механизированы.

Гидроэлеваторный способ добычи торфа

При гидроэлеваторном способе струей высокого давления гидромонитора осуществляют размыв залежи, и разжиженная торфяная масса превращается в гидромассу, которую вычерпывают элеватором [77].

Подводя итоги раздела, следует отметить, что применение существующих комплексов горных машин для добычи торфяного сырья (предполагающих подготовку и осушение торфяных месторождений) влечет за собой природоохранные и пожарные риски и не позволяет вести климатически нейтральную хозяйственную деятельность, в то время как создание и применение новых комплексов горных машин, добывающих непосредственно со специальных плавучих платформ без предварительного водопонижения и занимающих меньшие добычные участки (площади), а также наличие укрытий техники и забоя позволят продлить сезонность ведения работ.

1.3 Технические решения по добыче торфяного сырья на неосушенных месторождениях

Внедрение новых, экологически сбалансированных ресурсосберегающих гидромеханизированных способов разработки неосушенных месторождений торфа на современном этапе развития науки и техники позволяет существенным образом изменить подходы к производству энергетического топлива на основе торфа [33, 43, 78].

Ни один из традиционных способов добычи торфа не подходит для разработки месторождений, осушение и подготовка производственных площадей которых не вписывается в НДТ и климатически нейтральную хозяйственную деятельность, как этого требуется сегодня [92, 98].

Важным принципом рационального использования природных ресурсов является сбалансированное сочетание задач экономического развития торфодобывающих предприятий и охраны окружающей среды, исключая или снижающие на нее антропогенное воздействие [21, 43, 94].

Начать разработку торфяных месторождений, применяя новые ресурсосберегающие подходы можно с малых и труднодоступных регионов страны, где местные виды топлива, в данном случае торф, присутствует в большом количестве и отсутствует централизованное энергоснабжение, а стоимость привозного топлива достаточно высока [78].

В связи с этим, выделяют несколько способов добычи торфяного сырья в условиях разработки малых месторождений торфа с небольшой производственной программой, для реализации таких технологий применяют специальное горное оборудование:

1. Болотоход шагающий БМШ-1 с фрезой-рекультиватором

Болотоход БМШ-1 (рисунок 1.7) – предназначен для работы на переувлажненных торфоминеральных грунтах и неосушенных болотах, с влажностью 88-94 %. Он оснащен высокопроизводительной однороторной фрезой, глубиной фрезерования до 0,35 м, ширина захвата – 1,8 м [43]. Применение раздельно работающих грунтозацепов позволяет повысить проходимость болотохода в особо сложных условиях.



Рисунок 1.7 – Болотоход БМШ-1

2. Добыча торфа экскаваторным способом с устройством временных отвалов сырья и получением из них воздушно-сухого торфа

Предлагаемая технология добычи и производства торфа совмещает в себе преимущества экскаваторного и фрезерного способа получения торфа. Первым этапом является подготовка разрабатываемого участка месторождения: бульдозером сводят древесную растительность и верхний очесной слой. Далее экскаватором извлекают торфяное сырье из месторождения на полную глубину в зимний период, когда торфяное месторождение заморожено. Добытое торфяное сырье транспортируют на специализированную торфяную площадку. Как правило, она располагается на суходоле. Затем бульдозером формируют торфяные отвалы с учетом сработки слоя за сезон. Дальнейшая подготовка торфа в полученных отвалах ведется в летний период, она включает в себя операции по рыхлению, ворошению, уборке торфа и штабелированию воздушно-сухого торфа с последующей вывозкой потребителю [78].

Основными преимуществами данного способа являются минимальные потери торфяного сырья во время добычи по сравнению с традиционными способами (5-10 %), не требуется проводить дорогостоящие работы по осушению месторождения; отсутствует необходимость в подготовке участка месторождения (профилирование поверхности, корчевка пней), не требуется устройство постоянных автодорог на поверхности торфяного месторождения – экскавация и транспорт торфяного сырья проводятся в зимний период, что обеспечивает пожарную безопасность [78].

3. Гидромеханизированная добыча торфа с применением плавучих земснарядов

Добыча торфа с использованием земснарядов (рисунок 1.8) осуществляется следующим образом: торфяное сырье предварительно разрыхляется и разжижается водой, далее всасывается землесосным снарядом и по пульпопроводам перекачивается на берег, где его складировуют в отстойники. Уборка торфа из отстойников ведется при достижении им влаги 40-60 %. До влаги, при которой торф можно убирать, его подсушивают слоями, для чего верхний слой рыхлят, ворошат и сгребают бульдозерами в навалы вдоль длинной

стороны отстойника и постепенно формируют штабель, или фрезеруют, ворошат, валкуют, убирают машинами и формируют штабель вдоль короткой стороны отстойника [44, 45].

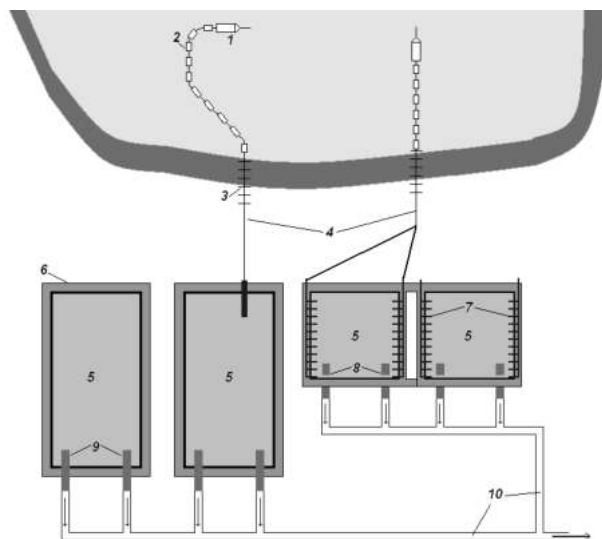


Рисунок 1.8 – Схема намыва торфа в отстойники:

- 1 – земснаряд; 2 – плавучий пульпопровод; 3 – магистральный пульпопровод на опорах;
 4 – магистральный пульпопровод; 5 – отстойник; 6 – дамбы; 7 – переставные патрубки;
 8 – водосбросные колодцы; 9 – трубчатые водосбросы; 10 – водоотводящие каналы

Основные преимущества данного способа в том, что объединены в одну технологическую цепочку операции добычи, транспорта, обогащения и складирования торфяного сырья, отсутствует необходимость дорогостоящих работ по осушению торфяного месторождения, что обеспечивает пожарную безопасность территории, возможность полной выработки достаточно глубоких месторождений [44, 45, 78].

Земснаряд Водяной 600 (рисунок 1.9) и земснаряд Гидромех 1600 состоят из надежного корпуса и понтонов. Корпус земснарядов отличается поперечными водонепроницаемыми переборками [19].



Рисунок 1.9 – Многофункциональный земснаряд Водяной 600

Основными особенностями данных земснарядов является их многофункциональность – добычные работы плавучим экскаватором с грунтовым насосом и фрезерным рыхлителем, также осуществляется забивка свай, очистка водоемов от плавающей растительности с помощью граблей, прокладка траншей по дну водоемов с помощью фрезы; мобильность в воде – земснаряд самостоятельно заходит в воду и выходит на сушу, плавает с помощью собственной двигательной системы, может работать в очень мелких местах, где не могут работать большинство других машин; обладает возможностью передвижения по суше, на дальние расстояния перевозится на трейлере, самостоятельная погрузка/разгрузка на трейлер, при перевозке не требуется разборка [19].

Из зарубежных аналогов земснарядов наиболее популярны финские многофункциональные земснаряды Watermaster CLASSIC V и Watermaster CLASSIC IV (рисунок 1.10), смонтированные на понтонах. Она являются комбинацией землечерпательной машины с обратным ковшом и землесоса.

Передвижение по воде осуществляется с помощью собственной двигательной установки, а по суше при помощи рукояти экскаватора и наклоняющихся задних стабилизаторов.



Рисунок 1.10 – Земснаряды Watermaster CLASSIC V и Watermaster CLASSIC IV

На земснаряде Watermaster установлены защитные пластины на рукояти стрелы земснаряда. Это позволяет обеспечить эффективную работу земснаряда в зимних условиях при температуре до -15°C , а в отдельных случаях и ниже [12].

Также ниже приведен ряд патентов на создание комплексов горных машин по добыче и переработке торфяного сырья на неосушенных месторождениях, чаще всего с применением плавучих добычных платформ.

Добываемое торфяное сырье подлежит последующей переработке в окускованное коммунально-бытовое топливо, и может найти применение в энергетике при создании региональных энергетических кластеров.

4. Способ разработки торфяных месторождений RU 2637346

Добычи торфа осуществляется в приконтурной водонасыщенной части месторождений с высоким уровнем грунтовых вод без вывода их из естественного процесса функционирования. Главный технический результат данного способа – это снижение затрат на подготовку и освоение месторождения, увеличение коэффициента извлечения полезного ископаемого, а также исключение затрат на рекультивацию месторождения после выемки торфа [62].

Суть способа заключается в разделении выемочного участка (рисунок 1.11) на смежные «четные» и «нечетные» параллельные заходки. Ширина заходки и длина равны расстояниям между гусеницами добычного комплекса и протяженностью выемочного участка соответственно, но не менее 50 м и не более 100 м. Сначала ведется выемка «четных» заходов, начиная с первой

«четной» до последней «четной». Затем, после восстановления поверхностным растительным слоем четных заходок осуществляется выемка «нечетных» заходок в обратной последовательности [62].

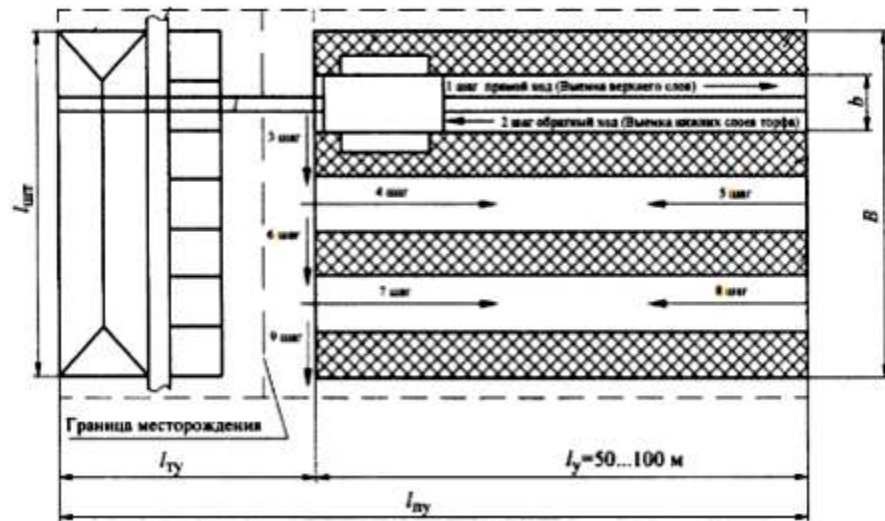


Рисунок 1.11 – Способ разработки торфяных месторождений предложенные в патенте RU 2637346

При перемещении комплекса от границы месторождения в его глубь (прямой ход комплекса) осуществляется выемка кускового торфа из верхнего связного слоя шнековым устройством с пакетированием и транспортированием пакетов канатным конвейером в штабель, располагаемый за контуром месторождения. Выемка торфа из нижнего обводненного слоя с образованием торфяной пульпы осуществляется при обратном ходе комплекса механогидравлическим способом с гидротранспортированием пульпы по пульпопроводу в контейнеры, располагаемые в технологической зоне за контуром месторождения [62].

5. Добыча и переработка торфа и растительно-торфяных сплавин RU 2599117

Добыча осуществляется в акваториях водохранилищ и на обводненных территориях.

Эксплоатация торфяного сырья и растительно-торфяных сплавин осуществляется с помощью плавучего двухчелюстного копающего грейфера, расположенного на плавучем основании непосредственно в акватории

водохранилища, а также с технологическим оборудованием в виде модулей подготовки сырья, пресс-экструдера, производства электрической энергии из газа, дизель-генератора, газогенератора, электроэнергетического генератора, перегрузки готовой продукции и склада, объединенных транспортно-энергетическими линиями [60].

Плавучий технологический комплекс (рисунок 1.12) обеспечивает переработку растительно-торфяного сырья в различные виды топлива: твердые, жидкие и газообразные с последующей возможностью преобразования их в электроэнергию, обеспечивая тем самым автономность комплекса [60].

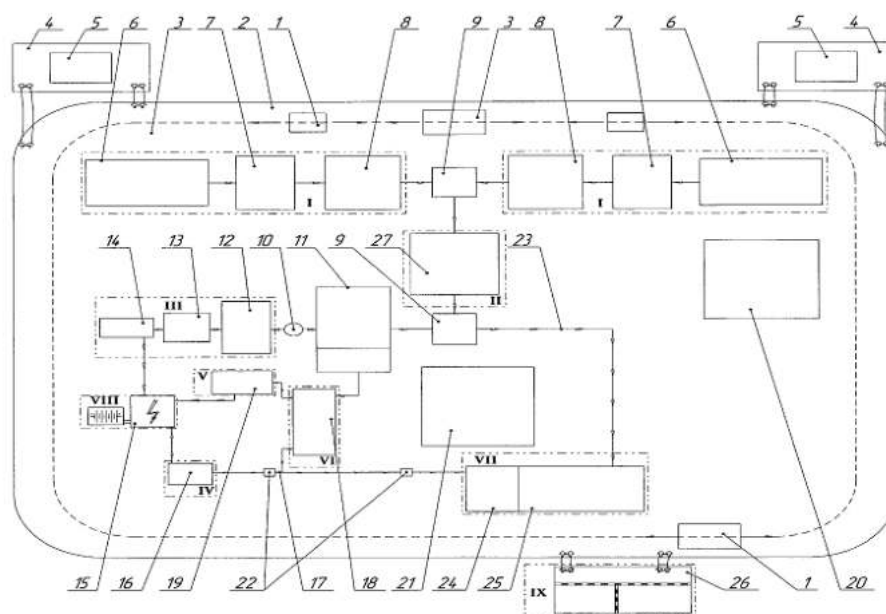


Рисунок 1.12 – Устройство для реализации способа по патенту RU 2599117

6. Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа RU 2529059

Данный комплекс по добыче и переработке торфяного сырья (рисунок 1.13) представляет собой функционально взаимосвязанную модульную конструкцию – модуль подготовки, модуль сушки, модуль формования торфяного сырья, модуль переработки отходов основного производства [59].

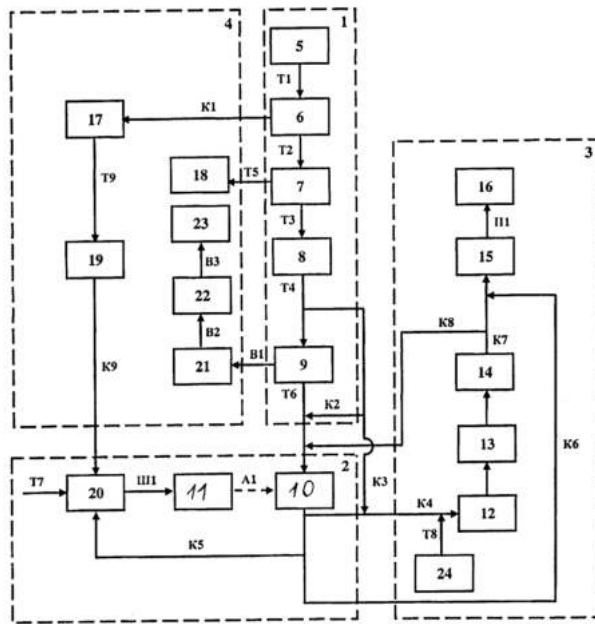


Рисунок 1.13 – Устройство для реализации способа по патенту RU 2529059

Комплекс работает следующим образом: торфяное сырье любой влаги, поступает в приемный бункер, откуда посредством ленточного транспортера поступает на сепаратор, где происходит отделение от торфяного сырья кусков древесины, очеса, кусков мерзлоты и т.п. Горючие отходы поступают в дробилку, где измельчаются в биотопливо и поступают на склад биотоплива, где в дальнейшем используются для работы теплогенератора [59].

Торфяное сырье поступает на ленточный транспортер, который проходит через поточный магнитный сепаратор, где происходит отделение от торфяного сырья металлических включений. Далее торфяное сырье следует на фрезерное дробление. Если влага измельченного торфяного сырья составляет более 75 %, оно поступает на прессошнековый сепаратор, где происходит его механическое обезвоживание. Если влага находится в диапазоне 70-75 %, торфяное сырье транспортируется в тоннельную сушилку. Если влага составляет менее 65-70 %, торфяное сырье транспортируется в истиратель [59].

Торфяное сырье из прессошнекового сепаратора также загружается в тоннельную многоярусную сушилку, где сушится до необходимой влаги. Из тоннельной многоярусной сушилки торфяное сырье транспортируется на склад биотоплива и используется в дальнейшем для работы теплогенератора. Для получения топливных композитов и торфяного гранулированного

мелиоранта почв в торфяное сырье из бункеров-дозаторов дополнительного сырья добавляются опилки, ил очистных сооружений, минеральные удобрения и т.п. В двухшнековом истирателе торфяное сырье диспергируется и одновременно перемешивается с введенными в него добавками, а далее поступает в шнековый экструдер, который обеспечивает производство продукции заданных размеров [59].

7. Комплекс для добычи торфа RU 2304721

Комплекс (рисунок 1.14) разработан для добычи торфа на неосушенных, естественных торфяных месторождениях.

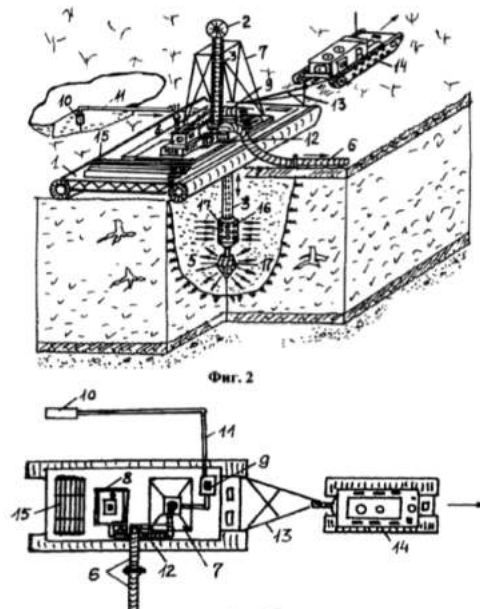


Рисунок 1.14 – Комплекс для разработки торфяных месторождений по патенту RU 2304721

Комплекс представляет собой платформу – понтон с тягачом-вездеходом, оснащенный подъемником с лебедкой для гидромонитора, пульпопровод, буровую установку, нагнетательный насос высокого давления [58].

С помощью тягача помещают понтон-платформу с буровой установкой в заданном районе, производят бурение скважины и под высоким давлением осуществляют размыв торфяной залежи, откачку пульпы. После чего торфяную пульпу транспортируют по пульпопроводу в цех для искусственного обезвоживания и дальнейшей переработки торфа – прессования, смешивания, грануляции, сушки и отгрузки готовой торфяной продукции на склад [58].

8. Способ дражной разработки обводненных месторождений RU 2614337

Особенностью данного способа (рисунок 1.15) является наличие монтируемого ангара для условий работы в отрицательных температурах, что позволяет продлить сезон добычи.

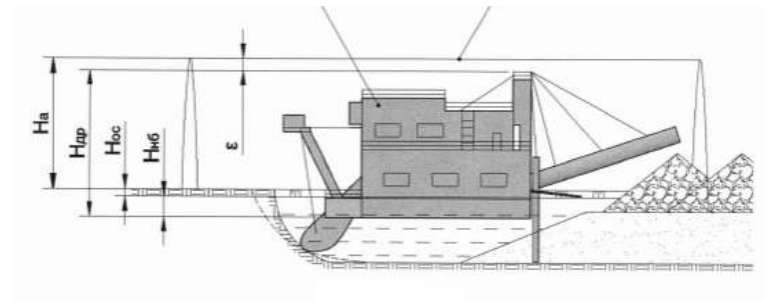


Рисунок 1.15 – Разработка торфяных месторождений по патенту RU 2614337

Месторождение разрабатывают многочерпаковой драгой. В летний период проводят подготовительные работы: вскрытие месторождения на длину фронта работы драги, строительство плотины вокруг горнодобывающего оборудования и подготовленных к отработке на зимний период запасов. В период отрицательных температур работы производят внутри ангара [61].

Подводя итоги раздела, следует отметить, что проделана большая работа по созданию комплексов машин и способов по разработке неосушенных месторождений полезных ископаемых, в том числе торфяного сырья, в которых главным плюсом является отсутствие процессов водопонижения, однако остались нерешенными вопросы сезонности ведения горных работ и возможности создания комплекса оборудования для полного цикла «добыча-переработка».

Тенденция создания перспективных технических решений комплексов машин для добычи и переработки торфяного сырья, реализующих принципы НДТ, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и минимизацию экологических рисков [65], на сегодняшний день является актуальной наряду с политикой государства в области развития малой энергетики удаленных регионов страны. Поэтому данный вопрос нуждается в дополнительном изучении для создания новых структурных схем и дальнейшей реализации в комплексах машин по добыче торфяного сырья [94].

1.4 Структурные схемы систем горного оборудования. Их характеристики, свойства и возможность их применения для оценки эффективности схемных решений

В горном деле наиболее наглядно эффективность совмещения технологических операций проявилась в создании комплексов для выемки полезного ископаемого [72].

К настоящему времени в угольной промышленности не осталось шахт, ведущих добычу без комплексной механизации очистных забоев. Для горно-проходческих работ, также характеризующихся многооперационностью, совмещение (или, по возможности, исключение) операций является важнейшим технологическим принципом, приводящим к созданию агрегатированных проходческих систем (комплексов), как к необходимому этапу развития техники [11, 72, 73].

Таким образом, в мире прослеживаются две тенденции: одна предполагает сборку функциональных элементов на общей базе с целью сокращения маневровых операций и снижения общей массы, энергоемкости и стоимости системы, а вторая – разработку конструкций, позволяющих, помимо целей первого направления, совмещать во времени (и в других формах) различные операции добычного цикла, что приводит к снижению или исключению цикличности процесса проведения выработок. Эта тенденция представляется более перспективной, т.к. реализует известные принципы интенсификации многооперационных технологий [24, 72, 73].

Разнообразие горно-геологических условий залегания торфа, нестабильность и существенное различие физико-химических свойств торфяной залежи и, как следствие, торфяного сырья, разно- и многооперационность технологических процессов, также обусловили большое разнообразие схем и средств механизации карьерной добычи и переработки торфяного сырья. Систематизировать их можно по функциональным признакам [5, 34, 73].

Каждая машина в схеме механизации процесса, как и всякий элемент в соответствующей машине выполняет определенную функцию, обусловленную ее назначением [11].

Одни и те же функции могут осуществляться машинами и их элементами, имеющими различную конструкцию. Поэтому функциональный признак, положенный в основу систематизации средств механизации, обладает необходимыми собирательными свойствами, являясь объективным и достаточно общим [6, 73].

В общей схеме механизации карьерной добычи и переработки торфяного сырья требуемые функции могут быть реализованы горными машинами при их совместной работе путем наложения структурных связей [72, 73].

Авторы [6, 55] предполагают, что все структурные связи в комплексе машин подразделяются по двум признакам: по наличию связей или соединений (механических соединений или кинематических связей) и по возможности совмещения работы машин во времени (взаимодействиям).

Под кинематической связью здесь понимается сочленение (взаимодействие), подобранных по производительности машин, требующих увязки во времени скоростей и направлений их перемещения при совместной работе. Эта связь имеет место только при наличии параллельного взаимодействия, то есть только при одновременно работающих машинах [72, 73].

Совмещение базовых элементов машин, при которой утрачивается их кинематическая самостоятельность и происходит объединение в общую конструкцию – единую многофункциональную машину, в которой их использование порознь уже невозможно, олицетворяет вторую тенденцию и принцип конструктивной связи. И, как указывалось выше, указанные связи могут существовать при последовательном и (или) параллельном взаимодействии машин во времени (наличие или отсутствие очередности их работы).

Связи машин в комплексе возможно зафиксировать в виде структурных формул, при этом на основании структурных формул возможно говорить и о уровне надежности системы. В этой связи взаимосвязи с точки зрения

надежности, но не обязательно в конструкции, связи могут быть последовательным или параллельным. При этом следует иметь в виду, что недостаточный уровень надежности и ремонтпригодности машин, организации их ремонта и профилактического обслуживания, требует значительных затрат времени и средств на поддержание работоспособного состояния оборудования. Так до 20-25 % времени цикла занимает ликвидация отказов, более 70 % простоев происходит по причине неисправности оборудования [53, 72, 73].

При использовании единичных функциональных машин системы механизации открытых разработок описываются элементарными структурными компонентами формул типа: В – выемочная машина (выемка торфяного сырья из залежи и его погрузка на средства транспорта), Т – транспортно-доставочная машина (транспортировка торфяного сырья из выработки), П – переработка экскавированного торфяного сырья (сепарация, измельчение, бункерование). Знаком «←→» обозначены технологическая связь (индивидуальные машины), знаком «+» кинематическая связь (сочленение машин), и знаком «•» конструктивная связь (совмещение машин), (↔) – последовательное взаимодействие машин в плане надежности, (=) – параллельное взаимодействие машин (дублирование) в плане надежности [25, 72, 73].

Обозначив машины торфяного добывающе-перерабатывающего комплекса, выполняющие определенные функции, соответствующими символами с учетом связей можно составить общие структурные формулы (рисунок 1.16), характеризующие схемы механизации проведения торфяной выработки.

$$\begin{array}{ccc}
 B+T+C+I+T & & B \leftrightarrow T \leftrightarrow C \leftrightarrow I = T \\
 \quad \quad \quad \uparrow & & \quad \quad \quad \updownarrow \\
 \quad \quad \quad T & & \quad \quad \quad T
 \end{array}$$

Рисунок 1.16 – Общие структурные формулы системы механизации при добыче торфяного сырья

Осуществив отбор операций и выбрав средства их реализации в виде горных машин, наложив на них отношения единства, можно перейти к образованию множества схемных решений комплексов, реализующих технологические схемы производства торфяного сырья [5, 11, 55].

Путем наложения соответствующих связей и выделения структурных элементов можно получить ряд структурных формул производных от общей, что позволяет произвести систематизацию всех как существующих, так и возможных схем и средств механизации торфяного сырья [73].

Таким образом, проведенный анализ современного состояния тенденций развития средств комплексной механизации добычи торфяного сырья позволяет сделать следующие выводы: для повышения эффективности добычных работ целесообразно использовать принципы системного подхода в направлении разработки добывающих торфяных комплексов оборудования, позволяющих механизировать весь комплекс операций и совмещать их во времени; при создании добычных комплексов, использовать метод совмещения функциональных элементов (оборудования) [6, 7] на общей базовой конструкции. При этом необходимо разработать критерии и методики оценки эффективности комплекса, учитывающие особенности его структуры и функционирования в конкретных условиях эксплуатации при выполнении выемочных операций и переработки торфяного сырья, а также случайный характер внешних и внутренних воздействий.

1.5 Анализ процессов механического обезвоживания торфяного сырья

Добыча торфяного сырья и последующая его переработка в обязательном порядке сопряжена с процессами обезвоживания торфяного сырья. При этом торф является сложной системой, состоящей из трех фаз: сухого вещества, воды и газов. В силу незначительной массы газообразной фазы ее из общего весового баланса составляющих торфа исключают. Соотношение между твердыми и жидкими компонентами чаще определяется по содержанию воды в торфе. Различают свободную и связанную с сухим веществом торфа воду. Свободная вода удаляется из торфа сравнительно легко, например, под действием гравитационных сил, а для удаления связанной воды необходимо разрушить эти связи, что требует значительных затрат энергии. Связанная вода разделяется на категории в соответствии с энергией связи [2, 26, 71].

Для оценки общего содержания воды в торфе введены понятия влаги и влагосодержания.

Влага (влажность) W – выраженное в процентах отношение массы воды m_B в торфе к его общей массе m , определяется из выражения (1.1):

$$W = \frac{m_B}{m} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

Влагосодержание U – безразмерная величина, выражающая отношение массы воды к массе сухого вещества (1.2):

$$U = \frac{m_B}{m_c} \quad (1.2)$$

Теоретически влага может изменяться от 0 до 100 %, а влагосодержание – от 0 до ∞ . Естественная влага W_e – влага торфа в неосушенной залежи. Ее значения находятся в пределах 88-94 %. В среднем для верховой залежи она составляет 92 %, низинной – 88-90 %, следовательно, на каждый килограмм сухого вещества торфа приходится 9-11,5 кг воды. Естественная влага зависит от типа и вида торфа, его степени разложения [71]. Зная степень разложения, можно приблизительно рассчитать W_e по эмпирическим выражениям (1.3 и 1.4):

$$\text{для верхового торфа } W_e = 96 - 0,1R, \quad (1.3)$$

$$\text{для низинного торфа } W_e = 95 - 0,2R, \quad (1.4)$$

где R – степень разложения торфа, %.

Эксплуатационная влага W_3 – влага торфа в разрабатываемом слое осушенной залежи, подготовленной к эксплуатации торфяного поля.

Так при фрезерном способе добычи торфа W_3 для первых двух лет эксплуатации принимается на низинной залежи равной 78 %, верховой – 82 %, а на третий и последующие годы – соответственно 75 и 79 %. При экскаваторном способе добычи ее величину принимают по нормативам в пределах 86-89 %.

Рабочая влага W_p характеризует содержание воды в торфе – это натуральная влага топливного торфа.

Кондиционная влага W_k – влага готовой продукции, не превышающая браковочного предела. Торф с кондиционной влагой называется товарным.

Объемной влагой $W_{об}$ называется отношение массы воды к единице объема торфа, определяется по формуле (1.5):

$$W_{об} = \frac{m_B}{\rho_B V} 100, \quad (1.5)$$

где m_B – масса воды, кг; ρ_B – плотность воды, кг/м³; V – объем торфа, м³.

Процессы, связанные с обезвоживанием торфа сложны и инерционны, так как значительное количество воды здесь связано с сухим веществом и во многом зависит от того, насколько интенсивно можно управлять водоудерживающей способностью торфа в процессе осушения, искусственного обезвоживания и естественной сушки [26, 71, 81].

Процесс механического обезвоживания торфа зависит от ряда тесно связанных факторов, неоднозначно влияющих друг на друга. Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее важными факторами, определяющими процесс механического обезвоживания торфа, являются:

- продолжительность и скорость приложения нагрузки;
- давление обезвоживания;
- толщина обезвоживаемого слоя.

С увеличением толщины слоя в n раз, время (1.6), необходимое для обезвоживания, возрастает в n^2 раз:

$$t = \frac{ah^2\Delta}{4k_\phi(1+E)}, \quad (1.6)$$

где a – это коэффициент сжимаемости;

h – высота слоя, м;

Δ – плотность воды, кг/м³;

k_ϕ , E – коэффициенты фильтрации и пористости соответственно.

Процесс обезвоживания торфа характеризуется несколькими стадиями. На первой стадии при незначительных давлениях, воспринимаемых поровой водой, происходит интенсивное отжатие не связанной влаги, находящейся в порах и пустотах, при этом быстро снижается коэффициент пористости торфа.

На второй стадии процесс отжатия замедляется, часть нагрузки передается скелету торфа. Изменение пористости происходит не по всему объему образца, а лишь в слоях, прилегающих к фильтру. Третья стадия носит линейный характер, где снижение влаги происходит пропорционально нагрузке [71].

Различное состояние воды в торфе, в связи с изменением сухого вещества, позволило обнаружить две критические точки влагосодержания, при которых динамика удаления воды меняется [71].

Наибольшей степени обезвоживания можно добиться путем многократного ступенчатого воздействия на слой и фильтрационно-деформационные свойства торфа. Интенсификация процесса механического обезвоживания торфа методом воздействия пульсирующей нагрузкой учтена при создании машин для механического отжатия верхового торфа низкой степени разложения, особенно влаги 80-85 %, когда сопротивление его обезвоживанию начинает быстро расти и интенсивнее проявляются упругие свойства скелета [39, 71].

Основными характеристиками структуры торфа служат размеры пор, активная пористость и кинетическая удельная энергия поверхности твердых частиц. Максимальные размеры водопроводящих пор достигают 25-50 мкм, минимальные 0,5 мкм. Общая пористость верхового торфа малой степени разложения в залежи составляет 95-98 %, а активная всего 55-85 %. Такое различие активной пористости по сравнению с общей указывает на малую подвижность значительного количества воды в торфе, чем, например, в песке, каменном угле и других гидрофобных материалах, в которых почти вся влага является подвижной [39, 71].

Малые размеры водопроводящих пор, высокая гидрофильность являются специфической особенностью торфа с точки зрения применения к нему механического обезвоживания. Процесс удаления влаги механическим путем во многом определяется не только структурными свойствами торфа, но и энергией связи воды с сухим веществом [16, 26].

В связи с появлением уплотненного слоя на прессующих плоскостях и низкой фильтрационной способности торфяного сырья возникла

необходимость создания искусственных плоскостей, проводящих воду, внутри обезвоживаемого образца торфа. Данный вопрос решается двумя способами: дренированием торфа сухими добавками (торфяным порошком) или осуществлением ступенчатого обезвоживания.

Для обезвоживания торфяного сырья с влагой 86-80 % до влаги 55 % возможно применение гидравлического пресса непрерывного действия вместе с опилочными фильтрами – здесь реализуется принцип дренирования сухими добавками. В данном случае время отжатия составляет 10-12 минут, суточная производительность 325-650 т торфа влагой 55 %. Этот же принцип заложен в способе «Мадрук» [16, 26].

При ступенчатом обезвоживании торф периодически дробится, затем перемешивается и вновь прессуется. В таком случае нарушается структура торфа, что ведет к улучшению условий обезвоживания и увеличенной водоотдаче. Ступенчатое обезвоживание эффективно тогда, когда торф измельчается без перетирания. Ступенчатое отжатие может быть заменено кратковременным отжатием сырья в тонком слое.

При отжатии замороженного торфа торфяное сырье частично перерабатывается кристаллами льда. При этом нарушается внутрикапиллярная связь воды в торфяном сырье и увеличивается объем выводимой из полезного ископаемого влаги. При данном способе энергозатраты в 2-2,5 раза выше практически при неизменной эффективности процесса.

Для механического отжатия торфяного сырья применялись гусеничные, кольцевые и вальцевые прессы [26]. Также нельзя не отметить процессы центрифугирования торфяного сырья, как одного из наиболее эффективных способов удаления влаги.

Центрифуги с выгрузкой торфяного осадка посредством шнека, пульсирующими поршнями, под действием инерционных сил (фильтрующие центрифуги) обеспечивают непрерывность процесса [68].

Большой практический интерес представляют центрифуги со шнековой выгрузкой. В них использован принцип дифференциального вращения двух

концентрических роторов, причем в наружном производится центрифугирование, а внутренний служит для крепления спиральной ленты или лопаток, расположенных по винтовой линии. При небольшой разнице в частотах вращения роторов отжимаемое сырье, образующееся на стенках наружного ротора, транспортируется спиральной лентой или лопатками к выгрузочным окнам, через которые он выбрасывается в приемник. В то время как суспензия течет в роторе от узкого его конца к широкому.

Перечисленные принципы механического обезвоживания торфяного сырья предусматривают наличие отдельной обезвоживающей машины, в которую торфяное сырье будет загружаться после процесса экскавации. Однако открытым остается вопрос совмещения процесса выемки торфяного сырья и его частичного обезвоживания, например, в выемочном рабочем органе добывающей машины или перегрузочном бункере.

1.6 Выводы по главе и задачи исследования

1. На основании анализа и обобщения результатов теоретических и экспериментальных исследований, полученных по рассматриваемой тематике, стоит подчеркнуть, что Российская Федерация, обладающая значительными запасами торфяного сырья, на сегодняшний день сократила его добычу и потребление в топливном секторе, в то время как его можно активно рассматривать как эффективное топливо для малой энергетики применительно к удаленным регионам страны, где привозное топливо является дорогим, а сам район обладает запасами местного вида топлива – торфа. Применение такого сырья вместе с тем будет способствовать повышению энергетической безопасности страны и зависимости удаленных и труднодоступных регионов, лишенных централизованного энергоснабжения от далеко привозных энергетических ресурсов, повысит занятость населения, создаст новые рабочие места, может стать основой региональных энергетических кластеров.

2. Выявлено, что для добычи торфяного сырья применяются, в основном два метода – фрезерный (поверхностно-послойный) и карьерный. Реализация поверхностно-послойного метода предполагает отработку

значительных площадей месторождения для выполнения годовой программы добычи и, соответственно, проведения большого объема работ по осушению, подготовке месторождения (корчевка, профилирование и т.д.). Комплексы машин для осуществления этих работ – узкоспециализированные горные машины, объединенные в комплекс лишь технологическими связями. Также поверхностно-послойный метод добычи в значительной степени зависит от метеорологических условий. Применение данного метода влечет за собой значительные природоохранные риски, связанные с осушением месторождения и сбросом вод, насыщенных гуминовым комплексом, а также нагрузкой на атмосферу, связанной с пылением и ростом рисков возникновения пожаров.

При карьерном методе перечень применяемых горных машин гораздо меньше, к тому же, многие из машин являются универсальными (например, экскаватор). Минимизированы риски, связанные с пожароопасностью и пылением.

3. Выявлен факт отсутствия мобильных комплексов добычи и карьерной переработки торфяного сырья способных эффективно функционировать на неосушенных месторождениях, применяя новые доступные технологии, реализуемые этими комплексами в рамках проектов климатически нейтральной хозяйственной деятельности. Поэтому перспективным представляется путь разработки схемных и конструктивных решений по созданию указанных комплексов.

4. Рассмотрены вопросы, касающиеся механического обезвоживания торфяного сырья. Для оценки перспективности применения механического обезвоживания на стадии выемки торфяного сырья или сразу после разгрузки в бункер на борту комплекса добычи и переработки торфяного сырья требуется проведение дополнительных исследований.

В связи с этим для достижения поставленной в данной работе цели необходимо решить **следующие задачи:**

1. Провести анализ методик формирования агрегатированных структур систем и комплексов горного оборудования на основе принципов структурного и параметрического подходов с последующей разработкой алгоритма по

оценке предлагаемых схемных решений агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования для работы на неосушенном месторождении.

2. Провести теоретические и экспериментальные исследования и выявить закономерности изменения основных энергомассовых характеристик функциональных элементов и составляющих их модулей АТДК ГО для работы на неосушенных месторождениях в функции его производительности по каждому типу функциональных элементов, в рамках соответствующих схемных решений комплекса, а также оценочные лабораторные исследования по целесообразности предварительного обезвоживания торфяного через перфорированную стенку.

3. Разработать математическую модель изменения основных энергомассовых параметров АТДК ГО для работы на неосушенных месторождениях в рамках возможных схемных решений при структурно-параметрическом синтезе комплекса.

4. Ранжировать по критерию удельных энергозатрат выявленные схемные решения АТДК ГО, предназначенных для работы на неосушенных месторождениях.

5. Предложить технические решения по отдельным функциональным элементам и комплексу в целом применительно к условиям неосушенных торфяных месторождений и разработать рекомендации по формированию и оценке эффективности структур систем на основе регрессионных моделей процесса функционирования элементов и модулей комплекса для выбора основных конструктивно-технологических параметров на ранних стадиях процесса их проектирования.

6. Разработать прикладную компьютерную программу, реализующую результаты научных исследований.

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНИМАЕМЫХ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ

При решении поставленных задач следует ввести некоторые термины, которые будут характеризовать систему оборудования как единый комплекс для добычи торфяного сырья.

Агрегатированный торфодобывающий комплекс горного оборудования (АТДК ГО) – совокупность функциональных элементов, предназначенных для выполнения операций цикла добычи и переработки торфяного сырья, скомпонованных методом агрегатирования на одном или нескольких базовых элементах, объединенных кинематическими или конструктивными связями, обеспечивающих согласование, соединение или совмещение и обладающих свойством изменения структуры и параметров функциональных элементов в целях оптимального их выбора и использования при выполнении работ по добыче и (или) переработке торфяного сырья.

Функциональный элемент – машина или модуль, выполняющие одну из операций цикла, например, по экскавации, разделению, дроблению, транспортированию и т.д.

Операции добывающего цикла – выемка торфяного сырья, погрузка горной массы на средства транспорта (бункер-питатель), транспортировка горной массы по технологической цепочке, переработка экскавированного торфяного сырья.

Базовый элемент – функциональный элемент (перемещаемый или стационарный), предназначенный для агрегатирования с ним других функциональных элементов, функционально взаимодействующих друг с другом для осуществления цели системы – минимизации энергомассовых затрат на добычу и (или) переработку торфяного сырья при максимальном выходе полезного продукта.

Целью функционирования АТДК ГО, реализующего принципы наилучших доступных технологий, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду и минимизацию экологических рисков [65],

является механизация проведения разработки торфяного месторождения на принципах энергоэффективности при низком антропогенном воздействии на окружающую среду. Для осуществления этого процесса в общем случае необходимо наличие в составе системы механизмов (функциональных элементов) для выполнения следующих операций: выемка торфяного сырья из массива; погрузка экскавированного торфяного сырья и его транспортировка; переработка экскавированного торфяного сырья.

2.1 Рациональное использование месторождений торфяного сырья в рамках климатосберегающих технологий

Современный подход в оценке результатов человеческой деятельности и ее взаимодействия с окружающей средой предполагает уход от ликвидации неблагоприятных последствий антропогенного воздействия и переход к мерам предупредительного характера – не допущения или сведения к минимуму ущерба природным ареалам, в частности, районам добычи полезного ископаемого.

В пользу увеличения доли торфа в топливно-энергетическом комплексе свидетельствует наличие на территории страны огромного количества малых населенных пунктов, котельные которых в подавляющем большинстве работают на привозном угле и мазуте, что приводит к удорожанию энергии. Добыча, переработка при использовании местного торфяного сырья способствует созданию дополнительных рабочих мест и повышению занятости населения, развитию территорий [47, 94].

Вопросы разработки торфяных месторождений без их осушения комплексами горных машин играют важную роль в рамках современных подходов при добыче торфяного сырья.

Предполагается, что варианты применения АТДК ГО для отработки месторождения без предварительного водопонижения позволят снизить затраты из-за уменьшения общего объема подготовительных работ, а также применения меньшего парка машин для схемы «добыча-переработка».

Вместе с тем, создание АТДК ГО позволяет избежать мероприятий по предварительному водопонижению, снизить затраты на подготовку и эксплуатацию торфяного месторождения, продлить сезон добычных работ, а в ряде случаев обеспечить возможность круглогодичной добычи.

К таким АТДК ГО, с точки зрения рационального природопользования, должны предъявляться высокие современные требования, а именно:

- сохранение гидрологических условий и водного баланса на территории;
- отсутствие сброса сточных вод;
- минимизация выброса загрязняющих веществ в атмосферу;
- невозможность возникновения пожаров на разрабатываемом торфяном месторождении;
- возвращение территорий выработанных месторождений в естественную природную среду.

Для реализации климатически нейтральной хозяйственной деятельности, в частности, круглогодичной климатосберегающей и экологически безопасной добычи и переработке торфяного сырья с применением АТДК ГО требуется обоснование их структуры и схемных технических решений.

2.2 Структуры комплексов для добычи и переработки торфяного сырья на неосушенных месторождениях и обоснование наиболее эффективной структуры

Главными требованиями к системам машин и комплексам является их энергоэффективность, способность осуществления круглогодичной выемки торфяного сырья, при этом комплекс машин должен обеспечивать добычу и переработку торфяного сырья без больших транспортных плеч, где произведенное энергоплотное торфяное топливо частично преобразуют в тепловую и электрическую энергию, для самообеспечения комплекса и выработки энергии для местных потребителей [23, 57].

Для выполнения указанных требований такой комплекс должен представлять единое целое в виде блочно-иерархической структуры, например, в виде

самоходной плавучей платформы, которая является базовым элементом, со средствами автономной энергетической генерации и функциональными элементами (горные машины/оборудование), посредством которых осуществляется добыча и переработка торфяного сырья в едином поточном цикле [80, 85].

При отработке неосушенных месторождений комплексами АТДК ГО основными тенденциями при выборе каждого функционального элемента (машины или модуля) являются максимизация его производительности при заданных параметрах энергопотребления и ограниченности их массы.

Материальные и энергетические потоки подобного комплекса оборудования для добычи и переработки торфяного сырья представлены на рисунке 2.1.

В структуре символом V обозначен объем добываемого торфяного сырья, ΔN и ΔQ соответственно обозначают электроэнергию потребляемую функциональными элементами для добычи и переработки торфяного сырья и кондиционный топливный торф, направляемый в ТЭС для выработки электроэнергии. Потоки тепловой T энергии могут использоваться как для внешнего потребителя, так и вторично для повышения энергоэффективности осуществляемых процессов на борту АТДК ГО или непосредственно располагающихся на борту карьера [80, 85].

Потоки электрической энергии N предназначены лишь для внешнего потребления. В случае избытка объемов электрической энергии ее можно переводить в энергоплотное топливо Q_2 жидкие энергоносители Q_3 . Комплекс также способен производить дистиллированную воду и жидкие гуминовые удобрения [80].

Прежде чем рассматривать технологические процессы добычи и переработки торфяного сырья комплексом горного оборудования необходимо обозначить некоторые условия необходимые для нормального функционирования системы.

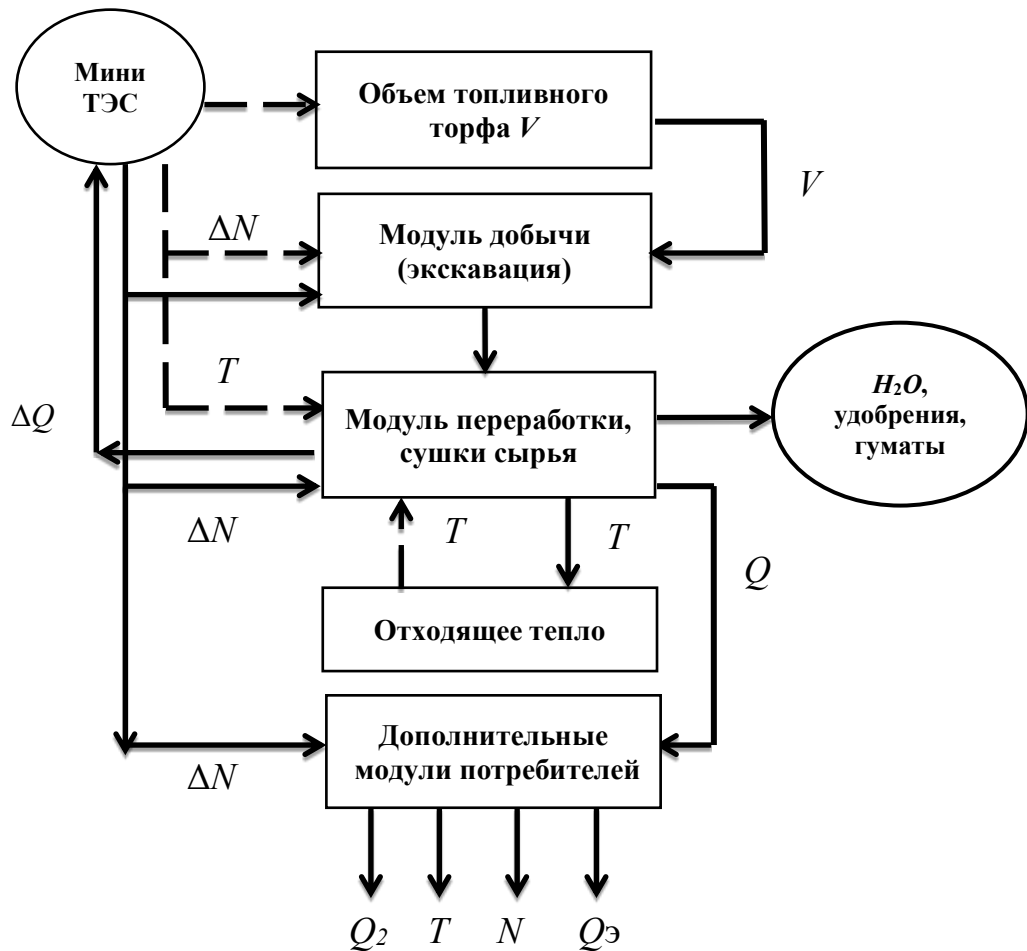


Рисунок 2.1 – Материальные и энергетические потоки АТДК ГО: N – электроэнергия потребителей; ΔN – электроэнергия для собственных нужд; T – тепловая энергия; Q – избыточные полупродукты из торфяного сырья; ΔQ – топливо для ТЭС; Q_2 – энергоплотное топливо генерации потребителей; Q_3 – жидкое топливо

Первым условием является необходимость обработки месторождения торфа на полную мощность или заданную глубину. Заданная глубина определяется, как минимум, глубиной гарантированного перемещения по образовавшейся акватории АТДК ГО, расположенного на базовом элементе и экологическими требованиями.

Вторым, не менее важным, условием является отсутствие крупных древесных остатков в обработанной комплексом акватории.

Третье, для детерминированного перемещения АТДК ГО необходима обработка месторождения полосами с шириной не менее шага перемещения комплекса и длиной, соответствующей свободному его перемещению по фронту движения.

Четвертое и обязательное условие – это полное энергетическое обеспечение комплекса за счет самогенерации.

Для оценки эффективности применения комплекса горного оборудования для добычи и переработки торфяного сырья из месторождения, не подвергаемого предварительному водопонижению, необходимо выбрать существующую схему отработки торфяного месторождения, например, поверхностно-послойным методом. В качестве базового варианта для сравнения был выбран комплекс машин для добычи фрезерного торфа и были оценены условия функционирования обоих вариантов (таблица 2.1) при равной программе годовой добычи [82].

Таблица 2.1 – Условия функционирования рассматриваемых вариантов добычи торфяного сырья

Поверхностно-послойная добыча торфяного сырья	Агрегатированный торфодобывающий комплекс горного оборудования
Программа добычи – 50 000 у.т. в год	
200 000 м³ – объем торфяного сырья в месторождении	
Глубина сработки залежи 0,25 м	Глубина выемки 2-5 м
Плотность торфяного сырья $\gamma = 500 \text{ кг/м}^3$	Плотность торфяного сырья $\gamma = 960 \text{ кг/м}^3$
Площадь участка добычи в год – 80 га	Площадь участка добычи в год – 4 га
Аренды участка в год – 2 000 000 Р	Аренды участка в год – 100 000 Р
Срок подготовки месторождения – 3 года	Срок подготовки месторождения – не требуется
<u>Комплекс горных машин для подготовки месторождения: свodka леса; осушение месторождения; подготовка месторождения;</u>	<u>Комплекс горных машин для подготовки месторождения – не требуется</u>
<u>Комплекс горных машин для добычи торфяного сырья</u>	<u>Комплекс горных машин и оборудования для добычи на базовом элементе (например, по патенту № 2655235) выемка; сепарация; дробление/измельчение</u>
<u>Комплекс машин для переработки торфяного сырья и получения энергии – отсутствует</u>	<u>Комплекс машин для переработки торфяного сырья и получения энергии – предусмотрен</u>
<u>Комплекс машин по подготовке и ремонту площадей – предусмотрен</u>	<u>Комплекс машин по подготовке и ремонту площадей – не требуется</u>

Поверхностно-послойная добыча торфяного сырья	Агрегатированный торфодобывающий комплекс горного оборудования
Природоохранные риски (пыление, пожары, выбросы от ДВС машин, водопонижение, гибель лесов и экосистем)	«Мокрая технология» – нет рисков возникновения пожаров, отсутствует пыление, минимизирована безотходность
Рекультивация выработанных площадей	Рекультивация не требуется . Искусственный водоем в рамках природоохранных технологий
Сезонность добычи и зависимость от погодных условий	Добыча ведется круглогодично . Снизена зависимость от погодных условий

Для численной оценки эффективности применения комплекса машин по добыче и переработке торфяного сырья при поверхностно-послойном способе и дальнейшего сравнения с предлагаемым комплексом горного оборудования были заданы следующие условия [82, 84, 90]:

- годовая производительность – 50 000 т у.т. торфа в год 45 %-ой влаги при разработке условного торфяного месторождения;
- условная площадь торфяного месторождения – 140 га;
- степень разложения торфа – 25 %;
- пнистость – 1,5;
- срок эксплуатации месторождения – 10 лет.

В оценке учитывались потребные затраты энергии, как на подготовку месторождения, так, собственно, и на производство горных работ, включая добычу и сушку торфяного сырья. Базовый вариант предполагает осуществление следующих операций по подготовке месторождения: свodka древесной растительности на трассах осушительных каналов, вывозка пакетов древесины, рытье магистральных каналов, углубление магистральных каналов, рытье валовых каналов, корчевка, рытье сети картовых каналов, профилирование и планировка и др. В качестве базового оборудования используются горные машины и агрегаты: МТП-13, МТП-71, МТП-71, МТП-52, ДТ-75 [74, 76].

Общее энергопотребление комплекса машин, задействованных для подготовки месторождения, отнесенных к одному году эксплуатации, составило работы 3146500 МДж. Оценка проводилась по нормативным параметрам

производства работ, количеству машин и установленной мощности их двигателей [76, 82].

При сезонной добыче фрезерного торфа в базовом варианте используются машины и оборудование: фрезерный барабан МТФ-14 – 2 шт., ворошилка МТФ-22 – 2 шт., уборочная машина МТФ-43А – 6 шт., валкователь МТФ-33Б – 1 шт., штабелирующая машина МТФ-72 – 1 шт., трактор ДТ-75, уборочная техника [66, 76].

Энергозатраты применяемых машин и механизмов за год их применения по потребленному топливу составляют 51673 кг или 1,03 кг/т₄₅ %, что эквивалентно 44,7 МДж/т₄₅ %. Суммарные энергозатраты на 1 т 45 %-ой влаги добываемого торфяного сырья при базовой технологии составляет – 107,7 МДж/т₄₅ % [82].

Для проведения сравнения с базовым вариантом необходимо определить перечень функциональных элементов, расположенных на базовом элементе АТДК ГО. Согласно материальным и энергетическим потокам комплекса горного оборудования (рисунок 2.1) были составлены схемы взаимодействия функциональных элементов возможных вариантов АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья на неосушенных месторождениях (рисунок 2.2). При этом в схеме I «Одноковшовый экскаватор» возможно применение исполнительного органа (навесного оборудования) в виде копающего грейфера или ковша как для обратной, так и для прямой лопаты.

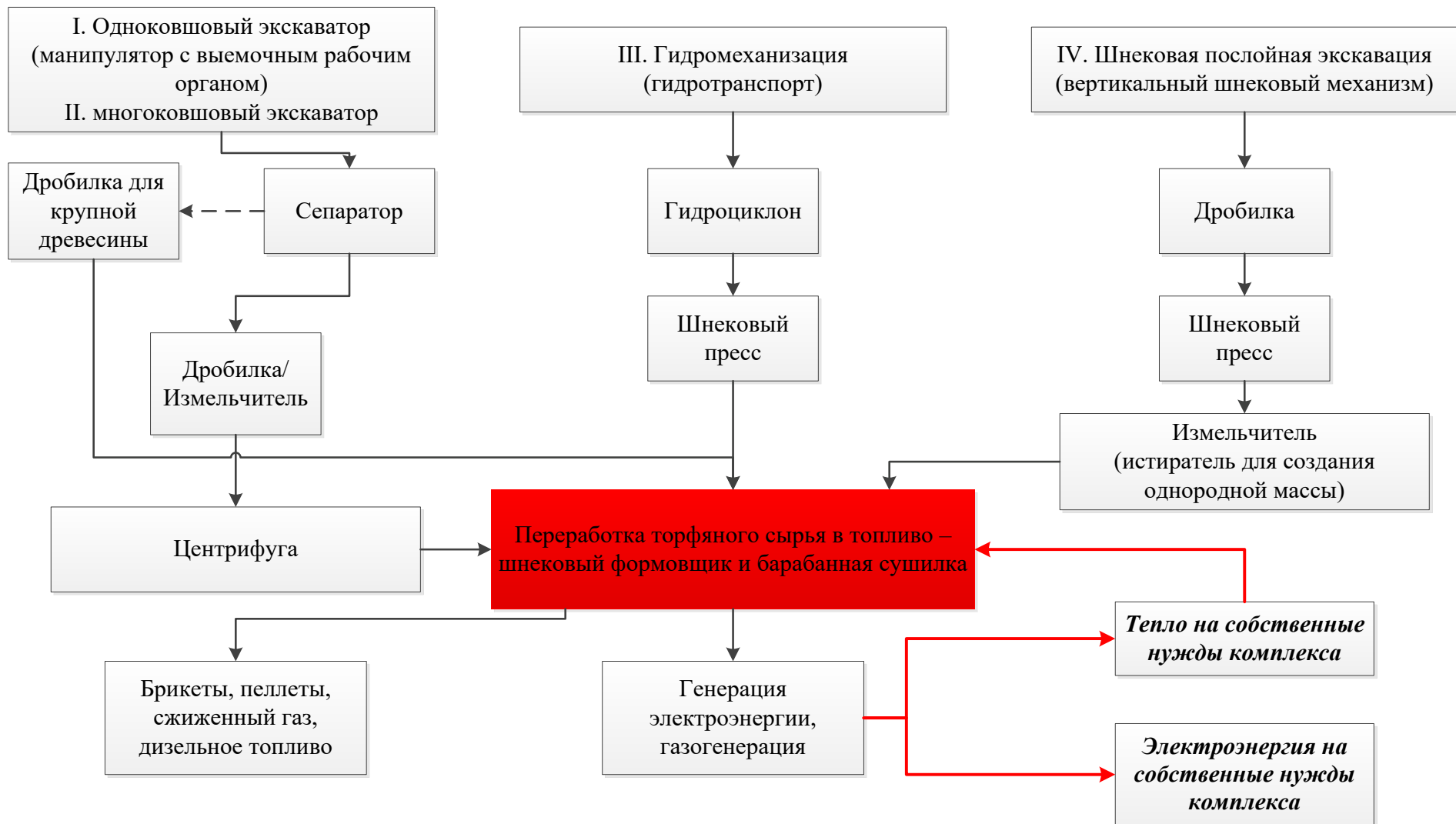


Рисунок 2.2 – Взаимодействие функциональных элементов комплекса горного оборудования

Рассмотрим последовательно и укрупненно схемы взаимодействия функциональных элементов, которые будут определять блочно-иерархическую структуру АТДК ГО (рисунок 2.2) [82].

В зависимости от выбранного первичного функционального элемента для выемки сырья зависит дальнейшая укрупненная схема и наличие тех или иных функциональных элементов добычи и переработки торфяного сырья, а также их удельная энергоемкость.

Таким образом, ведущим функциональным элементом в технологически связанном комплексе горного оборудования является выемочно-погрузочная машина. На данном этапе по типу выемочной единицы можно выделить четыре схемы:

Схема I «Одноковшовый экскаватор»/манипулятор с выемочным рабочим органом;

Схема II «Многоковшовый экскаватор»;

Схема III «Гидромеханизация»;

Схема IV «Шнековая послойная экскавация» (на полную мощность залегания торфяного пласта или его часть).

При этом должна осуществляться непрерывность работы всего комплекса оборудования с учетом потерь при выполнении основных и вспомогательных операций.

В условиях неподготовленных торфяных месторождений (неосушенных, с наличием древесных включений) экскавируемое торфяное сырье имеет влагу 88-94 %. За процессом экскавации одноковшовым (либо манипулятором с выемочным рабочим органом) или многоковшовыми экскаваторами (схемы I и II) добытое торфяное сырье необходимо сепарировать (в случае схем III и IV с гидромеханизацией или с шнековой послойной экскавацией сепарация не требуется, т.к. сырье будет измельчаться в процессе добычи), поэтому следующей операцией в схеме будет сепарация торфяных и древесных включений. Следующим этапом в схемах I и II торфяное сырье будет поступать на измельчение в дробилках/измельчителях.

Возвращаясь к тому, что торфяное месторождение не подвергается водопонижению и влага добываемого торфяного сырья высока, для последующих стадий переработки ее необходимо понизить.

Оборудованием для механического обезвоживания в потоке для I и II схем может быть горизонтальная центрифуга со шнековой выгрузкой (возможное влагопонижение до 80 % влаги).

В случае схемы III с гидромеханизацией стадию первичного обезвоживания представляет гидроциклон (возможное влагопонижение до 75-65 % влаги). Выбор гидроциклона в качестве функционального элемента для схем классификации, обусловлен, прежде всего, высокой эффективностью разделения и производительностью при относительно небольших размерах. В промышленном производстве единичные гидроциклоны объединяют в комплексы (батареи) для обеспечения необходимой пропускной способности по питанию, подаваемому для разделения.

В схеме IV со шнековым послыйным фрезерованием стадия механического обезвоживания не рассматривается, и торфяное сырье сразу подается на стадию дробления/измельчения.

На последующей стадии торфяное сырье прессуют (возможное влагопонижение до 65-75 % влаги). Эта стадия характерна для всех четырех выбранных схем. Прессование торфа производится без связующих добавок, при этом происходят уплотнение торфа, обезвоживание и его уплотнение в куске за счет сил молекулярного взаимодействия между частицами.

Завершающей стадией переработки будет досушка торфяного сырья, например, в барабанных сушильных установках, также характерная для всех четырех схем добычи (возможное влагопонижение до 45 % влаги). Сушильной камерой в барабанной сушилке служит внутренняя полость барабана, внутри которого по всей длине расположены различного типа лопасти.

Основными видами продукции, которые возможно производить при использовании этих схем для АТДК ГО по добыче и переработке торфяного сырья будут являться:

- полубрикет или кусковой торф – их производство организовано непосредственно в местах добычи и характеризуется низкой степенью прессования;
- брикет – самый высококалорийный продукт с высокой плотностью, достигаемой за счет прессования по специальным технологиям на дорогостоящем оборудовании. Для производства торфяных брикетов требуется укрупнение схемы и внесение в нее дополнительных единиц оборудования;
- торфяные пеллеты (гранулы) – это цилиндрические гранулы небольших размеров. Производство их (так же, как и производство брикетов) включает применение специализированного оборудования. Делаются они под высоким давлением без каких-либо связующих веществ [80, 85].

Рассматриваемый комплекс горного оборудования автоматизирован и имеет единый центр управления, куда поступают информационные сигналы от каждого узла функционального элемента. Тем самым обеспечивается своевременное и необходимое для каждой стадии поступление торфяного сырья. В соответствии с описанной выше схемой взаимодействия функциональных элементов (рисунок 2.2), возможно выделить четыре основных схемы.

Варианты горных машин и оборудования, которые можно применять в качестве функциональных элементов рассматриваемых схем взаимодействия, представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Возможные функциональные элементы АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья согласно рассматриваемым схемам взаимодействия

Операции/ наименова- ние оборудо- вания	Схема I «Од- ноковшовый экскава- тор»/манипу- лятор с вые- мочным рабо- чим органом	Схема II «Много- ковшовый экскаватор»	Схема III «Гид- ромеханизация»	Схема IV «Шнековая послойная экскавация»
Подготовительные работы только касательно монтажа плавучей платформы и установки на ней комплекса оборудования				
Добыча	Экскаватор од- ноковшовый Производи- тельность $Q=280 \text{ м}^3/\text{ч}$ Мощность $N=132 \text{ кВт}$	Экскаватор много- ковшовый $Q=220$ $\text{м}^3/\text{ч}$ $N=154 \text{ кВт}$	Земснаряд $Q=160-320 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=37 \text{ кВт}$	Шнековый ка- навокопатель $Q=1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=120 \text{ кВт}$
Дробление +сепарация	Сепаратор: $Q=6 \text{ м}^3/\text{ч}$, $N=1,1 \text{ кВт}$ Дробилка: $Q=10 \text{ м}^3/\text{ч}$, $N=37 \text{ кВт}$		Первичное дробление торфяного сырья и древесных включений за счет фрезы рабочего органа добыч- ной машин, сепарация не нужна	
Обезвожива- ние в гидро- циклоне/цен- трифуге	Центрифуга $Q=5 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=22 \text{ кВт}$	Центрифуга $Q=5 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=22 \text{ кВт}$	Гидроциклон + погружной шла- мовый насос $Q=200 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=80 \text{ кВт}$	–
Измельчение	Измельчитель $Q=12 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=11 \text{ кВт}$	Измельчитель $Q=12 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=11 \text{ кВт}$	–	Измельчитель $Q=12 \text{ м}^3/\text{час}$ $N=11 \text{ кВт}$
Прессование	Пресс $Q=12 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=3 \text{ кВт}$	Пресс $Q=12 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=3 \text{ кВт}$	Пресс $Q=12 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=3 \text{ кВт}$	Пресс $Q=12 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=3 \text{ кВт}$
Формование гранул	–	–	Пресс-экструдер $Q=5 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=15 \text{ кВт}$	Пресс-экстру- дер $Q=5 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=15 \text{ кВт}$
Обезвожива- ние (сушка)	Барабанная су- шилка $Q=6-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=18,5 \text{ кВт}$	Барабанная су- шилка $Q=6-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=18,5 \text{ кВт}$	Барабанная су- шилка $Q=6-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=18,5 \text{ кВт}$	Барабанная сушилка $Q=6-15 \text{ м}^3/\text{ч}$ $N=18,5 \text{ кВт}$

Исходя из предложенных схем и выбора функциональных элементов (по таблице 2.2) и проведем оценку энергопотребления АТДК ГО по соответствующим схемам. При этом необходимо подчеркнуть, что общие подходы осуществления работы комплекса горного оборудования для добычи и переработки торфяного сырья в масштабе всего комплекса в целом во всех

предлагаемых схемах взаимодействия в некоторой степени схожи. Однако выбор способа выемки сырья определяет дальнейшую укрупненную схему функциональных элементов и удельную энергоемкость добычи и переработки торфяного сырья, определяемую энергозатратами оборудования при его функционировании [80, 89, 91].

Для обоснования и выбора эффективной структуры АТДК ГО была проведена оценка энергопотребления представленных схем комплекса для условной торфяного месторождения, без предварительного водопонижения исходя из данных для базового варианта (см. страницу 51 настоящего раздела) с уточнением по следующим характеристикам:

- Торф верховой;
- Степень разложения торфа $R=25\%$;
- Влага торфа в залежи $W_e=92\%$,
- Плотность торфа в залежи $\gamma_e=960\text{ кг/м}^3$
- Годовая добыча торфяного сырья (m) для производства топлива 45 %-ой влаги – $50 \cdot 10^3\text{ т}$.

Тогда, общий необходимый объем торфяного сырья, извлекаемого из залежи (торф-сырец) определяется по формуле (2.1), м^3 :

$$V = \frac{m(100-W_y)}{\gamma_b(100-W_e)}, \quad (2.1)$$

где γ_b – плотность торфа в залежи, $W_y=45\%$ – влага условного топливного торфа.

По мере прохождения материального потока торфяного сырья от одной группы функциональных элементов комплекса к другой, масса этого сырья V_i будет уменьшаться вместе со снижением влаги в торфе. Потерями на данном этапе пренебрегаем.

Время работы i -того элемента комплекса определяется из выражения (2.2),

ч:

$$t_i = \frac{V_i}{Q_i}, \quad (2.2)$$

где V_i – требуемый объем добываемого торфяного сырья n -ой влаги, %, Q_i – производительность функционального элемента комплекса.

Работа функционального элемента (горной машины/оборудования) комплекса для добычи и переработки торфяного сырья за годичный период определяется произведением времени работы машины (t_i) на величину установленной мощности (N_i) ее привода определяется по формуле (2.3), кВт·ч:

$$A_i = t_i N_i. \quad (2.3)$$

Сделав оценку энергопотребления для каждой из предложенных схем функционирования в таблице 2.2 согласно формулам 2.1-2.3, получаются следующие пооперационные энергозатраты и их суммы (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Пооперационные энергозатраты в МДж для схем функционирования АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья при годовом производстве 50 000 т 45 %.

Операции	Схема I «Одноковшовый экскаватор» / манипулятор с выемочным рабочим органом	Схема II «Многоковшовый экскаватор»	Схема III «Гидромеханизация»	Схема IV «Шнековая послойная экскавация»
Добыча торфяного сырья	517829	768748	203174	109823
Сепарация и дробления сырья	203200 713370	203200 713370 162130	162130	713370 129704
Обезвоживание и разделение при помощи гидроциклона/центрифуги	713370	713370	439292	–
Формование	129704	–	1621300	1621300
Процесс сушки	1621300	1621300	1621300	1621300
Энергозатраты применяемых машин за год их применения	4223029	4538812	4210250	4844007
Удельный расход энергии, МДж/т _{45 %}	84,38	90,72	94,48	96,80

Суммарные энергозатраты по вариантам схем взаимодействия на 1 т у.т. торфяного сырья 45 %-ой влаги составили:

Схема I «Одноковшовый экскаватор»/манипулятор с выемочным рабочим органом – 84,38 МДж/т_{45 %};

Схема II «Многоковшовый экскаватор» – 90,72 МДж/т_{45 %};

Схема III «Гидромеханизация» – 94,48 МДж/т_{45 %};

Схема IV «Шнековая послойная экскавация» – 96,8 МДж/т_{45 %};

При этом суммарные энергозатраты на 1 т 45 % влаги добываемого торфяного сырья при использовании базового комплекса горных машин при производстве фрезерного торфа как это указывалось ранее, составили 107,7 МДж/т_{45 %}, что выше, чем по любой из предложенных схем [9, 82, 89, 91, 103].

Как видно, после выполнения расчетов энергопотребления всех предложенных схем функционирования элементов комплекса оборудования было выявлено, что наименее энергозатратной является комплекс, соответствующий схеме I «Одноковшовый экскаватор»/манипулятор с выемочным рабочим органом.

Для этой структурной схемы комплекса АТДК ГО, как блочно-иерархической структуры, рекомендуемый перечень функциональных элементов (оборудования) включает:

- экскаватор гидравлический одноковшовый/манипулятор с выемочным рабочим органом;
- сепаратор;
- дробилка/измельчитель;
- центрифуга;
- шнековый пресс;
- сушилка барабанного типа;
- бункер-накопитель;
- транспорт – ленточные конвейеры/питатели, водные транспортные шаттлы.

Данная схема АТДК ГО выбрана за основу и в дальнейшем будет рассматриваться как наиболее выгодная по критерию удельной энергоемкости. Важной задачей также является определение функциональных зависимостей изменения мощности и массы от величины производительности функционального элемента. Этой задаче посвящена 3 глава данной работы.

Вместе с тем, учитывая, что единый комплекс горного оборудования, расположенный на базовом элементе (самоходной плавучей платформе) по добыче торфяного сырья требует размещения большого количества единиц оборудования, необходимого для полного цикла производства, а также складирования добытого и перерабатываемого сырья, что безусловно потребует значительных площадей и значительного водоизмещения платформы, целесообразно на плавучем добычном базовом элементе оставить лишь комплекс функциональных элементов (горных машин/оборудования) для добычи и первичной переработки, а именно, сепарации и дробления/измельчения торфяного сырья, а остальное оборудование для переработки, включая обезвоживание, прессование, сушку и генерацию энергии целесообразно сосредоточить на другом базовом элементе, размещенном на борту карьера, доставляя первично сепарированное и измельченное торфяное сырье плавучими контейнерами типа «шаттл», работающими в челночном режиме [82, 84]. В этом случае плавучие транспортные модули также будут иметь свой базовый элемент.

Важным функциональным элементом в комплексе оборудования для добычи и первичной переработки торфяного сырья является внутрикомплексный транспорт, в качестве которого целесообразно применить питатели ленточного типа, а в качестве накопителей торфяного сырья – соответствующие бункеры.

Для обеспечения круглогодичного производства над добычной частью комплекса на базовом элементе (плавучей платформе) следует устанавливать укрытие, которое обеспечивает круглогодичное ведение горно-добычных работ, обеспечивая перемещение платформы по чистой воде в зимний период и добычу торфяного сырья в едином поточном технологическом цикле.

2.3 Аналитическое представление структуры АТДК ГО и ее формализация

В рамках подходов рационального природопользования, реализация которых может осуществляется предлагаемым комплексом горного оборудования для добычи и переработки торфяного сырья, функциональную структуру комплекса можно представить соответствующими функциональными элементами, соединенных логистическими, функциональными или иными связями.

Целью функционирования АТДК ГО является механизация проведения разработки торфяного месторождения. Как было показано в разделе 1.4 первой главы, для осуществления этого процесса в общем случае необходимо наличие в составе системы механизмов (функциональных элементов) и модулей для выполнения следующих операций: добычи (*DB*), сепарации (*SB*), дробления/измельчения (*IzB*), механического обезвоживания (*MO*), прессования (*PrB*), сушки (*SuB*), товарной продукции (*TrB*), электрогенерации (*EB*), транспортирования (*TrB*), объединенные в единую цепочку по средством, обеспечивающих: согласование (-), соединение (+) или совмещение (·) связей [82].

Одним из основных отличий работы комплекса от существующих является отсутствие необходимости различного рода перемещений функциональных элементов в пределах базового элемента.

Наличие базового элемента позволяет идентифицировать АТДК ГО как агрегатированную. Базовый элемент (плавучая платформа) – это конструкция, перемещающая связанные с нею функциональные элементы АТДК ГО относительно проводимой выработки на торфяном месторождении. Подвижный базовый элемент выполняет глобальные перемещения добычной части АТДК ГО. Функциональные элементы конструктивно связаны непосредственно с базовым элементом.

На рисунке 2.3 представлена функциональная блочно-иерархическая структура АТДК ГО, объединяющая перечисленные выше классификационные признаки системы и демонстрирующая принцип структурообразования и построения обобщенной структуры АТДК ГО. Комплекс имеет одну

подсистему – глобальных перемещений, которая состоит из базового элемента. Все функциональные элементы и базовый элемент связаны конструктивно для обеспечения устойчивости базового элемента.

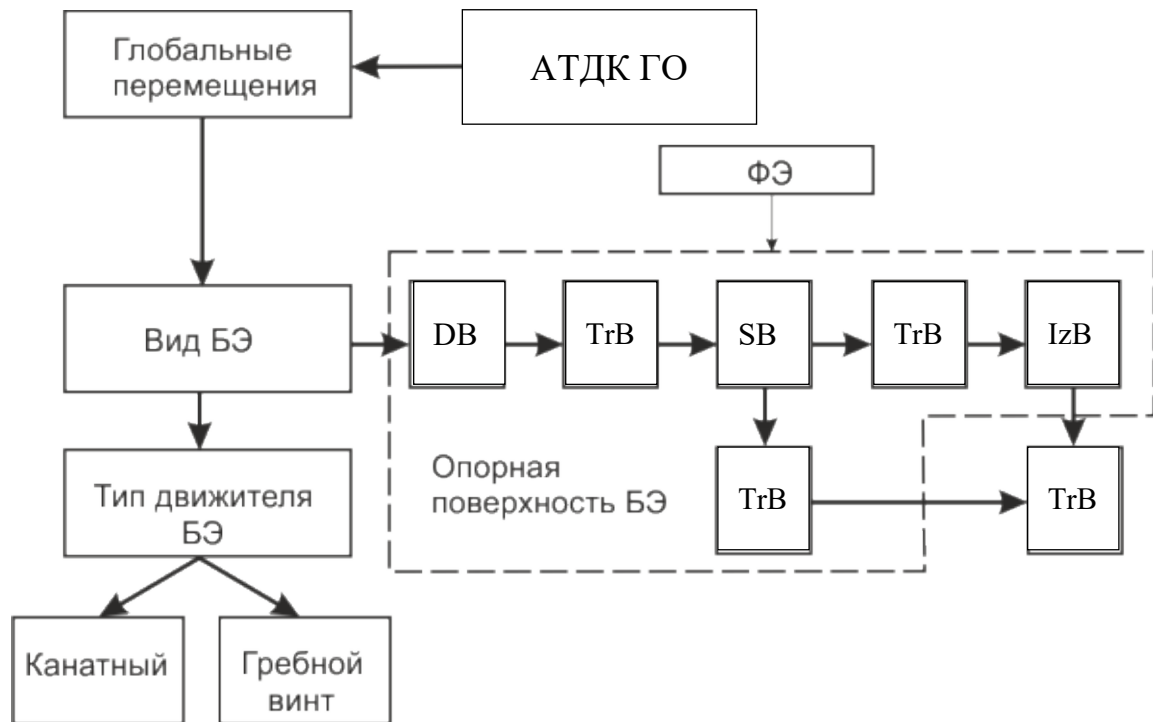


Рисунок 2.3 – Функциональная структура АТДК ГО

Запишем структурную формулу отдельного функционального элемента и условного модуля, куда он входит как составная часть. Основой любого функционального элемента (горной машины/оборудования) является механическая составляющая и ее привод, служащий для приведения в действие исполнительного органа или органа перемещения. Что касается функциональных элементов комплекса, то их привод предпочтительнее иметь электрический или электрогидравлический и, как исключение, ДВС. В этом случае укрупненно структурная формула (2.4) в самом общем виде функционального элемента ($\Phi Э_i$) АТДК ГО может быть представлена следующим образом:

$$\Phi Э_i = ((M_i + Fg_i) + Fe_i) + I_i \cdot E_i, \quad (2.4)$$

где M_i – механическая составляющая, суть механическая трансмиссия исполнительного органа;

Fg_i – гидравлическая трансмиссия и гидропривод;

Fe_i – электрический привод;

E_i – электронная составляющая, формирующая, передающая и осуществляющая обработку электрических сигналов;

I_i – информационная составляющая, обеспечивающая, формирующая, осуществляющая хранение, передачу и обработку информационных сигналов.

Две последние составляющие суть управления (E_i) и обратная связь, а также информационные потоки (I_i) от датчиков, обеспечивающих мониторинг состояния и функционирования, входящих в систему автоматизации.

В представленном выражении (2.4) *механическая составляющая* (M_i) предназначена для передачи движения и совершения механической работы, определяющей производительность функционального элемента (Π_i), а первичная *силовая составляющая* (Fe_i) определяет электропривод функционального элемента (горной машины/оборудования). Зная коэффициент суточного использования функционального элемента (горной машины/оборудования) ($K_{си_i}$) легко оценить как объем произведенного продукта, так и затраты энергии на это производство [82].

Процесс экскавации подразумевает процесс отделения торфяной массы от массива, осуществляемый путем внедрения в него исполнительного (рабочего) органа, смонтированного на манипуляторе и силовой его составляющей в виде гидравлической трансмиссии (гидропривода) манипулятора с электрическим приводом.

Механическая составляющая представляет собой стрелу с выемочным рабочим органом (ковш, грейфер) M_{DB} и тележку с приводом $M_T + Fe_T$, на которой расположен манипулятор и его электрогидравлическая станция $F_{гн} + Fe_{гн}$. Их совместная работа осуществляется через систему управления с учетом информационной составляющих $I_{DB} \cdot E_{DB}$.

Размещенный на базовом элементе экскаватор (или манипулятор с выемочным рабочим органом, установленный на подвижной тележке) детерминировано перемещается по краю платформы. Управление им осуществляется с центрального пульта. Развернутая структурная формула добычной горной машины в нашем случае будет выглядеть так (2.5):

$$\Phi \mathcal{E}_{DB} = ((M_{DB} + Fg_H + Fe_H) + (M_T + Fe_T)) + I_{DB} E_{DB}. \quad (2.5)$$

Для сепарирующей установки $\Phi \mathcal{E}_{SB}$, куда торфяное сырье через приемный бункер поступает на зубья гребенки с приводными валами, далее на питатели подрешетного продукта и древесных включений, механическая составляющая представлена выражением $M_{SB} + Fe_{SB}$. Здесь управление и контроль осуществляется в автоматическом режиме $I_{SB} \cdot E_{SB}$. Структурная формула сепаратора представлена выражением (2.6):

$$\Phi \mathcal{E}_{SB} = (M_{SB} + Fe_{SB}) + I_{SB} \cdot E_{SB}. \quad (2.6)$$

После сепарации торфяное сырье естественной влаги поступает на дробление/измельчение. Механическая составляющая дробилки/измельчителя представлена механической трансмиссией, приводящей в действие всю систему $M_{LБ}$, приводимой в действие от электродвигателя $Fe_{LБ}$. Аналогично сепаратору, последняя работает в автоматическом режиме. Для дробилки/измельчителя структурная формула представлена следующим выражением (2.7):

$$\Phi \mathcal{E}_{LБ} = (M_{LБ} + Fe_{LБ}) + I_{LБ} \cdot E_{LБ}. \quad (2.7)$$

Функциональные элементы (горные машины/оборудование), составляющие АТДК ГО объединены между собой непрерывным транспортом в виде питателей. Структурная формула питателей объединяет механическую составляющую с электрическим приводом и систему управления, и представлена выражением (2.8):

$$\Phi \mathcal{E}_{TrB} = (M_{TrB} + Fe_{TrB}) + I_{TrB} \cdot E_{TrB}. \quad (2.8)$$

Весь АТДК ГО и рассматриваемые его функциональные элементы (горные машины/оборудование) расположены на базовом элементе (самоходной плавучей платформе, техническое решение которого представлено в 4 главе данной работы).

Плавучая платформа оснащена гидроприводом $Fg_{БЭ}$, который приводит в действие весь механизм $M_{БЭ}$ шагания платформы. Управление перемещением платформы осуществляется в автоматическом режиме $I_{БЭ} \cdot E_{БЭ}$. Структурная формула для платформы представлена в выражении (2.9):

$$\mathcal{BЭ} = (M_{БЭ} + Fg_{БЭ} + Fe_{БЭ}) + I_{БЭ} \cdot E_{БЭ}. \quad (2.9)$$

Между базовым элементом и береговой частью комплекса транспортом будут служить, например, шаттлы.

Структурную формула модуля, по аналогии со структурной формулой функционального элемента АТДК ГО запишем следующим образом (2.10):

$$m_j = \Sigma(\Phi \Xi_i) = \Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fg_i) + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i). \quad (2.10)$$

Производительность комплекса горного оборудования будет определяться минимальной производительностью последовательно расположенных в цепочке функциональных элементов, представленных соответствующими модулями, а энергетические затраты суммой произведений соответствующих коэффициентов суточного использования оборудования на величину первичной силовой составляющей функционального элемента.

В итоге, развернутая структурная формула комплекса добычи торфяного сырья (АТДК ГО) с тремя базовыми элементами – перемещения, транспортирования и переработки, может быть представлена в следующем виде (2.11):

$$\begin{aligned} \text{АТДК ГО} = & \Sigma \{ DB[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fg_i) + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] + SB[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] + \\ & + IzB[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] - MO[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + F(e)g) + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] + \\ & + PrB[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] + SuB[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fg_i) + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] - \\ & - nTrB[\Sigma(\Sigma(\Sigma((M_i + Fe_i) + I_i \cdot E_i)_i)_j] \} + I \cdot E, \quad (2.11) \end{aligned}$$

где n – число однотипных транспортных блоков [86].

Применение этой формулы позволяет с одной стороны оптимизировать структуру АТДК ГО путем минимизации составляющих ее машин, модулей и блоков, необходимых для реализации поставленной задачи, с другой стороны оценивать необходимые мощности и величину работы, потребные для добычи и переработки торфяного и сопутствующего сырья при заданных объемах производства товарной продукции.

Таким образом, для АТДК ГО по добыче и первичной переработке торфяного сырья на базовом элементе перемещения БЭп (плавучем комплексе), соответствующей структурной формуле для схемы I «Одноковшовый экскаватор»/манипулятор с выемочным рабочим органом, оставлены только добыча

и первичная переработку может быть представлена следующим выражением (2.12):

$$\begin{aligned} \text{АТДЖГО}_1 = \text{БЭП} [\Phi \text{Э}_{DB} + \Phi \text{Э}_{SB} + \Phi \text{Э}_{LzB} + \Phi \text{Э}_{TrB}] = & ((M_{DB} + Fg_{H1} + Fe_H) + (M_T + Fe_T)) \\ I_{DB} \cdot E_{DB} + (M_{SB} + Fe_{nSB}) + I_{nSB} \cdot E_{nSB} + (M_{nLzB} + Fe_{nLzB}) + & I_{nLzB} \cdot E_{nLzB} + (M_{nTrB} + Fe_{nTrB}) + I_{nTrB} \cdot E_{nTrB} \\ + (M_{\Phi \text{Э}} + Fg_{\Phi \text{Э}} + Fe_{\Phi \text{Э}}) + I_{\Phi \text{Э}} \cdot E_{\Phi \text{Э}}] + I_{\text{АТДЖГО}_1} \cdot E_{\text{АТДЖГО}_1}. \end{aligned} \quad (2.12)$$

При внесении изменений в состав и последовательность расположения функциональных элементов структурная формула может корректироваться.

2.4 Подходы к оценке вероятности безотказной работы АТДЖГО

Уровень надежности различных средств механизации горных работ зависит от надежности и состава функциональных машин, а также от вида и характера связей, объединяющих различные функциональные машины для совместной работы в комплексе [53]. Зная структурную формулу комплекса легко перейти к структурной схеме его надежности.

При последовательном соединении с точки зрения надежности потоки отказов отдельных функциональных элементов комплекса не накладываются, а продолжают друг друга. В этом случае параметр потока отказов комплекса $\omega_k(t)$ в каждый конкретный момент времени равен параметру потока отказов какого-либо отдельного функционального элемента $\omega_i(t)$, а для достаточно длительного периода времени параметр потока отказов комплекса определяется выражением (2.13):

$$\omega_k(t) = \frac{1}{t_{\text{сум}}} \sum_1^N t_i \omega_i(t) + \sum_1^r \omega_j(t), \quad (2.13)$$

где N – число последовательно работающих во времени функциональных элементов комплекса; t_i – продолжительность работы i -элемента за наработку $t_{\text{сум}}$, ч; $t_{\text{сум}}$ – суммарная наработка (ч) всех работающих последовательно функциональных элементов комплекса, определяемая по выражению (2.14):

$$t_{\text{сум}} = \sum_1^N t_i. \quad (2.14)$$

Причем $\sum_1^N \frac{t_i}{t_{\text{сум}}} = 1$; $\sum_1^r \omega_j(t)$ – суммарная величина параметра потока отказов кинематических и конструктивных связей между элементами системы; $\omega_j(t)$ –

параметр потока отказов j -связи; r – количество кинематических и (или) конструктивных связей в комплексе [53].

Потоки отказов кинематических и конструктивных связей накладываются на поочередно сменяемые потоки отказов единичных функциональных элементов и являются как бы фоном работы комплекса. Поэтому величина параметра потока отказов связей в формуле (2.13) дополняет средневзвешенное его значение по функциональным элементам комплекса.

Средняя наработка между отказами комплекса в конкретный момент времени работы равна средней наработке между отказами функционирующего элемента, среднее ее значение для комплекса за наработку t определяется по формулам (2.15-2.16):

$$T_k = \frac{1}{\omega_k(t)}, \quad (2.15)$$

– при известных наработках между отказами отдельных функциональных элементов комплекса.

$$T_k = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{t_{p,i}}{t_k T_i} + \sum_{j=1}^r \frac{t_{p,j}}{t_k T_j}}, \quad (2.16)$$

где $t_{p,i}$ – продолжительность работы i -го функционального элемента, ч; $t_{p,j}$ – продолжительность работы j -й конструктивной связи, ч; t_k – продолжительность работы системы, ч.

Вероятность безотказной работы комплекса АТДК ГО как системы с последовательным взаимодействием определяется по следующему выражению (2.17):

$$P_k = \sum_{i=1}^N \left[\frac{t_{p,i}}{t_k} P(t_{p,i}) \right] + \sum_{j=1}^r \left[\frac{t_{p,j}}{t_k} P(t_{p,j}) \right], \quad (2.17)$$

где $P(t_{p,i})$, $P(t_{p,j})$ – вероятность безотказной работы за время работы соответственно i -го функционального элемента и j -й конструктивной связи [53].

2.5 Алгоритм выбора параметров функциональных элементов АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья для заданных условий функционирования

При формировании АТДК ГО для добычи и первичной переработки торфяного сырья следует учитывать один из немаловажных факторов –

непрерывность материальных и энергетических потоков, о которых говорилось в разделе 2.2 настоящей работы. В условиях неосушенных торфяных месторождений применение линейки существующих машин в качестве функциональных элементов будет неуместным, так как для обеспечения непрерывности движения материальных потоков необходима согласованность производительности применяемых функциональных элементов (горных машин/оборудования) в виде соответствующих модулей по всей цепи АТДК ГО.

Таким образом, не представляется возможным применение единиц оборудования стандартных типоразмерных рядов и требуется создание функциональных элементов комплекса оборудования с техническими характеристиками, взаимоувязанными друг с другом и в первую очередь по величине их производительности. В то же время необходимо иметь выявленные функциональные зависимости массы и мощности этого оборудования от требуемой производительности. На сегодняшний день для единого АТДК ГО с наперед заданным объемом годового условного топлива применительно к добыче и первичной переработке торфяного сырья таких зависимостей не существует [82].

Для выявления этих зависимостей функциональных элементов для добычи и первичной переработки торфяного сырья необходимо провести численный эксперимент, обобщив соответствующие параметры стандартного горного оборудования, что послужит основой для научно обоснованного выбора параметров нестандартного оборудования при создании новых взаимоувязанных между собой функциональных элементов (горных машин/оборудования) в комплексе.

Для создания подобного комплекса горного оборудования и выбора рациональных параметров его функциональных элементов был разработан алгоритм, позволяющий на принципах энергоэффективности и энергосбережения создавать, увязывать параметры функциональных элементов в рамках реализации АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья [82, 86, 88].

Алгоритм выбора основных параметров функциональных элементов комплекса оборудования для добычи и переработки торфяного сырья на неосушенных месторождениях предполагает следующие принципы:

- технические параметры функциональных элементов комплекса взаимосвязаны между собой и выбираются по критерию энергоэффективности;
- их загрузка должна быть максимальна с учетом того, что производительность каждой группы функциональных элементов, входящих в состав комплекса, имеет тенденцию к уменьшению перерабатываемых объемов и массы, вызываемых удалением влаги, повышением энергоплотности торфяного сырья и запланированными технологическими потерями;
- создание искусственных техногенных сред за счет сооружения укрытия, расположенного на базовом элементе (плавучей платформе), в которых будет функционировать оборудование, позволяет повысить сезонность его применения и снизить общее энергопотребление комплекса [82, 87].

На основе выявленных функциональных зависимостей массы и мощности функциональных элементов комплекса горного оборудования от ее производительности обратным ходом по технологической цепочке проводят оценку параметров функциональных элементов.

В итоге определяют количество функциональных элементов, общую массу и требуемые мощности для функционирования АТДК ГО, а также объемы исходного сырья для получения заданных объемов готовой продукции. Полученные данные могут служить основой для технического задания на ранних стадиях процесса проектирования АТДК ГО, а также применение предложенного алгоритма для нескольких схем или вариантов позволяют осуществлять оптимизационный выбор оборудования при минимуме затрат.

Рассмотрим алгоритм подробнее. На первом шаге проводят оценку необходимых объемов экскавации исходя из годовой программы добычи, параметров месторождения с учетом нормативных потерь при добыче и переработке (рисунок 2.4).

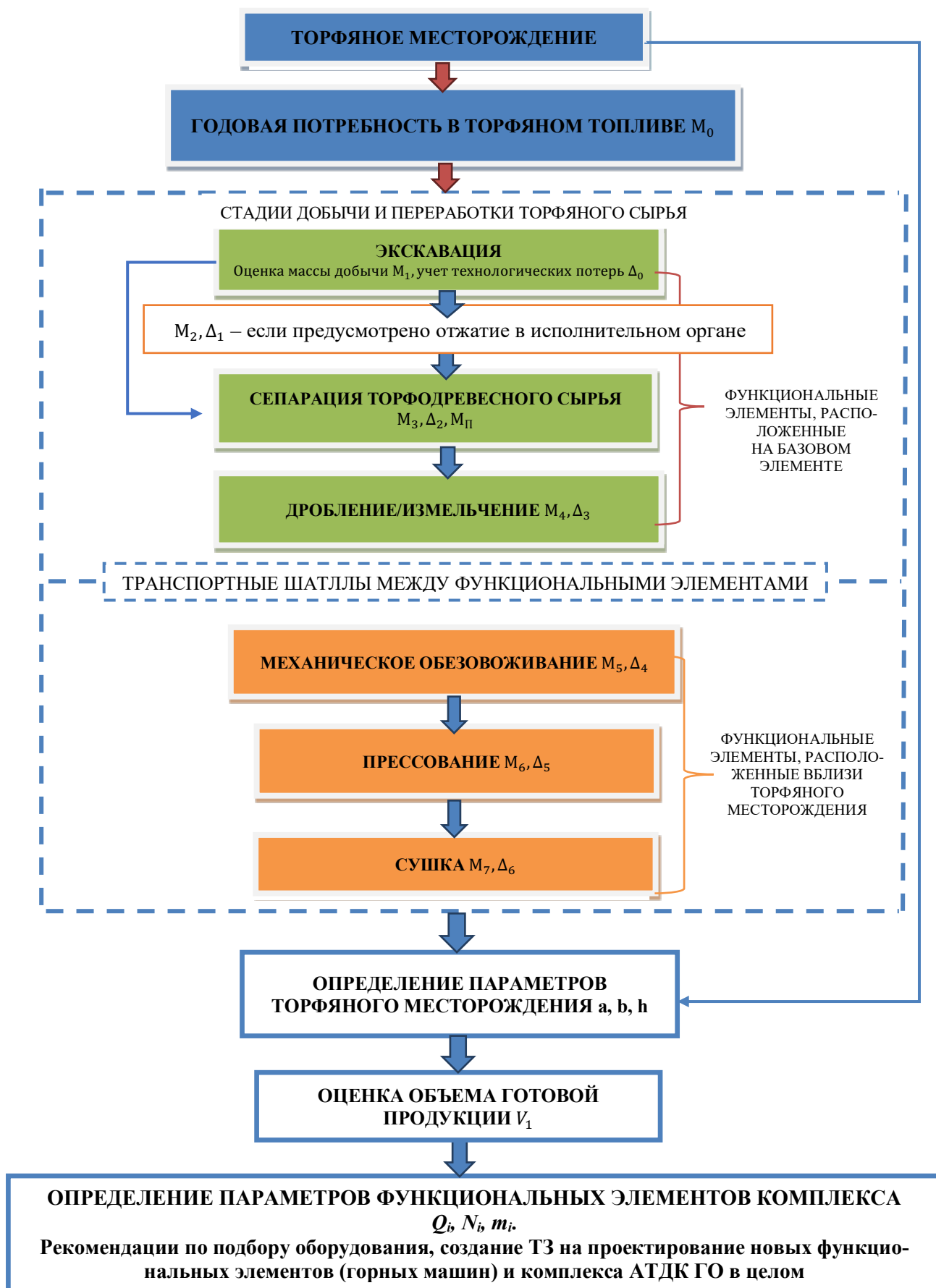


Рисунок 2.4 – Алгоритм по оценке предлагаемых схемных решений АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья в заданных условиях функционирования

Эта оценка проводится в пересчете на абсолютно сухое торфяное сырье по его массе, с последующим обратным пересчетом по выражению 2.1. На каждой стадии ведется учет технологических потерь и идет проверка массы по сухому веществу.

Исходя из годовой программы объема экскавации V_1 определяют число соответствующих функциональных элементов, их производительность $N_{\text{Э}}=f(Q_{\text{Э}})$ и массу $M_{\text{Э}}=f(Q_{\text{Э}})$, а также закладывают величину номинальных потерь Δ_0 . Следующей стадией (следует отметить, что она не является обязательной) в алгоритме заложена стадия предварительного отжатия в выемочном рабочем органе экскаватора с оценкой снижения влаги до 90-88 % и нормированием потерь Δ_1 .

Далее, согласно алгоритму, будет являться стадия сепарации торфодревесного сырья. Объем сырья, поступающий после экскавации M_1 ($M_1=M_2$ в случае, если отжатия не было) также должен согласовываться с производительностью сепаратора $N_{\text{С}}=f(Q_{\text{С}})$, и для учета массы всего оборудования на платформе отслеживаем зависимость $M_{\text{С}}=f(Q_{\text{С}})$.

Завершающей стадией на базовом элементе (на борту самоходной плавучей платформы) будет дробление/измельчение торфяного сырья с заданным объемом (массой) M_4 и с учетом потерь Δ_3 , $N_{\text{Изм}}=f(Q_{\text{Изм}})$, $M_{\text{Изм}}=f(Q_{\text{Изм}})$.

Как уже говорилось в пункте 2.2 настоящей главы и учитывая цель снижения общей металлоемкости комплекса оборудования, остальные стадии по переработке и соответствующие им функциональные элементы будут размещены на борту карьера.

Посредством транспортных водных шаттлов торфяное сырье с заданным объемом (массой) M_5 и с учетом потерь Δ_4 будет подаваться на стадию механического обезвоживания $N_{\text{Об}}=f(Q_{\text{Об}})$, $M_{\text{Об}}=f(Q_{\text{Об}})$, функциональным элементом которого будет являться центрифуга. Учет массы оборудования также ведется и для карьерной части месторождения, так как формирование комплекса оборудования каждый раз будет индивидуальным и будет зависеть от параметров месторождения и годовой потребности в торфе.

Следующей стадией будет являться прессование торфяного сырья, поступающий объем (масса) M_6 после обезвоживания, согласуется с установленной производительностью выбранных прессов $N_{\text{пр}}=f(Q_{\text{пр}})$ и массой $M_{\text{пр}}=f(Q_{\text{пр}})$, нормированные потери Δ_5 .

Завершающим этапом в рамках алгоритма будет являться сушка торфяного сырья M_7 в барабанных сушильных установках с производительностью $N_{\text{суш}}=f(Q_{\text{суш}})$ и массой оборудования $M_{\text{суш}}=f(Q_{\text{суш}})$, номинальные потери Δ_6 также учитываются. На выходе из барабанных сушильных установок получаем массу торфяного сырья M_8 .

Все виды перечисленных элементов (горных машин/оборудования) предлагается сочетать с различными вариантами транспортных элементов: для варианта транспорта сырья на базовом элементе (плавучей платформе) – рассмотрен вариант ленточных питателей (конвейеров) $N_{\text{п}}=f(Q_{\text{п}})$, $M_{\text{п}}=f(Q_{\text{п}})$, для транспорта сырья между двумя основными группами оборудования (добыча-переработка) служат транспортные шаттлы (челноки).

Для реализации алгоритма, описанного выше, в рамках вычислительного эксперимента, используя данные по массе m_i , мощности N_i и производительности Q_i искомым функциональных элементов (горных машин/оборудования), необходимо выявить функциональные зависимости, а также экспериментально в лабораторных условиях оценить принципиальную возможность предварительного отжатия в исполнительном органе экскаватора (манипулятора с выемочным рабочим органом) или бункере накопителе экскавированного торфяного сырья через перфорированную стенку.

2.6 Выводы по главе 2

1. Сформированы основные подходы и принципы реализации рациональных функциональных схем АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья.
2. Выбрана и обоснована схема взаимодействия функциональных элементов АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья с минимальным энергопотреблением.
3. Предложена структурная формула комплекса горного оборудования для добычи и первичной переработки торфяного сырья, отражающая функциональные зависимости его элементов, а также в общем случае представлены формулы определения надежности отдельных функциональных элементов и комплекса в целом.
4. Разработан алгоритм выбора параметров функциональных элементов (горных машин/оборудования) АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья в заданных условиях функционирования.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ АТДК ГО

3.1 Оценка основных параметров функциональных элементов

Ранее перечень функциональных элементов для выбранного АТДК ГО, соответствующего схеме взаимодействия I «Одноковшовый экскаватор»/манипулятор с выемочным рабочим органом был рассмотрен в разделе 2.3 настоящей работы, и представлен алгоритм оценки энергомассовых характеристик функциональных элементов комплекса для добычи и переработки торфяного сырья. В таблице 3.1 представлен перечень функциональных элементов функционирования агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования и их основные параметры в рамках реализации указанного алгоритма.

Таблица 3.1 – Перечень функциональных элементов комплекса оборудования для добычи и переработки торфяного сырья

№ п/п	Функциональный элемент	Параметры, их обозначение и размерность
1	Одноковшовый экскаватор/манипулятор с выемочным рабочим органом	Объем ковша V_k , м ³ ; производительность $Q_э$, м ³ /ч; мощность $N_э$, кВт; масса $m_э$, т.
2	Сепаратор	Производительность $Q_с$, м ³ /ч; мощность $N_с$, кВт; масса $m_с$, т.
3	Дробилка/измельчитель	Производительность $Q_{изм}$, м ³ /ч; мощность $N_{изм}$, кВт; масса $m_{изм}$, т.
4	Обезвоживающая центрифуга	Производительность $Q_{об}$, м ³ /ч; мощность $N_{об}$, кВт; масса $m_{об}$, т.
5	Пресс	Производительность $Q_{пр}$, м ³ /ч; мощность $N_{пр}$, кВт; масса $m_{пр}$, т.
6	Барабанная сушильная установка	Производительность $Q_{суш}$, м ³ /ч; мощность $N_{суш}$, кВт; масса $m_{суш}$, т.
7	Питатель ленточный	Производительность $Q_{п}$, м ³ /ч; мощность $N_{п}$, кВт; масса ленты $m_{п}$, т.

Экскаватор (манипулятор с выемочным рабочим органом) – это определяющий функциональный элемент в блочно-иерархической структуре комплекса добычи и переработки торфяного сырья, агрегируемый с базовым функциональным элементом перемещения (самоходной плавучей платформой). Для экскавации торфяного сырья целесообразно применять гидравлические экскаваторы или их производные – манипуляторы с выемочным рабочим

органом, так как они обладают большей технологичностью в рамках добычного комплекса по сравнению с механической лопатой.

В качестве рабочего органа выступает стрела, рукоять с ковшем или грейфером и силовая гидравлика. Экскаваторы относятся к горным машинам циклического действия, которые выполняют последовательно операции: копания, обеспечивающую резание торфяного массива месторождения с образованием стружки и заполнение объема ковша торфяным сырьем; перемещение наполненного исполнительного органа и его выгрузку в приемный бункер или транспортную тележку; возврат в исходное положение порожнего исполнительного органа для повторения цикла работ.

Продолжительность рабочего цикла составляет от 10 до 90 секунд и определяется типоразмером оборудования и углом поворота на выгрузку.

Были проанализированы современные гидравлические экскаваторы и их рабочее оборудование от различных производителей: Komatsu, CAT, Hitachi, Volvo, «ТВЭКС». Технические характеристики (таблица 3.2) всех экскаваторов взяты с официальных сайтов их производителей [18, 31, 95, 96, 97]. Помимо массы экскаватора ($m_{\text{Э}}$), его мощности ($N_{\text{Э}}$) и производительности, объема исполнительного органа, в данном случае ковша экскаватора ($V_{\text{К}}$) и его массу ($m_{\text{К}}$) необходимо учитывать массы рукояти ($m_{\text{Р}}$) и стрелы ($m_{\text{С}}$) и в сумме их процент от общей массы экскаватора.

Таблица 3.2 – Технические характеристики гидравлических экскаваторов

№	Марка	$Q_{\text{Э}}$, м ³ /ч	$N_{\text{Э}}$, кВт	$m_{\text{Э}}$, т	$V_{\text{К}}$, м ³	$m_{\text{Р}}$, т	$m_{\text{С}}$, т	$m_{\text{К}}$, т	% ($m_{\text{РСК}}$) от $m_{\text{Э}}$
1	Cat 318 D2L	46,7	93,0	17,8	0,91	0,9	1,3	0,7	15,7
2	Hitachi ZX200-5G	41,0	90,0	19,8	0,80	0,9	2,2	0,7	18,6
3	Hitachi ZX240-5G	51,3	132,0	23,4	1,00	1,3	2,7	0,9	20,6
4	SK 210 LC-8	46,0	103,0	20,8	1,00	0,8	1,6	0,6	14,6
5	EK 240	56,4	127,0	22,8	1,10	1,1	1,9	0,9	17,2
6	CAT 320 GC	57,3	107,0	20,5	1,00	1,0	1,7	0,8	16,7
7	CAT 313D2 L	27,2	68,0	13,7	0,53	0,5	1,0	0,5	14,8
8	Komatsu PC200/LC	46,2	103,0	19,3	0,90	0,9	1,3	0,7	14,4
9	Volvo 250D	58,5	133,0	24,6	1,14	1,4	2,4	1,1	19,6
10	Volvo E220D	49,8	115,1	20,9	0,97	1,1	2,0	0,9	18,9
11	Volvo EC200D	47,2	115,1	19,8	0,92	1,0	1,9	0,8	18,6
12	Volvo EC140DL	37,4	73,3	13,6	0,73	0,6	1,1	0,5	16,5

№	Марка	$Q_{\text{Э}}$, м ³ /ч	$N_{\text{Э}}$, кВт	$m_{\text{Э}}$, т	$V_{\text{К}}$, м ³	$m_{\text{Р}}$, т	$m_{\text{С}}$, т	$m_{\text{К}}$, т	% ($m_{\text{РСК}}$) от $m_{\text{Э}}$
13	Hitachi ZX130-5G	30,3	66,5	12,8	0,59	0,6	1,2	0,4	17,4
14	Hitachi ZX160LC-5G	42,1	90,2	16,6	0,82	0,8	1,6	0,6	18,1
15	Hitachi ZX180LC-5G	35,9	90,2	18,4	0,70	0,9	1,9	0,6	18,2
16	ZX210LCN-5A	46,0	113,3	21,0	1,00	0,9	2,1	0,7	17,6
17	TVEX 140LC	33,3	90,4	14,2	0,70	0,4	0,9	0,4	11,7
18	TVEX 140 W	41,0	90,4	14,4	0,80	0,4	0,9	0,6	12,6
19	TVEX 180W	48,3	90,4	17,6	1,00	0,4	1,2	0,6	12,7
20	TX220NLC	56,4	147	23,0	1,10	1,1	1,8	0,9	16,3

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией искомым функциональным зависимостей: $N_{\text{Э}} = f(Q_{\text{Э}})$, $m_{\text{Э}} = f(Q_{\text{Э}})$, $V_{\text{К}} = f(Q_{\text{Э}})$, а также $m_{\text{РСК}} = f(m_{\text{Э}})$, $m_{\text{РСК}} = f(Q_{\text{Э}})$.

Графически функции представлены на рисунках 3.1-3.3, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.1-3.3. Высокие значения R^2 говорят о наличии выявленных реально существующих функциональных зависимостях.

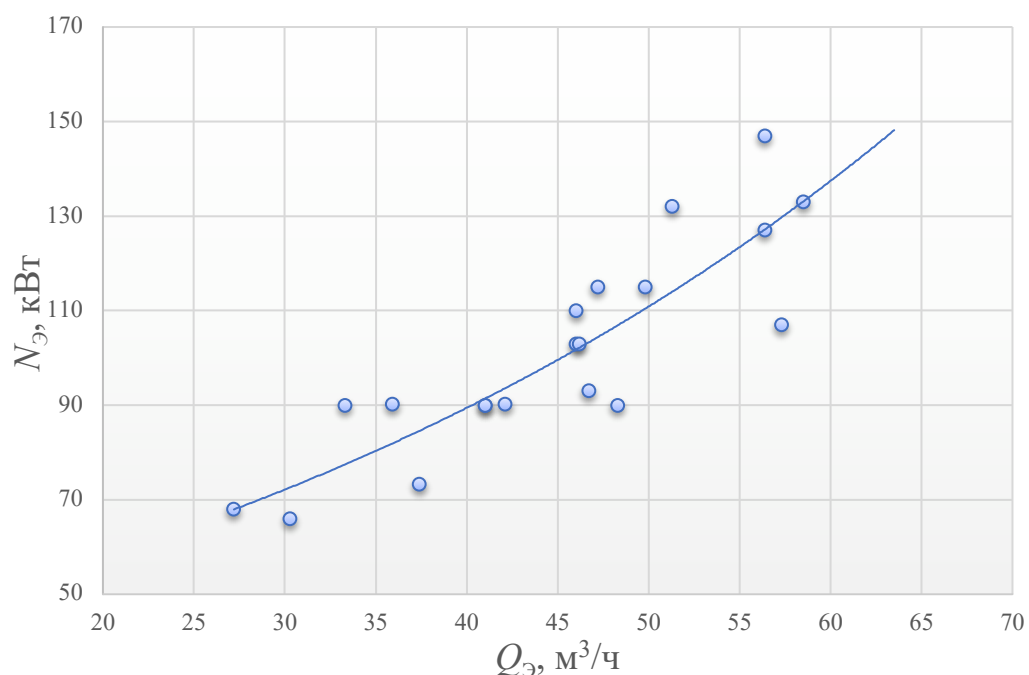


Рисунок 3.1 – Зависимость мощности экскаватора от его производительности, м³/ч

$$N_{\text{Э}}(Q_{\text{Э}}) = 37,9e^{0,02 Q_{\text{Э}}} \quad (3.1)$$

$$R^2 = 0,78$$

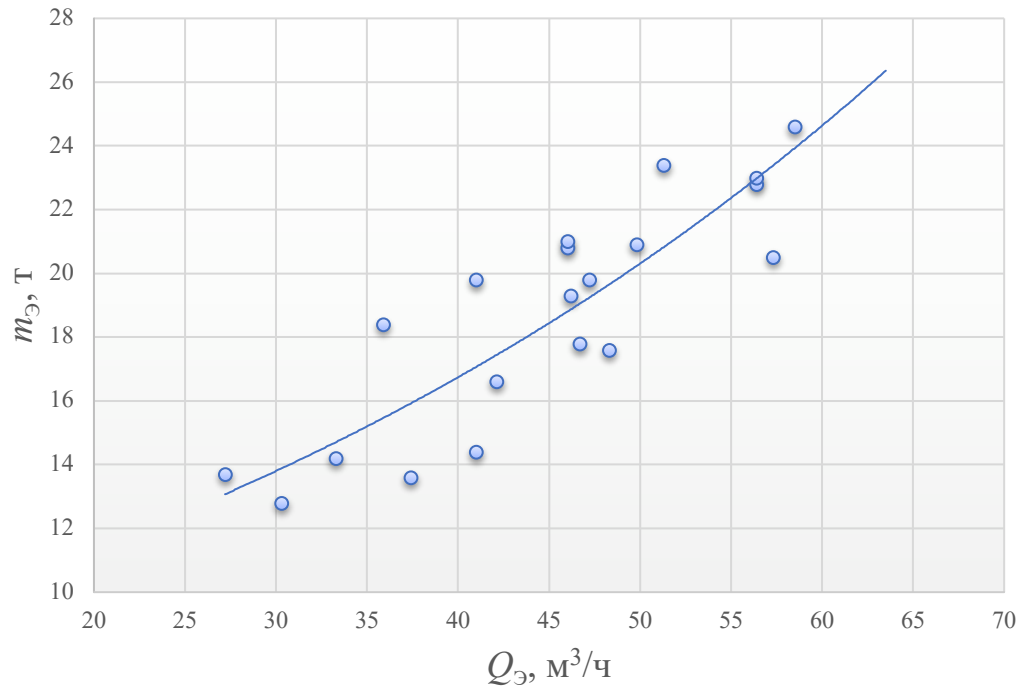


Рисунок 3.2 – Зависимость массы экскаватора от его производительности, м³/ч

$$m_{э}(Q_{э}) = 7,7e^{0,02 Q_{э}} \quad (3.2)$$

$$R^2 = 0,75$$

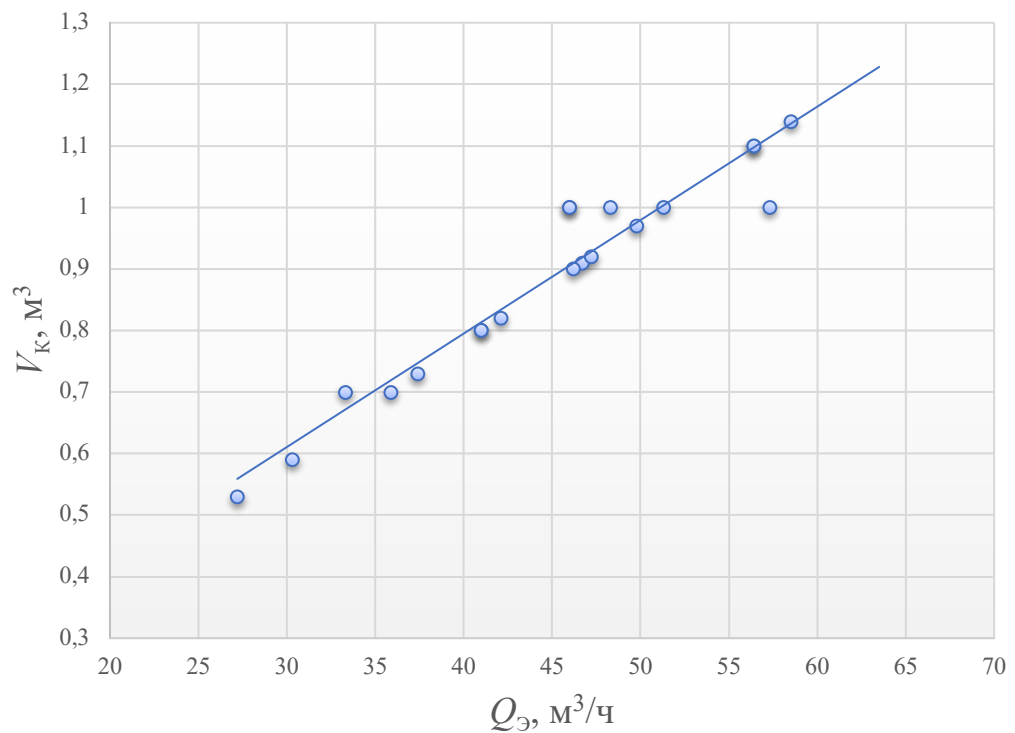


Рисунок 3.3 – Зависимость объема ковша экскаватора от его производительности,

$$V_{к}(Q_{э}) = 0,02Q_{э} + 0,06 \quad (3.3)$$

$$R^2 = 0,93$$

В общем случае полученную зависимость для ковша возможно распространить и на исполнительный орган в виде копающего грейфера, при этом как в первом, так и во втором случае, для создаваемого АТДК ГО потребуется специальное оборудование, основные параметры которого должны отвечать выявленной зависимости.

В связи с тем, что один из критериев, предъявляемых к функциональному элементу (горной машине/оборудованию) и к комплексу в целом, является снижение массы оборудования, целесообразно на базовом элементе (в рамках самоходной плавучей платформы) применять лишь его выемочное рабочее оборудование и стрелу. Манипулятор с выемочным рабочим органом устанавливается на подвижную тележку, которая может перемещаться по базовому элементу (на борту самоходной плавучей платформы) в заданном направлении и отрабатывать забой. Управление манипулятором осуществляется из единого центра управления комплексом.

Имея данные по массе целого экскаватора и его составляющих (рукоять, стрела, исполнительный орган), для дальнейшего проектирования можно оценить процент от массы экскаватора, который необходим для работы на плавучей платформе, состоящий из манипулятора (таблица 3.2) с подвижной тележкой и устройством предотвращения от опрокидывания.

Из таблицы 3.2 также можно увидеть, что диапазон массы необходимых элементов экскаватора варьируется в пределах от 11 до 21 %. На основании этих данных также выведены функциональные зависимости 3.4-3.5 и представлены графически (рисунки 3.4, 3.5).

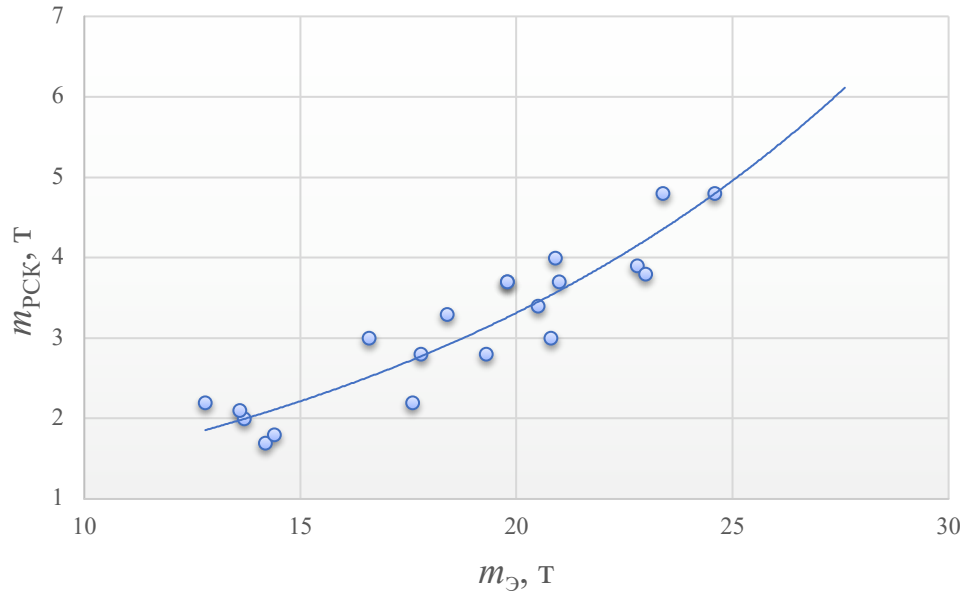


Рисунок 3.4 – Зависимость суммарной массы рукояти, стрелы и исполнительного органа экскаватора от массы экскаватора, т

$$m_{\text{РСК}}(m_{\text{Э}}) = 0,66e^{0,08m_{\text{Э}}} \quad (3.4)$$

$$R^2 = 0,84$$

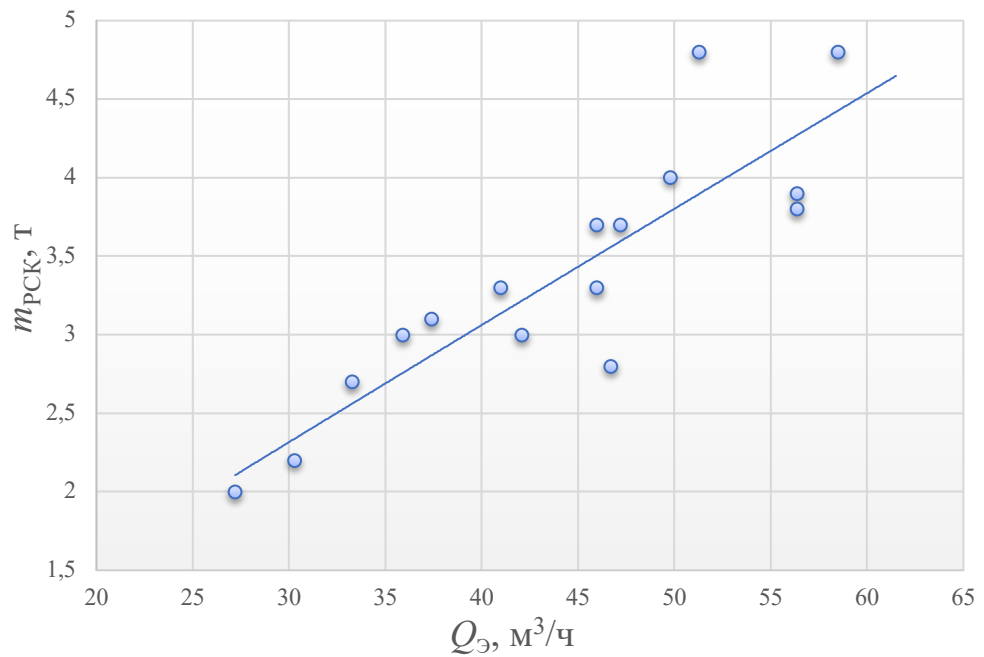


Рисунок 3.5 – Зависимость суммарной массы рукояти, стрелы и исполнительного органа экскаватора от его производительности, м³/ч

$$m_{\text{РСК}}(Q_{\text{Э}}) = 0,085Q_{\text{Э}}^{0,97} \quad (3.5)$$

$$R^2 = 0,81$$

Сепаратор

Отделение древесных включений от торфа относится к разделительным процессам, целью которых является получение сортовых продуктов при максимальном комплексном использовании сырья. На этой стадии в качестве функционального элемента применяются сепараторы различных конструкций: клавишно-ситовой, роторный (валковый), валково-дисковой и др.

При анализе существующего оборудования для сепарации влажного торфяного сырья влагой 85-90 % выявлено, что целесообразно применять сепараторы роторного типа. Они представляют собой систему параллельно расположенных активных валов (роторов) с укрепленными на них дисками.

Для анализа характеристик сепараторов были выбраны модели отечественных производителей, технические характеристики последних представлены в таблице 3.3 [67, 75].

Таблица 3.3 – Технические характеристики сепараторов

№	Марка/модель	Q_C , м ³ /ч	N_C , кВт	m_c , т
1	СД-5у	6,0	1,1	0,50
2	СД-5	8,0	1,1	0,50
3	СД-7у	8,0	1,1	0,75
4	СД-5ш	9,5	1,1	0,50
5	СД-7	11,0	1,1	0,75
6	СД-9у	11,0	1,1	1,00
7	СД-7ш	14,0	1,1	0,75
8	СД-9у	14,5	1,1	1,00
9	С 260/0,75	15,0	4,0	1,50
10	СД-11	16,0	1,1	1,30
11	СД-9ш	18,0	1,1	1,00
12	С 260/0,75	30,0	4,0	1,50
13	СД БК-30	30,0	5,5	2,10
14	ДС-1200	40,0	7,5	2,50
15	КОМПТЕСН DISC	40,0	10,0	3,00

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией функциональных зависимостей: $N_C = f(Q_C)$, $m_c = f(Q_C)$.

Графически функции представлены на рисунках 3.6-3.7, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.6-3.7.

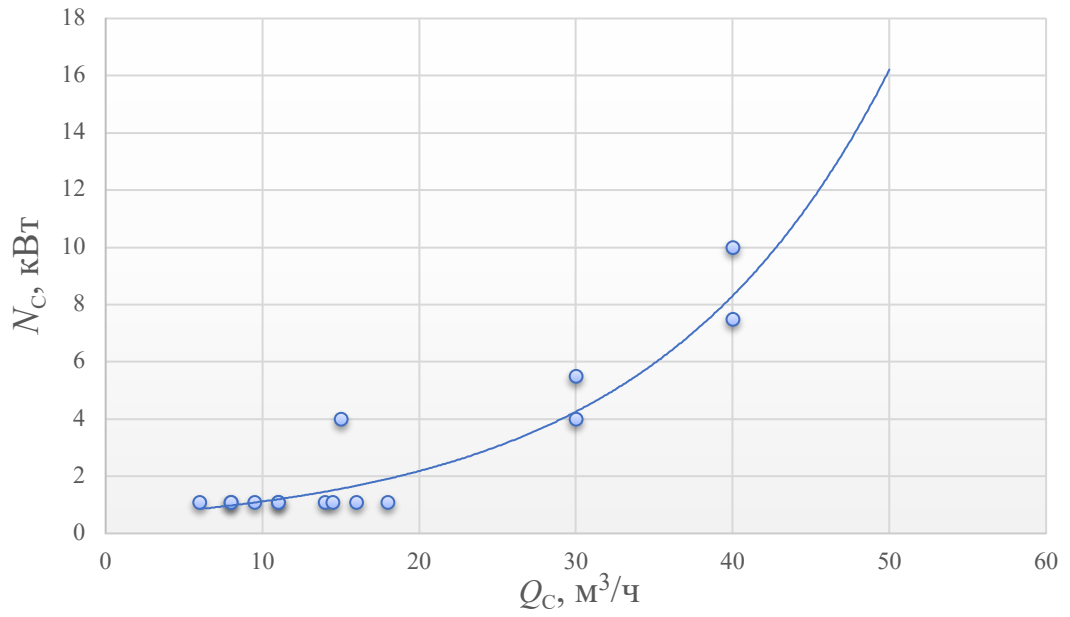


Рисунок 3.6 – Зависимость мощности сепаратора от его производительности, м³/час

$$N_c(Q_c) = 0,57e^{0,07Q_c} \quad (3.6)$$

$$R^2 = 0,82$$

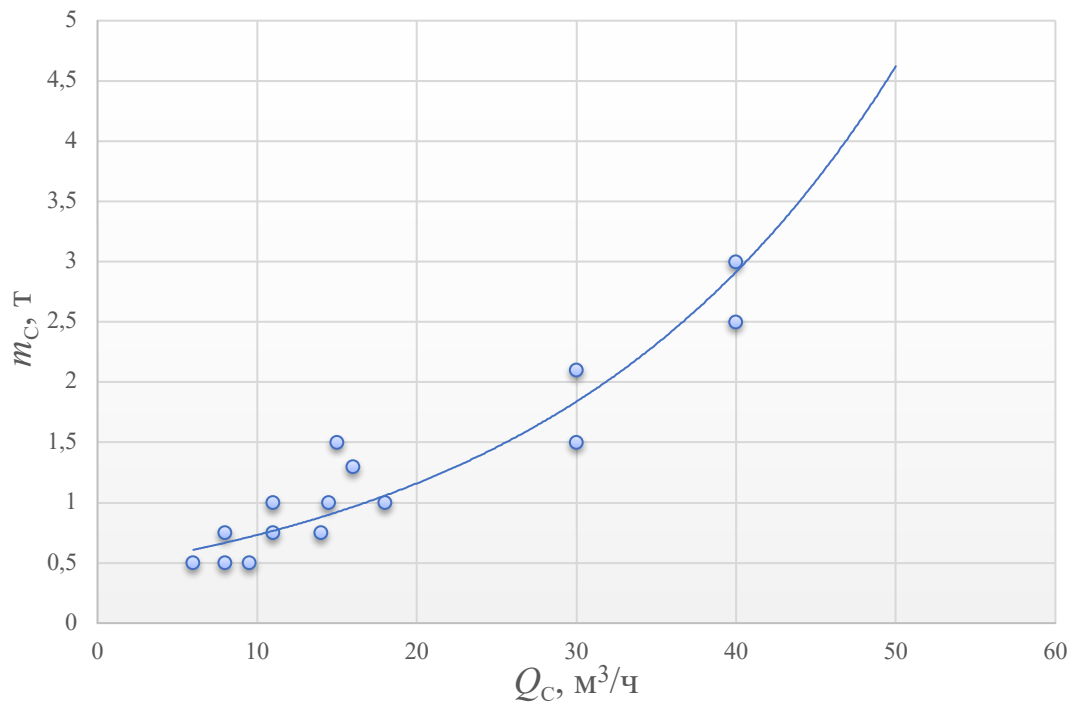


Рисунок 3.7 – Зависимость массы сепаратора от его производительности, м³/ч

$$m_c(Q_c) = 0,46e^{0,05Q_c} \quad (3.7)$$

$$R^2 = 0,83$$

Дробилка/измельчитель

В рамках рассматриваемой работы, для размещения на базовом функциональном элементе агрегатированным с ним будет функциональный элемент дробления/измельчения торфяного сырья. При его работе происходит разрушение кусков торфяного сырья, прошедших через сепаратор мерзлых кусков (в зимний период) и древесных включений до заданных размеров.

В качестве функционального элемента комплекса оборудования для измельчения рассматриваются зубчатые валковые дробилки, оснащенные валками с закрепленными на них зубчатыми сегментами, имеющими форму многогранника, жестко насаженного на вал. Они предназначены для дробления сырья, путем разрушения затягиваемого между двумя параллельными валками, вращающимися с одинаковой скоростью навстречу друг другу. Валковые дробилки имеют ряд преимуществ наряду с другими дробильными машинами, одно из важных – это возможность работы с влажным сырьем, а также невысокий расход энергии, надежность и простота эксплуатации, возможность регулировать размер межвалкового зазора, наличие защиты от попадания не дробимых материалов, однородность конечного материала по крупности. Технические характеристики дробилок и измельчителей представлены в таблице 3.4 [10, 32].

Таблица 3.4 – Технические характеристики дробилок и измельчителей

№	Марка/модель	$Q_{\text{изм}}$, м ³ /ч	$N_{\text{изм}}$, кВт	$m_{\text{изм}}$, т
1	Molot-3000	3	7,5	0,8
2	ДВ-5	5	8,0	1,8
3	Molot-5000	5	11,0	1,3
5	ДВГ 2x450x500	8	11,0	1,1
6	Molot-10000	10	22,0	2,0
7	ДВ-10	10	22,0	3,0
8	СМД 10	12	11,0	1,4
9	ДВР 2/500	16	15,0	2,7
10	DLF-80	20	18,5	3,0
11	РДИ 2/490	29	18,5	2,5
12	ДВР 2L	30	18,5	3,8
13	ДВЗ 2М	40	22,0	2,4

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией функциональных зависимостей: $N_{\text{изм}} = f(Q_{\text{изм}})$, $m_{\text{изм}} = f(Q_{\text{изм}})$.

Графически функции представлены на рисунках 3.8-3.9, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.8-3.9.

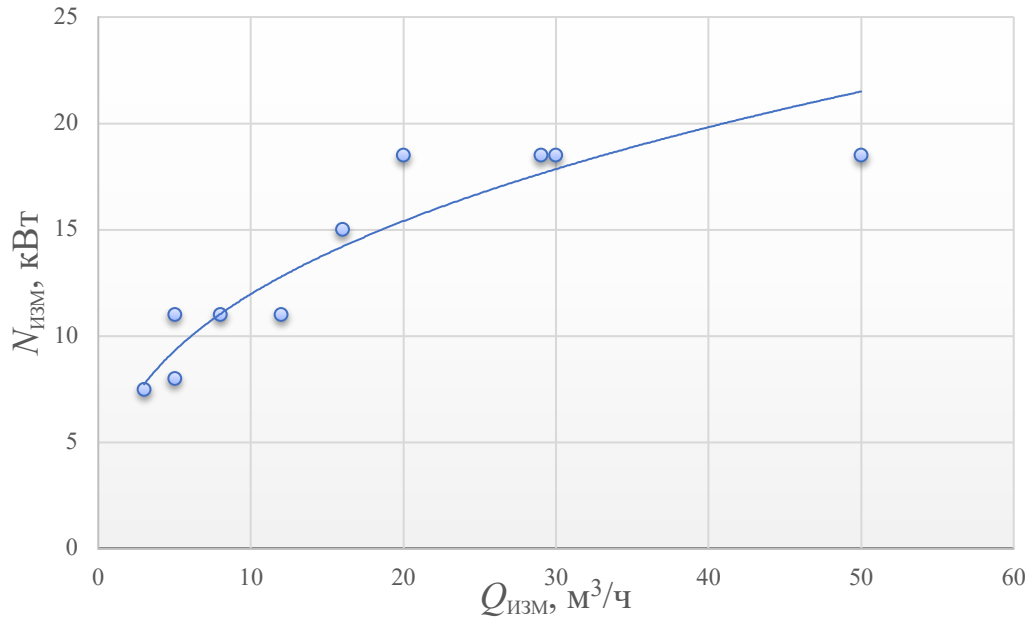


Рисунок 3.8 – Зависимость мощности дробилки/измельчителя от производительности, м³/ч

$$N_{\text{изм}}(Q_{\text{изм}}) = 5,2Q_{\text{изм}}^{0,4} \quad (3.8)$$

$$R^2 = 0,88$$

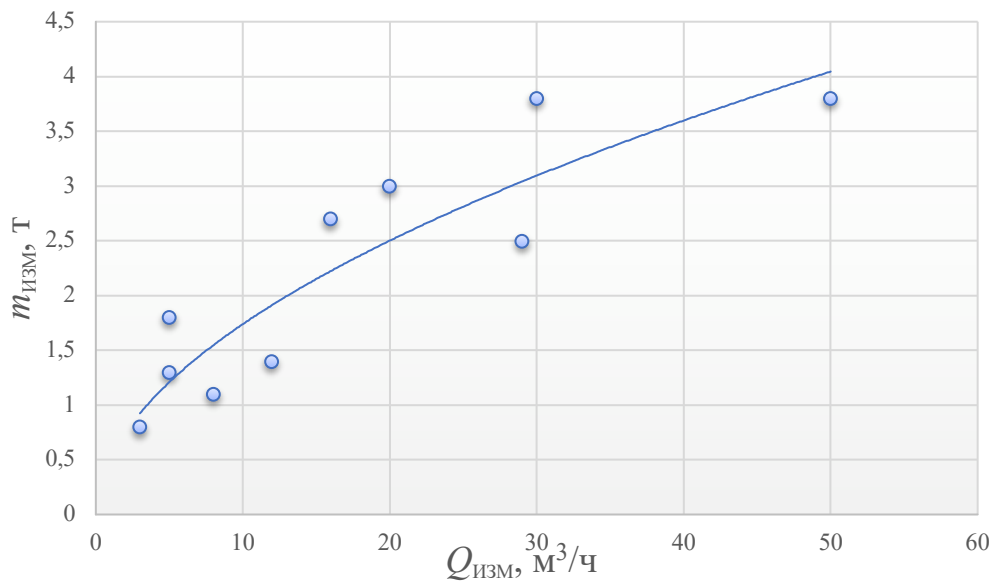


Рисунок 3.9 – Зависимость массы дробилки/измельчителя от производительности, м³/ч

$$m_{\text{изм}}(Q_{\text{изм}}) = 0,52Q_{\text{изм}}^{0,53} \quad (3.9)$$

$$R^2 = 0,79$$

Обезвоживающая центрифуга

Обезвоживание торфяного сырья один из самых энергоемких и сложных процессов, реализуемых агрегатированным торфодобывающим комплексом горного оборудования. В качестве обезвоживающего функционального элемента были выбраны центрифуги непрерывного действия.

Основные преимущественные характеристики центрифуги для стадии первичного обезвоживания: непрерывная работа; высокая производительность (от 10 до 40 м³/ч и выше); высокая степень отжима (удаляется до 50-70 % влаги по отжимаемой массе (для сапропеля, торфа); невысокие энергозатраты; обезвоживание сырья с включениями [67, 68].

Таблица 3.5 – Технические характеристики горизонтальных и вертикальных центрифуг для обезвоживания

№	Марка/модель	$Q_{\text{ОБ}}$, м ³ /ч	$N_{\text{ОБ}}$, кВт	$m_{\text{ОБ}}$, т
1	LLW320	2,5	8	0,7
2	LLW350	3,0	11	1,0
3	LLW450	5,0	22	1,5
4	GNLW223	6,0	11	0,8
5	LLW530	10,0	30	2,0
6	LLL500	20,0	15	0,9
7	GNLW363CG	30,0	37	3,5
8	GNLW363CG-VFD	30,0	37	3,4
9	GNLW363CD	30,0	37	3,5
10	GNLW363CD-VFD	30,0	37	3,4
11	LLW900G	35,0	45	3,9
12	LLL600	40,0	30	2,9
13	LLL700	60,0	45	3,4
14	GNLW453C-VFD	60,0	55	4,6
15	GNLW553C-VFD	90,0	90	5,8

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией функциональных зависимостей: $N_{\text{ОБ}} = f(Q_{\text{ОБ}})$, $m_{\text{ОБ}} = f(Q_{\text{ОБ}})$.

Графически функции представлены на рисунках 3.10-3.11, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.10-3.11.

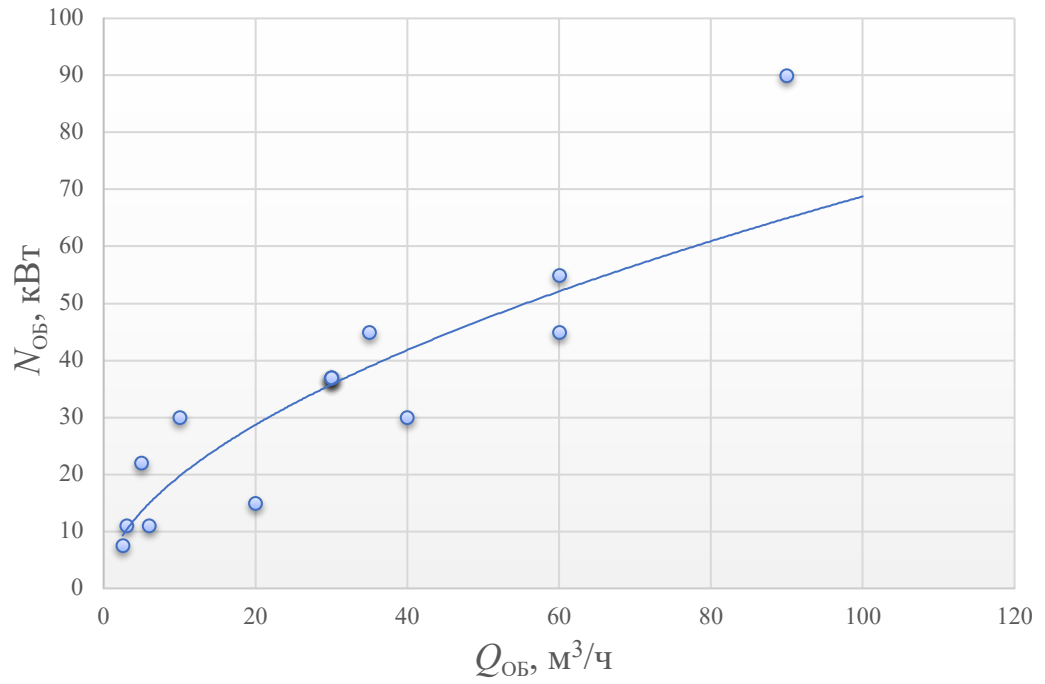


Рисунок 3.10 – Зависимость мощности центрифуги от ее производительности, м³/ч

$$N_{\text{ОБ}}(Q_{\text{ОБ}}) = 5,6Q_{\text{ОБ}}^{0,5} \quad (3.10)$$

$$R^2 = 0,81$$

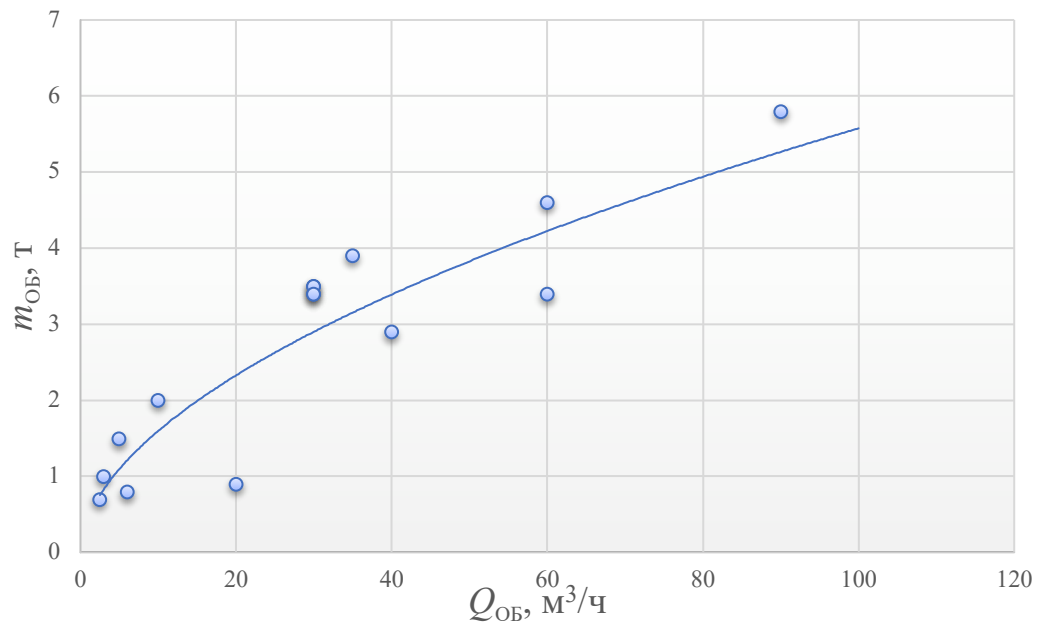


Рисунок 3.11 – Зависимость массы центрифуги от ее производительности, м³/ч

$$m_{\text{ОБ}}(Q_{\text{ОБ}}) = 0,46Q_{\text{ОБ}}^{0,54} \quad (3.11)$$

$$R^2 = 0,77$$

Пресс

В настоящее время для прессования торфяного сырья в основном применяются прессы непрерывного действия [26, 72]. Они имеют шнек, расположенный внутри решетчатой клетки. Зазор между клетью и шнеком меняется по всей длине прессы с учетом объема отделяемой влаги и для обеспечения постепенно возрастающего давления на сырье. Влага вытекает через решетку клетки, а торфяное сырье выходит из прессы через свободное пространство формовочного конуса. Технические характеристики [67] прессов представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Технические характеристики прессов

№	Марка/модель	$Q_{\text{пр}}$, м ³ /ч	$N_{\text{пр}}$, кВт	$m_{\text{пр}}$, т
1	СОШ-175	3	5,5	0,6
2	ПБЭ-273	2	3,0	1,0
3	ПБЭ-325	4	3,0	1,3
4	СОШ-230	5	7,5	0,7
5	ПВ-500-1	5	8,0	2,0
6	ПБЭ-325	6	3,0	1,3
7	ПБЭ-425	8	5,0	1,9
8	ПБЭ-425	10	5,0	1,9
9	СОШ-270	10	7,5	0,9
10	ВПНД-10	10	10,0	2,5
11	ПВ-500-2	10	11,0	2,4
12	ПНЖ-68	15	11,0	3,7
13	ВПО-20А	20	13,0	3,9
14	ВПО-30А	30	17,0	4,8
15	ВПО-50	50	24,2	8,0

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией функциональных зависимостей: $N_{\text{пр}} = f(Q_{\text{пр}})$, $m_{\text{пр}} = f(Q_{\text{пр}})$.

Графически функции представлены на рисунках 3.12-3.13, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.12-3.13.

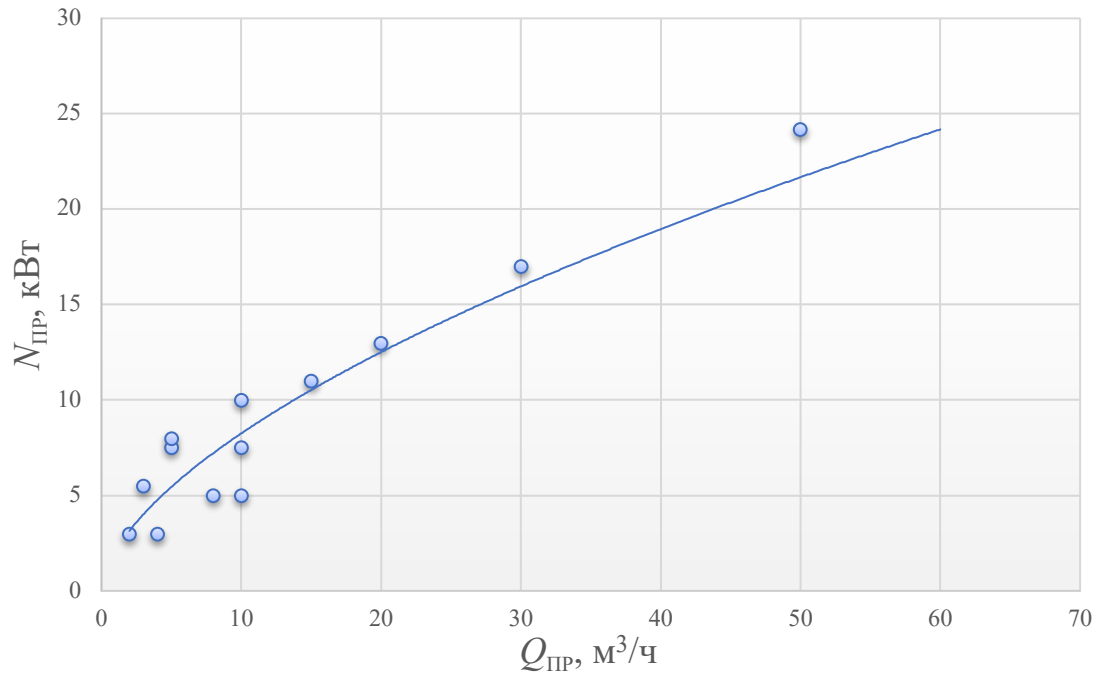


Рисунок 3.12 – Зависимость мощности пресса от его производительности, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$N_{\text{ПР}}(Q_{\text{ПР}}) = 2,01Q_{\text{ПР}}^{0,6} \quad (3.12)$$

$$R^2 = 0,78$$

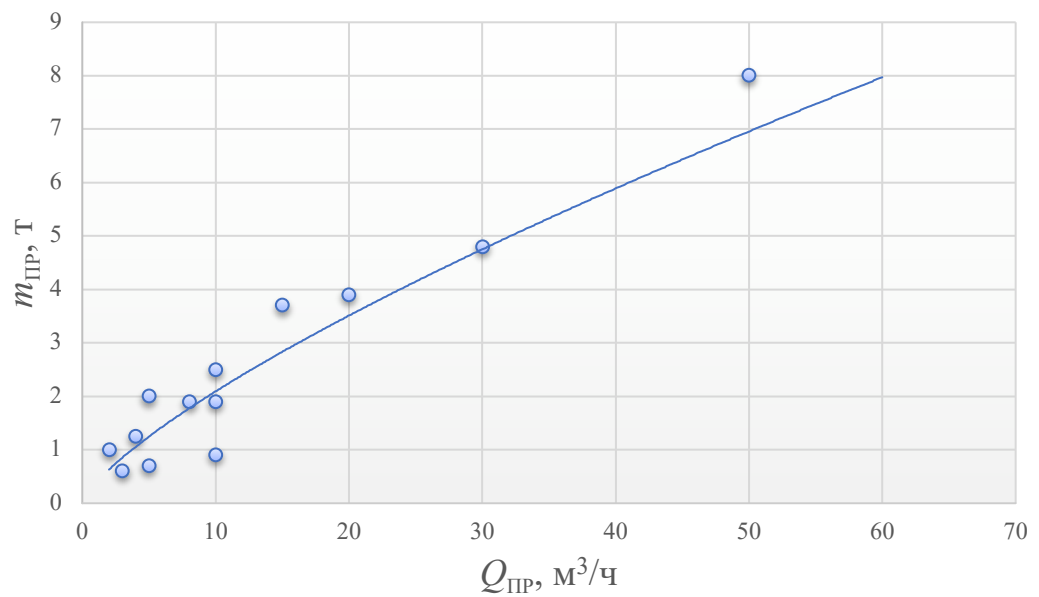


Рисунок 3.13 – Зависимость массы пресса от его производительности, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$m_{\text{ПР}}(Q_{\text{ПР}}) = 0,4Q_{\text{ПР}}^{0,75} \quad (3.13)$$

$$R^2 = 0,76$$

Барabanная сушильная установка

Сушку торфяного сырья до кондиционной влаги осуществляют в барабанных сушильных установках. Их производительность при сушке зависит от типа материала, влаги в нем, размера фракции, плотности исходного материала, коэффициента загрузки и температуры агента, подаваемого в сушильный барабан при использовании нормативного топлива. Рассматриваемые параметры барабанных сушильных установок представлены в таблице 3.7 [3, 13, 67].

Таблица 3.7 – Технические характеристики барабанных сушильных установок

№	Марка/модель	$Q_{суш}$, м ³ /ч	$N_{суш}$, кВт	$m_{суш}$, т
1	СУ0,8	1	2,2	4
2	HG0606	2	3,0	4
3	СУ1,0	2	2,2	6
4	HG0808	2	4,0	6
5	СУ1,2	3	3,0	8
6	ПСП-1600/9-15	5	4,0	10
7	ПСП-1220/8-10	10	4,0	12
8	ПСП-1600/9-15	15	5,5	14
9	HG1812	12	18,0	17
10	HG2212	15	18,5	21
11	HG2218	18	22,0	23
12	HG2220	20	30,0	26
13	HG2420	25	37,0	28
14	HG3020	35	55,0	30
15	HG3025	40	75,0	33

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией функциональных зависимостей: $N_{суш} = f(Q_{суш})$, $m_{суш} = f(Q_{суш})$.

Графически функции представлены на рисунках 3.14-3.15, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.14-3.15.

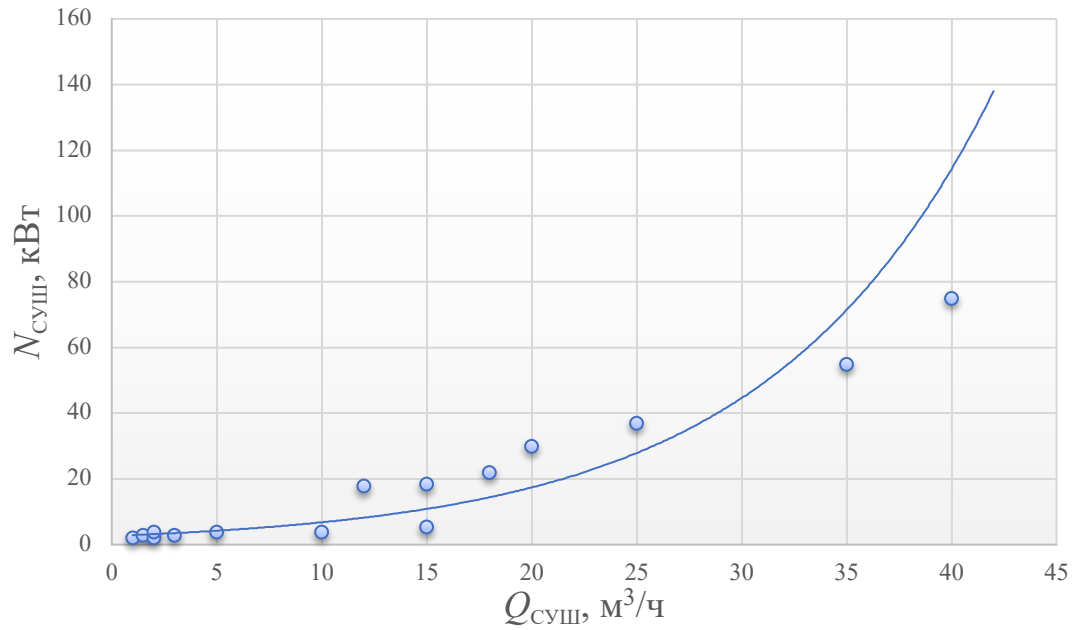


Рисунок 3.14 – Зависимость мощности барабанной сушильной установки от ее производительности, м³/ч

$$N_{\text{суш}}(Q_{\text{суш}}) = 2,65e^{0,1Q_{\text{суш}}} \quad (3.14)$$

$$R^2 = 0,87$$

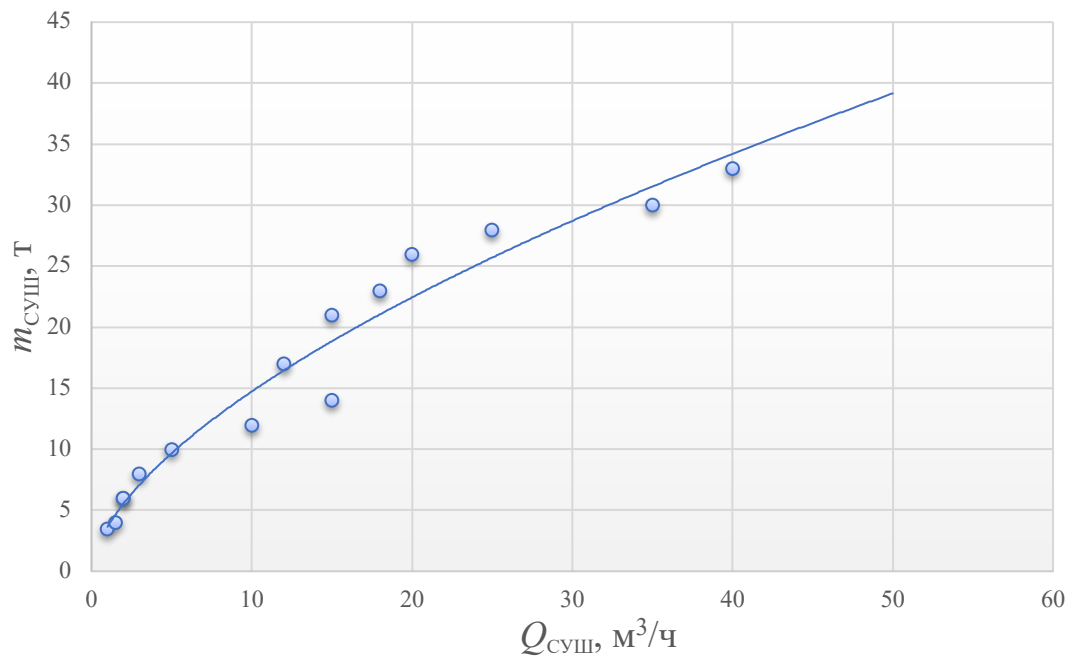


Рисунок 3.15 – Зависимость массы барабанной сушильной установки от ее производительности, м³/ч

$$m_{\text{суш}}(Q_{\text{суш}}) = 3,6Q_{\text{суш}}^{0,6} \quad (3.15)$$

$$R^2 = 0,97$$

Питатель ленточный

Функциональные элементы типа – ленточный питатель [40, 41, 54, 73], агрегируемые с базовым элементом агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования необходимы в качестве трансфера функциональных элементов для кинематической соединительной связи или связи согласования между функциональными элементами агрегатированными с базовым функциональным элементом АТДК ГО.

Таблица 3.8 – Технические характеристики ленточных питателей

№	Марка/модель	$Q_{\text{п}}$, м ³ /ч	$N_{\text{п}}$, кВт	$m_{\text{п}}$, т
1	КСК-300	5	1,1	0,6
2	ПЛ-500/2000	10	1,5	0,6
3	КСК-500	10	1,5	0,8
4	ТЛ 300	15	2,0	1,1
5	ПЛ-650/6000	17	3,0	1,75
6	ТЛ 400	20	2,5	1,9
7	ТЛ 500	25	3,0	2,0
8	ТЛ 650	30	3,5	2,0
9	ТЛ 800	40	4,5	2,2
10	ТЛ 1000	50	5,5	2,5
11	КМ КЛ 0,5/20	50	7,0	3,0

Выбранные данные обработаны в Microsoft Excel с аппроксимацией функциональных зависимостей: $N_{\text{п}} = f(Q_{\text{п}})$, $m_{\text{п}} = f(Q_{\text{п}})$.

Графически функции представлены на рисунках 3.16-3.17, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.16-3.17.

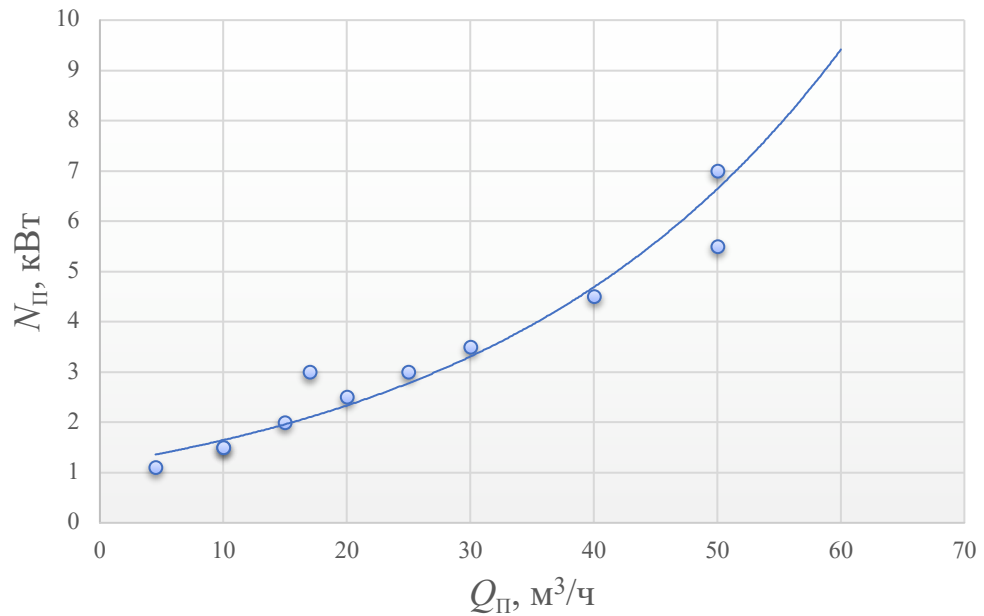


Рисунок 3.16 – Зависимость мощности ленточного питателя от его производительности,

$$N_{\text{П}}(Q_{\text{П}}) = 1,2e^{0,03Q_{\text{П}}} \quad (3.16)$$

$$R^2 = 0,93$$

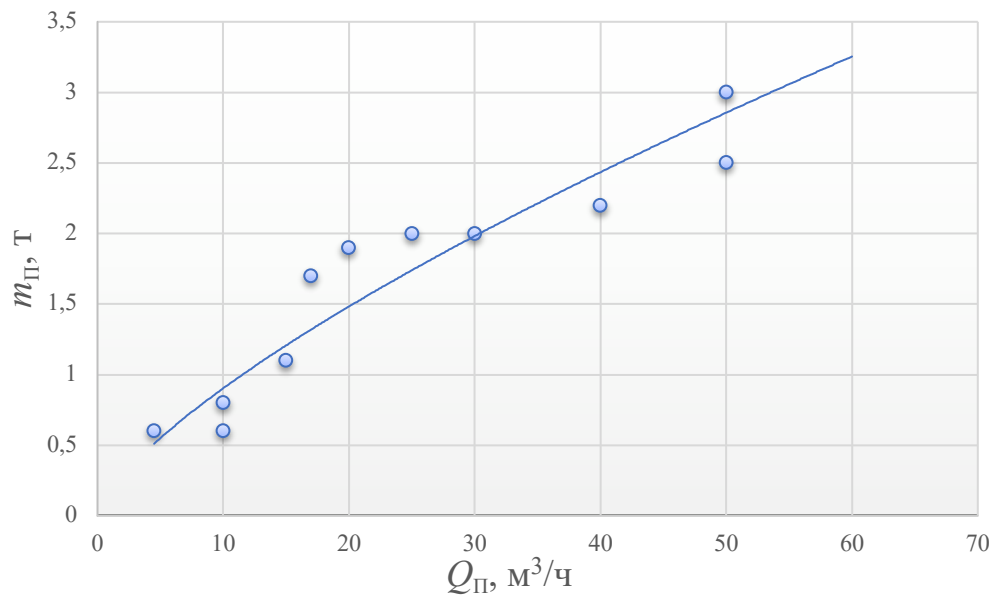


Рисунок 3.17 – Зависимость массы ленточного питателя от его производительности,

$$m_{\text{П}}(Q_{\text{П}}) = 0,17Q_{\text{П}}^{0,7} \quad (3.17)$$

$$R^2 = 0,88$$

Полученные в результате численного эксперимента функции позволяют определять искомые величины мощности и массы в функции задаваемой производительности и являются базовыми при формировании технического

задания на ранних стадиях процесса проектирование комплекса АТДК ГО на принципах структурно-параметрического синтеза комплекса.

3.2 Экспериментальная оценка предварительного отжатия торфяного сырья и методика проведения эксперимента

Первичное обезвоживание (отжатие) торфа в рамках АТДК ГО, расположенного на базовом элементе возможно несколькими способами:

- В бункерах-накопителях;
- На обезвоживающих грохотах;
- В выемочном рабочем органе экскаватора (манипулятора) во время процесса выемки (например, в перфорированном ковше с наличием давящей стенки или без, в перфорированном грейфере).

Для минимизации функциональных элементов АТДК ГО рациональным будет обезвоживание (отжатие) торфяного сырья в выемочном рабочем органе экскаватора. В отличие от сыпучих материалов, например, гравия или песка, в которых влага находится в несвязанном состоянии и может уходить через внутренние каналы, в торфяном сырье лишь часть влаги находится в свободном состоянии, немногочисленные их каналы легко перекрываются при деформации торфяного сырья, снижение влаги при отжатии сырья осуществляется только на поверхности в тонком слое. Поэтому наличие перфорации и увеличение ее площади на поверхности ковша или стенок бункера при избыточном давлении на торфяную массу может способствовать интенсификации отдачи свободной влаги со всей перфорированной поверхности [8, 83, 105].

Для проверки высказанной гипотезы и оценки степени влияния площади перфорации выемочного рабочего органа на интенсивность процесса предварительного обезвоживания (отжатия) торфяного сырья были созданы шесть моделей ковша (рисунок 3.18) кубовидной формы с различной площадью перфорации на его гранях. Размер каждой грани 0,075 м (75 мм).

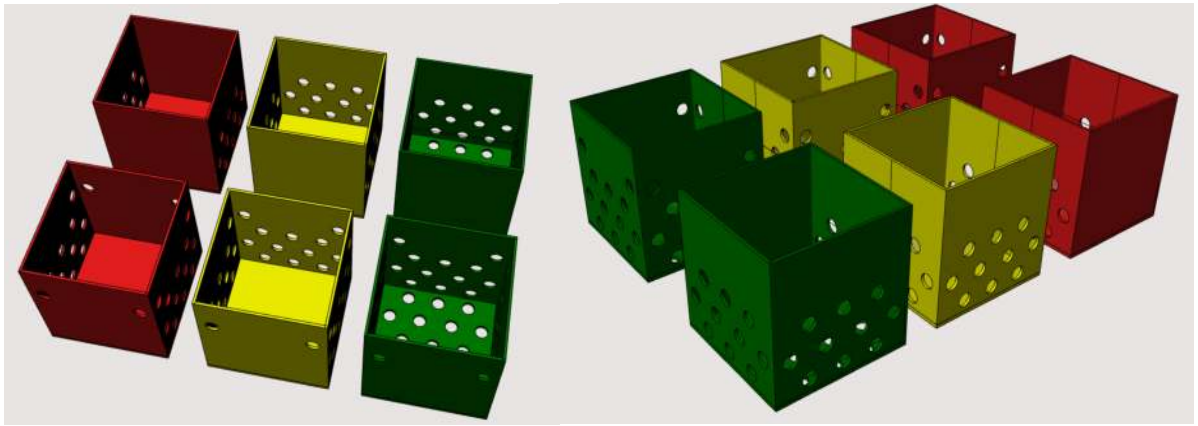


Рисунок 3.18 – Модели ковша с перфорацией

Параметры перфорации R_v 2-8 с площадью перфорации 32 %. На каждой грани перфорация выполнялась однотипной, занимала половину площади соответствующей грани и располагалась в нижней ее части. Модель с перфорированными двумя боковыми гранями была принята за базу.

Для идентификации моделей использована следующая система маркировки:

1 (база) – 20 отверстий;

1-1 – 28 отверстий;

2 – 30 отверстий;

2-2 – 38 отверстий;

3 – 40 отверстий;

3-3 – 48 отверстий.

Промаркированные порожние модели подвергались взвешиванию, среднее арифметическое значение трех равноточных измерений представлены в таблице 3.9. Также вычисляли площадь перфорации $S_{\text{пер}}$ и S площадь нанесения перфорации, результаты представлены в таблице 3.9.

Площадь нанесения перфорации S определяется из формулы (3.18):

$$S = abk, \quad (3.18)$$

где a – длина стенки, м, b – высота нанесения перфорации, м, k – количество перфорированных стенок.

Таблица 3.9 – Характеристики ковшей

№ п/п	Количество перфорированных стенок, k	Количество отверстий, n	Масса ковша, г
1 (база)	2	20	32,9
1-1	2	28	31,1
2	3	30	30,9
2-2	3	38	32,6
3	4	40	31,8
3-3	4	48	30,7

Верхняя грань во всех моделях отсутствовала и ее заменяли пуансонами для воздействия на загруженное в модель торфяное сырье. При этом один пуансон был с перфорацией. Перфорированный пуансон применялся в ковшах с двойным обозначением. Пуансон создавал усилие в 51 Н и выдерживался в модели в течение 30 секунд. Масса модели с торфяным сырьем фиксировалась до и после приложения нагрузки. Расчетное давление в эксперименте составило 0,02 МПа [83].

В эксперименте применялись: весы лабораторные ВЛЭ-423С с дискретностью 0,001 г, внутренняя калибровка, диапазон измерений 0-4232, II класса точности, секундомер механический стрелочный СОПр-2а-3000, цена деления по шкале 0,2 с. В эксперименте использовались приборы 2019 года выпуска, таким образом, их поверка не требовалась.

В качестве исходного сырья было взято торфяное сырье влагой 92 % (Ломоносовский район, торфяное месторождение Заозерское, участок №1021).

С целью уменьшения погрешности результата измерений за счет уменьшения случайной погрешности были проведены равноточные измерения величины загрузки торфяного сырья в ковш. Учитывая тот факт, что измерения имели хорошую повторяемость, в качестве истинного значения принималось среднее арифметическое трех измерений.

Было получено среднеквадратическое отклонение для оценки разброса значений, полученных в результате измерения массы торфяного сырья.

На рисунке 3.19 показана схема эксперимента.

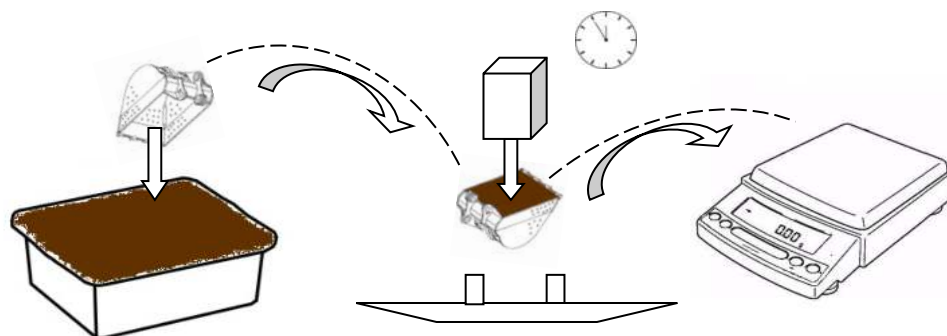


Рисунок 3.19 – Схема экспериментального стенда

Ход эксперимента:

Весь объем используемого в эксперименте сырья был разделен на три группы:

- № 1 – собственно экскавированное сырье;
- № 2 – уплотненное торфяное сырье;
- № 3 – сильно уплотненное торфяное сырье.

Каждый раз загружалось 230 ± 10 г сырья.

- каждая модель заполнялась торфяным сырьем, ее масса контролировалась троекратным взвешиванием, среднее арифметическое значение записывалось в таблицу учета данных эксперимента 3.10;

- торфяное сырье подвергалось внешнему воздействию посредством веса груза, действующего на пуансон при расчетном давлении равном 0,02 МПа, продолжительность воздействия – 30 с.

- по истечению времени внешнего воздействия модель с отжатым торфяным сырьем оценивали взвешиванием, масса каждой модели с торфяным сырьем контролировалась троекратно, среднее арифметическое измерений представлено в таблице 3.10. Потери влаги определены расчетом и представлены в таблице 3.10;

Аналогичные процедуры были проведены для сырья №2 и №3. Результаты представлены в таблицах 3.11-3.13.

Таблица 3.10 – Усредненные результаты эксперимента

Ковш	$S_{пер}, 10^{-2} М^2$	0	№1	Потери по массе воды, 10^{-3} кг	0	№2	Потери по массе воды, 10^{-3} кг	0	№3	Потери по массе воды, 10^{-3} кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
m1(база)	56,25	237,5	226,9	10,6	221,5	214,4	7,1	232,3	227	5,3
m1-1	112,50	235,5	210,8	24,7	243,3	228,2	15,1	227,6	220,5	7,1
m2	84,37	234,1	217,2	16,9	240,1	231,7	8,4	234,1	226,9	7,2
m2-2	163,12	231,2	202,6	28,6	227,2	214,5	12,7	222,6	212,4	10,2
m3	112,50	242,1	223,3	18,8	241,6	230,0	11,6	228,9	219,8	9,1
m3-3	191,25	245,4	217,9	27,5	233,1	214,0	19,1	233,8	215,6	18,2

В таблице 3.10: столбцы 3, 6, 9 – средние значения после трех взвешиваний начальных масс торфяного сырья, извлеченных из условного месторождения до момента предварительного отжатия. Столбцы 4, 7, 10 – средние значения масс торфяного сырья после приложения 30-ти секундного усилия. Столбцы 5, 8, 11 – разница масс торфяного сырья до момента отжатия и после, т.е. масса воды, которую отдало торфяное сырье в результате воздействия на него давления в 0,02 МПа.

1. Используя полученные данные (таблица 3.10), находим значение среднего арифметического \bar{U} (3.19) и оценки среднего квадратичного отклонения S_U (3.20):

$$\bar{U} = \frac{\sum_1^n U_i}{n} = \frac{4211,88}{18} = 233,99 \quad (3.19)$$

$$S_U = \sqrt{\frac{\sum_1^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}} = 6,87 \quad (3.20)$$

2. С помощью правила «трех сигм» проверяем наличие грубых промахов (3.21-3.22):

$$U_{max}^{доп} = \bar{U} + 3S_U = 233,99 + 3 \cdot 6,87 = 254,6 \quad (3.21)$$

$$U_{min}^{доп} = \bar{U} - 3S_U = 233,99 - 3 \cdot 6,87 = 213,4 \quad (3.22)$$

Ни один из результатов (таблица 3.9) не выходит за границы интервала $[U_{min}^{доп}; U_{max}^{доп}]$, следовательно, с вероятностью 0,9973 принимается гипотеза об отсутствии грубых промахов.

Таблица 3.11 – Результаты отжатия №1

№1 – экскавируемое торфяное сырье			
Модель	Потери влаги, 10^{-3} кг	Перфорированная площадь, 10^{-2} м ²	Отношение влаги к площади
1	10,6	56,25	0,188
2	16,9	84,38	0,200
3	18,8	112,50	0,167
1-1	24,7	135,00	0,183
2-2	28,6	163,13	0,175
3-3	27,5	191,25	0,144

Таблица 3.12 – Результаты отжатия №2

№2 – уплотненное торфяное сырье			
Модель	Потери влаги, 10^{-3} кг	Перфорированная площадь, 10^{-2} м ²	Отношение влаги к площади
1	7,1	56,25	0,126
2	8,4	84,38	0,100
3	15,1	112,50	0,134
1-1	12,7	135,00	0,094
2-2	11,6	163,13	0,071
3-3	19,1	191,25	0,100

Таблица 3.13 – Результаты отжатия №3

№3 – сильно уплотненное торфяное сырье			
Модель	Потери влаги, 10^{-3} кг	Перфорированная площадь, 10^{-2} м ²	Отношение влаги к площади
1	5,3	56,25	0,094
2	7,1	84,38	0,084
3	7,2	112,50	0,064
1-1	10,2	135,00	0,076
2-2	9,1	163,13	0,056
3-3	18,2	191,25	0,095

На основании полученных экспериментальных данных была проведена аппроксимация результатов измерений и построены графики изменения количества влаги торфяного сырья при отжатии в зависимости от площади перфорации ковша и уплотненности сырья (рисунок 3.20) [83].

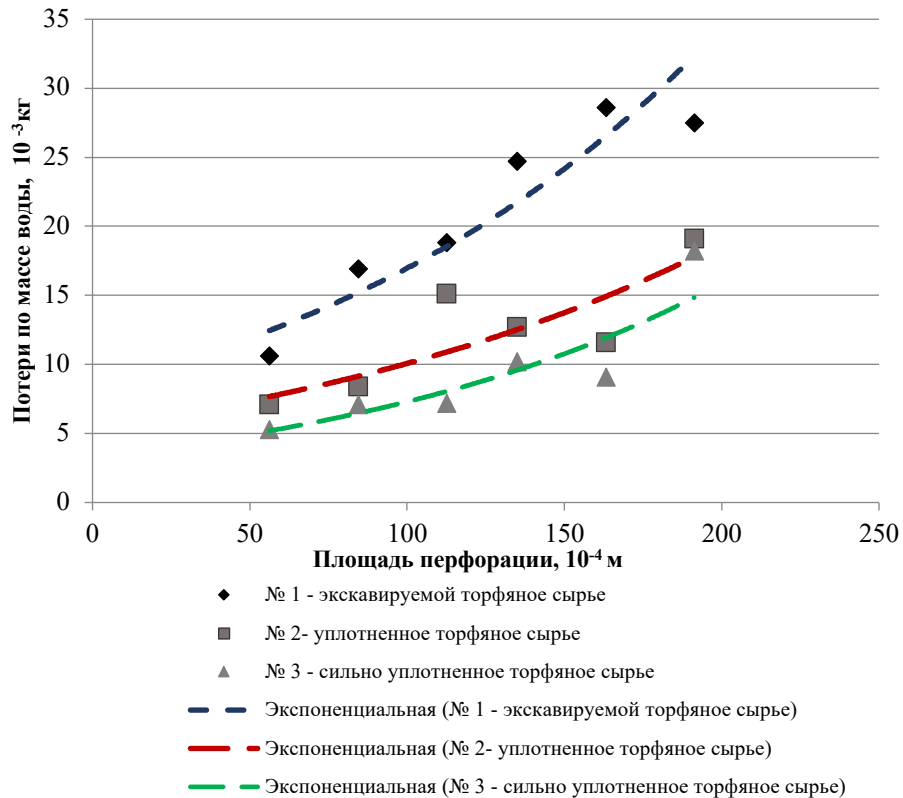


Рисунок 3.20 – График отделения воды в торфе в зависимости от площади перфорации модели исполнительного органа

Как видно из графика с увеличением площади перфорированной поверхности объем отжатой воды увеличивается, но интенсивность этого процесса позволяет сделать вывод о том, что отделение влаги идет лишь в незначительном слое в непосредственной близости к перфорированной стенке. В глубине же проба практически своей влаги не меняет. При этом наибольший эффект водотделения имеет место в случае отжатия не уплотненного материала, когда присутствуют каналы для прохода отжимаемой влаги из глубины на внешнюю поверхность, что очевидно при заполнении ковша срезанной в забое стружки отделенного торфяного сырья.

Линии тренда аппроксимированных кривых интенсивности отделения влаги при предварительном отжиме в ковше имеют вид (3.23-3.26):

$$I m_{H_2O} = 8,37e^{0,007 S_{пер}} \quad (3.24)$$

$$R^2 = 0,88$$

$$II m_{H_2O} = 5,41e^{0,006 S_{пер}} \quad (3.25)$$

$$R^2 = 0,72$$

$$\text{III } m_{H_2O} = 3,35e^{S_{\text{пер}}} \quad (3.26)$$

$$R^2 = 0,84$$

Таким образом, на основе проделанного эксперимента по первичному механическому обезвоживанию в модели исполнительного органа экскаватора еще раз показана целесообразность отжатия в ковше ненарушенного торфяного сырья – такой торф легче всего отдает воду (влагу), по мере уплотнения и переработки торфяного сырья происходит его уплотнение, связи воды в торфе становятся прочнее и он сложнее ее отдает [69, 83]. Для получения подобного сырья при экскавации целесообразно исполнительный орган заполнять торфяным сырьем в виде стружки, а не большими кусками уплотненного торфа мало нарушенной структуры.

3.3 Выводы по главе 3

1. Установлены функциональные зависимости экспоненциального, линейного и степенного вида для каждой группы функциональных элементов АТДК ГО, предусмотренных алгоритмом оценки энергомассовых параметров, что позволяет определять их основные параметры и взаимоувязать их между собой по производительности и объему добываемого торфяного сырья, планировать необходимые мощности привода, предварительно оценивать массу оборудования.

2. В ходе проведения эксперимента по предварительному обезвоживанию (отжатию) торфяного сырья разной плотности в ковше экскаватора установлено, что с увеличением площади перфорации ковша влагоотделение происходит с большим эффектом в неуплотненном торфяном сырье. По мере увеличения уплотненности торфяного сырья и с наименьшей площадью перфорации, интенсивность протекания процесса снижается.

3. Представляется целесообразным применение перфорации на ковше экскаватора, однако, так как процесс влагоотделения эффективнее протекает в тонком слое, то рациональным будет изменение формы ковша (например, с прямоугольным основанием) увеличив тем самым площадь дна ковша и количество перфораций на ней.

ГЛАВА 4 ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДОБЫЧИ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА НЕОСУШЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

4.1 Математическая модель формирования структуры АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья

Как было показано во второй главе, проблема разработки торфяных месторождений без их осушения имеет важное значение в рамках современных подходов к добыче торфяного сырья. Одним из ключевых в решении данной проблемы является формирование АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья, при этом оценку схемных решений комплекса возможно проводить по разработанному алгоритму «Оценка необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе «добыча-переработка».

На основе предложенного алгоритма, описанного во второй главе настоящей работы, была разработана математическая модель и соответствующая ей компьютерная программа на языке JavaScript (Приложение А). В качестве исходных данных для реализации данной программы и оценки параметров функциональных элементов АТДК ГО является необходимый годовой объем добычи торфяного сырья условной влаги.

Структура математической модели по разработанному алгоритму, представлена на рисунке 4.1.

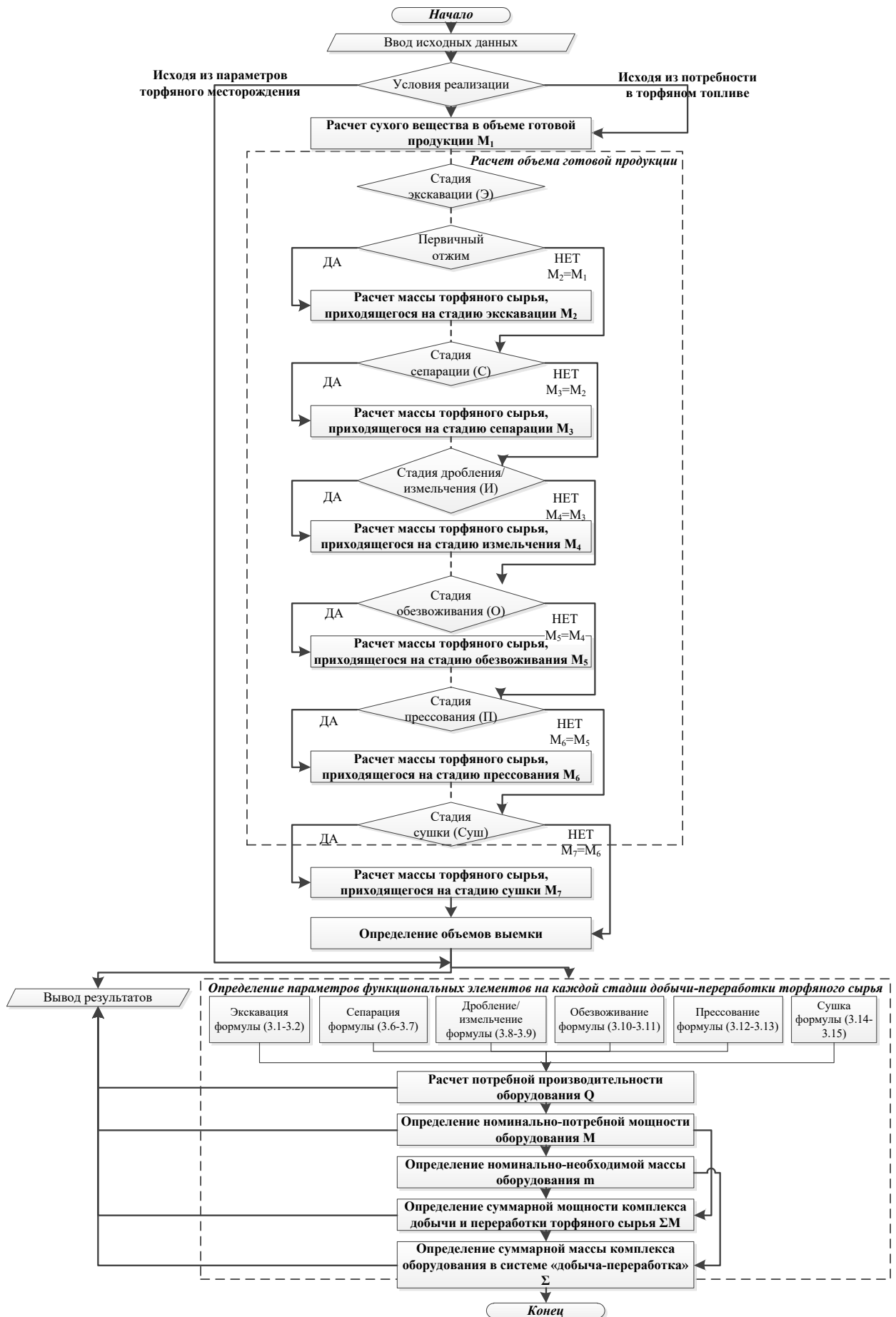


Рисунок 4.1 – Структура математической модели изменения основных энергомассовых параметров АТДК ГО в системе «добыча-переработка»

Предложенная модель, с учетом результатов теоретических и экспериментальных исследований, позволяет определять программу добычи торфяного сырья исходя из годовой потребности в торфяной продукции и обоснованно с учетом пнистости осуществлять выбор величин рациональных параметров функциональных элементов в структуре комплекса горного оборудования для добычи и переработки торфяного сырья на ранних стадиях процесса их проектирования при формировании технического задания.

Исходя из заданных объемов планируемой готовой продукции (m) для различных условий реализации или параметров торфяного месторождения, определяется необходимый объем (V_1) добываемого торфяного сырья условной влаги по формуле (4.1), т:

$$V_1 = m \frac{100}{100 - W_n}, \quad (4.1)$$

где W_n – влага экскавируемого торфяного сырья, m – определяют по формуле (4.2), т:

$$m = M_0 \frac{100 - W_k}{100}, \quad (4.2)$$

где M_0 – потребность в торфяном топливе, т; W_k – влага готовой продукции, %.

Так как любое торфяное месторождение среди прочих параметров обладает соответствующей пнистостью, эту величину необходимо учитывать при оценке объемов добычи.

В зависимости от величины пнистости (P_n) вводятся соответствующие коэффициенты:

При $P_n = 1$ %, тогда коэффициент наполнения ($K_n = 1,15$), коэффициент разрыхления ($K_p = 1,24$), коэффициент экскавации ($K_s = 0,93$);

При $P_n = 2$ %, тогда коэффициент наполнения ($K_n = 1,19$), коэффициент разрыхления ($K_p = 1,27$), коэффициент экскавации ($K_s = 0,94$);

При $P_n = 3$ %, тогда коэффициент наполнения ($K_n = 1,23$), коэффициент разрыхления ($K_p = 1,3$), коэффициент экскавации ($K_s = 0,95$).

На основании величины пнистости месторождения, приводят оценку количества древесных включений по выражению (4.3), т:

$$П = V_1 П_n. \quad (4.3)$$

При этом масса абсолютно сухой древесины вычисляется по формуле (4.4), т:

$$D_c = П \frac{100 - W_n}{100}. \quad (4.4)$$

Определение сухого вещества в объеме готовой продукции с учетом древесных включений, осуществляется по выражению (4.5), т:

$$m_d = m + D_c. \quad (4.5)$$

В зависимости от выбранной стратегии реализации по «добыче-переработке» торфяного сырья необходимо проводить оценку массы торфяного сырья на каждой стадии от добычи до выхода готового продукта:

СТАДИЯ ЭКСКАВАЦИИ (Э)

Определение массы добычи (4.6) при экскавации с учетом номинальных потерь Δ_0 (4.7), т:

$$M_1 = m_d \frac{100}{100 - W_n} + \Delta_0, \quad (4.6)$$

$$\Delta_0 = \Delta_{\text{э}} q_{\text{э}}, \quad (4.7)$$

где $\Delta_{\text{э}}$ – потери при экскавации, т/сут, $q_{\text{э}}$ – количество единиц оборудования, необходимое для обеспечения эффективности работы комплекса.

СТАДИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТЖАТИЯ

Если предусмотрено предварительное отжатие в ковше, тогда масса определяется по формуле (4.8), т:

$$M_2 = M_1 \frac{100 - W_n}{100 - W_{\text{отж}}}. \quad (4.8)$$

Оценка потерь сырья при экскавации и отжатию (4.9):

$$\Delta_1 = (M_1 - M_2) \Delta_{\text{отж}}, \quad (4.9)$$

где $\Delta_{\text{отж}}$ – потери при отжатию, %.

Если предварительное отжатие в ковше экскаватора не предусмотрено, тогда $M_2 = M_1$ добычи торфяного сырья при экскавации переходит на стадию сепарации.

СТАДИЯ СЕПАРАЦИИ (С)

Потери при сепарации определяются по формуле (4.10):

$$\Delta_2 = \Delta_{\text{сеп}} q_{\text{сеп}}, \quad (4.10)$$

где $\Delta_{\text{сеп}}$ – потери при сепарации, т/сут, $q_{\text{сеп}}$ – количество сепараторов, необходимое для обеспечения эффективности работы комплекса;

Определение массы торфяного сырья (4.11), поступающей на сепарацию, т:

$$M_{2-3} = M_2 + \Delta_2. \quad (4.11)$$

Оценка массы древесных включений на переработку определяется по выражению (4.12), т:

$$M_{\text{П}} = M_{2-3} \text{Пн}. \quad (4.12)$$

Выход массы после сепарации (4.13), т:

$$M_3 = M_{2-3} - M. \quad (4.13)$$

СТАДИЯ ДРОБЛЕНИЯ/ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ (И)

Оценка потерь сырья на стадии измельчения (4.14):

$$\Delta_3 = \Delta_{\text{изм}} q_{\text{изм}}, \quad (4.14)$$

где $\Delta_{\text{изм}}$ – потери при измельчении, т/сут; $q_{\text{изм}}$ – количество измельчителей, необходимое для обеспечения эффективности работы комплекса.

Оценка массы на стадии измельчения выполняется по формуле (4.15), т:

$$M_4 = (M_3 + \Delta_3) \frac{100 - W_{\text{сеп}}}{100 - W_{\text{изм}}}, \quad (4.15)$$

где $W_{\text{сеп}}$ – влага после сепарации, %; $W_{\text{изм}}$ – влага после процесса дробления/измельчения, %.

Проверка по сухому веществу осуществляется по выражению (4.16):

$$\left(M_4 \frac{100 - W_{\text{изм}}}{100} \right) > m. \quad (4.16)$$

СТАДИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ (О)

Оценка технологических потерь (4.17) на стадии механического обезвоживания:

$$\Delta_4 = \Delta_{\text{об}} q_{\text{об}}, \quad (4.17)$$

где $\Delta_{\text{об}}$ – потери при механическом обезвоживании, т/сут; $q_{\text{об}}$ – количество центрифуг, необходимое для обеспечения эффективности работы комплекса.

Оценка массы (4.18) на стадии механического обезвоживания, т:

$$M_5 = (M_4 + \Delta_4) \frac{100 - W_{\text{изм}}}{100 - W_{\text{об}}}, \quad (4.18)$$

где $W_{\text{об}}$ – влага после механического обезвоживания (в центрифуге), %;

Для контроля массы торфяного сырья по сухому веществу необходимо делать промежуточную проверку (4.19):

$$\left(M_5 \frac{100 - W_{\text{об}}}{100} \right) > m. \quad (4.19)$$

СТАДИЯ ПРЕССОВАНИЯ (П)

Оценка потерь сырья на стадии прессования определяется по формуле (4.20):

$$\Delta_5 = \Delta_{\text{пр}} q_{\text{пр}}, \quad (4.20)$$

где $\Delta_{\text{пр}}$ – потери при прессовании, т/сут, $q_{\text{пр}}$ – количество прессов, необходимое для обеспечения эффективности работы комплекса.

Оценка массы торфяного сырья (4.21) на стадии прессования (4.21):

$$M_6 = (M_5 + \Delta_5) \frac{100 - W_{\text{об}}}{100 - W_{\text{пр}}}, \quad (4.21)$$

где $W_{\text{пр}}$ – влага после прессования, %.

Проверка по сухому веществу (4.22):

$$\left(M_6 \frac{100 - W_{\text{пр}}}{100} \right) > m. \quad (4.22)$$

СТАДИЯ СУШКИ (Суш)

Оценка потерь на стадии сушки вычисляется по выражению (4.32):

$$\Delta_6 = \Delta_{\text{суш}} q_{\text{суш}}, \quad (4.23)$$

где $\Delta_{\text{суш}}$ – потери при сушке, т/сут; $q_{\text{суш}}$ – количество барабанных сушилок, необходимое для обеспечения эффективности работы комплекса.

Оценка массы (4.24) торфяного сырья на стадии сушки, т:

$$M_7 = (M_6 + \Delta_6) \frac{100 - W_{\text{пр}}}{100 - W_{\text{суш}}}, \quad (4.24)$$

где $W_{\text{суш}}$ – влага торфяного сырья после сушки, %.

Проверка по сухому веществу из выражения (4.25):

$$M_8 = M_7 \frac{100 - W_{\text{суш}}}{100} > m. \quad (4.25)$$

Определение объема выемки

Масса торфяного сырья при добыче с учетом пнистости по выражению (4.26), т:

$$M_9 = M_8 \frac{100}{100 - W_{\text{пн}}} (\text{Пн} + 1,0). \quad (4.26)$$

Определение длины a и ширины b выемки по выражению (4.27), м:

$$a = b = \sqrt{\frac{M_9}{h}}, \quad (4.27)$$

где h – глубина разработки месторождения, м.

Определение параметров рабочего оборудования

Представляя выявленные зависимости, выведенные в 3 главе настоящей работы для каждого функционального элемента комплекса горного оборудования на отдельной номограмме (рисунок 4.2) получаем инструмент для обоснованного выбора основных энергомассовых параметров, например, для экскаватора (манипулятора с выемочным рабочим органом) как основного функционального элемента АТДК ГО для добычи и переработки торфяного сырья на самоходной плавучей платформе. Полученные таким образом параметры функциональных элементов в функции заданной производительности являются базовыми на ранних стадиях процесса проектирования комплекса АТДК ГО, а также являются основой для получения оценочных характеристик инновационного добычного комплекса.

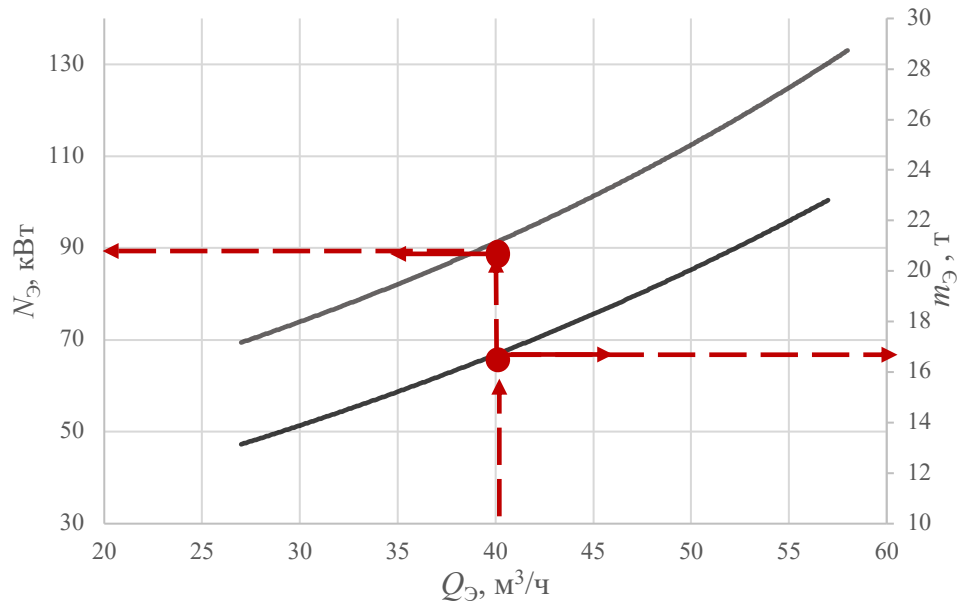


Рисунок 4.2 – Номограмма определения мощности главного двигателя и массы экскаватора (манипулятора с выемочным рабочим органом) АТДК ГО по задаваемой производительности

Данный подход в построении общих номограмм задаваемых характеристик распространяется на каждый функциональный элемент комплекса горного оборудования для добычи и переработки торфяного сырья.

Определение вместимости выемочного рабочего органа (ковша экскаватора) (4.28), м³:

$$E = M_9 \frac{t_{\text{ц}}}{3600 K_{\text{и}} T K_3}, \quad (4.28)$$

где $t_{\text{ц}}$ – время цикла экскаватора, с; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования экскаватора по времени; K_3 – коэффициент экскавации; T – фонд рабочего времени из выражения (4.29), ч:

$$T = n_{\text{см}} t_{\text{см}} n_{\text{г}}, \quad (4.29)$$

где $t_{\text{см}}$ – продолжительность смены, ч; $n_{\text{г}}$ – количество рабочих дней в году; h – глубина разработки месторождения, м; $n_{\text{см}}$ – количество смен.

Оценка производительности экскаватора (4.30), м³/ч:

$$Q_{\text{экс}} = 3600 \frac{E}{t_{\text{ц}}} K_3 K_{\text{и}}. \quad (4.30)$$

Номинально-потребная мощность (кВт) и номинально-необходимая масса экскаватора (т) определяются из зависимостей, выведенных в главе 3 данной работы, п. 3.1, и вычисляются по формулам 3.1 ($N_{\text{э}}(Q_{\text{э}}) = 37,9e^{0,02Q_{\text{э}}}$) и 3.2 ($m_{\text{э}}(Q_{\text{э}}) = 7,7e^{0,02Q_{\text{э}}}$) соответственно.

СТАДИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТЖАТИЯ

Оценка массы торфяного сырья при предварительном отжати (4.31), т:

$$M_{10} = M_9 \frac{100 - W_n}{100 - W_{отж}}. \quad (4.31)$$

Оценка потерь при отжати (4.32), т:

$$\Delta_7 = (M_9 - M_{10}) \Delta_{отж}. \quad (4.32)$$

Оценка потребной производительности отжати в ковше (4.33), м³/ч:

$$Q_{отж} = \frac{M_{10}}{\varepsilon_0}, \quad (4.33)$$

где ε_0 – наличие перфорации в ковше.

$$N_{отж} = 0, G_{отж} = 0$$

СТАДИЯ СЕПАРАЦИИ

Оценка массы торфяного сырья, приходящегося на стадию сепарации (4.34), т:

$$M_{10-11} = M_{10} - \Delta_7. \quad (4.34)$$

Определение массы древесины на переработку из выражения (4.35), т:

$$M_{п2} = M_{10-11} \Pi_n. \quad (4.35)$$

Выход массы после сепарации (4.36), т:

$$M_{11} = M_{10-11} - M_{п2}. \quad (4.36)$$

Оценка потребной производительности сепаратора (4.37), м³/ч:

$$Q_{сеп} = \frac{M_{11}}{C}, \quad (4.37)$$

где C – количество сепараторов.

Номинально-потребная мощность (кВт) и номинально-необходимая масса сепаратора (т) определяются из зависимостей, выведенных в главе 3 данной работы, п. 3.1, и вычисляются по формулам 3.6 ($N_c(Q_c) = 0,57e^{0,07Q_c}$) и 3.7 ($m_c(Q_c) = 0,46e^{0,05Q_c}$) соответственно.

СТАДИЯ ДРОБЛЕНИЯ/ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Оценка массы торфяного сырья на стадии дробления/измельчения вычисляется по выражению (4.38), т:

$$M_{12} = (M_{11} - \Delta_3) \frac{100 - W_{сеп}}{100 - W_{изм}}. \quad (4.38)$$

Оценка потребной производительности дробилки/измельчителя (4.39), м³/ч:

$$Q_{\text{изм}} = \frac{M_{12}}{I}, \quad (4.39)$$

где I – количество дробилок/измельчителей.

Номинально-потребная мощность (кВт) и номинально-необходимая масса дробилки/измельчителя (т) определяются из зависимостей, выведенных в главе 3 данной работы, п. 3.1, и вычисляются по формуле 3.8 ($N_{\text{изм}}(Q_{\text{изм}}) = 5,2Q_{\text{изм}}^{0,4}$) и 3.9 ($m_{\text{изм}}(Q_{\text{изм}}) = 0,52Q_{\text{изм}}^{0,53}$) соответственно.

СТАДИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Оценка массы торфяного сырья, приходящегося на стадию механического обезвоживания (4.40), т:

$$M_{13} = (M_{12} - \Delta_4) \frac{100 - W_{\text{изм}}}{100 - W_{\text{об}}}. \quad (4.40)$$

Оценка потребной производительности центрифуги по формуле (4.41), м³/ч:

$$Q_{\text{об}} = \frac{M_{13}}{O}, \quad (4.41)$$

где O – количество центрифуг для обезвоживания.

Номинально-потребная мощность (кВт) и номинально-необходимая масса центрифуги (т) определяются из зависимостей, выведенных в главе 3 данной работы, п. 3.1, и вычисляются по формуле 3.10 ($N_{\text{об}}(Q_{\text{об}}) = 5,6Q_{\text{об}}^{0,5}$) и 3.11 ($m_{\text{об}}(Q_{\text{об}}) = 0,46Q_{\text{об}}^{0,54}$) соответственно.

СТАДИЯ ПРЕССОВАНИЯ

Оценка массы торфяного сырья на стадии прессования осуществляется по формуле (4.42), т:

$$M_{14} = (M_{13} - \Delta_5) \frac{100 - W_{\text{изм}}}{100 - W_{\text{пр}}}. \quad (4.42)$$

Оценка потребной производительности пресса (4.43), м³/ч:

$$Q_{\text{пр}} = \frac{M_{14}}{\text{Пр}}, \quad (4.43)$$

где Пр – количество прессов.

Номинально-потребная мощность (кВт) и номинально-необходимая масса пресса (т) определяются из зависимостей, выведенных в главе 3 данной работы, п. 3.1, и вычисляются по формуле 3.12 ($N_{\text{пр}}(Q_{\text{пр}}) = 2,01Q_{\text{пр}}^{0,6}$) и 3.13 ($m_{\text{пр}}(Q_{\text{пр}}) = 0,4Q_{\text{пр}}^{0,75}$) соответственно.

СТАДИЯ СУШКИ

Оценка массы торфяного сырья (4.44), на выходе со стадии сушки из выражения, т:

$$M_{15} = (M_{14} - \Delta_6) \frac{100 - W_{\text{пр}}}{100 - W_{\text{суш}}} M_{15}. \quad (4.44)$$

Оценка потребной производительности барабанной сушилки по формуле (4.45), м³/ч:

$$Q_{\text{суш}} = \frac{M_{15}}{C_{\text{суш}}}, \quad (4.45)$$

где $C_{\text{суш}}$ – количество барабанных сушилок.

Номинально-потребная мощность (кВт) и номинально-необходимая масса барабанной сушильной установки (т) определяются из зависимостей, выведенных в главе 3 данной работы, п. 3.1, и вычисляются по формуле 3.14 ($N_{\text{суш}}(Q_{\text{суш}}) = 2,65e^{0,1Q_{\text{суш}}}$) и 3.15 ($m_{\text{суш}}(Q_{\text{суш}}) = 3,6Q_{\text{суш}}^{0,6}$) соответственно.

Заключительной стадией оценки является вывод результатов по потребной (необходимой) массе M_{16} добычи торфяного сырья с определенной влажностью W_k , суммарные потребные мощности и массы функциональных элементов всего комплекса.

4.2 Программа оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и параметров функциональных элементов в комплексе «добыча-переработка»

Диалоговое окно (интерфейс) программы «Программа оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в комплексе «добыча-переработка»» представлено на рисунке 4.3.

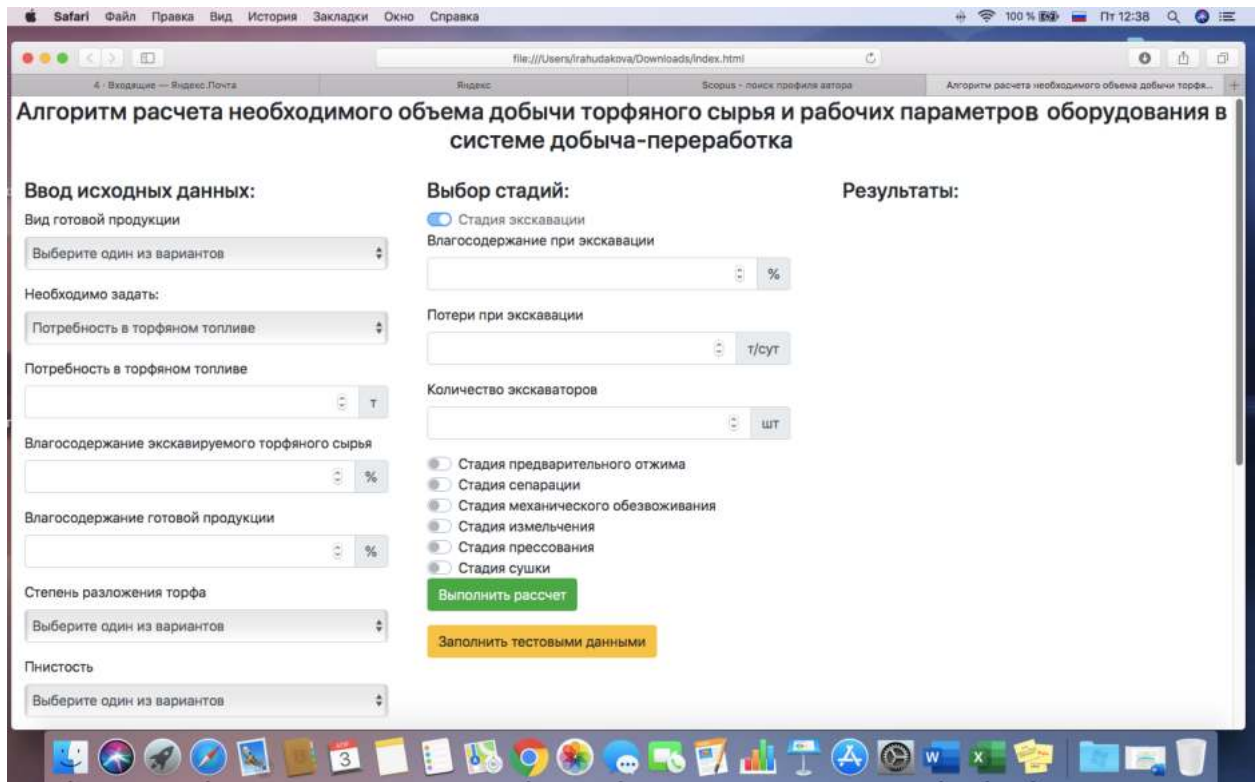


Рисунок 4.3 – Диалоговое окно компьютерной программы по оценке объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров функциональных элементов комплекса оборудования в системе «добыча-переработка»

Данная программа по результатам обработки введенных данных позволяет:

- определять основные технико-производственные показатели предприятия;
- определять параметры функциональных элементов, входящих в состав комплекса оборудования исходя из заданной программы добычи (производительность, мощность, масса);
- показывать материалоемкость и энергоемкость функциональных элементов комплекса горного оборудования.

Результатом компьютерного моделирования с использованием прикладной программы оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров функциональных элементов в комплексе «добыча-переработка» с примером реализации АТДК ГО на производительность 50 тысяч условного топлива (у.т.) в год является вывод на экран численных данных (рисунок 4.4) параметров месторождения, необходимого объема добычи

торфяного сырья, требуемые параметры для функциональных элементов комплекса оборудования, а именно производительность, масса, мощность.

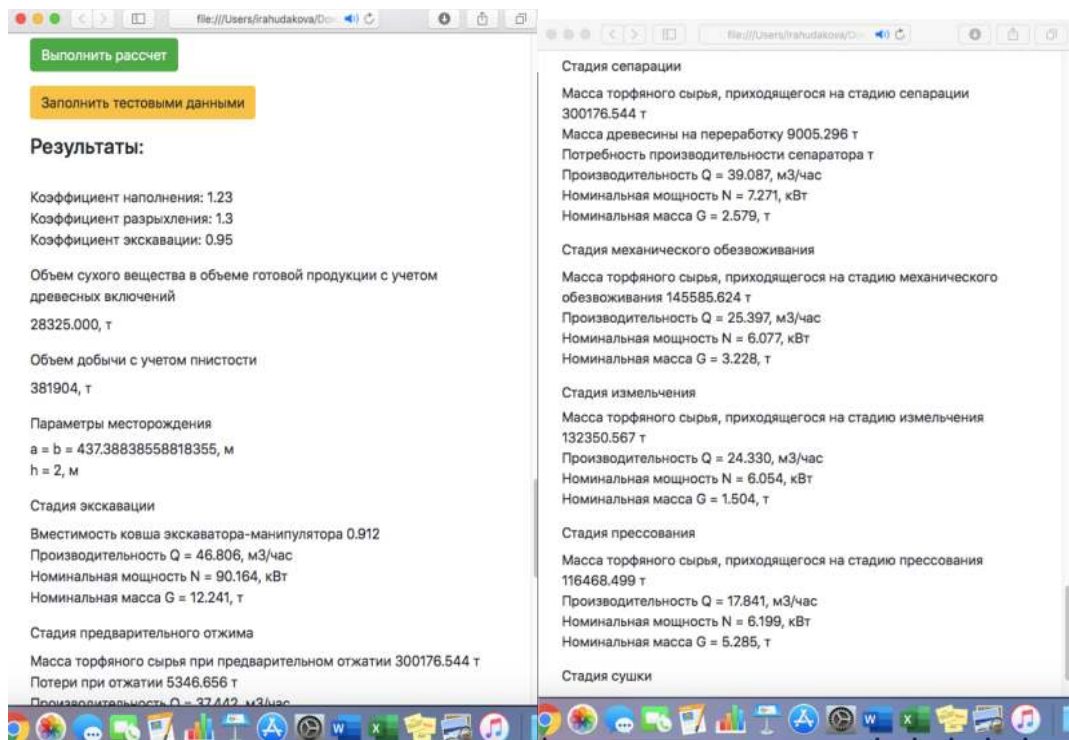


Рисунок 4.4 – Диалоговое окно вывода результатов компьютерной программной оценки объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров функциональных элементов комплекса оборудования в системе «добыча-переработка»

Разработанная математическая модель комплекса горного оборудования для добычи и переработки торфяного сырья и прикладная компьютерная программа «Программа оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе «добыча-переработка» позволяют дать рекомендации на ранних стадиях процесса проектирования комплекса оборудования и его отдельным функциональным элементам.

4.3 Реализация технических решений для функционирования комплекса оборудования

4.3.1 Плавающая платформа комплекса

Данное техническое решение подтверждено патентом Российской Федерации (№2655235 от 24.05.2018 Бюл. №15, Приложение Б) и является одним из технических средств реализации плавающей базы для размещения на ней комплекса оборудования. Она позволяет комплексу для добычи торфяного сырья, установленному на ней, перемещаться по месторождению и планомерно

отрабатывать торфяное месторождение [63]. Плавающая платформа является базовым элементом АТДК ГО.

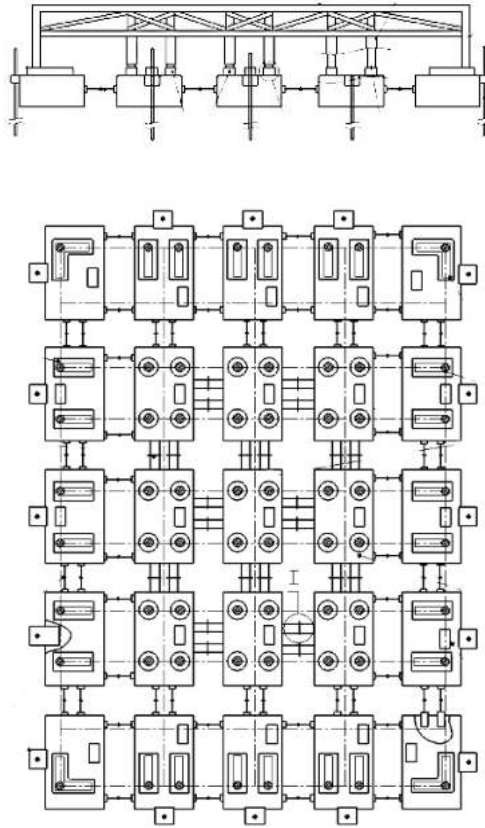


Рисунок 4.5 – Самоходная плавающая платформа для размещения комплекса добычи торфяного сырья на неосушенных месторождениях

Платформа (рисунок 4.5) обладает достаточной жесткостью и податливостью. Жесткость модульной платформе придается посредством единой жесткой несущей рамой каркасного типа. На раме размещены элементы комплекса для добычи и первичной переработки торфяного сырья. У платформы сохранена частичная податливость для заданного пошагового направленного перемещения плавающей платформы по акватории в целом при фиксации платформы посредством якорей-свай [63, 101].

Рекомендации к формированию технического задания для реализации комплекса на самоходной плавающей платформе:

1) Наименование, количество и назначение основных частей изделия: несущая рама с палубным настилом, установленная над цистернами (составляющие платформы) необходимые для формирования корпуса плавающей платформы и размещения на ней комплекса оборудования: экскаватора

(манипулятора с выемочным рабочим органом на подвижном механизме – рельсовый, колесный), сепаратора торфяного сырья и древесных включений, дробилки/измельчителя, ленточных питателей (конвейеров) для транспортирования торфяного сырья между элементами комплекса, перегружателя торфяного сырья в транспортные шаттлы, блока автоматического управления комплексом: количество цистерн – 35 штук;

2) конструктивные требования к изделию и его составным частям: габаритные размеры одной цистерны: длина – 5,877 м, ширина – 2,33 м, высота – 1,175 м, общая площадь корпуса цистерны – 13,7 м², грузоподъемность – 10,85 т, вес цистерны – 2,2 т; над цистернами установлена несущая рама с палубным настилом; требования к покрытию – корпуса цистерн имеют многослойную герметичную структуру;

3) целевое назначение платформы – обеспечение поддержания на плаву комплекса оборудования для добычи и первичной переработки торфяного сырья, простота монтажа и мобильность конструкции для быстрого перемещения в пределах неосушенного торфяного месторождения;

4) энергозатраты: питание платформы – электрическое, от внутренней генерации комплекса, движение цистерн от индивидуального гидравлического привода;

5) требования к надежности: плавучая платформа – ИКН I вида, непрерывного длительного применения (НПДП), восстанавливаемое, обслуживаемое. Задаваемые показатели: $K_{т.и}$ (коэффициент технического использования); T_o (средняя наработка на отказ); T_v (среднее время восстановления).

Плавучая платформа – устройство, переход которого в предельное состояние не ведет к катастрофическим последствиям, стареющее и изнашиваемое одновременно, ремонтируемое необезличенным способом, длительно хранимое. Задаваемые показатели долговечности и сохраняемости: $T_{р.ср.сп}$ (средний ресурс до списания (полный)); $T_{р.ср.к.р}$ (средний ресурс до капитального (среднего и т.п.) ремонта); $T_{сл.ср.сп}$ (средний срок службы до списания

(полный)); $T_{сл.ср.к.р}$ (средний срок службы до капитального (среднего и т.п.) ремонта); $T_{с.ср}$ (средний срок сохраняемости).

Вероятность безотказной работы не ниже 0,8; коэффициент технического использования $K_{т.и}=0,85$; срок службы между отказами не менее 320 суток.

4.3.2 Трансформируемое сооружение – укрытие

Техническое решение по созданию над комплексом оборудования защитного пространства подтверждено патентом Российской Федерации (№2672366 от 14.11.2018 Бюл. №32, Приложение В) и является одним из способов реализации механизма укрытия (рисунок 4.6), позволяющего обеспечить работу комплекса для добычи торфяного сырья и последующую переработку в зимние периоды в рамках климатосберегающих технологий [64]. Укрытие является дополнительным функциональным элементом комплекса оборудования.

Создание искусственных сред функционирования, в частности, трансформируемого сооружения (по патенту № 2672366) для укрытия горнодобывающей техники, установленного на самоходной плавучей платформе (по патенту № 2655235) способствует увеличению сезона добычи торфяного сырья.

Фактический сезон добычи торфяного сырья традиционными способами (фрезерный, кусковой) ограничивается от 5 до 7 месяцев. В случае использования укрытия над торфяным месторождением создается дополнительное пространство, которое укрывает часть месторождения в месте добычи, внутренний микроклимат под укрытием обеспечивает не промерзание месторождения и комфортные условия для функционирования техники, тем самым позволяет добывать торфяное сырье в течение всего года [64].

Трансформируемое сооружение, закрепленное на самоходной плавучей платформе, состоит из основания – ограждения защищенного объема из неподвижной и подвижно прикрепленных к ней поворотных секций, а также направляющие, ролики и контурный каркас из профильного настила.

Неподвижная секция ограждения защищенного объема выполнена в форме параллелепипеда и закреплена на понтонном основании вдоль борта, а его поворотная секция выполнена в виде цилиндрического сектора с контурным каркасом и П-образной рамой. Боковые стороны П-образной рамы жестко соединены с торцевыми поверхностями цилиндрического сектора с демпфирующими пружинами, при этом поперечина П-образной рамы соединена с контурным каркасом поворотной секции, а на нижней поверхности П-образной рамы закреплена юбка из эластичного материала. На внешней поверхности верхней грани неподвижной секции ограждения защищенного объема расположен торец контурного каркаса и неподвижно закреплены ролики с направляющими [64].

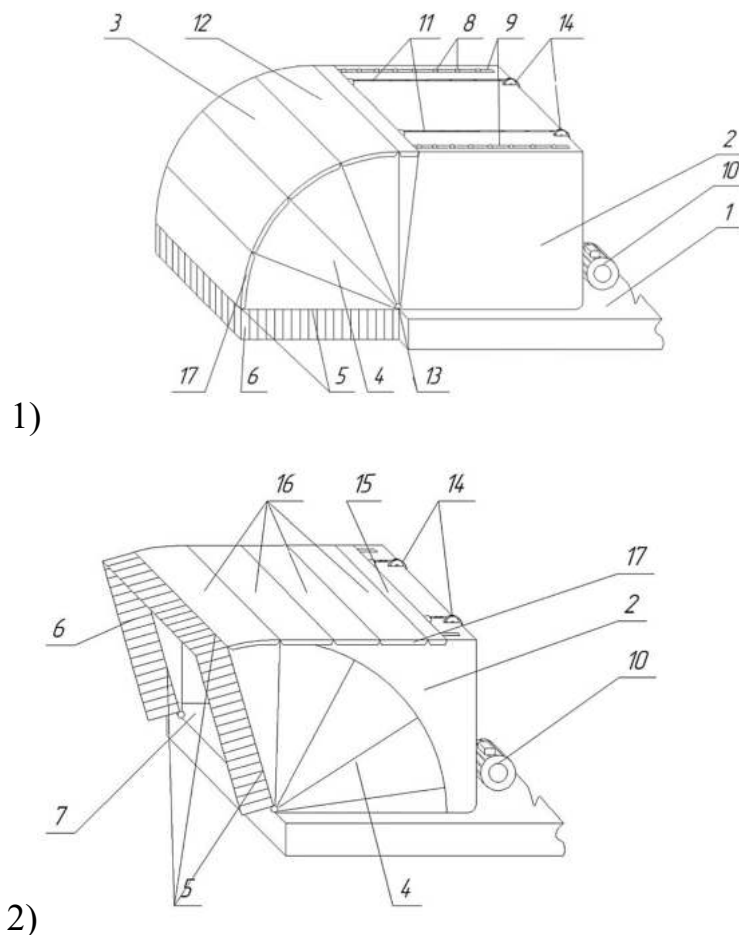


Рисунок 4.6 – Трансформируемое сооружение – укрытие для комплекса добычи:

- 1) общий вид трансформируемого сооружения в закрытом положении,
- 2) общий вид трансформируемого сооружения в открытом положении

Сооружение работает следующим образом: в исходном положении неподвижная секция 2 ограждения зафиксирована на поверхности понтонного основания 1, непосредственно на палубе 18, поворотная секция 3 опущена, юбка 6 отделяет защищенный объем 7, образованный неподвижной секцией ограждения и поворотной секцией, от внешнего пространства. Для перевода трансформируемого сооружения из исходного положения в конечное положение, поворотную секцию, посредством привода с лебедкой 10 и фиксатором положения поворотной секции поднимают, для чего торец контурного каркаса 15, перемещают, уменьшая длину канатов 11, закрепленных на торце контурного каркаса, с фиксацией направления их движения направляющими блоками 14, наматыванием на барабаны лебедки привода с лебедкой и фиксатором положения поворотной секции [64].

Контурный каркас поворотной секции 12 перемещается по направляющим 9. При этом элементы профилированного настила 16 скользят по роликам 8 направляющих, одновременно с этим осуществляется поворот торцевой поверхности цилиндрического сектора 4 с демпфирующими пружинами вокруг горизонтальной оси поворота цилиндрического сектора 13 вплоть до упора этих поверхностей в палубу, после чего сооружение становится открытым. Стопорение системы гарантируется силами внутреннего трения привода за счет применения в нем самотормозящихся элементов, например, червячных передач. Для приведения трансформируемого сооружения в исходное положение включают привод в реверсивном направлении, за счет чего происходит ослабевание канатов, и под действием сил тяжести юбки, элементов профилированного настила, П-образной рамы осуществляется опускание поворотной секции сооружения в исходное положение и отделение защищенного объема от внешней среды. Трансформируемое сооружение дает возможность создавать микроклимат в ограждении защищенного объема и тем самым обеспечить ведение работ или хранение техники в неизменных условиях искусственной среды, а простота реализации конструкции, наличие неподвижной секции ограждения защищенного объема в форме параллелепипеда, расположенной

на едином основании, и поворотной секции, в виде цилиндрического сектора, расположенной вне основания, наличие роликов с направляющими контурного каркаса привода перемещения поворотной секции повышают надежность и универсальность использования трансформируемого сооружения [64].

Рекомендации к формированию технического задания для реализации комплекса с применением трансформируемого сооружения – укрытия:

1) Наименование, количество и назначение основных частей изделия: ограждение защищенного объема из неподвижной и подвижно прикрепленных к ней поворотных секций, направляющие, ролики и контурный каркас из профильного настила: ограждение, поворотная секция, направляющие, контурный каркас. Назначение – для ведения работ по добыче торфяного сырья, хранения техники в неизменных условиях искусственной среды;

2) конструктивные требования к изделию и его составным частям: габаритные – размеры ограждения в соответствии с габаритами плавучей платформы 42 x 11,5 м, высота ограждения – 4,5-5 м; установочные и способы крепления – боковые стороны ограждения соединены с торцевыми поверхностями цилиндрического сектора демпфирующими пружинами, на нижней поверхности рамы закреплена юбка. На внешней поверхности верхней грани неподвижной секции ограждения защищенного объема расположен торец контурного каркаса и неподвижно закреплены ролики с направляющими; требования к покрытию – неподвижная и поворотная секции укрытия выполнены из профильного настила, юбка выполнена из эластичного материала;

3) целевое назначение трансформируемого сооружения-укрытия – обеспечение ведения работ по добыче и первичной переработке торфяного сырья и хранение комплекса горных машин в неизменных условиях искусственной среды;

4) энергозатраты: питание – электрическое, от внутренней генерации комплекса;

5) требования к надежности: трансформируемое сооружение – ИКН I вида, непрерывного длительного применения (НПДП), восстанавливаемое, обслуживаемое. Задаваемые показатели: $K_{т.и}$; T_0 ; $T_в$.

Трансформируемое сооружение – изделие, переход которого в предельное состояние не ведет к катастрофическим последствиям, стареющее и изнашиваемое одновременно, ремонтируемое необезличенным способом, длительно хранимое. Задаваемые показатели долговечности и сохраняемости: $T_{р.ср.сп}$; $T_{р.ср.кр}$; $T_{сл.ср.сп}$; $T_{сл.ср.кр}$; $T_{с.ср}$.

Вероятность безотказной работы не ниже 0,8; коэффициент технического использования $K_{т.и}=0,85$; срок службы между отказами не менее 320 суток.

4.4 Предложения по предварительному обезвоживанию торфяного сырья в выемочном рабочем органе экскаватора (манипулятора)

В главе 3 было показано, что процесс предварительного механического обезвоживания возможен, а его эффективность зависит от уплотненности торфяного сырья, площади перфорации поверхности отжимаемого объема и времени, в течение которого этот процесс проходит под влиянием силового воздействия прессы.

Для интенсификации процесса добычи предлагается совместить операцию предварительного обезвоживания торфяного сырья в рабочем выемочном органе экскаватора (манипулятора) (рисунок 4.7) с его транспортировкой после отделения стружки торфяного сырья от забоя при повороте стрелы в бункер разгрузки непосредственно на самоходной плавучей платформе.

Для предварительного обезвоживания на стенки и днище ковша наносится перфорация. Также в ковш возможен монтаж дополнительной прессующей стенки, которую необходимо оборудовать приводом в виде гидроцилиндра [83].

Применение данной конструкции позволит снизить содержание влаги в торфяном сырье уже при поднятии ковша с зачерпанным сырьем над торфяным месторождением, что обеспечит сокращение затрат времени на сушку торфяного сырья и транспортировку излишней влаги.

Рекомендации к формированию технического задания для реализации комплекса с применением перфорированного ковша с дополнительной давящей стенкой:

1) Наименование, количество и назначение основных частей изделия: ковш перфорированный; гидроцилиндр, пресс-стенка с гидроприводом. Назначение – экскавация торфяного сырья из месторождения;

2) конструктивные требования к изделию и его составным частям: габаритные – размеры ковша (грейфера): объем – 1,5 м³; масса – 1-1,5 т; ширина – 1,2-1,8 м; глубина (размер А) – 0,8-1,2 м; установочные и способы крепления – шарнирно-подвижное; требования к материалу ковша (грейфера) – нержавеющая сталь;

3) целевое назначение – экскавация торфяного сырья из месторождения с параллельным отжатием в ковше до момента выгрузки в приемный бункер;

4) энергозатраты: питание – гидропривод с насосной станцией с питанием от электродвигателя;

5) требования к надежности: перфорированный ковш с давящей стенкой – ИКН I вида, непрерывного длительного применения (НПДП), восстанавливаемое, обслуживаемое. Задаваемые показатели: $K_{т.и}$; T_o ; T_v .

Перфорированный ковш с давящей стенкой – изделие, переход которого в предельное состояние не ведет к катастрофическим последствиям, стареющее и изнашиваемое одновременно, ремонтируемое необезличенным способом, длительно хранимое. Задаваемые показатели долговечности и сохранности: $T_{р.ср.сп}$; $T_{р.ср.кр}$; $T_{сл.ср.сп}$; $T_{сл.ср.кр}$; $T_{с.ср.}$.

Вероятность безотказной работы не ниже 0,8; коэффициент технического использования $K_{т.и}=0,85$; срок службы между отказами не менее 320 суток.

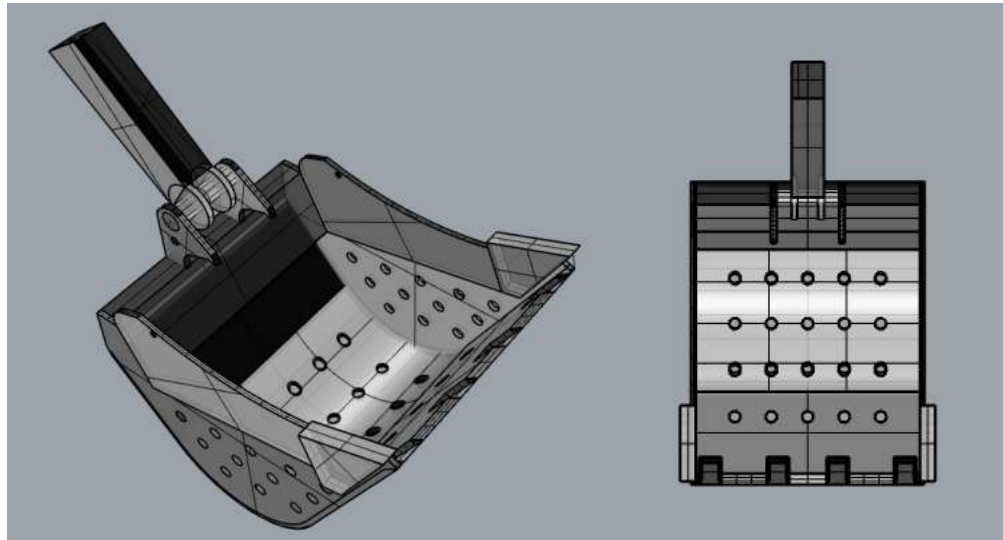


Рисунок 4.7 – Модель ковша с перфорацией боковых стенок и днища

4.5 Выводы по главе 4

1. Разработана математическая модель оценки параметров функциональных элементов комплекса для добычи и переработки торфяного сырья на неосушенных месторождениях.
2. Математическая модель оценки параметров комплекса для добычи и переработки торфяного сырья на неосушенных месторождениях реализована в прикладной программе «Программа оценки необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе «добыча-переработка».
3. Даны технические решения для реализации комплекса на самоходной плавучей платформе и под специальным техническим сооружением (укрытием), что способствует круглогодичной работе комплекса и с минимальным экологическим ущербом (без предварительного водопонижения разрабатываемой территории).
4. Даны рекомендации по созданию перфорированного ковша с дополнительной стенкой для предварительного отжатия торфяного сырья во время выемки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной задачи – обоснование и выбор схемных и конструктивных решений агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования для добычи торфяного сырья на неосушенных месторождениях, представлено новое научно-обоснованное техническое решение в виде структуры единого комплекса горного оборудования для добычи торфяного сырья для указанных условий функционирования.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения теоретических и экспериментальных исследований установлено, что существующие комплексы оборудования торфодобывающих компаний представляют собой достаточно сложные технические системы, требующие структурной модернизации, так как в недостаточной мере реализуется системный подход в формировании комплексов горных машин, направленный на достижение высокой итоговой эффективности; четко не обоснован выбор параметров техники для максимальной производительности в конкретных горно-геологических условиях; недостаточный уровень надежности и ремонтпригодности машин ведет к потере 20-25 % времени цикла, усугубляемый сезонностью ведения работ; применение существующих комплексов горных машин для добычи торфяного сырья (предполагающих подготовку и осушение торфяных месторождений) влечет за собой экологические и пожарные риски, в то время как создание и применение новых комплексов горных машин, добывающих непосредственно со специальных плавучих платформ без предварительного водопонижения месторождения позволяет повысить сезонность ведения работ, эффективность машинно-технологической системы торфяного производства и перейти к применению наилучших доступных технологий в РФ по отношению к торфодобыче, реализуемых посредством АТДК ГО.

2. На основе анализа методик формирования агрегатированных структур систем и комплексов горного оборудования на основе принципов структурно-параметрического синтеза разработана схема формирования возможных структур функциональных элементов, формирующих АДТК ГО для работы на неосушенном месторождении, проведено сравнение возможных вариантов между собой и комплексом горного оборудования для добычи фрезерного торфа с отдельной уборкой по критерию удельных энергозатрат: выявлено, что в сравнении с фрезерным практически все схемы АДТК ГО на 12-27 % менее энергоемки по сравнению с фрезерным комплексом той же годовой производительности. Разработана обобщенная структурная формула комплекса, показана возможность оценки наработки на отказ, параметра потока отказов и вероятности безотказной работы комплекса с использованием структурной формулы надежности. Разработан алгоритм выбора основных энергомассовых характеристик функциональных элементов АДТК ГО, технические характеристики которых взаимосвязаны между собой и обеспечивают при этом максимально возможную загрузку последних, с учетом пооперационных потерь при снижении массы перерабатываемого торфяного сырья по мере глубины его переработки функциональными элементами АДТК ГО.

3. На основании проведенных исследований выявлены функциональные зависимости изменения энергомассовых параметров всего спектра функциональных элементов, составляющих АДТК ГО для работы на неосушенных месторождениях от производительности соответствующего элемента, которые включены в математическую модель изменения основных параметров функциональных элементов в функции заданной производительности, реализующую предложенный алгоритм выбора параметров функциональных элементов. При этом искомые функции, в зависимости от типа функционального элемента представлены в виде экспоненциальных, степенных и линейных зависимостей с коэффициентами регрессии R^2 в диапазоне от 0,75 до 0,97.

4. Проведены оценочные лабораторные исследования по целесообразности предварительного обезвоживания торфяного сырья через перфорированную стенку выемочного рабочего органа (ковша), выявлено, что увеличение толщины пристенного слоя негативно сказывается на протекании этого процесса, при этом величина влагоотделения, отнесенная к площади прилегающей перфорированной стенки в лабораторных условиях описана экспоненциальной зависимостью с коэффициентами регрессии R^2 в диапазоне от 0,72 до 0,88 в зависимости от уплотнённости торфяного сырья.

5. Предложены технические решения отдельных функциональных элементов агрегатированного торфодобывающего комплекса горного оборудования для работы на неосушенных месторождениях защищенные патентами на изобретения РФ № 2655235 «Плавучая платформа» и № 2672366 «Трансформируемое сооружение».

6. Даны рекомендации по формированию и оценке эффективности структур систем на основе регрессионных моделей процесса функционирования элементов комплекса для выбора основных конструктивно-технологических параметров на ранних стадиях процесса их проектирования с применением разработанной компьютерной программы на языке JavaScript и работающая в ОС Windows и iOS, функционирующей в диалоговом режиме, которая позволяет поэлементно оценивать основные параметры оборудования исходя из заданных условий функционирования и необходимого объема добычи комплекса в целом.

7. Результаты исследований использованы ООО «НПКФ Эпицентр», г. Санкт-Петербург на стадии формирования исходных данных для разработки технического задания на проектирование комплекса оборудования по добыче и первичной переработке торфяного сырья для участка недр местного значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, В.Я. Технология и комплексная механизация торфяного производства. / В.Я. Антонов, В.Д. Копенкин. М.: Недра. – 1972. – 272 с.
2. Афанасьев, А.Е. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производств/ А.Е. Афанасьев, Н.В. Чураев. М.: Недра. –1992. –287 с.
3. Барабанные сушилки [сайт]: Производственно-коммерческая компания БМП. URL: <http://bmpa.ru/barabannaya-sushilka-dlya-shchepu-i-syruchih-materialov/> (дата обращения: 04.03.2019).
4. Богатов, Б.А. Добыча и переработка горных пород. Осадочные горные породы: учебное пособие / Б.А. Богатов, Н.И. Березовский. – БНТУ. – 2005. – 133 с.
5. Богатов, Б.А. Математические методы в торфяном производстве. /. Б.А. Богатов, В.Д. Копенкин. М.: Недра. – 1991. – 240 с.
6. Божко, А.Н. Структурный синтез как задача дискретной оптимизации [Электронный ресурс] // Наука и Образование: электрон. науч.-техн. изд. – 2010. – №9. Режим доступа: technomag.edu.ru/doc/158337.html. – (Дата обращения: 14.01.2018).
7. Божко, А.Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью [Электронный ресурс] / А.Н. Божко, А.Ч. Толпаров // Наука и Образование: электрон. науч.-техн. изд. – 2004. – №5. Режим доступа: <http://www.techno.edu.ru:16001/db/msg/13845.html>. – (Дата обращения: 04.04.2018).
8. Вагапова, Э.А. К вопросу о первичном обезвоживании торфяного сырья добытого гидромеханизированным способом / Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, И.Н. Худякова // Сборник трудов 14-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Тула: ТулГУ, – 2018. – Т.1. – С. 142-146.
9. Вагапова, Э.А. Обоснование и выбор оборудования для первичного обезвоживания торфяного сырья при его гидромеханизированной добыче из

неосушенной залежи / Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов, И.Н. Худякова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 7 (специальный выпуск 18) С. 3-11.

10. Валковые дробилки и шнеко-зубчатые дробилки [сайт]: ПК «Машпроект». URL: <http://www.mpoltd.ru/statii/112-valkovye-i-shneko-zubchatye-drobilki.html/> (дата обращения: 04.03.2019).

11. Васильев, А.Н. Структурные формулы технологических схем добычи торфа – Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. №11. С. 140-144.

12. Водорой. Очистка водоемов [сайт]. – URL: <https://vodoroy.ru/arendatekhniki/watermaster-classic-iv.html/> (дата обращения: 11.03.2020).

13. Вращающаяся барабанная сушилка [сайт]: EMCC. Mining & Agriculture. URL: <http://www.fertimach.com/rotary-drum/> (дата обращения: 04.03.2019).

14. Гаврильчик, А.П. Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии: монография / А.П. Гаврильчик, Т.Я. Кашинская. Издательство: Беларуская навука. – Минск. – 2013. – 305 с.

15. Гамаюнов, С.Н. К вопросу о классификации способов добычи торфа / С.Н. Гамаюнов // Труды Инсторфа. –2014. – №3 (81). – С. 145-150.

16. Геблер, И.В. О механическом обезвоживании гидромассы и получении из нее товарного торфа без разлива на полях сушки / И.В. Геблер, В.Н. Пономарев // Известия Томского политехнического института имени С.М. Кирова. – Т. 136. – 1965. – С. 61-67.

17. Геоэкологические основы использования торфяных болот и лесов Среднего Приобья: монография / Под общей редакцией д.т.н. К.И. Лопатина. – Тверь: ООО «Издательство «Триада». – 2012. – 296 с.

18. Гидравлические экскаваторы [сайт]: Компания «Хит Машинери».URL: <https://hitmachinery.ru/> (дата обращения: 04.03.2019).

19. Гидромех [сайт]: ЗАО «Завод гидромеханизации». – URL: <http://www.hydrames.ru/katalog/zemsnaryady/vodyanoi-600/> (дата обращения: 11.03.2020).
20. Гнеушев, В.А. Торф как местное топливо и фактор экологической безопасности / В.А. Гнеушев // Уголь Украины. – 2013. – №4. – С. 47-50.
21. Гнеушев, В.А. Экологические аспекты развития технологий и оборудования для добычи и переработки торфа. В.А. Гнеушев // Уголь Украины. – 2014. – №4. – С. 45-48.
22. Голубина, О.А. Физикохимия и биология торфа: Использование торфа в сельском хозяйстве: учебно-методическое пособие / О. А. Голубина. Томск: Томский ЦНТИ. – 2011. – 45 с.
23. Горбунов, В. Ф. Методические указания по определению производительности и выбору основных параметров буровзрывных проходческих комплексов / В.Ф. Горбунов, В.И. Бунин, А.Ф. Эллер. – Новосибирск: ИГД СО АН СССР. – 1982. – 56 с.
24. Горбунов, В. Ф. Основы проектирования буровзрывных проходческих систем / В.Ф. Горбунов, А.Ф. Эллер, В.М. Скоморохов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 185 с.
25. Горбунов, В. Ф. Структурные схемы проходки выработок и средств механизации / В.Ф. Горбунов, А.Ф. Эллер // Изв. вузов. Горн. журн, – 1978. – №12. – С. 31-37.
26. Горячев, В.И. Искусственное обезвоживание торфа: моногр. / В.И. Горячев; Тверской гос. технический ун-т, Верхневолжская инженерная акад. – Тверь: ТГТУ. – 2012. – 183 с.
27. Горячев, В.И. Обоснование основных физико-технических параметров технологии производства кускового топлива из фрезерного торфа / В.И. Горячев, Б.Ф. Зюзин, И.Н. Казичев, В.С. Зайцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – С. 17-20.
28. ГОСТ 21123-85. Торф. Термины и определения. М.: Издательство стандартов. – 1985. – 49 с.

29. ГОСТ Р 51062-2011 Торф кусковой топливный для коммунально-бытовых нужд. Технические условия (Переиздание). – М.: Стандартинформ. – 2019. – 10 с.
30. ГОСТ Р 54248-2010 Брикеты и пеллеты (гранулы) торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические условия). – М.: Стандартинформ. – 2012. – 11 с.
31. Гусеничные экскаваторы серии ТХ [сайт]: ЗАО «Тверской экскаватор». URL: <http://www.tvexc.ru/> (дата обращения: 04.03.2019).
32. Дробилки молотковые [сайт]: Завод оборудования «Инфел». URL: <https://infelko.ru/drobilki/drobilki-molotkovye-molot-5000-10000.html/> (дата обращения: 04.03.2019).
33. Жигульская, А.И. Новое оборудование и технологии комплексной безотходной добычи и переработки ресурсов торфяного месторождения: учебное пособие / А.И. Жигульская, Т.Б. Яконовская. – Тверь: ТвГТУ. – 2012. – 160 с.
34. Ильинский, Д.Я. Система синтеза оптимальных конструктивных решений автоматизированных технологических комплексов // Д.Я. Ильинский. – М.: Наука. – 1976. – С. 45-54.
35. Классификация машин и оборудования для добычи и переработки древесных ресурсов торфяного месторождения /А.И. Жигульская, [и др.] // Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (Препринт). – 2014. – С. 144-149.
36. Концепция охраны и рационального использования торфяных болот России. Под общей редакцией чл.-корр. РАСХН Л.И. Инишевой, Томск: ЦНТИ. – 2005. – 97 с.
37. Копенкина, Л. В. История торфяного дела в России [Текст]: моногр. / Л.В. Копенкина; Тверской гос. технический ун-т. – Тверь: Триада, 2015. – 227 с.
38. Копенкина, Л.В. Проблемы подготовки кадров для торфяной отрасли / Л.В. Копенкина // Горный информационно-аналитический бюллетень (Семинар № 16). – 2009. – С. 185-190.

39. Кремчеев, Э.А. Научное обоснование стадийной технологии экскаваторной добычи торфа: дис. ... док. тех. наук 25.00.22: защита 16.11.2016 / Кремчеев Эльдар Абдоллович. – СПб. – 2016. – 389 с.
40. Ленточные питатели [сайт]: Завод дробильного оборудования «Тульские машины». URL: <https://tulmash.ru/katalog-oborudovaniya/pitateli-lentochnyie/> (дата обращения: 04.03.2019).
41. Ленточные транспортеры [сайт]: ТПП «Станколес трейд». URL: <https://trade43.ru/product/transporter-lentochnyy-mod-tl-300-1-metr/> (дата обращения: 04.03.2019).
42. Малков, Л.М. Основы методики расчета и пути улучшения технологических показателей сезонной добычи торфа: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.15.05 / Малков Леонард Михайлович. – Калинин. – 1973. – 60 с.
43. Машины и оборудование торфяных производств: учебное пособие / Б.Ф. Зюзин, А.И. Жигульская, П.А. Яконовский, Т.Б. Яконовская. Тверь: Тверской государственный технический университет, 2015. – 160 с.
44. Мисников, О.С. Гидромеханизированная добыча торфа для получения формованного твердого топлива в Республике Саха (Якутия) / О.С. Мисников, В.А. Беляков // Горный информационно-аналитический бюллетень. М: Горная книга. – 2015. – № 4. Спец. вып. 11. – С. 70-79.
45. Мисников, О.С. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Добыча кускового торфа и сапропеля: учебное издание/ О.С. Мисников. Тверь: ТГТУ. – 2008. – 160 с.
46. Михайлов, А. В. Машины и оборудование по переработке торфа. А.В. Михайлов, О.С. Горфин. Тверь: ТвГТУ. – 2013. – 250 с.
47. Михайлов, А.В. Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, А.В. Большунов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2010. – № 9. – С. 189-194.
48. Михайлов, А.В. Состояние технического перевооружения машинно-тракторного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л.

Иванов, Ю.Ю. Бондарев // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2014. – №3(202). – С. 229-235.

49. Михайлов, А.В. Торфяное окускованное топливо для распределенной энергетики / А.В. Михайлов, А.В. Большунов // Труды 11-ой межд. научно-практ. конфер. Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. Воркутинский горный институт. – Воркута. – 2013. – С. 444-447.

50. Михайлов, А.В. Торфяное топливо и распределенная энергетика / А.В. Михайлов / Сб. тр. XII междунар. научно-практ. конфер. «Научная дискуссия: инновации в современном мире» – М.: Изд. «Международный центр науки и образования». – 2013. – С. 15-19.

51. Михайлов, А.В. Формирование и эффективное использование машинного парка торфодобывающих компаний / А.В. Михайлов, С.Л. Иванов, В.В. Габов // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2015. – №14. – С. 82-91.

52. Мяков, С.Б. Геоэкологическое обоснование развития торфяной отрасли Ленинградской области: дисс. ... канд. тех. наук : 25.00.36 / Мяков Сергей Борисович. – СПб. – 2002. – 299 с.

53. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т.3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова; [ред. совет: В.С. Авдуевский (пред.) и др.]. – М.: Машиностроение. – 1988. – 328 с.

54. Общие вопросы конструкции конвейеров. Структурообразование и классификация конвейеров // Шахмейстер, Л.Г. Подземные конвейерные установки / Л.Г. Шахмейстер, Г.И. Солод. – М.: Недра, 1976. – Гл. 2. С. 31-37.

55. Окунев, Ю. Б. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи / Ю.Б. Окунев, В.Г. Плотников. – М.: Связь. – 1978. – 184 с.

56. Опейко, Ф.А. Торфяные машины: учебник для сред. спец. учеб. заведений по специальности №0205 «Разработка торф. месторождений» / Опейко Ф.А. – Минск: Высшая школа. – 1968. – 405 с.

57. Панов, В.В. Геоэкологические основы регенерации торфяных болот: дис. ...докт. геогр. наук: 25.00.36. / Панов Владимир Владимирович. Тверь, 2003. – 339 с.
58. Патент № 2304721 Российская Федерация, МПК E21C 49/00(2006.01), E21C 45/00(2006.01). Комплекс для добычи полезных ископаемых, в частности торф: № 2005137965: заявл. 06.12.2005: опубл. 20.08.2007 / Косов В.И., Беляков А.С.; заявитель Косов В.И. – 11 с. : ил.
59. Патент № 2529059 Российская Федерация, МПК C10F 7/00(2006.01), E21C 49/00(2006.01). Энергонезависимый технологический комплекс по производству продукции из торфа: № 2013131060/03: заявл. 05.07.2013: опубл. 27.09.2014 / Большунов А.В., Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Нагорнов Д.О.; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – 11 с. : ил.
60. Патент № 2599117 Российская Федерация, МПК E21C 49/00(2006.01), C10F 5/02(2006.01), C10F 7/00(2006.01). Способ по добыче и переработке торфа и растительно-торфяных сплавин и устройство для реализации этого способа: № 2015108533/03: заявл. 11.03.2015: опубл. 10.10. 2016/ Иванов С.Л., Михайлов А.В., Звонарев И.Е., Бондарев Ю.Ю., Таранов А.Г.; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – 8 с. : ил.
61. Патент № 2614337 Российская Федерация, МПК E21C 41/30(2006.01), E04H 9/16(2006.01). Способ дражной разработки обводненных россыпных месторождений полезных ископаемых: № 2016106843: заявл. 25.02.2016: опубл. 24.03.2017 / Кисляков В.Е., Нафиков Р.З.; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет». – 5 с. : ил.
62. Патент № 2637346 Российская Федерация, МПК E21C 49/00(2006.01), C10F 5/02(2006.01), C10F 7/08(2006.01). Способ разработки торфяных месторождений: № 2016142258: заявл. 26.10.2016, опубл. 04.12.2017 / Габов В.В., Гашокина А.А., Иванов С.Л., Михайлов А.В., Максимчук Н.Б.; заявитель: Санкт-Петербургский Горный университет. – 8 с. : ил.

63. Патент № 2655235 Российская Федерация, МПК В63В 35/44(2006.01), В63Н 19/08(2006.01), В63В 35/34(2006.01), В63В 3/08(2006.01), Е21С 49/00(2006.01). Плавающая платформа: № 2017116467: заявл. 11.05.2017, опубл. 24.05.2018 / Фадеев Д.В., Звонарев И.Е., Иванов С.Л., Худякова И.Н.; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – 15 с. : ил.
64. Патент № 2672366 Российская Федерация, МПК Е04Н 6/02(2006.01), В63В 17/02(2006.01), Е04F 10/10(2006.01), Е04Н 15/48(2006.01). Трансформируемое сооружение: № 2018104765: заявл. 07.02.2018, опубл. 14.11.2018 / Худякова И.Н., Фадеев Д.В., Вагапова Э.А., Иванов С.Л.; заявитель Санкт-Петербургский Горный университет. – 10 с. : ил.
65. Правительство РФ [сайт]: Распоряжение от 09.06.2020 г. №1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года». Москва. – 2020. – 95 с. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/#0/> (дата обращения 10.06.2020).
66. Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа: учебное пособие / Смирнов В.И., Афанасьев А.Н., Болтушкин А.Н., Васильев А.Е. / Под ред. В.И. Смирнова. 1-е изд. Тверь: ТГТУ. – 2007. – 392 с.
67. Промышленное оборудование [сайт]: Научно-производственное объединение «Механика-транс». URL: <https://mechtrans.ru/> (дата обращения: 04.03.2019).
68. Промышленные центрифуги [сайт]: Производственная компания «Кинетра». URL: <http://kinetrapro.ru/himicheskoeoborudovanie/tsentrifugi/> (дата обращения: 04.03.2019).
69. Резванова, Э.А. Интенсификация снижения влагосодержания торфяного сырья при его подготовке к последующей переработке / Э.А. Резванова, С.Л. Иванов, И.Н. Худякова // Москва: «Интернаука». – №5(45). – 2017. – С. 24-30.
70. Родионов, В.З. Разработка торфяных месторождений в Ленинградской области (проблемы и решения) / В.З. Родионов // Региональная экология). СПб. – 2017. – №3 (49). – С. 59-64.

71. Селеннов, В.Г. Разработка научных основ, технологии и оборудования производства субстратных торфоблоков: дис. ... докт. техн. наук: 05.15.05 / Селеннов Вадим Георгиевич. - Л. – 1990. – 516 с.
72. Солод, В. И. Основы проектирования выемочных комплексов и агрегатов / В.И. Солод, К.М. Первов. – М.: изд. МГИ. – 1972. – 170 с.
73. Солод, В.И. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов: учебник для вузов / В.И. Солод, В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек. М.: Недра. – 1982. – 350 с.
74. Солопов, С.Г. Торфяные машины и комплексы / С.Г. Солопов, Л.О. Горцакалян, Л.Н. Самсонов М.: Недра. – 1973. – 389 с.
75. Сортировки, сепараторы [сайт]: ООО «ЭкоЭнергия»: URL: http://www.ecology-energy.ru/equipment/equipment_elements/separators/ (дата обращения: 04.03.2019).
76. Технологические схемы строительства осушительных систем, подготовки и ремонта производственных площадей для добычи торфа (рекомендации). Л.: пос. Радченко. – 1981. – 50 с.
77. Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология / А.С. Беляков, О.В. Белозеров, Д.Ю. Гогин, В.И. Косов / Под ред. В.И. Косова СПб.: Наука. – 2007. – 452 с.
78. Традиционные и перспективные технологии добычи торфа при освоении малых торфяных месторождений: [сайт]. – URL: <https://www.dorgeoproekt.com/single-post/2018/04/11/> (дата обращения: 11.03.2020).
79. Управление процессом разработки торфяных месторождений: учебное пособие для вузов по спец. 0203 «Технология и комплекс. механизация разраб. торф. месторождений» / Б. А. Богатов. Минск: Вышэйш. шк., 1985. – 168 с.
80. Фадеев, Д.В. Алгоритм выбора энергоэффективного оборудования автономного модульного комплекса по добыче и переработке торфяного сырья неосушенных месторождений / Д.В. Фадеев, И.Н. Худякова, С.Л. Иванов, И.Е. Звонарев // Сборник трудов 12-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. – Тула: ТулГУ. – 2016. Т. 1. – С.113-118.

81. Физика и химия торфа: учебное пособие для вузов/ И.И. Лиштван, Е.Т. Базин, Н.И. Гамаюнов, А.А. Терентьев. М. : Недра. – 1989. – 304 с.
82. Худякова, И.Н. Выбор и обоснование параметров технологического оборудования комплекса добычи торфяного сырья из натуральной залежи / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №3 (специальный выпуск 4).– 2019. С. – 3-15.
83. Худякова, И.Н. Моделирование процесса механического обезвоживания торфяного сырья в рабочих органах горных машин / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, П.В. Иванова, С.Л. Иванов // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2020, Санкт-Петербургский Горный университет, 2020. – С. 290-296.
84. Худякова, И.Н. Оценка энергопотребления технологического оборудования автономного модульного комплекса для добычи и переработки торфяного сырья из неосушенного месторождения / И.Н. Худякова, С.Л. Иванов, Э.А. Вагапова // Сборник трудов 13-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики. Тула: ТулГУ. – 2017. – Т.1. – С. 155-162.
85. Худякова, И.Н. Структура энергетических потоков плавучего автономного торфодобывающего комплекса / И.Н. Худякова, И.Е. Звонарев, К.В. Биринцева // Журнал магистров, Том 1/ Под ред. В.Ю. Петрова. Пермь.: ПНИПУ. – 2017. – С. 121-125.
86. Худякова, И.Н. Структурные решения плавучего комплекса добычи и переработки торфяного сырья / Худякова И.Н. // Сборник трудов по результатам участия в Международном семинаре «Круглый стол молодых ученых: Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019», Санкт-Петербургский Горный университет. – 2019. – С. 591-595.

87. Худякова, И.Н. Формирование структурной формулы комплекса добычи торфяного сырья из обводненной залежи / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Сборник трудов XVI Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека: Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»; под общей редакцией Ю.А. Лагуновой. УГГУ. – 2019. – С. – 156-159.
88. Худякова, И.Н. Формирование структуры комплекса для добычи торфа на обводненной залежи / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, П.В. Иванова / Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2020. – Т.1.– С. 88.
89. Худякова, И.Н. Формирование структуры комплекса добычи и переработки торфяного сырья для месторождений естественной обводненности / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС. – 2018. – №1. – С. 148-150.
90. Худякова, И.Н. Формирование структуры комплекса добычи и переработки торфяного сырья обводненных месторождений и поиск подходов функционирования модуля обезвоживания / И.Н. Худякова, Э.А. Вагапова, С.Л. Иванов // Сборник статей участников Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2018, Санкт-Петербургский Горный университет. – 2018. – С. 94.
91. Худякова, И.Н. Формирование структуры основного технологического оборудования автономного комплекса для добычи торфа из неосушенного месторождения / Худякова И.Н., Резванова Э.А., Коконков А.А., Иванов С.Л. – Текст: электронный // Интернет-журнал «Наукovedение». – 2017. – № 9 (3). – С. 1-8. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/103TVN317.pdf>. (дата обращения: 25.09.2017).

92. Штин, С.М. Гидромеханизированная технология разработки торфо-сапропелевых месторождений с получением органоминеральных удобрений и биотоплива/ С.М. Штин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 12.– С. 45-57.
93. Штин, С.М. Применение торфа как топлива для малой энергетики. / Штин С.М. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 8.– С. 82-96.
94. Экологические аспекты в выборе конструктивных и схемных решений оборудования для переработки торфодревесного сырья / А.И. Жигульская, Б.Ф. Зюзин, А.В. Танделов, М.К. Шихмагомедов // Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (Препринт). – 2015. – С. 62-66.
95. Экскаваторы [сайт]: Компания Caterpillar. URL: https://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/excavators / (дата обращения: 04.03.2019).
96. Экскаваторы [сайт]: ООО «Комацу СНГ». URL: <https://www.komatsu.ru/catalog/stroitel'naya-i-gornaya-tekhnika/ekskavatory/> (дата обращения: 04.03.2019).
97. Экскаваторы [сайт]: Volvo CE Russia & CIS РОССИЯ И СНГ <https://www.volvoce.com/rossiya/ru-ru/vostok/products/excavators> / (дата обращения: 04.03.2019).
98. Ялтанец, И. М. Гидромеханизированные и подводные горные работы: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки "Горное дело" / Ялтанец И. М.: Изд-во МГГУ. – 2009. – 716 с.
99. Arvo Leinonen, Harvesting technology of forest residues for fuel in the USA and Finland. – 2004, p. – 146, Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Harvesting-technology-of-forest-residues-for-fuel-Leinonen/582f40e208ea5d36fdc4ece5c19481c9572f3c15> / [Электронный ресурс] (дата обращения: 14.05.2018).

100. Clarke, D., Rieley, J. (Eds.) *Strategy for Responsible Peatland Management*, International Peat Society, Finland, 2010, pp. 296-271, Available at: <https://www.coursehero.com/file/p568oa4/Strategy-for-Responsible-Peatland-Management-In-2010-the-International-Peat/> [Электронный ресурс] (дата обращения: 01.03.2018).
101. Fadeev, D.V. Algorithm for estimating loads of supports floating platforms for the extraction and processing of peat raw materials / D.V. Fadeev, E.A. Vagarova, I.N. Khudyakova. – DOI:10.1088/1755-1315/378/1/012012. – Text: electronic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). – 2019. – Volume. № 378. – pp.1-5. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/378/1/012012>. (дата обращения: 22.12.2019).
102. Jack Rieley, Jaakko Silpola and Susann Warnecke, *World Energy Resources: Peat*, Finland, 2013, pp. 1-24, Available at: https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER_2013_6_Peat.pdf [Электронный ресурс] (дата обращения: 08.01.2018).
103. Khudyakova, I.N. Raw peat production and processing from flooded fields and approaches to maintain dehydration / I.N. Khudyakova, E.A. Vagarova, S.L. Ivanov. – DOI:10.1088/1755-1315/194/3/032010. – Text: electronic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). – 2018. – Volume. № 194. – pp.1-5. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/194/3/032010>. (дата обращения: 28.11.2018).
104. Martin Evans, Jeff Warburton, *Geomorphology of Upland Peat: Erosion, Form and Landscape Change*. United States: Blackwell Publishing Ltd, 2007, pp. 1-85, Available at: http://www.doganaydal.com/nesneler/kutuphanekitaplar/geochemical_sediments_and_landscapes.pdf [Электронный ресурс] (дата обращения: 10.10.2017).
105. Vagarova, E.A. Primary dehydration of peat on floating mining platforms / E.A. Vagarova, I.N. Khudyakova, D.V. Fadeev. – DOI:10.1088/1755-1315/378/1/012104. – Text: electronic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). – 2019. – Volume. № 378. – pp. 1-5. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/378/1/012104> (дата обращения: 17.12.2019).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Программа для ЭВМ «Оценка необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе «добыча-переработка»

Фрагмент исходного текста программы

```

<!doctypehtml>
<html lang="ru">
<head>
<meta charset="utf-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no">

<title>Алгоритм расчета необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе добыча-переработка</title>

<link rel="stylesheet" href="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.4.1/css/bootstrap.min.css" integrity="sha384-Vkoo8x4CGsO3+Hhxv8T/Q5PaX-tkKtu6ug5TOeNV6gBiFeWPGFN9MuhOf23Q9Ifjh" crossorigin="anonymous">

<style>
  [v-cloak] {
    display: none;
  }
</style>
</head>

<body>
<div class="container-fluid" id="main">

<div class="row" style="margin-bottom: 20px;">
<h3 style="text-align: center;">Алгоритм расчета необходимого объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе добыча-переработка </h3>
</div>
<div class="row">

<!-- 1 col -->

<div class="col-lg row">
<h4 @click="testCalc()" class="col-sm-12">Ввод исходных данных:</h4>
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Вид готовой продукции</label>
<select v-model="input.production" class="form-control">
<option disabled value="">Выберите один из вариантов</option>
<option value="granule">Торфяная топливная крошка</option>
<option value="fuel">Энергоплотно торфяное топливо</option>
</select>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Необходимо задать: </label>
<select v-model="show.necOrArea" class="form-control">
<option value="nec">Потребность в торфяном топливе</option>
<option value="area">Площадь обработки</option>
</select>
</div>

```

```

</div>

```

```

<div class="col-md-12" v-if="showNec">
<div class="form-group">
<label>Потребность в торфяном топливе</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.fuelNecessary" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12" v-if="!showNec">
<div class="form-group">
<label >Площадь обработки</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.area" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">м</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влагосодержание экскавируемого торфяного сырья</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.rawMoisture" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влагосодержание готовой продукции </label>
<div class="input-group mb-3">

```

```

<input v-model="input.productMoisture" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Степень разложения торфа</label>
<select v-model="input.P" class="form-control">
<option disabled value="">Выберите один из вариантов</option>
<option value="1">Низкой степени разложения до 20%</option>
<option value="2">Средней степени разложения от 21% до 40%</option>
<option value="3">Высокой степени разложения свыше 40% </option>
</select>
</div>
</div>

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Пнистость</label>
<select v-model="input.Pnist" class="form-control">
<option disabled value="">Выберите один из вариантов</option>
<option value="1">1%</option>
<option value="2">2%</option>
<option value="3">3%</option>
</select>
</div>
</div>

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Время цикла экскаватора</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.excavatorCycleTime" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">c</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Коэффициент использования экскаватора по времени </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.excavatorUseFactor" type="number" class="form-control" >
</div>
</div>

```

```
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количествосмен</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.sm" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">ед</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Продолжительностьсмены</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.smDuration" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">ч</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<divclass="form-group">
<label>Количество рабочих дней в год </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.smDaysInYear" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">ед</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<divclass="form-group">
<label>Глубина разработки месторождения </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.h" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">м</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
</div>
```

```
<!-- 2 col -->
```

```
<div class="col-lg">
<h4 class="col-sm-12">Выбор стадий: </h4>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">
<input v-model="stageSelector.s10" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_10_selector" disabled>
<label class="custom-control-label" for="stage_10_selector">Стадия экскавации</label>
</div>
</div>
```

```
<template v-if="stageSelector.s10">
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влагосодержание при экскавации </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_10.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Потери при экскавации</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_10.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т/сут</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количество экскаваторов</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_10.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">шт</span>
</div>
</div>
</div>
```

```

</div>
</div>
</template>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">
<input v-model="stageSelector.s20" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_20_selector">
<label class="custom-control-label" for="stage_20_selector">Стадияпредварительногоотжима</label>
</div>
</div>

```

```

<template v-if="stageSelector.s20">
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влагосодержание при отжиме </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_20.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Потери приотжиме</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_20.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количествоэлементовотжима</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_20.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">>шт</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</template>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">

```

```

<input v-model="stageSelector.s30" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_30_selector">
<label class="custom-control-label" for="stage_30_selector">Стадия сепарации</label>
</div>
</div>
<template v-if="stageSelector.s30">
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влагосодержание при сепарации </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_30.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Потери при сепарации</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_30.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т/сут</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количество сепараторов</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_30.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">шт</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</template>

<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">
<input v-model="stageSelector.s40" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_40_selector">
<label class="custom-control-label" for="stage_40_selector">Стадия механического обезвоживания</label>
</div>
</div>
</div>
<template v-if="stageSelector.s40">

```



```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влажность после механического обезвоживания (центрифуга) </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_40.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Потери при механического обезвоживания </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_40.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т/сут</span>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Количество обезвоживателей</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_40.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">шт</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</template>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">
<input v-model="stageSelector.s50" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_50_selector">
<label class="custom-control-label" for="stage_50_selector">Стадия измельчения</label>
</div>
</div>
<template v-if="stageSelector.s50">
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влажность после процесса измельчения (attritor) </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_50.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>

```

```

</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Потери при механическом измельчении</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_50.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т/сут</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количество измельчителей</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_50.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">шт</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</template>

```

```

<!-- s 60 -->

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">
<input v-model="stageSelector.s60" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_60_selector">
<label class="custom-control-label" for="stage_60_selector">Стадия прессования</label>
</div>
</div>
<template v-if="stageSelector.s60">
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влажность после прессования </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_60.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Потери при прессовании</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_60.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т/сут</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количество прессов</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_60.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">шт</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</template>
```

```
<!-- s 70 -->
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="custom-control custom-switch">
<input v-model="stageSelector.s70" type="checkbox" class="custom-control-input"
id="stage_70_selector">
<label class="custom-control-label" for="stage_70_selector">Стадия сушки</label>
</div>
</div>
<template v-if="stageSelector.s70">
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label>Влажность после сушки торфяного сырья </label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_70.w" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text"> % </span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
```

```

<label >Потери после процесса сушки торфяного сырья</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_70.p" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">т/сут</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12">
<div class="form-group">
<label >Количество сушилок</label>
<div class="input-group mb-3">
<input v-model="input.s_70.c_e" type="number" class="form-control" >
<div class="input-group-append">
<span class="input-group-text">шт</span>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</div>
</template>

```

```

<div class="col-md-12">
<p>
<button type="button" @click="calc()" class="btn btn-success">Выполнить расчет</button>
</p>
<p>
<button type="button" @click="initDefaultValues()" class="btn btn-warning">Заполнить тестовыми данными</button>
</p>
</div>

```

```

</div>

```

```

<div class="col-lg">
<h4 class="col-sm-12">Результаты: </h4>

```

```

<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="k_n > 0">
<label ></label>
<div class="input-group mb-3">
Коэффициент наполнения: {{k_n}} <br>
                Коэффициент разрыхления: {{k_r}} <br>
                Коэффициент экскавации: {{k_e}} <br>
</div>
</div>
</div>

```

```

<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="m_d">

```

<label>Объем сухого вещества в объеме готовой продукции с учетом древесных включений </label>

<div class="input-group mb-3">

$\{\{m_d\}\}$, т

</div>

</div>

</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >

<div class="form-group" v-if="M_9">

<label>Объем добычи с учетом пнистости</label>

<div class="input-group mb-3">

$\{\{M_9\}\}$, т

</div>

</div>

</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >

<div class="form-group" v-if="h > 0">

<label >Параметры месторождения</label>

<div class="input-group mb-3">

a = b = $\{\{input.area\}\}$, м

h = $\{\{h\}\}$, м

</div>

</div>

</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >

<div class="form-group" v-if="finalValues.st11 && finalValues.st11.calc">

<label >Стадия экскавации</label>

<div class="input-group mb-3">

Вместимость ковша экскаватора-манипулятора $\{\{finalValues.E\}\}$

Производительность Q = $\{\{finalValues.st11.Q\}\}$, м³/час

Номинальная мощность N = $\{\{finalValues.st11.N\}\}$, кВт

Номинальная масса G = $\{\{finalValues.st11.G\}\}$, т

</div>

</div>

</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >

<div class="form-group" v-if="finalValues.st22 && finalValues.st22.calc">

<label>Стадия предварительного отжима</label>

<div class="input-group mb-3">

Масса торфяного сырья при предварительном отжати $\{\{finalValues.st22.M_10\}\}$ т

Потери при отжати $\{\{finalValues.st22.D7\}\}$ т

Производительность Q = $\{\{finalValues.st22.Q\}\}$, м³/час

Номинальная мощность N = $\{\{finalValues.st22.N\}\}$, кВт

Номинальная масса G = $\{\{finalValues.st22.G\}\}$, т

</div>

</div>

</div>

```

<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="finalValues.st33 && finalValues.st33.calc">
<label >Стадия сепарации</label>
<div class="input-group mb-3">
Масса торфяного сырья, приходящегося на стадию сепарации
{{finalValues.st33.M_10_11}} т <br>
    Масса древесины на переработку {{finalValues.st33.M_p_2}} т <br>
    Потребность производительности сепаратора {{finalValues.st33.D7}} т
<br>
    Производительность Q = {{finalValues.st33.Q}}, м3/час <br>
    Номинальная мощность N = {{finalValues.st33.N}}, кВт <br>
    Номинальная масса G = {{finalValues.st33.G}}, т <br>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="finalValues.st44 && finalValues.st44.calc">
<label>Стадия механического обезвоживания</label>
<div class="input-group mb-3">
Масса торфяного сырья, приходящегося на стадию механического обезвоживания
{{finalValues.st44.M_12}} т <br>
    Производительность Q = {{finalValues.st44.Q}}, м3/час <br>
    Номинальная мощность N = {{finalValues.st44.N}}, кВт <br>
    Номинальная масса G = {{finalValues.st44.G}}, т <br>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="finalValues.st55 && finalValues.st55.calc">
<label >Стадия измельчения</label>
<div class="input-group mb-3">
Масса торфяного сырья, приходящегося на стадию измельчения {{finalValues.st55.M_13}}
т <br>
    Производительность Q = {{finalValues.st55.Q}}, м3/час <br>
    Номинальная мощность N = {{finalValues.st55.N}}, кВт <br>
    Номинальная масса G = {{finalValues.st55.G}}, т <br>
</div>
</div>
</div>

<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="finalValues.st66 && finalValues.st66.calc">
<label >Стадия прессования</label>
<div class="input-group mb-3">
Масса торфяного сырья, приходящегося на стадию прессования {{finalValues.st66.M_14}}
т <br>
    Производительность Q = {{finalValues.st66.Q}}, м3/час <br>
    Номинальная мощность N = {{finalValues.st66.N}}, кВт <br>
    Номинальная масса G = {{finalValues.st66.G}}, т <br>
</div>
</div>

```

```
</div>
</div>
```

```
<div class="col-md-12" v-cloak >
<div class="form-group" v-if="finalValues.st77 && finalValues.st77.calc">
<label >Стадиясушки</label>
<div class="input-group mb-3">
Масса торфяного сырья, на выходе со стадии сушки {{finalValues.st77.M_15}} т <br>
    Производительность Q = {{finalValues.st77.Q}}, м3/час <br>
    Номинальная мощность N = {{finalValues.st77.N}}, кВт <br>
    Номинальная масса G = {{finalValues.st77.G}}, т <br>
```

```
</div>
</div>
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
</div>
```

```
<script src="https://code.jquery.com/jquery-3.4.1.slim.min.js" integrity="sha384-
J6qa4849b1E2+poT4WnyKhv5vZF5SrPo0iEjwBvKUN7imGFAV0wwj1yYfoRSJoZ+n" cross-
sorigin="anonymous"></script>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/popper.js@1.16.0/dist/umd/popper.min.js" integ-
rity="sha384-Q6E9RHvbIyZFJoft+2mJbHaEWldlvI9IOYy5n3zV9zzTtmI3UksdQRVvoxM-
fooAo" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="https://stackpath.bootstrapcdn.com/bootstrap/4.4.1/js/bootstrap.min.js" integ-
rity="sha384-wfSDF2E50Y2D1uUdj0O3uM-
BJnjuUD4Ih7YwaYd1iqfktj0Uod8GCExl3Og8ifwB6" crossorigin="anonymous"></script>
<script src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/vue/dist/vue.js"></script>
```

```
<script>
    let app = new Vue({
        el: '#main',
        data: {
```

```
finalValues: {},
```

```
        M0: "",
        m_d: "",
        M_9: null,
```

```
        a_b: 0,
```

h: 0,

```

    input: {
      production: "",
fuelNecessary: "",
      area: "",
rawMoisture: "",
productMoisture: "",
      P: "",
Pnist: "",

```

```

excavatorCycleTime: "",
excavatorUseFactor: "",
sm: "",
smDuration: "",
smDaysInYear: "",
  h: "",

```

```

    s_10: {
c_e: "",
      p: "",
      w: ""
    },

```

```

    s_20: {
c_e: "",
      p: "",
      w: ""
    },

```

```

    s_30: {
c_e: "",
      p: "",
      w: ""
    },

```

```

    s_40: {
c_e: "",
      p: "",
      w: ""
    },

```

```

    s_50: {
c_e: "",
      p: "",
      w: ""
    },

```

```

    s_60: {
c_e: "",
      p: "",
      w: ""
    },

```

```

    s_70: {
c_e: "",
      p: "",

```



```

        w: ""
    }

    },
    show: {
necOrArea: "nec"
    },
    stageSelector: {
        s10: true,
        s20: false,
        s30: false,
        s40: false,
        s50: false,
        s60: false,
        s70: false,
    }
},

    methods: {
testCalc() {
this.initDefaultValues();
this.calc();
},

    calc: function() {
        this.M0 = parseInt(this.input.fuelNecessary);

if(this.show.necOrArea === "nec") {
for(let i = 0; i < 1; i++) {

        let mObj = this.calcDryMatter();
        let m_d = mObj.m_d;

        let toggleStagesResult = this.calcToggleStages(m_d);
        const M_7 = toggleStagesResult.M_7;

console.log("потребность в торфяном топливе: " + this.M0);
console.log("Определение сухого вещества в объеме готовой продукции с учетом древес-
ных включений (т):" + this.m_d);
console.log("M7 " + toggleStagesResult.M_7);

        const M_8 = M_7 * ((100 - toggleStagesResult.Wtmp) / 100)

if(M_8 < m_d) {
console.log("Ошибка - M_8 " + M_8 + " < " + m_d );
}

        // Определение параметров торфяного месторождения

        const W_n = parseInt(this.input.rawMoisture);

```

```

        let M_9 = (M_8 * 100 / (100 - W_n)) * ( 1 + (parseInt(this.input.Pnist)/100));
console.log("M0= " + this.M0 + " | M9 = " + M_9 + " step " + i);
        const M_0 = (M_9 * (100 - W_n)) / (100 - toggleStagesResult.Wtmp) ;
        this.M0 = M_0;
        const a_b = Math.sqrt(M_9 / parseFloat(this.input.h));
this.input.area = a_b;

        }
    }
    const h = parseFloat(this.input.h);
    const a_b = parseInt(this.input.area);
this.h = h;

    let M_9 = a_b * a_b * h;

// Определение вместимости ковша экскаватора-манипулятора:
    // время цикла экскаватора
constt_c = parseInt(this.input.excavatorCycleTime);
// фонд рабочего времени
constT = parseInt(this.input.smDaysInYear) * parseInt(this.input.sm) * parseInt(this.in-
put.smDuration);
// количество экскаваторов
constEx_coutn = parseInt(this.input.s_10.c_e);
// коэффициент использования экскаватора по времени
constK_isp = parseFloat(this.input.excavatorUseFactor);
const k_e = this.k_e;
        const E = M_9 * t_c / 3600 / K_isp / T / k_e / Ex_coutn;

console.log("E=" + E);

console.log("А тут точно в скобках???");

const Q_ex = (3600 * E * k_e * K_isp) / ( t_c );
console.log("Q_ex=" + Q_ex);
        const N_ex = 79.833 * Math.exp(0.0026 * Q_ex);
console.log("N_ex=" + N_ex);

// Определение номинально-необходимой массы экскаватора-манипулятора, T:
G_ex = 10.992 * Math.exp(0.0023 * Q_ex);

        const D_0 = parseFloat(this.input.s_10.p) * parseInt(this.input.smDaysInYear);
M_9 = M_9 - D_0;

        this.M_9=M_9;

this.finalValues = this.calcFinalValues(this.input, this.stageSelector, M_9, T);
this.finalValues.st11 = {
    "calc": true,
    "Q": Q_ex.toFixed(3),

```

```

        "N": N_ex.toFixed(3),
        "G": G_ex.toFixed(3),
    };
    this.finalValues.E = E.toFixed(3);
    console.log(this.finalValues);

    },

    calcDryMatter: function() {
        let m0 = this.M0;

        const m = m0 * (100 - parseInt(this.input.productMoisture)) / 100;
        const v1 = m * 100 / (100 - parseInt(this.input.rawMoisture));

        const P = (v1 * parseInt(this.input.Pnist)) / 100;

        const D_s = P * (100 - parseInt(this.input.rawMoisture)) / 100;

        const m_d = m + D_s;

        this.m_d = m_d.toFixed(3);

        return {
            "m" : m,
            "m_d" :m_d,
        }
    },

    calcToggleStages: function (mToCheck) {

        const daysInYear = parseInt(this.input.smDaysInYear);
        const p = parseFloat(this.input.s_10.p);
        const d = p * daysInYear;

        const M_1 = ((this.m_d * 100) / (100 - parseInt(this.input.rawMoisture))) + d;
        let M_2 = NaN;
        let M_3 = NaN;
        let M_4 = NaN;
        let M_5 = NaN;
        let M_6 = NaN;
        let M_7 = NaN;

        let D_1 = NaN;

        if(M_1 <mToCheck) {
            console.log("Ошибка - M_1 " + M_1 + " < " + mToCheck );
        }

        let Wtmp = parseInt(this.input.s_10.w);

        if(this.stageSelector.s20) {

```

```

        M_2 = M_1 * (100 - parseInt(this.input.rawMoisture)) / (100 - parseInt(this.in-
put.s_20.w))
        D_1 = (M_1 - M_2) * (parseInt(this.input.s_20.p)/100);
        M_2 = M_2 + D_1;
Wtmp = parseInt(this.input.s_20.w);
        } else {
            M_2 = M_1;
        }

if(M_2 <mToCheck) {
console.log("Ошибка - M_2 " + M_2 + " < " + mToCheck );
}

if(this.stageSelector.s30) {
    // todo
    // добавить в Определение массы, поступающей на сепарацию: D_1!!!
или отнять?

    const D_2 = parseFloat(this.input.s_30.p) * daysInYear;

    const M_2_3 = M_2 + D_2;

    const M_pnist= M_2_3 * (parseInt(this.input.Pnist)/100);

    M_3 = M_2_3 + M_pnist;

Wtmp = parseInt(this.input.s_30.w);

        } else {
            M_3 = M_2;
        }

if(M_3 <mToCheck) {
console.log("Ошибка - M_3 " + M_3 + " < " + mToCheck );
}

        if(this.stageSelector.s40) {
            const D_3 = parseFloat(this.input.s_40.p) * daysInYear;
            const koeff= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(this.input.s_40.w));
            M_4 = (M_3 + D_3) * koeff;
Wtmp = parseInt(this.input.s_40.w);

        } else {
            M_4 = M_3;
        }

if(M_4 <mToCheck) {
console.log("Ошибка - M_4 " + M_4 + " < " + mToCheck );
}

        if(this.stageSelector.s50) {
            const D_4 = parseFloat(this.input.s_50.p) * daysInYear;

```

```

        const koef= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(this.input.s_50.w));
        M_5 = (M_4 + D_4) * koef;
Wtmp = parseInt(this.input.s_50.w);

        } else {
            M_5 = M_4;
        }

if(M_5 <mToCheck) {
console.log("Ошибка - M_5 " + M_5 + " < " + mToCheck );
}

        if(this.stageSelector.s60) {
            const D_5 = parseFloat(this.input.s_60.p) * daysInYear;
            const koef= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(this.input.s_60.w));
            M_6 = (M_5 + D_5) * koef;
Wtmp = parseInt(this.input.s_60.w);

        } else {
            M_6 = M_5;
        }

if(M_6 <mToCheck) {
console.log("Ошибка - M_6 " + M_6 + " < " + mToCheck );
}

        if(this.stageSelector.s70) {
            const D_6 = parseFloat(this.input.s_70.p) * daysInYear;
            const koef= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(this.input.s_70.w));
            M_7 = (M_6 + D_6) * koef;
Wtmp = parseInt(this.input.s_70.w);

        } else {
            M_7 = M_6;
        }

if(M_7 <mToCheck) {
console.log("Ошибка - M_7 " + M_7 + " < " + mToCheck );
}

        return {
            "Wtmp": Wtmp,
            "M_7" : M_7
        };
    },

calcFinalValues : function(input, stageSelector, M_9, T) {

        const daysInYear = parseInt(input.smDaysInYear);
        const p = parseFloat(input.s_10.p);
const d = p * daysInYear;

```

```

//стадия предварительного отжима
let st22 = {
    "calc": false,
    "Q": 0,
    "N": 0,
    "G": 0,
    "D7": 0,
    "M_10": 0
};
//стадия сепарации
let st33 = {
    "calc": false,
    "Q": 0,
    "N": 0,
    "G": 0,
};
//стадия механического обезвоживания
let st44 = {
    "calc": false,
    "Q": 0,
    "N": 0,
    "G": 0,
};
//стадияизмельчения
let st55 = {
    "calc": false,
    "Q": 0,
    "N": 0,
    "G": 0,
};
//стадия прессования
let st66 = {
    "calc": false,
    "Q": 0,
    "N": 0,
    "G": 0,
};
//стадиясушки
let st77 = {
    "calc": false,
    "Q": 0,
    "N": 0,
    "G": 0,
};

let M_10 = NaN;
let M_10_11 = NaN;
let M_11 = NaN;
let M_12 = NaN;
let M_13 = NaN;

```

```

let M_14 = NaN;
let M_15 = NaN;

let Wtmp = parseInt(input.s_10.w);
let d_P_tmp = parseInt(input.s_10.p);

if(stageSelector.s20) {
    M_10 = M_9 * (100 - parseInt(input.rawMoisture)) / (100 - parseInt(input.s_20.w));
    D_7 = (M_9 - M_10) * (parseInt(input.s_20.p)/100);
    Wtmp = parseInt(this.input.s_20.w);
    st22.calc = true;
    st22.Q = (M_10 / T / parseInt(input.s_20.c_e)).toFixed(3);
    st22.N = 0;
    st22.G = 0;

    M_10 = M_10 - D_7;

    st22.M_10 = M_10;
    st22.D7 = D_7.toFixed(3);
    st22.EO = input.s_20.c_e;
} else {
    M_10 = M_9;
}

if(stageSelector.s30) {
    M_10_11 = M_10 * (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(this.input.s_30.w));

    M_p_2 = M_10_11 * parseInt(input.Pnist)/100

    M_11 = M_10_11 - M_p_2;

    st33.calc = true;

    const dop_div = (86.37*Math.exp(0.0262 * Wtmp))/1000;
    st33.Q = (M_11 / T / parseInt(input.s_30.c_e)/dop_div).toFixed(3);
    st33.N = (1.03 * Math.exp(0.05 * st33.Q)).toFixed(3);
    st33.G = (1.18 * Math.exp(0.02 * st33.Q)).toFixed(3);

    st33.M_10_11 = M_10_11.toFixed(3);
    st33.M_p_2 = M_p_2.toFixed(3);

    st33.C = input.s_30.c_e;

    Wtmp = parseInt(input.s_30.w);
    d_P_tmp = parseInt(input.s_30.p);

} else {
    M_11 = M_10;
}

```

```

if(stageSelector.s40) {

    const D_3 = d_P_tmp * daysInYear;
    const koef= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(input.s_40.w));
    M_12 = (M_11 - D_3) * koef;
    Wtmp = parseInt(this.input.s_40.w);
    d_P_tmp = parseInt(input.s_40.p);

    st44.calc = true;

    const dop_div = (86.37*Math.exp(0.0262 * Wtmp))/1000;
    st44.Q = (M_12 / T / parseInt(input.s_40.c_e)/dop_div).toFixed(3);
    st44.N = (5.56 * Math.exp(0.0035 * st44.Q)).toFixed(3);
    st44.G = (2.38 * Math.exp(0.012 * st44.Q)).toFixed(3);

    st44.M_12 = M_12.toFixed(3);
    st44.O = input.s_40.c_e;
} else {
    M_12 = M_11;
}

if(stageSelector.s50) {

    const D_4 = d_P_tmp * daysInYear;
    const koef= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(input.s_50.w));
    M_13 = (M_12 - D_4) * koef;
    Wtmp = parseInt(input.s_50.w);
    d_P_tmp = parseInt(input.s_50.p);

    st55.calc = true;

    const dop_div = (86.37*Math.exp(0.0262 * Wtmp))/1000;
    st55.Q = (M_13 / T / parseInt(input.s_50.c_e)/dop_div).toFixed(3);
    st55.N = (5.56 * Math.exp(0.0035 * st55.Q)).toFixed(3);
    st55.G = (0.78 * Math.exp(0.027 * st55.Q)).toFixed(3);

    st55.M_13 = M_13.toFixed(3);
    st55.I = input.s_50.c_e;

} else {
    M_13 = M_12;
}

if(stageSelector.s60) {
    const D_5 = d_P_tmp * daysInYear;
    const koef= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(input.s_60.w));

```



```

        M_14 = (M_13 - D_5) * koeff;
Wtmp = parseInt(input.s_60.w);
d_P_tmp = parseInt(input.s_60.p);

        st66.calc = true;

        const dop_div = 0.8;
st66.Q = (M_14 / T / parseInt(input.s_60.c_e)/dop_div).toFixed(3);
st66.N = (3.63 * Math.exp(0.03 * st66.Q)).toFixed(3);
st66.G = (1.16 * Math.exp(0.085 * st66.Q)).toFixed(3);

        st66.M_14 = M_14.toFixed(3);
st66.SH = input.s_60.c_e;

    } else {
        M_14 = M_13;
    }

if(stageSelector.s70) {
    const D_6 = d_P_tmp * daysInYear;
    const koeff= (100 - Wtmp) / (100 - parseInt(input.s_70.w));
    M_15 = (M_14 - D_6) * koeff;
    M_15 = M_15 - parseInt(input.s_70.p) * daysInYear;
Wtmp = parseInt(input.s_70.w);
d_P_tmp = parseInt(input.s_70.p);

        st77.calc = true;

        st77.Q = (M_15 / T / parseInt(input.s_70.c_e)).toFixed(3);
st77.N = (33.93 * Math.exp(0.12 * st77.Q)).toFixed(3);
st77.G = (14.6 * Math.exp(0.009 * st77.Q)).toFixed(3);

        st77.M_15 = M_15.toFixed(3);
st77.SUSH = input.s_70.c_e;

    } else {
        M_15 = M_14;
    }

return {
    st22,
    st33,
    st44,
    st55,
    st66,
    st77,
    M_15
};

```

```

    },

    initDefaultValues: function() {

        this.input.production = "fuel";
        this.input.fuelNecessary = 50000;
        this.input.rawMoisture = 92;
        this.input.productMoisture = 45;
        this.input.P = "2";
        this.input.Pnist = "3";
        this.input.excavatorCycleTime = 60;
        this.input.excavatorUseFactor = 0.9;
            this.input.sm = 3;
        this.input.smDuration = 8;
        this.input.smDaysInYear = 340;
        this.input.h = 2;

        this.stageSelector.s10 = true;
        this.input.s_10.w = 92;
        this.input.s_10.p = 0.1;
        this.input.s_10.c_e = 1;

        this.stageSelector.s20 = true;
        this.input.s_20.w = 90;
        this.input.s_20.p = 7;
        this.input.s_20.c_e = 1;

        this.stageSelector.s30 = true;
        this.input.s_30.w = 90;
        this.input.s_30.p = 0.1;
        this.input.s_30.c_e = 1;

        this.stageSelector.s40 = true;
        this.input.s_40.w = 80;
        this.input.s_40.p = 0.1;
        this.input.s_40.c_e = 1;

        this.stageSelector.s50 = true;
        this.input.s_50.w = 78;
        this.input.s_50.p = 0.1;
        this.input.s_50.c_e = 1;

        this.stageSelector.s60 = true;
        this.input.s_60.w = 75;
        this.input.s_60.p = 0.1;
        this.input.s_60.c_e = 1;
    }

```

```

this.stageSelector.s70 = true;
this.input.s_70.w = 45;
this.input.s_70.p = 0.1;
this.input.s_70.c_e = 1;
    }

```

```

    },
    computed: {

```

```

k_n: function() {
if(this.input.Pnist == "1") {
    return 1.15;
}
if(this.input.Pnist == "2") {
    return 1.19;
}
if(this.input.Pnist == "3") {
    return 1.23;
}
return 0;
},

```

```

k_r: function() {
if(this.input.Pnist == "1") {
    return 1.24;
}
if(this.input.Pnist == "2") {
    return 1.27;
}
if(this.input.Pnist == "3") {
    return 1.3;
}
return 0;
},

```

```

k_e: function() {
if(this.input.Pnist == "1") {
    return 0.93;
}
if(this.input.Pnist == "2") {
    return 0.94;
}
if(this.input.Pnist == "3") {
    return 0.95;
}
return 0;
},

```

// 8) плотность торфяного сырья в залежи

```

density_raw: function() {

```

```

return (86.37 * Math.E ** (0.0262 * this.input.rawMoisture)) / 1000;

```

```

    },

    // 9) плотность фрезерного торфа
    density_frez: function() {
        return (107.3 * Math.E ** (0.017 * this.input.productMoisture)) / 1000;
    },

    excavatorUseCoeff: function() {
        return this.input.smDuration * this.input.sm * this.input.smDaysInYear;
    },

    showNec: function() {
    if(this.show.necOrArea == "nec") {
        return true;
    }
    return false;
    }
    },
    created: function () {
        // this.initDefaultValues();
        // this.calc();
    }
    })
</script>

<script>
    class Helper {

        //static calc

    }

</script>

</body>
</html>

```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Свидетельство о государственной регистрации патента на изобретение «Плавучая платформа»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2655235

ПЛАВУЧАЯ ПЛАТФОРМА

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Фадеев Дмитрий Владимирович (RU), Худякова Ирина Николаевна (RU), Звонарев Иван Евгеньевич (RU), Иванов Сергей Леонидович (RU)*

Заявка № 2017116467

Приоритет изобретения 11 мая 2017 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 24 мая 2018 г.

Срок действия исключительного права на изобретение истекает 11 мая 2037 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

2 655 235⁽¹³⁾ C1

(51) МПК
B63B 35/44 (2006.01)
B63H 19/08 (2006.01)
B63B 35/34 (2006.01)
B63B 3/08 (2006.01)
E21C 49/00 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
B63B 35/44 (2006.01); *B63H 19/08* (2006.01); *B63B 35/34* (2006.01); *B63B 3/08* (2006.01); *E21C 49/00* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017116467, 11.05.2017
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 11.05.2017
 Дата регистрации:
 24.05.2018
 Приоритет(ы):
 (22) Дата подачи заявки: 11.05.2017
 (45) Опубликовано: 24.05.2018 Бюл. № 15

Адрес для переписки:
 199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
 федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Санкт-Петербургский горный
 университет", отдел интеллектуальной
 собственности и трансфера технологий (отдел
 ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):
 Фадеев Дмитрий Владимирович (RU),
 Худякова Ирина Николаевна (RU),
 Звонарев Иван Евгеньевич (RU),
 Иванов Сергей Леонидович (RU)
 (73) Патентообладатель(и):
 федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Санкт-Петербургский горный
 университет" (RU)
 (56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2529124 C1, 27.09.2014. JP
 H11310189 A, 09.11.1999. CN 103661905 A1,
 26.03.2014. US 4800831 A, 31.01.1989. US
 4033056 A, 05.07.1977. RU 2599117 C1,
 10.10.2016.

(54) ПЛАВУЧАЯ ПЛАТФОРМА

(57) Реферат:
 Изобретение относится к области
 судостроения, в частности к плавучим
 сооружениям, используемым для поддержания
 на плаву модулей и оборудования автономного
 комплекса для добычи и переработки торфяного
 сырья. Предложена плавучая платформа,
 включающая цистерны, внешняя и внутренняя
 оболочки которых выполнены герметичными, с
 технологическими отверстиями с люками. На
 внешних сторонах противоположных боковых
 граней цистерн выполнены парные замковые
 соединения цистерн с возможностью их
 ограниченного перемещения относительно друг
 друга. Над цистернами установлена несущая рама
 с палубным настилом, соединение которой с

цистернами внешнего периметра выполнено с
 возможностью ограниченного перемещения этих
 цистерн относительно рамы. Якоря расположены
 на цистернах внешнего периметра и выполнены
 в виде свай, снабженных устройствами для
 установки и извлечения свай. Технический
 результат заключается в расширении
 эксплуатационных возможностей
 транспортирования и передислокации платформы
 к месту эксплуатации, придании жесткости
 платформе посредством единой жесткой несущей
 рамы каркасного типа при сохранении частичной
 податливости и возможности заданного
 пошагового направленного перемещения
 платформы. 9 ил.

RU 2 655 235 C1

RU 2 655 235 C1

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Свидетельство о государственной регистрации патента
на изобретение «Трансформируемое сооружение»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2672366

ТРАНСФОРМИРУЕМОЕ СООРУЖЕНИЕ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет" (RU)*

Авторы: *Худякова Ирина Николаевна (RU), Фадеев Дмитрий Владимирович (RU), Вагапова Эльнара Абдуллаевна (RU), Иванов Сергей Леонидович (RU)*

Заявка № 2018104765

Приоритет изобретения 07 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 14 ноября 2018 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 07 февраля 2038 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 672 366**⁽¹³⁾ **C1**

(51) МПК
E04H 6/02 (2006.01)
B63B 17/02 (2006.01)
E04F 10/10 (2006.01)
E04H 15/48 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

E04H 6/02 (2018.08); *E04H 6/04* (2018.08); *E04F 10/10* (2018.08); *B63B 17/02* (2018.08); *E04H 15/48* (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018104765, 07.02.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
07.02.2018

Дата регистрации:
14.11.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 07.02.2018

(45) Опубликовано: 14.11.2018 Бюл. № 32

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
 ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
 университет", отдел интеллектуальной
 собственности и трансфера технологий (отдел
 ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

Худякова Ирина Николаевна (RU),
 Фадеев Дмитрий Владимирович (RU),
 Вагапова Эльнара Абдуллаевна (RU),
 Иванов Сергей Леонидович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
 образовательное учреждение высшего
 образования "Санкт-Петербургский горный
 университет" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2046911 C1, 27.10.1995. RU
 2406638 C2, 20.12.2010. RU 2049886 C1,
 10.12.1995. RU 2054106 C1, 10.02.1996. EP
 2236702 A1, 06.10.2010.

(54) ТРАНСФОРМИРУЕМОЕ СООРУЖЕНИЕ

(57) Реферат:

Изобретение относится к устройствам, предназначенным для укрытия техники, людей и рабочих мест, и может быть использовано для ведения работ или хранения техники в неизменных условиях искусственной среды. Трансформируемое сооружение включает основание, ограждение защищенного объема из неподвижной и подвижно прикрепленной к ней поворотной секций, а также направляющие, ролики и контурный каркас из профильного настила. Неподвижная секция ограждения защищенного объема выполнена в форме параллелепипеда и закреплена на понтонном основании вдоль борта, а его поворотная секция выполнена в виде цилиндрического сектора с контурным каркасом и П-образной рамой. Боковые стороны П-образной рамы жестко

соединены с торцевыми поверхностями цилиндрического сектора с демпфирующими пружинами, при этом поперечина П-образной рамы соединена с контурным каркасом поворотной секции, а на нижней поверхности П-образной рамы закреплена юбка из эластичного материала. На внешней поверхности верхней грани неподвижной секции ограждения защищенного объема расположен торец контурного каркаса и неподвижно закреплены ролики с направляющими. Изобретение позволяет обеспечить ведение работ и хранение техники в неизменных условиях искусственной среды, а простота реализации конструкции повышает надежность и универсальность использования трансформируемого сооружения. 2 ил.

RU 2 672 366 C 1

RU 2 672 366 C 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Справка о внедрении результатов диссертационной работы

ООО «ЭПИЦЕНТР»

Научно-производственно-коммерческая фирма «ЭПИЦЕНТР»

**СПРАВКА
о внедрении результатов диссертационной работы
Худяковой Ирины Николаевны**

«Обоснование и выбор конструктивных решений комплекса для добычи и переработки торфяного сырья из неосушенной залежи»

Справка дана Худяковой И.Н. в том, что разработанная модель комплекса горных машин и прикладная программа для оценки возможного объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе комплекса «добыча-переработка», представленная в диссертационной работе использованы на стадии формирования исходных данных для разработки технического задания на проектирование комплекса добычи и переработки торфяного сырья для участка недр местного значения (месторождение Рогали, Фировский район Тверской области; кадастровый номер 491).

Применение предложенной Худяковой И.Н. программы по оценке возможного объема добычи торфяного сырья и рабочих параметров оборудования в системе комплекса «добыча-переработка» позволяет обосновано определять основные технико-производственные показатели предприятия, исходя из заданной программы добычи для производства продукции топливно-энергетического, агропромышленного и природоохранного применения. Программа также определяет энергоемкость и материалоемкость парка применяемых горных машин и оборудования в составе комплекса.

Исполнительный директор,

канд. экон. наук

20.04.2020 г.



Дяченко А.С.