

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Уральский государственный горный университет»
(ФГБОУ ВПО «УГГУ»)

На правах рукописи



Сорокин Роман Николаевич

**ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО
ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА**

Специальность 25.00.22 - Геотехнология
(подземная, открытая и строительная)

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор техн. наук, доцент
Гревцев Николай Васильевич

Екатеринбург – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА .	9
1.1 Анализ системных мероприятий по развитию производства торфяного топлива.....	9
1.2 Анализ основных тенденций развития производства торфяных брикетов и гранул	17
1.3 Выводы по главе и постановка задач исследований.....	25
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА.....	27
2.1 Сквозной энерго-экологический анализ энерготехнологических операций производства торфяного топлива.....	27
2.2 Системная модель технологии производства и потребления торфяного топлива.....	37
2.3 Принципы выбора состава и технологии торфяного композиционного топлива	49
2.4 Выводы по главе	58
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА	60
3.1 Исследование энергоэффективности производства фрезерного торфа.....	60
3.2 Анализ энергоэффективности процессов термомеханической переработки торфа	69
3.3 Обоснование основных технологических параметров модульного завода по производству торфяного топлива	78
3.4 Выводы по главе	92
4 АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РАЗРАБОТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА	93

4.1 Энергоэффективность технологии модульного комплекса по производству торфяных брикетов и гранул.....	93
4.2 Эксплуатационные показатели торфяного топлива и эффективность его использования.....	110
4.3 Внедрение результатов исследований.....	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	129
Список литературы	131
Приложение А	145
Приложение В.....	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Энергетической стратегией РФ ЭС - 2030 повышение энергоэффективности рассматривается как главное направление развития экономики страны, резервом которого является нереализованный потенциал организационного и технологического энергосбережения, восстановление цикла фундаментальных и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских работ по организации серийного производства импортозамещающего оборудования.

Энергоэффективное и ресурсно-инновационное развитие предусматривает разработку новых технологических процессов, соответствующих критериям наилучших доступных технологий в аспектах комплексного воздействия на окружающую среду и экономической целесообразности их внедрения, и обеспечивающих снижение издержек, повышение производительности при добыче и глубокой переработки топливных ресурсов.

Торф местный и относительно экологически чистый вид топлива. Глобальное энергетическое использование торфа в настоящее время оценивается в 7 млн. т условного топлива в год. Значимость торфяного топлива возрастает для регионов, где нет других видов топлива и велики транспортные затраты на их доставку. Существующее полевое производство прессованных торфяных брикетов влажностью 16-20 % из фрезерного торфяного сырья влажностью не более 52 % является сильно зависимым от неблагоприятных метеорологических условий, и не обеспечивает качества и требований надежности поставок топлива потребителю.

Окускованное торфяное топливо – брикеты и гранулы по экономическим параметрам, энергетическим и потребительским свойствам, в сегодняшних условиях составляют конкуренцию привозным видам топлива, закупаемым регионами – мазуту, печному топливу и углю. Требования к качественным показателям торфяного топлива обеспечиваются проведением энерготехнологических операций, в ходе которых свойства торфа регулируются энергозатратными воздействиями во взаимосвязи с технологическими приемами.

Тема работы, связанная с установлением закономерностей изменения энергоэффективности процессов и обоснованием технологических и технических разработок, обеспечивающих повышение энергоэффективности полевой добычи торфяного сырья и его термомеханической переработку при получении энергоплотного окускованного торфяного топлива, что повышает надежность топливообеспечения объектов распределенной энергетики является актуальной.

Тема диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)», п. 4 - «Создание и научное обоснование технологии разработки природных и техногенных месторождений твердых полезных ископаемых».

Объект исследования. Технология добычи торфяного сырья и его термомеханической переработки для использования в качестве топлива.

Предмет исследования. Режимы энерготехнологических операций добычи и термомеханической переработки торфяного сырья при получении топлива.

Идея работы. Проведение пооперационного анализа добычи и термомеханической переработки торфяного сырья на основе сквозного энерго-экологического мониторинга воздействий на окружающую природную среду, сведенного к единому комплексному показателю - технологическому топливно-экологическому числу (ТТЭЧ).

Цель работы. Установление закономерностей изменения энергоэффективности процессов добычи и термомеханической переработки торфяного сырья, и на их основе обоснование технологических и технических разработок, направленных на повышение эффективности производства торфяных топливных брикетов и гранул.

Задачи исследования.

1. Исследовать закономерности последовательного изменения энергоэффективности процессов добычи и термомеханической переработки торфяного сырья при производстве энергоплотного окускованного торфяного топлива.

2. Обосновать алгоритмы и критерии системной оценки технологической и энерго-экологической эффективности производства и потребления торфяного энергоплотного топлива.

3. Разработать технологические и технические решения, направленные на повышение эффективности комплексного производства энергоплотного окускованного торфяного топлива.

4. Провести испытания и внедрение технологических и технических разработок с оценкой эффективности производства и применения в распределенной энергетике окускованного торфяного топлива.

Методы исследования. При решении поставленных задач использовался комплексный подход: системный и энерго-экологический анализ; обобщение отечественного и зарубежного опыта; методы регрессионного анализа, теории подобия, линейного программирования. Исследования проводились в лабораторных производственных и условиях, опытно-промышленная проверка разработанных технических и технологических решений осуществлялась при проектировании, пуске и отладке новых технологических процессов. Выявленные закономерности базируются на фундаментальных положениях физико-химической механики и тепло-массопереноса.

Положения, выносимые на защиту:

1. *Выбор энергоэффективных параметров технологических процессов добычи торфяного сырья и его термомеханической переработки для использования в качестве окускованного топлива обеспечивается минимизацией удельных затрат энергии и негативных воздействий на окружающую среду, характеризуемых единым комплексным показателем - технологическим топливно-экологическим числом.*

2. *Эффективность технических и технологических разработок по совершенствованию производства торфяного окускованного топлива обеспечивается рациональным управлением параметрами сушки торфяного сырья и применением технологических операций, энергоэффективность которых*

оценивается максимумом отношения приращения энергоплотности получаемого топлива к технологическому топливному числу данной операции.

Научная новизна.

- Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность применения сквозного энерго-экологического анализа режимов производства окускованного торфяного топлива, учитывающего энергозатраты и воздействие на окружающую природную среду путем минимизации технологического топливного и технологического экологического чисел

- Дано научное обоснование алгоритмам и параметрам функционирования рациональной системы управления энерготехнологическими процессами производства торфяных брикетов и гранул.

Практическая ценность работы. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований положены в основу создания энергоэффективной технологической схемы автоматизированного модульного комплекса торфяного топлива – брикетов и гранул.

Внедрение результатов работы. Разработанные и научно обоснованные технологические и технические решения по производству энергоплотного окускованного торфяного топлива, новые методы и методики системной оценки эффективности производства и использования торфяного топлива внедрены в промышленность (ООО «Мезиновское торфопредприятие», ООО «Уральская торфяная компания»), в научно-исследовательскую и проектную практику (ООО «Институт местных видов топлива - Уралгипроторф», ООО «НЕСЕН Инжиниринг») и в учебный процесс ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет».

Достоверность результатов и выводов в диссертации. Обеспечивается комплексным подходом, использованием апробированных математических методов, повторяемостью, воспроизводимостью и надежностью экспериментов, соответствием экспериментальных данных известным и выдвигаемым теоретическим положениям, прошедшим проверку практикой, а также проведением контрольных испытаний эксплуатационных показателей и

использования в промышленных условиях новых видов энергоплотного окускованного торфяного топлива.

Личный вклад автора. Личное участие состоит в постановке и разработке основной идеи и темы диссертации, в разработке программы теоретических и экспериментальных исследований, разработке методик, создания способов управления основными процессами производства торфяных брикетов. Автором выполнены систематизация, анализ и обобщение результатов проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались: на Международных научно-практических конференциях «Уральская горная школа – регионам», проводимых в рамках Уральской горнопромышленной декады (г. Екатеринбург 2008 - 2014 гг.); Международной конференции «Биоэнергетика» (г. Москва – 2012г); Весеннем Биотопливном Конгрессе (г. Санкт-Петербург – 2012-2013гг); на II Международном форуме «БИО Киров-2014»; на конференции «Энергия из биомассы: котельные и ТЭЦ на биотопливе, производство пеллет, брикетов, биогаза в России» в рамках II Российского Международного Энергетического Форума (г. Санкт-Петербург – 2014г).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, определяемых ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 136 источников и трех приложений. Объем работы – 160 страниц текста, в том числе 35 рисунков и 35 таблиц.

Автор выражает благодарность Г.В. Мальцеву, Д.М. Бадалову, М.Ю. Савченко, Р.А Юсипову, М.С. Лебзину за помощь и поддержку при проведении экспериментальных исследований.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА

1.1 Анализ системных мероприятий по развитию производства торфяного топлива

Энергетическое использование торфа обеспечивается рядом технологических процессов, основанных на фундаментальных исследованиях в области науки о торфе следующих ученых: Б.М. Александрова, А.Е. Афанасьева, М.Г. Булышко, П.И. Белькевича, Б.А. Богатова, Н.И. Гамаюнова, М.А. Гатиха, Г.А. Дмитриева, С.С. Корчунова, В.И. Косова, Н.В. Кислова, Г.И. Кужмана, И.Ф. Ларгина, И.И. Лиштвана, А.В. Лазарева, Л.М. Малкова, О.С. Мисникова, А.В. Михайлова, В.М. Наумовича, В.Е. Раковского, С.Г. Солопова, В. И. Суворова, А. А. Терентьева и др. [1-27]. Однако до последнего времени наблюдалась тенденция снижения роли торфа в энергетическом балансе страны. Из 35 электростанций на торфяном топливе, действовавших в стране в 1965 г., к 1989 г. 23 были закрыты или переведены на другие виды топлива. В переходный период с 1991 г. по 1996 г. тенденция сокращения объемов добычи топливного торфа резко усилилась.

На 25 сессии Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) принято решение принять «Торф» в качестве самостоятельной топливной категории [28].

Пик мировой добычи торфа пришёлся на 1984 – 1985 годы, когда производилось около 380 млн. т торфа в год, и основной вклад вносил Советский Союз. В период с 2000 по 2013 гг. производство торфа в мире практически не изменялось и ежегодно добывалось около 25 млн. т торфа (таблица 1.1) [29].

Большая часть торфа производится в европейском регионе, доля которого в общем объёме мировой добычи превышает 80%, а доля США и Канады составляет не более 7%. [30].

Добыча топливного торфа также производится в основном в европейских странах. В таблице 1.2 приведены данные по добыче топливного торфа за 2010 год [31].

Таблица 1.1 – Мировое производство торфа, тыс. т.

Страна	2012 год	2013 год
Белоруссия	3250	3300
Германия	3050	3000
Канада	973	1200
Ирландия	1950	1950
Латвия	1380	1380
Литва	386	380
Молдова	475	480
Норвегия	440	440
Польша	736	760
Россия	1300	1300
США	488	480
Украина	735	740
Финляндия	4760	4760
Швеция	3300	3300
Эстония	927	930
Другие страны	600	600
Всего в мире	24700	25000

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2030 года стратегическими целями развития торфяной промышленности в Российской Федерации являются [32]:

- восстановление объемов добычи и переработки торфа до уровня объемов начала 90-х годов;

– повышение региональной энергетической безопасности за счет оптимизации территориальной структуры производства и потребления энергетических ресурсов в энергодефицитных и отдаленных регионах;

Таблица 1.2 – Страны, которые добыли более 1 тыс. т топливного торфа в 2010 году

Страна	Добыча, тыс. т
Финляндия	7421
Ирландия	4991
Беларусь	2352
Россия	1056
Швеция	797
Украина	430
Эстония	361
Литва	31
Бурунди	13
Фолклендские острова	13
Латвия	10
Египет	9
Румыния	3
Австрия	1

– снижение энергоемкости внутреннего валового продукта Российской Федерации, реализация потенциала энергосбережения и энергоэффективности российской экономики;

– формирование рационального топливно-энергетического баланса с учетом местных видов топлива;

– стимулирование развития инновационной составляющей топливно-энергетического комплекса Российской Федерации;

– снижение потребности регионов и муниципалитетов в субсидиях за счет увеличения поступлений налогов и сборов в доходную часть бюджетов всех уровней от деятельности торфяной промышленности, увеличения занятости населения за счет создания новых рабочих мест, снижение себестоимости производимой электроэнергии в энергодефицитных и отдаленных регионах;

– снижение экологической нагрузки на окружающую среду и климат путем снижения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов за счет замещения торфом традиционных видов топлива в энергетическом балансе, повышение качества жизни российских граждан.

По данным по данным Мирового Энергетического Совета (World Energy Council) Россия занимает ведущее место в мире по торфяным ресурсам (таблица 1.3) [33].

Таблица 1.3 – Площадь торфяных месторождений стран мира

Страна	Площадь, км ²
Россия	1390000
Канада	1113280
США	625001
Индонезия	206950
Финляндия	89000
Швеция	66000
Китай	53120
Перу	50000
Норвегия	28010
Великобритания	27500
Малайзия	25889
Бразилия	23500
Беларусь	13000
Германия	12500
Польша	12201
Замбия	11800
Ирландия	11510
Венесуэла	10000
Самоа	1
Всего в мире	3973503

В настоящее время торфяная отрасль находится в сложном экономическом положении. Ее конкурентоспособность не соответствует богатейшему потенциалу торфяных ресурсов страны.

Благодаря низкой трудоемкости и энергоемкости добычи топливного торфа, простоте транспортных схем и коротком расстоянии вывозки торф сохраняет конкурентоспособность с другими видами ввозимого твердого топлива и мазута [19].

В России торфяными ресурсами располагают 63 субъекта Федерации в 7 федеральных округах. Общая характеристика торфяных ресурсов России по состоянию на 01.01.2005 г. приведена в таблице 1.4 [34].

Таблица 1.4 – Запасы торфа в Российской Федерации

Федеральный округ	Площадь в границах промышленной глубины, км ²	Запасы всех категорий изученности, млн. т	Разведанные и предварительно оцененные запасы, млн. т
Центральный	12100,4	4903,19	4070,68
Северо-Западный	81345,5	26223,76	10124,24
Южный	14,08	4,03	2,00
Приволжский	9378,85	3812,26	2295,01
Уральский	245432,62	83063,95	8214,18
Сибирский	134719,39	49054,67	10966,79
Дальневосточный	25416,83	8588,15	2521,78
ВСЕГО по РФ	508407,67	175650,0	38194,68

Как видно из таблицы, ресурсы торфа достаточно равномерно распределены на территории России. Что касается энергетического потенциала торфа в России, то его суммарные запасы в пересчете на условное топливо, превосходят суммарные запасы нефти и газа и уступают лишь углю, составляя 68,3 млрд. т (соответственно: уголь – 97,0, газ – 22,0, нефть – 31 млрд. т) [35].

Преобразования в отрасли идут неудовлетворительными темпами. Мероприятия, предусмотренные в ЭС-2020, не были в полной мере реализованы на практике и не оказали существенного воздействия на развитие торфяной отрасли.

Не удалось преодолеть динамику снижения добычи торфа в Российской Федерации, которая неуклонно сокращалась. По данным Федеральной службы государственной статистики, если в 2000 году в России добывалось около 4,1 млн. т торфа условной влажности, то в 2009 году составило всего 1,2 млн. т, то есть, за десять лет объемы добычи торфа сократились почти в 3,5 раза (рисунок 1.1) [30].

Приведенные на рисунке 1.1 данные показывают объемы промышленной добычи фрезерного топливного торфа в России и предприятиями, входившими и входящими в систему Росторф – Ростоппром [36].



Рисунок 1.1 – Динамика изменения добычи фрезерного топливного торфа

Сокращается доля торфяной промышленности в региональной энергетике на фоне роста тарифов, обусловленных сжиганием дальнепривозных видов топлива. Замедляются темпы освоения существующих месторождений, не обеспечивается рациональное использование разведанных запасов торфа, что приводит к неуклонному сокращению сырьевой базы отрасли.

Основными проблемами развития торфяной отрасли являются: недопустимо высокий износ основных производственных фондов отрасли; устаревшие технологии добычи и переработки торфа; критически низкая производительность торфодобывающих предприятий; нарастающий дефицит квалифицированных

трудовых кадров; слабое развитие российского торфяного машиностроения; зависимость отрасли от импорта технологий и оборудования.

Исходя из социальных и экономических критериев, основными направлениями использования торфа, как местного топлива будут коммунально-бытовые потребности. После восстановления объемов добычи торфа и модернизации технологической базы промышленности станет возможным его эффективное использование и в «большой» энергетике, на тепловых электростанциях.

Расширение использования местных возобновляемых видов топливно-энергетических ресурсов, в том числе на основе торфа, является одним из приоритетных направлений энергетической стратегии России на перспективный период. Индикаторы использования местных возобновляемых видов топлива и развития альтернативной энергетики отражены в программных документах Минэнерго России – Энергетической стратегии России на период до 2030 года и Государственной программе энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года. Планируется поэтапное развитие торфяной промышленности в ходе реализации ЭС-2030 (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Индикаторы стратегического развития торфяной промышленности на период до 2030 года

Индикаторы/направления к 2008 году	1 этап 2010-2015 г.г.	2 этап 2015-2020 г.г.	3 этап 2020-2030 г.г.
Удельный вес вновь вводимых (модернизируемых) мощностей по добыче в общем объеме добычи торфа, %	20-30	30-60	60-90
Производство современных брикетов для сжигания, %	35-40	55-60	65-70
Удельный вес прогрессивных технологий добычи в общем объеме добычи торфа	15-25	25-50	50-70
Прирост добычи на одного занятого в отрасли, % к уровню 2008 г.	20	40	60

Освоение уже разведанных месторождений торфа потребует дополнительных инженерных решений по минимизации влияния разработки месторождений на окружающую среду, внедрения новых технологических решений и технологий, обеспечивающих сохранение окружающей среды.

На первом этапе реализации ЭС-2030 в торфяной промышленности планируются: разработка Федеральной целевой программы (ФЦП) по развитию торфяной промышленности и торфяной энергетики до 2030 года; утверждение ФЦП и организация мониторинга ее реализации; согласование с федеральными органами исполнительной власти и региональными администрациями программы реконструкции объектов ЖКХ (котельных) на основе концепции возрождения торфяной энергетики для торфодобывающих регионов; реконструкция муниципальных котельных и объектов энергетики; внедрение современных технологий торфодобычи и переработки торфа; разработка мер по повышению экспортного потенциала торфяной отрасли.

Второй этап реализации ЭС-2030 в части развития торфяной промышленности предусматривает: оснащение предприятий отрасли современной высокопроизводительной техникой и технологиями; снятие системных ограничений при транспортировке торфяных грузов на внутренний и международный рынки; повышение «прозрачности» торфяного бизнеса; достижение максимального охвата переработкой торфа с учетом требований внутреннего рынка; реализация пилотных проектов на базе российских технологий глубокой переработки торфа.

Третий этап реализации ЭС-2030 в развитии торфяной промышленности предусматривает кардинальное повышение производительности труда при обеспечении мировых стандартов в области качества продукции, экологической безопасности при добыче и переработке, промышленное получение продуктов глубокой переработки торфа.

Результатом активной государственной политики в области развития торфяной промышленности должно стать максимально эффективное, надежное и сбалансированное обеспечение потребностей страны в торфяной продукции на

основе реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности.

Доля торфа в топливно-энергетическом балансе Российской Федерации в 2012 году составила менее 0,1 %. Производство торфяных брикетов в России в 2006 году составляло 50,4 тыс. т. Поэтому внедрение современных высокоэффективных технологий и оборудования для добычи, агломерации и сжигания торфяной продукции для нужд распределенной энергетики является актуальной задачей, решение которой позволит увеличить долю использования торфа в топливно-энергетическом балансе торфодобывающих регионов с $1 \div 2$ % до $8 \div 10$ % [32] и осуществить переход к распределенной энергетике.

Анализ региональных рынков тепловой энергии и расположения торфяных месторождений РФ [37] показал, что из общего количества котельных – 72106 (2008) насчитывается 54686 шт. мощностью менее 3 Гкал/ч, мощностью от 3 до 20 Гкал/ч – 13963 шт. Потребителями торфяного топлива могут являться котельные мощностью менее 3 Гкал/ч, работающие на твердом топливе и обеспечивающие теплоснабжение муниципальных образований. Более 12 тыс. котельных, расположенных в торфообеспеченных регионах России, могут быть успешно переведены на местное торфяное топливо.

1.2 Анализ основных тенденций развития производства торфяных брикетов и гранул

Современное энергоплотное торфяное топливо имеет высокие теплотехнические характеристики и достаточно широко применяется в ряде зарубежных стран, а тенденции современности свидетельствуют об увеличении его доли в энергетическом балансе.

Перспективным направлением развития является производство окускованного торфяного топлива (ОТТ): торфяных брикетов, термобрикетов, полубрикетов и гранул (пеллет). Использование ОТТ по сравнению с дальнепривозным углем имеет следующие преимущества: горение топлива в топке котла происходит более эффективно; при сжигании ОТТ оказывает меньшее негативное влияние на окружающую среду.

Среди особенностей и дополнительных возможностей от использования окускованного торфяного топлива, можно выделить следующее [38]:

- подача топлива в горелку котла может быть автоматической;
- окускованное топливо может использоваться как в установках небольшой мощности для отопления частных домов, так и в котельных средней мощности для отопления учреждений, школ и т.п., а также в более мощных котельных;
- окускованное топливо используются в мини-ТЭЦ комбинированного производства тепла и электроэнергии;
- сжигатели для окускованного топлива легко устанавливаются на котлы взамен отработанных горелок для жидкого топлива с сохранением высокого уровня автоматизации;
- снижаются затраты на транспортировку для многих регионов (местное топливо) в отличие от угля;
- однородность и сыпучесть топлива позволяет применять для транспортировки мягкие контейнеры.

При производстве торфяных брикетов энергозатраты на единицу продукции составляют до 1 МВт·ч/т, потери бытового топлива в системе производство-потребитель составляют 3,0-3,5%, КПД сжигания бытового топлива – 0,6. Таким образом, при сжигании твердого топлива у потребителя полезно используется менее 50% теплоценности брикета. Применительно к технологии производства торфяного топлива, стратегическим направлением совершенствования технологии является повышение энергоэффективности механической и механотермической переработки торфа с получением экологически безопасного высококалорийного топлива. Сочетание энергетики с технологией позволяет значительно полнее использовать энергию химических превращений и экономить сырьевые и энергоресурсы, повысить качество продукции и увеличить производительность агрегатов.

Эффективность производства торфяных брикетов, получаемых с использованием штемпельных прессов брикетных заводов, доказана научными

разработками и накопленным практическим опытом. При этом вместе с производством высококачественного топлива решается важный вопрос утилизации целого ряда производственных отходов: лигнина, угольной мелочи, отходов деревообработки и переработки отдельных видов сырья.

Производство торфяных брикетов представляет механотермическую переработку торфа, при которой происходит обогащение и облагораживание низкосортного торфяного топлива [39].

При этом по сравнению с исходным фрезерным торфом повышаются теплота сгорания и тепловая плотность топлива, а также расширяются границы использования торфа различными потребителями. На начало 90-х годов в России было 32 брикетных завода суммарной мощностью 950 тыс. т торфяных брикетов при единичной мощности заводов от 10 до 125 тыс. т. Для производства такого количества брикетов необходимо было добывать около 2,0 млн. т топливного фрезерного торфа. Однако, в 2001 году мощность заводов, имеющих действующее оборудование, составила не более 450 тыс. т, а объем выпуска торфяных брикетов составил лишь 45 тыс. т.

Основные процессы брикетного производства связаны с расходами топливно-энергетических ресурсов для искусственной сушки топлива, генерации тепла, а также при подготовке торфа, его внутризаводском транспортировании и прессовании. Удельный вес затрат тепловой и электрической энергии в стоимости заводского предела при производстве торфяных брикетов составляет примерно 35 – 45%. Таким образом, эффективность использования топливно-энергетических ресурсов в значительной степени определяет технико-экономические показатели работы всего комплекса производства торфобрикетов. Поэтому совершенствование методов определения энергетической эффективности производства топливных брикетов имеет важное значение для правильной оценки экономической эффективности брикетного производства в целом.

Технологическая схема торфобрикетного завода определяется способом сушки торфяного сырья при подготовке его к брикетированию и, соответственно – компоновкой и типом оборудования. По способу сушки отечественные

брикетные заводы разделяются на шесть основных групп: с пневмопароводяной сушилкой, пневмогазовой с мелющим вентилятором, шахтномельничной, паровыми трубчатыми, парогазовыми, пневмосепарационной сушилкой. Некоторые заводы малой мощности оснащены пневмогазовой трубой – сушилкой. Наибольшее распространение получили заводы с пневмопароводяными сушилками.

Наиболее сложной, но имеющей наибольшую производительность, является схема завода с пневмопароводяной сушилкой (схема ПЕКО). Наиболее простой является схема завода с шахтной мельницей, которая не требует специального оборудования для подготовки сырья к сушке.

Наиболее энергозатратной операцией в технологическом процессе торфобрикетных заводов является искусственная сушка, которая осуществляется в сушильных установках различной конструкции и обеспечивается теплом, получаемым от сжигания торфяного топлива.

Оптимальные параметры процесса искусственной сушки торфа должны обеспечивать минимальные капитальные вложения, затраты труда, тепла, электроэнергии и максимальную надежность при сохранении определенных свойств продукции, таких как прочность, водопоглотительная и газопоглотительная способность, ситовой состав, гигроскопичность и др.

В качестве теплоносителя на заводах с пневмопароводяными, паровыми трубчатыми и парогазовыми сушилками используется пар, для получения которого сооружены ТЭЦ, ТЭС или котельные. Теплоносителем и сушильным агентом на заводах с пневмогазовыми сушилками всех типов служит газ – смесь продуктов сжигания торфа в технологических топках с воздухом. Такой же газ используется в качестве второго теплоносителя и сушильного агента в парогазовой сушилке.

Анализ технико-экономических показателей торфобрикетных заводов, выполненных в работе [40] показал, что развитие торфобрикетного производства должно идти по пути применения в качестве теплоносителя для сушки торфа дымовых газов высокого потенциала, т.е. применения пневмогазовой сушки. В

этой же работе отмечено, что одним из основных факторов, способствующих улучшению технико-экономических показателей брикетного производства, является повышение качества сырья. В таблице 1.6 показана зависимость производительности пневмогазовой сушилки завода производительностью 60 тыс. т от влажности торфяного сырья.

Таблица 1.6 – Зависимость производительности сушилки от влажности сырья

Начальная влажность сырья, %	Производительность сушилки (по сушенке)	
	т/ч	%
50	7,5	100
45	9	120
40	11	145
30	19,5	260

Стабилизация качества торфа, поступающего на переработку, как по влажности, так и по другим показателям, обеспечивает стабильную работу сушильно-топочных устройств и всего завода [41].

Существующие торфобрикетные заводы, отличающиеся большой энергоемкостью, состоящие из крупногабаритных многоэтажных зданий стационарного типа, высокой стоимостью и продолжительностью строительства, не отвечают создавшимся сегодня экономическим условиям обеспечения населения коммунально-бытовым топливом.

Это послужило толчком для активизации работ по созданию новых технологических схем и оборудования для получения коммунально-бытового топлива из торфа с производительностью, соответствующей потребности в местном топливе при условии сохранения его конкурентоспособности с дальнепривозными видами топлива.

Одним из путей развития торфобрикетного производства в новых экономических условиях, является создание брикетных заводов малой мощности, которые в силу своей компактности, технологической завершенности и заводской готовности требуют минимум капитальных вложений при строительстве, имеют

короткий период строительства, монтажа и освоения, а также отличаются низкими эксплуатационными затратами.

Такие заводы могут быть смонтированы в непосредственной близости от торфяных месторождений, в том числе имеющих ограниченные запасы торфа с возможностью последующего их перебазирования на новые сырьевые базы и с расположением в районах сбыта и потребления торфяного топлива.

Это обстоятельство в немалой степени должно способствовать реализации региональных программ по развитию торфяной промышленности и обеспечению местным топливом населения и объектов коммунально-бытового сектора.

В соответствии с такими требованиями в 1998-2000 гг. проектный институт «Гипроторф» разработал технологический процесс и оборудование блочного торфобрикетного завода по производству брикетов производительностью 10 тыс. т в год с системой автономного энергообеспечения. Такие заводы могут быть смонтированы в непосредственной близости от месторождений торфа с возможностью последующего их перебазирования на новые сырьевые базы [42]. Технологической схемой блочного мини-завода предусматривается компоновка основного и вспомогательного оборудования в составе восьми технологических блоков, изготавливаемых на заводе и поставляемых к месту монтажа автомобильным или железнодорожным транспортом.

В последние годы брикетированием торфа занимаются многочисленные производственные компании в России и за рубежом. Основные направления – создание компактных, модульных установок для брикетирования, имеющих минимальную энергоемкость и металлоемкость. Однако следует подчеркнуть, что для получения торфяного брикета с высокими потребительскими качествами необходима рациональная добыча торфяного сырья и его сушка перед брикетированием [43].

Показатели качества торфяных брикетов и сырья для их производства должны соответствовать нормам, указанным в ГОСТ Р 54248—2010 (таблица 1.7 и 1.8) [44].

Таблица 1.7 – Показатели качества брикетов

Наименование показателя	Норма для сорта		Метод испытаний
	I	II	
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива, %, не более	16	20	ГОСТ 11305-83
Зольность, %, не более	15	23	ГОСТ 11306-83
Механическая прочность при испытании в барабане (остаток целых и частично разрушенных брикетов с размерами кусков более 25 мм), %, не менее	95	94	ГОСТ 18132-72
Массовая доля мелочи (куски размером менее 25 мм), %, не более	5	6	ГОСТ 11130-75

На современном технологическом оборудовании брикетных заводов можно брикетировать торфа всех типов. Однако наиболее эффективно брикетируется торф средней и повышенной степени разложения.

Сырье для производства торфяных топливных брикетов должно отвечать показателям качества, приведенным в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Показатели качества сырья для производства брикетов

Наименование показателя	Норма	Метод испытаний
Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива, %, не более	55	ГОСТ 11305-83
Зольность, %, не более	15	ГОСТ 11306-83
Степень разложения, % не менее	15	
Насыпная плотность при условной влаге 40%, кг/м ³ , не менее	200	ГОСТ 13673-76
Засоренность посторонними горючими примесями (куски размером более 25 мм), %, не более	5	ГОСТ 11130-75

Кроме показателей качества, указанных в таблице 1.8, фрезерный торф, как сырье для брикетирования, характеризуется дополнительными показателями: типом, видом, ботаническим составом и степенью разложения залежи сырьевой

базы, фракционным составом, содержанием влаги, теплоемкостью и теплопроводностью, пористостью, склонностью к саморазогреванию и самовозгоранию и теплотой сгорания.

Влажность, при которой обеспечивается наиболее низкая себестоимость заводского передела, составляет 40-50%.

Результаты анализа инновационных технологических решений по производству окускованного торфяного топлива приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Характеристика производства торфяных композиционных брикетов

Композиционный материал	Характеристика компонентов	Особенности производства
Гидро-фобизированный брикет [45, 46]	Торф, антифрикционные гидрофобизирующие добавки: парафин, битумы, отходы нефтепродуктов	Повышение прочности в 3-4 раза, плотности на 30%, снижение влагопоглощения в 7 раз, энергоемкости на 20%.
Торфоугольные брикеты [47]	Торф, угольная мелочь до 30% (от массы)	Усовершенствованная технологическая схема
Топливные брикеты [48]	Гидролизный лигнин, торф	Повышенная прочность и теплота сгорания.
Топливные брикеты [49]	Смесь торфа с каменным и бурым углями в соотношении 1:1.	Утилизация отходов, рост производительности брикетных цехов до 30%, теплоты сгорания до 40%.
Топливные гранулы [50, 51]	Торф, лигнин, каменноугольная мелочь.	Механизация подачи в топку
Торфоуглеродистые композиции [52]	Торф: углеродистый материал 1:(0,3 – 2,78) отсев угля, кокса, отходы графитации угольных стержней и др.	Топливо с улучшенными качественными показателями.
Топливные композиции [53, 54]	Торф, уголь, графит	Улучшение физико-механических свойства композиций.
Топливный брикет [55]	Торф и отходы древесины	Утилизация отходов
Торфяной термобрикет [56,58]	Бертинат после высокоскоростного пиролиза торфа (473-573 К	Окускованное бездымное прочное топливо

Одним из основных требований к фрезерному торфу, как сырью для брикетирования, является постоянство показателей его качества. Колебание влажности, зольности, плотности и засоренности сырья значительно затрудняет управление технологическим процессом производства и приводит к снижению качества и удорожанию готовой продукции [59].

1.3 Выводы по главе и постановка задач исследований

С точки зрения экологии сжигание торфа как твердого топлива является наиболее чистым процессом, т.к. зольность торфа в среднем в 3-5 раз ниже, чем угля. Зола торфа близка по своим свойствам к золе дров и утилизация ее не является проблемой. Содержание серы в торфе менее 0,3 % (в угле до 5,2 %), поэтому выбросы в атмосферу при сжигании торфа менее токсичны. Одним из перспективных направлений повышения энергоэффективности жилищно-коммунального комплекса страны является его модернизация за счет технологий сжигания торфяного топлива.

Применительно к технологии производства торфяного топлива стратегическим направлением совершенствования технологии является повышение энергоэффективности механической и механотермической переработки торфа с получением экологически безопасного высококалорийного топлива. Сочетание энергетики с технологией позволяет значительно полнее использовать энергию химических превращений и экономить сырьевые и энерго-ресурсы, повысить качество продукции и увеличить производительность агрегатов.

Одним из путей развития торфобрикетного производства в новых экономических условиях, является создание брикетных заводов малой мощности, которые в силу своей компактности, технологической завершенности и заводской готовности требуют минимума капитальных вложений при строительстве, имеют короткий период строительства, монтажа и освоения, а также отличаются низкими эксплуатационными затратами.

Учитывая актуальность и создавшуюся ситуацию при решении вопросов рационального освоения местных топливных ресурсов, необходимость создания новых эффективных отечественных технологических комплексов, постоянно возрастающие требования охраны окружающей среды, в диссертационной работе были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать закономерности последовательного изменения энергоэффективности процессов добычи и термомеханической переработки торфяного сырья при производстве энергоплотного окускованного торфяного топлива.
2. Обосновать алгоритмы и критерии системной оценки технологической и энерго-экологической эффективности производства и потребления торфяного энергоплотного топлива.
3. Разработать технологические и технические решения, направленные на повышение эффективности комплексного производства энергоплотного окускованного торфяного топлива.
4. Провести испытания и внедрение технологических и технических разработок.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА

2.1 Сквозной энерго-экологический анализ энерготехнологических операций производства торфяного топлива

При получении из природных систем полезной продукции растут удельные энергетические расходы, использование природных ресурсов становится все менее доступным и требует увеличения затрат труда и энергии на их извлечение и транспортировку. Научно-техническая революция и овладение массовыми источниками энергии привели к значительной энерговооруженности человеческого труда во всех развитых странах. Ограниченность ископаемых источников энергии, экономические и экологические соображения делают энергосберегающую политику одним из главных факторов технического прогресса.

В области фундаментальных исследований процессов добычи, переработки и энергетического использования торфа отечественная научная школа занимает лидирующее положение в мире. Усовершенствование существующих и разработка новых технологических процессов на современном этапе развития науки и техники требуют дальнейшего детального исследования энергоэффективности процессов, протекающих при добыче, переработке и обезвоживании торфа.

Управление свойствами торфяных систем осуществляется многочисленными энерготехнологическими способами, при которых свойства дисперсных материалов регулируются энергозатратными воздействиями во взаимосвязи с технологическими приемами.

К числу основных способов, широко используемых в технологиях производства топлива, относятся: перемешивание, механическое диспергирование, формование, гранулирование, прессование, механическое обезвоживание, сушка, термическая переработка и др. Перечисленные способы

глубоко теоретически и экспериментально изучены и прошли длительную практическую апробацию [45-78]. Ряд энерготехнологических способов, в силу определенных причин, не нашли пока достойного внедрения на практике, но позволяют в широком диапазоне регулировать свойства торфяной продукции и значительно повысить эффективность технологических процессов переработки. К таким способам относятся: химическое модифицирование, вибрирование и вакуумирование, ультразвуковая, электрогидравлическая, паровлажностная обработка торфа и др. [79-82]. Перечисленные вопросы изучены применительно к торфяным системам, но большинство полученных выводов справедливы и для технологии торфяного топлива.

Перечень способов воздействия на свойства торфяных систем расширяется и пополняется новыми технологическими способами, основанными на сочетании термических, химических и биохимических воздействий.

В настоящее время для оценки эффективности производства энергоемкой продукции разработан полный (сквозной) энерго-экологический анализ (СЭЭА), который обеспечивает управление энергосбережением и снижением негативных воздействий на окружающую среду при модернизации и создании новых энерготехнологических процессов [83].

Комплексный анализ энергозатрат на всех стадиях производства учитывает особенности технологии, сокращение выбросов вредных веществ, утилизацию отходов, производство побочной и вторичной продукции, энергетические и материальные затраты на предыдущих стадиях производства, сведенных для сравнения к единому универсальному показателю в единицах условного топлива. Для этого сквозные энергетические затраты рассчитываются в форме технологических топливных чисел (ТТЧ), учитывающих все материальные и энергетические потоки производства и раскрывающих структуру потребления энергии и материалов с выявлением лимитирующих звеньев по величине максимального энергопотребления. Энергозатраты, связанные с погашением стоимости экологического ущерба от негативных воздействий на окружающую среду, приведенные к единице выпускаемой продукции, рассчитываются с

помощью технологических экологических чисел (ТЭЧ). Для удобства расчетов за стоимость топлива принята цена природного газа, т.е. использован «газовый» эквивалент. В результате величина измерения ТЭЧ – кг у. т./т продукции.

Представление сложных технологических процессов в виде иерархической восходящей структуры позволяет классифицировать ТТЧ и ТЭЧ следующим образом: ТТЧ и ТЭЧ звена (передела), последующей обработки, отделочных операций, продукции, отраслевого, страны, глобальное (рисунок 2.1). Основой такого сквозного иерархического построения является элементарное технологическое звено (передел).



Рисунок 2.1 – Иерархическая восходящая структура ТТЧ и ТЭЧ

Добыча торфа, по своей сути, является технологическим процессом по обезвоживанию (сушке) торфяного сырья, приемом концентрирования действующего вещества в единице объема или массы. Технологии добычи торфа могут быть различными, но конечной целью любой технологии является получение воздушно-сухого торфа, который может эффективно использоваться для различных целей.

Технология добычи фрезерного торфа требует значительных осушенных и подготовленных площадей для сушки и складирования торфа. Осушение и болотно-подготовительные работы выполняются большим парком узкоспециализированного оборудования. Данный способ сильнее всего зависит от метеоусловий, что отражается в его сезонности и в зависимости качества торфяной продукции от количества осадков, выпадающих в течение сезона [84-86].

Энергоемкость добычи фрезерного торфа из-за неблагоприятных погодных условий увеличивается на 7-10% [87]. Расход сырья на производство 1 тонны брикета составляет 1,7-1,8 т, в т.ч. на сушку торфяного сырья расходуется 0,2-0,3 т, и на брикетирование – 1,4-1,7 т. Средний расход тепловой энергии составляет 466-954 кВт·ч на 1 т брикета, расход электроэнергии – 54-79 кВт·ч. Структура энергозатрат при брикетировании торфа представлена на (рисунке 2.2).

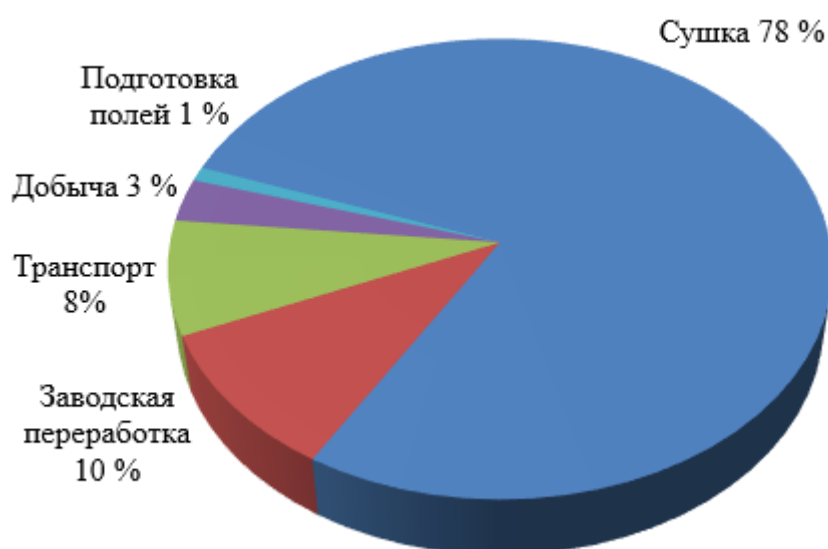


Рисунок 2.2 – Соотношение энергозатрат по технологическим операциям добычи и переработки торфа в брикет

Развитие современного торфяного производства сопряжено с расширением областей применения торфа, с разработкой новых безотходных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих комплексную переработку и селективную добычу сырья заданного качества.

Вместе с тем в торфяной отрасли в результате многочисленных научных и проектно-конструкторских работ созданы новые инновационные технологии получения торфяного топлива. Сравнительный анализ предлагаемых технологических процессов возможен с использованием методов СЭЭА. Управление свойствами торфяных систем осуществляется многочисленными энерготехнологическими способами, при которых свойства дисперсных материалов регулируются энергозатратными воздействиями во взаимосвязи с технологическими приемами.

Процесс добычи, переработки и использования торфяного топлива можно представить в виде следующей схемы (рисунок 2.3).

Метод СЭЭА в форме ТТЧ и ТЭЧ базируется на выделении в рамках элементарного технологического звена (передела) основных элементов энергозатрат и учета негативных воздействий процесса на окружающую среду, например, выбросов в атмосферу, образующихся при сжигании топлива и использования энергии. В этом случае ТЭЧ определяется как:

$$ТЭЧ = m_n \frac{C_{BB}}{C_{пр.г.}} \cdot \frac{Q_{н.пр.г.}^P}{Q_{н.у.г.}^P}, \quad (2.1)$$

где m_n – удельная приведенная масса вредных выбросов в условных тоннах вредных выбросов на тонну продукции (т у. выбр./т прод.); C_{BB} – плата природопользователя за сверхлимитное загрязнение окружающей среды (выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные воды, размещение отходов и другие виды); $C_{пр.г.}$ – цена природного газа; $Q_{н.пр.г.}^P$ – низшая рабочая теплота сгорания природного газа, МДж/м³; $Q_{н.у.г.}^P$ – низшая рабочая теплота сгорания условного топлива.

Элементы энергозатрат и вредных выбросов включают следующие составляющие: первичную энергию $\mathcal{E}_1$ и выбросы B_1 , производную энергию $\mathcal{E}_2$ и выбросы B_2 , скрытую энергию $\mathcal{E}_3$ и выбросы B_3 , энергию вторичных ресурсов $\mathcal{E}_4$ и полезно используемые выбросы B_4 (Приложение Рисунок А.1).

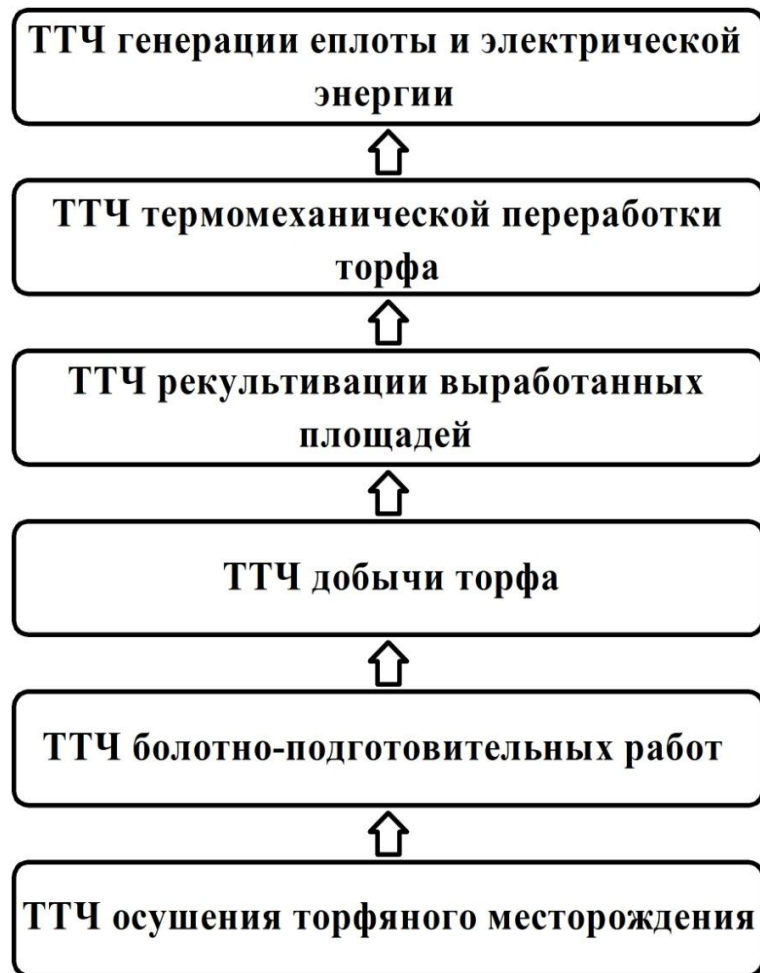


Рисунок 2.3 – Иерархическая восходящая структура ТТЧ и ТЭЧ добычи, переработки и использования торфяного топлива

Рассматриваемые основные элементы вредных выбросов (B_1, B_2, B_3, B_4) эквивалентны удельным приведенным массам вредных выбросов в условных тоннах вредных выбросов на тонну продукции. Таким образом, ТТЧ и ТЭЧ, определяемые для конечного продукта, можно представить как

$$ТТЧ = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 - \mathcal{E}_4, \quad (2.2)$$

$$ТЭЧ = \kappa_e (B_1 + B_2 + B_3 - B_4), \quad (2.3)$$

где κ_{ϵ} – коэффициент перевода стоимостной оценки ущерба к оценке в условных энергетических единицах (кг у. т./т у. выбросов).

Первичная энергия $\mathcal{E}_1$ – химическая энергия ископаемого топлива (кг у. т./т продукции), а также затраты на добычу, подготовку или обогащение, на транспортировку и др.

Первичные вредные выбросы B_1 – это локальные выбросы, образующиеся в данном процессе технологического звена при сжигании топлива, а также выбросы, связанные с добычей, подготовкой и транспортировкой топлива.

$$\mathcal{E}_1 = \sum_n T\mathcal{E}C_{mon} \varphi_{mon}, \quad (2.4)$$

где:

$$T\mathcal{E}C_{mon} = Q_H^p + T\mathcal{E}C_{доб} + T\mathcal{E}C_{под} + T\mathcal{E}C_{тр}, \quad (2.5)$$

здесь Q_H^p – низшая рабочая теплота сгорания топлива, $T\mathcal{E}C_{mon}$, $T\mathcal{E}C_{доб}$, $T\mathcal{E}C_{под}$, $T\mathcal{E}C_{тр}$ – соответственно технологические топливные числа топлива в целом, его добычи, подготовки и транспортировки, кг у. т./ед. топлива; φ_{mon} – удельный расход топлива, единица топлива/единица готовой продукции.

$$B_1 = \frac{1}{\kappa_{\epsilon}} (T\mathcal{E}C_T + T\mathcal{E}C_D + T\mathcal{E}C_{TP}) \varphi_T, \quad (2.6)$$

где: $T\mathcal{E}C_T$, $T\mathcal{E}C_D$, $T\mathcal{E}C_P$, $T\mathcal{E}C_{TP}$ – технологические экологические числа, связанные со сжиганием, добычей, подготовкой и транспортировкой топлива, кг у. т. на единицу топлива; φ_T – удельный расходный коэффициент топлива, единица расхода топлива на единицу продукции.

Производная энергия $\mathcal{E}_2$ – энергия производных энергоносителей (например, электроэнергия, пар, сжатый воздух, кислород и т.п.). Определяющей величиной в затратах на эту форму энергии является удельный расход первичной энергии на производство конкретного энергоносителя.

Производные вредные выбросы B_2 образуются при производстве энергоносителей, необходимых для протекания данного процесса.

$$\mathcal{E}_2 = T\mathcal{E}C_{ТЭ} \varphi_{ТЭ} + T\mathcal{E}C_{П} \varphi_{П} + T\mathcal{E}C_{ЭЛ} \varphi_{ЭЛ} + T\mathcal{E}C_{СВ} \varphi_{СВ} + T\mathcal{E}C_{КС} \varphi_{КС} + T\mathcal{E}C_{В} \varphi_{В}, \quad (2.7)$$

где $ТТЧ_{ТЭ}$, $ТТЧ_{П}$, $ТТЧ_{ЭЛ}$, $ТТЧ_{СВ}$, $ТТЧ_{КС}$, $ТТЧ_{В}$ и т.д. – технологические топливные числа теплоэнергии, пара, электроэнергии, сжатого воздуха, кислорода, воды и т. д., кг у.т./ед. энергоносителя; $\varphi_{ТЭ}$, $\varphi_{П}$, $\varphi_{ЭЛ}$, $\varphi_{СВ}$, $\varphi_{КС}$, $\varphi_{В}$ и т.д. – удельные расходы теплоэнергии, пара, электроэнергии, сжатого воздуха, кислорода, воды и т.д., ед. энергоносителя/ед. продукции.

$$B_2 = \frac{1}{\kappa_6} \sum_i ТЭЧ_i \varphi_i, \quad (2.8)$$

где $ТЭЧ_i$ – технологическое экологическое число i -го энергоносителя, являющегося одновременно источником выбросов (электроэнергии, кислорода, дутья и т.д.), кг у. т. на единицу энергоносителя; φ_i – удельные расходные коэффициенты соответствующих энергоносителей, единица энергоносителя на единицу продукции.

Скрытая или овеществлённая энергия $\mathcal{E}_3$ – энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и содержащаяся в скрытом виде в исходных материалах, оборудовании, капитальных сооружениях данного процесса, а также в операциях по поддержанию оборудования в работоспособном состоянии – ремонты и т.п. При расчете скрытых вредных выбросов B_3 необходимо учитывать выбросы, которые имели место в предыдущих технологических операциях при производстве сырьевых материалов в соответствии с их расходными коэффициентами, инструментом, оборудованием и другими вспомогательными расходами энергии на предыдущих технологических операциях в соответствии с их расходными коэффициентами [88-92].

Также необходимо учитывать выбросы, образующиеся при производстве энергии, необходимой для пылеочистки отходящих газов на предыдущих технологических операциях с соответствующими расходными коэффициентами.

$$\mathcal{E}_3 = \sum_n ТТЧ_C \varphi_C + (ТТЧ_{об} + ТТЧ_{кв}) \kappa_a + ТТЧ_{ин} \kappa_{ин} + ТТЧ_p \kappa_p + ТТЧ_{мр} \kappa_{мр}, \quad (2.9)$$

где $ТТЧ_C$, $ТТЧ_{об}$, $ТТЧ_{кв}$, $ТТЧ_{ин}$, $ТТЧ_p$, $ТТЧ_{мр}$ – соответственно технологические топливные числа сырья, оборудования, капитальных сооружений, инструмента,

ремонт, перевозок и пр., кг у. т./соответствующую единицу; φ_c – удельный расход сырья на единицу готовой продукции; κ_a , $\kappa_{ин}$, κ_p , $\kappa_{тр}$ – соответствующие коэффициенты расхода, соответствующая единица/единицу готовой продукции.

$$B_3 = \frac{1}{\kappa_6} (TЭЧ_M \varphi_M + TЭЧ_{II} \varphi_{II} + TЭЧ_{об} \varphi_{об} + TЭЧ_{II} \varphi_{II}), \quad (2.10)$$

где $TЭЧ_M$, $TЭЧ_{II}$, $TЭЧ_{об}$, $TЭЧ_{II}$ – технологические экологические числа сырьевых материалов, инструмента, оборудования, пылеочистки отходящих газов, кг у. т. на единицу источника вредных выбросов; φ_M , φ_{II} , $\varphi_{об}$, φ_{II} – удельные расходные коэффициенты соответствующих источников вредных выбросов, единица источника вредных выбросов на единицу продукции.

Энергия вторичных ресурсов $\mathcal{E}_4$ складывается из фактически сэкономленных энергозатрат при производстве топливных, тепловых и материальных ресурсов. При этом учитывается химическая энергия вторично используемых топлив, тепловая энергия (пар), а также материальные ресурсы на том переделе, на котором заменяются первичные ресурсы с учётом коэффициентов использования вторичных ресурсов. Полезно используемые вредные выбросы B_4 подразделяются на электрически используемые и вещественно используемые. Они характеризуются не только улавливанием вредных выбросов, но и их утилизацией на данной операции.

$$\mathcal{E}_4 = \mathcal{E}_{тен} + \mathcal{E}_{хим} + \mathcal{E}_{мат}, \quad (2.11)$$

где

$$\mathcal{E}_{тен} = \sum_n TТЧ_{тен} \varphi_{в.тен} \kappa_{и.тен}, \quad (2.12)$$

$$\mathcal{E}_{хим} = \sum_n TТЧ_{хим} \varphi_{в.хим} \kappa_{и.хим}, \quad (2.13)$$

$$\mathcal{E}_{мат} = \sum_n TТЧ_{мат} \varphi_{в.мат} \kappa_{и.мат}, \quad (2.14)$$

где $TТЧ_{тен}$, $TТЧ_{хим}$, $TТЧ_{мат}$ – технологические топливные числа, соответственно, тепловой энергии (пара, горячей воды), топливной (химической) энергии,

материальных ресурсов - на технологических производствах (переделах), кг у. т./единицу вторичных ресурсов; $\varphi_{в.мен}$, $\varphi_{в.хим}$, $\varphi_{в.мат}$ – соответственно, удельные выходы вторичных ресурсов на единицу готовой продукции данного передела, единиц вторичных ресурсов/единицу готовой продукции; $\kappa_{и.мен}$, $\kappa_{и.хим}$, $\kappa_{и.мат}$ – соответственно, коэффициенты использования вторичных ресурсов.

$$B_4 = \frac{1}{\kappa_6} \sum_i TЭЧ_{ymi} \varphi_{ymi} \kappa_{п.ym}, \quad (2.15)$$

где $TЭЧ_{ym}$, – технологическое экологическое число улавливаемых вредных выбросов, кг у.т на единицу источника вредных выбросов; φ_{ym} – удельный выход отходящих газов, единица отходящих газов на единицу продукции; $\kappa_{п.ym}$ – коэффициент утилизации отходящих газов.

Таким образом, иерархическое структурирование систем (технологических процессов) позволило раскрыть неопределенности сложных систем, охарактеризовать устойчивую упорядоченность их элементов и связей, отразить взаиморасположение и взаимосвязи составных частей.

Рассмотрение приведенных соотношений и иерархии методов СЭЭА при расчете ТТЧ и ТЭЧ свидетельствует о сложности характера этих величин, разветвленной по вертикали и по основной технологической цепи. Каждое из низовых чисел в свою очередь является сложной величиной. Такая классификация энергозатрат и вредных выбросов позволяет более наглядно и отчетливо представить основные составляющие, что в определенной мере является гарантом полного и обстоятельного рассмотрения технологических ситуаций и источников выбросов.

В связи с принятым единообразием величин ТТЧ и ТЭЧ в одинаковых условных единицах для проведения комплексного СЭЭА введено понятие *технологического топливно-экологического числа* (ТТЭЧ).

$$ТТЭЧ = ТТЧ + ТЭЧ, \quad (2.16)$$

где $ТТЭЧ$ является итоговой оценкой энерго-экологических затрат для производства продукции в кг у. т./т продукции.

СЭЭА представляет собой комплекс математических моделей, алгоритмов и программных средств компьютерной реализации и может использоваться для поэтапной оценки эффективности добычи, переработки и использования торфа в качестве топлива.

2.2 Системная модель технологии производства и потребления торфяного топлива

Целесообразность и эффективность системного подхода при решении задач производства торфяного сортового топлива обусловлена возможностью статической и динамической оценки технического уровня, экологической безопасности, экономической эффективности всего процесса – от разведки сырьевых источников до получения конечного продукта и его использования потребителями. Проведенный Н.В. Гревцевым [85] анализ многопрофильной торфяной продукции свидетельствует, что в большинстве случаев она представляет собой композиционные материалы, включающие не менее двух компонентов, одним из которых является торф. На основании системного обобщения ранее выполненных разносторонних исследований в области торфа и технологии его переработки с использованием методологии системного анализа, теории систем и концепции маркетинга предложена системная модель производства и потребления торфяных композиционных материалов. Под системной моделью предлагается понимать модель, построенную по методологии системного анализа, т.е. для которой установлена иерархия целей и ее структура, выполнена декомпозиция на отдельные подсистемы, определены критерии однофакторной и многофакторной оптимизации внутри подсистем и их взаимосвязь в системе в целом.

В данной диссертационной работе торфяное топливо рассматривается как разновидность торфяных композиционных материалов.

Одной из задач диссертационных исследований является уточнение и

развитие системного подхода при выборе состава и энерготехнологических операций добычи и переработки торфа с использованием в качестве критериев оптимизации ТТЧ и ТЭЧ.

Система производства и потребления торфяных композиционных материалов может быть представлена в виде полного графа производства G , являющегося топологической моделью системы.

Полный граф производства G позволяет отобразить в сжатой и наглядной форме большое количество информации. Вершины графа соответствуют элементам, представляющим отдельные операции процесса, ребра – потокам между вершинами графа, благодаря чему уже заранее получается картина некоторых свойств и качественных отношений рассматриваемой системы.

Граф отображает полное множество событий: транспортные процессы сырья, трансформационные процессы переработки, пространственное расположение процессов, потоки энергии, затрат, материалов, необходимые для процесса переработки, связи технологического оборудования, т.е. логику работы системы, транспортные процессы распределения продукции. Вершины графа G разбиты по уровням (рисунок 2.4).

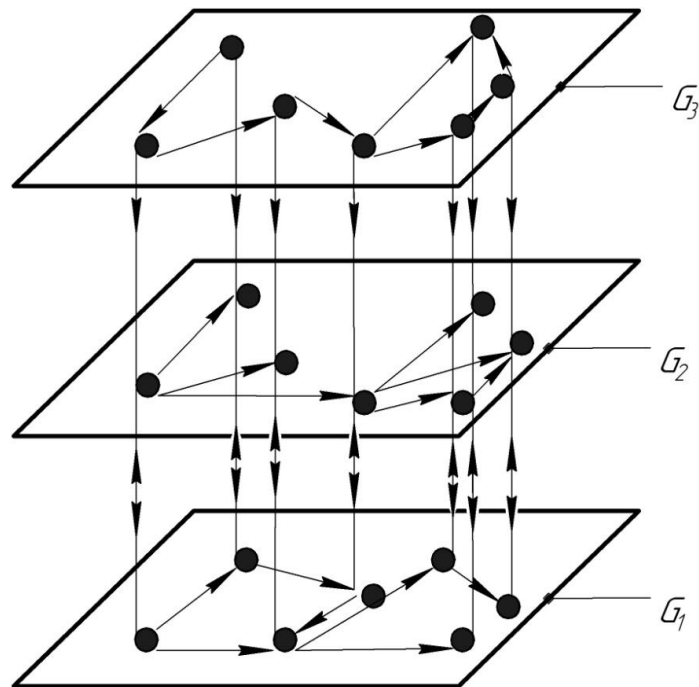


Рисунок 2.4 – Топологическая модель системы

Вершины первого уровня образуют подграф G_1 , соответствующий подмножеству «сырьевые ресурсы». Вершины второго уровня образуют подграф G_2 , соответствующий подмножеству «добыча сырья и его переработка», и вершины третьего уровня – подграф G_3 , соответствующий подмножеству «потребление торфяных композиционных материалов и их маркетинг». Выделенные подграфы G_1 , G_2 и G_3 соответствуют ключевым подмножествам модели. При создании системной модели производства и потребления торфяных композиционных материалов необходимо в комплексе решать ряд сложных задач, методы решения для многих из которых известны и получены результаты для условий, весьма близких к рассматриваемым условиям.

Решение некоторых задач осуществляется в рамках одного подмножества. Для решения других необходимо использование элементов подмножеств, расположенных на соседних уровнях графа G . В общем случае каждая отдельная задача может быть представлена некоторым подграфом, вершины которого могут принадлежать как одной, так и нескольким подмножествам. Использование полного графа производства G позволяет применить системный подход для комплексной оценки эффективности производства и потребления торфяных композиционных материалов.

Допустимое множество решений задачи производства ТКМ определяется: характеристиками отдельных типов оборудования; наличием параметрических, функциональных и критериальных ограничений; набором оптимизируемых параметров.

Эффективность производства ТКМ зависит от r варьируемых параметров, которые будем считать точкой в r -мерном пространстве. Значения варьируемых параметров принадлежат допустимому множеству D . В задачах оптимального проектирования технологических комплексов постановка задачи поиска оптимального решения и нахождения множества D представляют собой единый процесс. В процессе исследования множества D происходит осмысление роли каждого из критериев эффективности, а также учитываются неформализуемые требования. Анализ допустимого множества дает информацию о качестве

математической модели, что позволяет оценить содержательность модели по тем или иным критериям.

На основе обобщения результатов ранее выполненных многочисленных исследований сформулированы задачи, решаемые в рамках системной модели технологии производства торфяных композиционных материалов (рисунок 2.6). Предложена структура модели системы, представляющая единую системную цепочку: ресурсы – технология – потребление.

Предложено в основе подсистемы «Сырьевые ресурсы» использовать геоинформационные базы данных торфяных ресурсов и техногенных объектов для конкретных регионов. В рамках подсистемы на основе известных координатных дискретно-точечных моделей торфяных месторождений выполняется количественная оценка запасов по различным категориям сырья, делается заключение по рациональному использованию сырьевых ресурсов, рассчитывается ущерб от разработки торфяного месторождения и техногенных объектов, возможный объем производства по каждому виду продукции, выполняется оптимизация транспортных потоков сырья, проводится расчет ТТЧ и ТЭЧ разведки месторождения.

Подсистема «Добыча сырья и его переработка» при производстве торфяных композиционных материалов предусматривает поэтапное решение следующих задач: выявить наиболее рациональную схему использования торфяного сырья на основе модели комплексного ресурсосберегающего освоения торфяного месторождения; выполнить сбалансированный подбор свойств торфяного сырья и компонентов на основе разработанной математической модели многокомпонентной шихты с использованием для оптимизации ее состава метода линейного программирования; осуществить выбор оптимальной технологической схемы производства с помощью построения сетевого графа; выполнить расчет основных технико-экономических и инвестиционных показателей, оценить воздействие производства на окружающую среду; выполнить расчет ТТЧ и ТЭЧ производства торфяного топлива.

В подсистеме «Потребление торфяных композиционных материалов и их

маркетинг» выполняется анализ потребительских свойств новых видов продукции в сравнении с известными аналогами. В рамках концепции маркетинга производится оценка соответствия уровня производства спросу на продукцию, выполняется системная оценка влияния на окружающую природную среду производства и потребления новых видов композиционных материалов, решаются вопросы оптимизации распределения готовой продукции, определяются ТТЧ и ТЭЧ генерации тепловой и электрической энергии.

В работе [85] систематизированы многолетние отчетные данные ряда торфяных компаний, которые послужили основой для построения модели потребителя коммунально-бытового топлива. Предлагаемая модель (рисунок 2.5) используется при решении оптимизационных задач по размещению и мощности предприятий по добыче коммунально-бытового топлива и логистических систем.

Множество допустимых вариантов производства определяется ограничениями, обусловленными технологическими требованиями к его параметрам. Требования разделяются на ограничительные, соблюдение которых необходимо для осуществления принятой технологии, обеспечения надежной работы технологического оборудования и позволяющие достигать оптимальных технико-экономических показателей (ТЭП) производства ТКМ.

Ограничения могут быть разделены на параметрические, функциональные и критериальные.

Параметрические ограничения имеют вид:

$$\alpha_{jn} \leq \alpha_j \leq \alpha_{js}, \quad j = 1, \dots, r, \quad (2.17)$$

В роли α_j в механических системах могут выступать: жесткости, моменты инерции, массы, геометрические размеры и т. д.

Функциональные ограничения можно записать как:

$$C_{ln} \leq f_l(\alpha) \leq C_{ls}, \quad l = 1, \dots, t, \quad (2.18)$$

Здесь $f_l(\alpha)$ могут быть функционалами, зависящими от интегральных кривых дифференциальных уравнений, или просто функциям от α , C_{ln} , C_{ls} –

ограничения нормативного вида, нарушать которые чаще всего просто нельзя. Кроме того, имеются локальные критерии качества – производительность, удельные затраты энергии и т. д. Эти критерии $\Phi_v(\alpha)$ $v=1, \dots$, при прочих равных условиях всегда стремятся экстремизировать.



Рисунок 2.5 – Структура системной модели торфяного топлива

Очевидно, что ограничения (2.17) выделяют в r -мерном пространстве параллелепипед Π . Ограничения (2.18) выделяют в Π некоторое подмножество G , о котором мы будем предполагать только, что его объем положителен.

Чтобы избежать ситуации, когда с точки зрения проектировщика, значения отдельных критериев оказываются недопустимо плохими, необходимо ввести

критериальные ограничения

$$\Phi(\alpha) \leq \Phi_v^{**}, \quad (2.19)$$

где Φ_v^{**} – это худшее значение критерия $\Phi_v(\alpha)$, на которое проектировщик может согласиться.

Разница между критериальными и функциональными ограничениями состоит в том, что значения Φ_v^{**} не являются жесткими, они зависят от физического смысла критериев, конъюнктурных и других соображений и назначаются в процессе решения задачи, причем зачастую многократно пересматриваются (ужесточаются или ослабляются). А это означает, что сформулировать разумные значения Φ_v^{**} до решения задачи, как это имеет место для C_{in} и C_{lv} , не представляется возможным.

Ограничения по характеру их влияния на режим работы ТКМ подразделяют на ограничения, действующие кратковременно и длительно (в течение контролируемых промежутков времени ΔT).

Ограничения (2.17) – (2.19) выделяют допустимое множество D , т. е. множество вариантов проекта, удовлетворяющих этим ограничениям, так что $D \subset G \subset \Pi$. Если функции $f_i(\alpha)$ и $\Phi_v(\alpha)$ непрерывны в Π , то множества G и D замкнуты.

Модель проектирования производства ТКМ. Производство торфяных композиционных материалов (ПТКМ) описывается технологическим графом $\tilde{A}(J, F)$, являющимся совокупностью двух множеств: вершин J «разделяющих» отдельные операции производства КМ и дуг F , соответствующих альтернативным вариантам реализации технологических операций. Последовательность дуг определяется допустимой последовательностью выполнения операций.

Так как элементы множества F представляют собой упорядоченные пары, то граф является ориентированным (рисунок 2.6).

Для раскрытия основных факторов, определяющих величину ТТЧ и ТЭЧ продукта, произведенного за n технологических операций при наличии p

компонент (цепочек) в операции: удельных полезных расходов теплоты, топливно-энергетических КПД, удельных приведённых масс вредных выбросов и расходных коэффициентов, применяется диссипативная методика определения ТТЧ и ТЭЧ продукции.

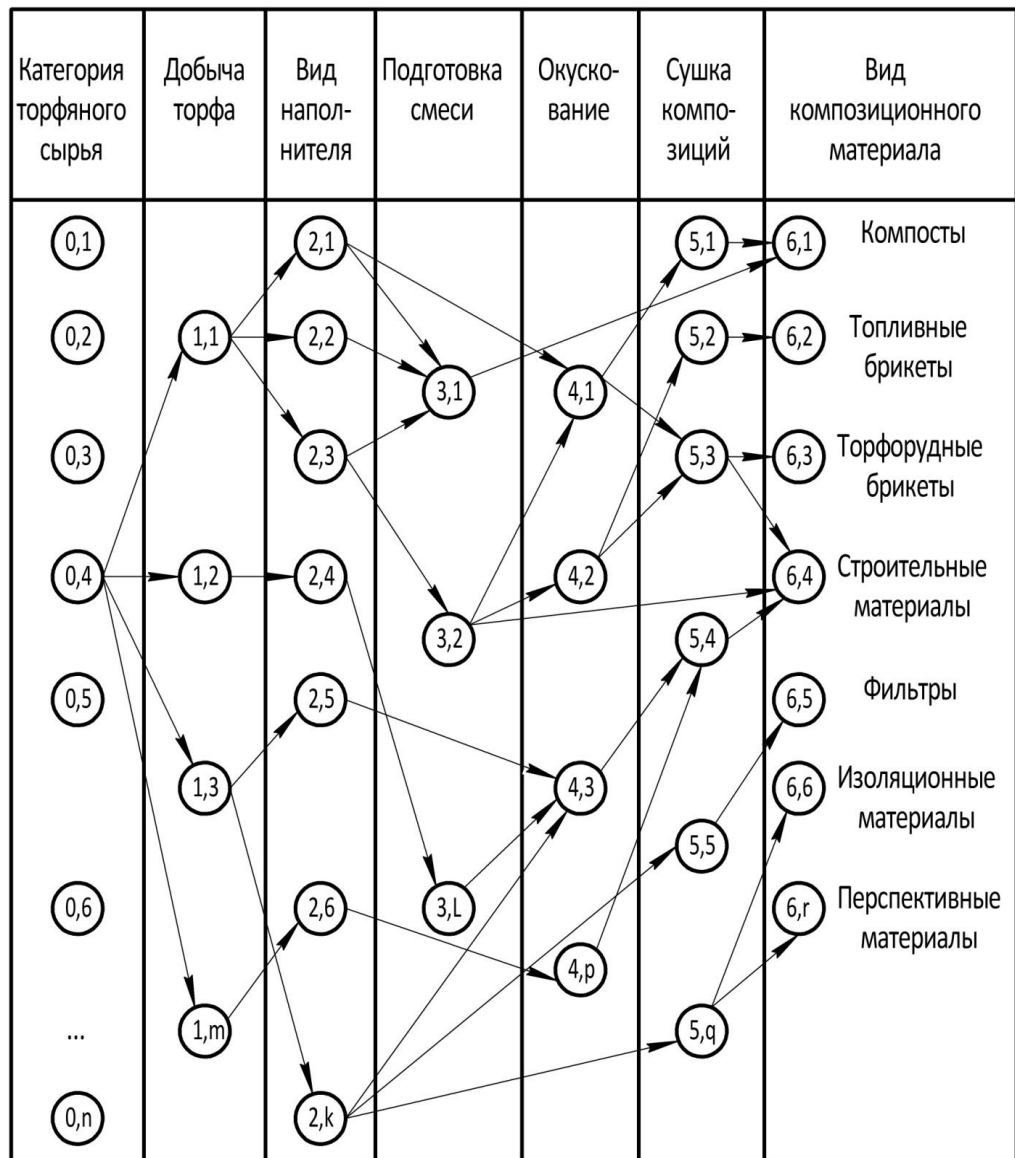


Рисунок 2.6 – Граф производства торфяных композиционных материалов

При этом технологическая цепочка расщепляется на n последовательных операций, в каждой имеется определенное количество параллельно включенных цепочек, соответствующих числу компонент p , являющихся энергоносителями и источниками вредных выбросов. В силу последовательного включения операций расходные коэффициенты на каждой i -й операции получают перемножением

всех расходных коэффициентов цепочки из последовательно включенных звеньев.

Внутри каждой операции происходит суммирование энергозатрат и выбросов по числу компонентов (цепочек). В результате величины ТТЧ и ТЭЧ представимы в обобщенном виде

$$TЭЧ = b_1 + \sum_{i=2}^n \sum_{z=1}^p b_{iz} \Psi_{iz}, \quad (2.20)$$

$$TЭЧ = \kappa_{\varepsilon} \left[m_1 + \sum_{i=2}^n \sum_{z=1}^p b_{iz} \Psi_{iz} \right], \quad (2.21)$$

где b_1 – значение первичной энергии за вычетом энергии используемых вторичных ресурсов; m_1 – удельная приведённая масса условных вредных выбросов, связанных с использованием топлива и энергии, за вычетом Ψ_{iz} величины полезно используемых выбросов для i -го передела и ε -й компоненты, определяемая по формуле; Ψ_{iz} – обобщенный расходный коэффициент для энергозатрат и вредных выбросов, определяемый как произведение элементарных коэффициентов при изменении i от 1 до n , составляющих последовательную цепочку. При этом в каждой операции номер параллельного звена выбирается именно для последовательно включенных звеньев во всей цепочке.

Тогда:

$$\Psi_{iz} = \varphi_{iz} \cdot \dots \cdot \varphi_{iz} \cdot \dots \cdot \varphi_{nz}, \quad (2.22)$$

Из формул (2.21) и (2.22) наглядно видно, что при определении ТТЧ и ТЭЧ технологической цепочки, состоящей из и последовательных звеньев, происходит двойное суммирование величин энергозатрат и выбросов как по технологическим цепочкам i – от 1 до n (последовательное включение звеньев), так и по количеству технологических процессов внутри каждого звена ε – от 1 до p (параллельное включение компонентов).

Таким образом, разработанная диссипативная модель СЭЭА технологического процесса наглядно раскрывает основные факторы, определяющие

величины ТТЧ и ТЭЧ продукта, произведенного за n технологических операций при наличии p компонентов в операции.

Представление производства ТКМ в виде графа обеспечивает наглядность и поддерживает объем данных, необходимый для оценки вариантов построения системы производства ТКМ. Дуги графа $\tilde{A}(J, F)$ описывают «маршруты» производства ТКМ, $F = (F_1, F_2, \dots, F_k)$ включающие в себя множество технологических операций $O = (O_1, O_2, \dots, O_n)$, где O_1 – добыча торфа, O_2 – сушка торфа, O_3 – шихтование композитных смесей; O_4 – окускование ТКМ; O_5 – дополнительная сушка окускованных ТКМ; O_6 – использование ТКМ.

Таким образом, под маршрутом в графе будем понимать чередующуюся последовательность смежных вершин и ребер. Каждый маршрут характеризуется удельными затратами ресурсов на производство ТКМ. Последовательность технологических операций через соответствие множества операций O и множества конструктивных решений преобразуется в последовательность технологических агрегатов (ТА) $M_i = (m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ii})$, реализующую маршрут F_i . Каждый маршрут представляется направленной цепью дуг $(m_{i1}, m_{i2}), (m_{i2}, m_{i3}), \dots, (m_{ii-1}, m_{ii})$, включающей в себя, в общем случае, и переходы через ТА, не участвующие в данном маршруте. Некоторые вершины M_i могут расщепляться, образуя новые вершины $m_{i1}, m_{i2}, \dots, m_{ik}$ с соответствующим расщеплением окрестностей $I(m_i), O(m_i)$ на $I(m_{i1}), \dots, I(m_{ik}), O(m_{i1}), \dots, O(m_{ik})$, что реализует введение в технологический комплекс нескольких модификаций ТКМ. В результате увеличивается число вершин технологического графа. Множество вновь вводимых вершин обозначим ΔM . Каждая дуга $f = (m_i, m_j)$ взвешивается характеристиками эффективности соответствующей технологической операции.

Эффективность каждой технологической операции характеризуется величинами относительных потерь в натуральном и денежном выражении.

Каждой дуге приписываются веса, соответствующие затратам на выполнение данной операции конкретным способом, производительности этой

операции и энергетическим потерям, т.е. каждая дуга характеризует несколько типов связей между вершинами.

Маршруты отличаются друг от друга наличием или отсутствием определенных технологических операций, способами выполнения этих операций, возможностями контроля состояния процесса, соответствующими затратами и эффективностью.

При числе рассматриваемых вариантов проектных решений производства ТКМ целесообразно декомпозировать на технологические секторы – минимальные самостоятельные в смысле конструктивного решения единицы. Проектирование такого сектора заключается в разработке различных схем конструктивного решения и отборе наилучшего варианта.

Производство большинства видов торфяных композиционных материалов предъявляет жесткие требования к качеству торфяного сырья, которые могут наиболее полно удовлетворяться при селективной добыче торфа (рисунок 2.7). При этом целесообразно совмещать с процессами добычи торфа некоторые операции по подготовке и переработке торфяного сырья, с учетом последних достижений в области селективной добычи и производства формованной торфяной продукции [89-92].

На основе обобщения результатов исследований в области физикохимии торфа, физико-химической механики, системного анализа предложен алгоритм выбора состава торфяных композиций и технологии их получения (рисунок 2.8).

Результаты многочисленных исследований, посвященные вопросам рационального природопользования, могут служить основой для оценки влияния производственной деятельности на окружающую среду, разработки природоохранных мероприятий, сбалансированного использования природных ресурсов, проведения расчетов ТЭЧ.

На основе системного анализа А.И. Косовым [87] разработана структурная модель «Эколог», которая на основе имитационного моделирования и векторной статистической оптимизации, обосновывается решение об экологической целесообразности осушения и разработки торфяных месторождений.

В пределах каждого уровня необходимо учитывать вещественные и энергетические выбросы, осуществляемые в атмосферу, воду и почву.

В настоящее время все проекты хозяйственного развития проходят экологическую экспертизу, конечной задачей которой является оценка воздействия на среду и получение данных об экологической безопасности и экономической целесообразности реализации проекта [91, 92].

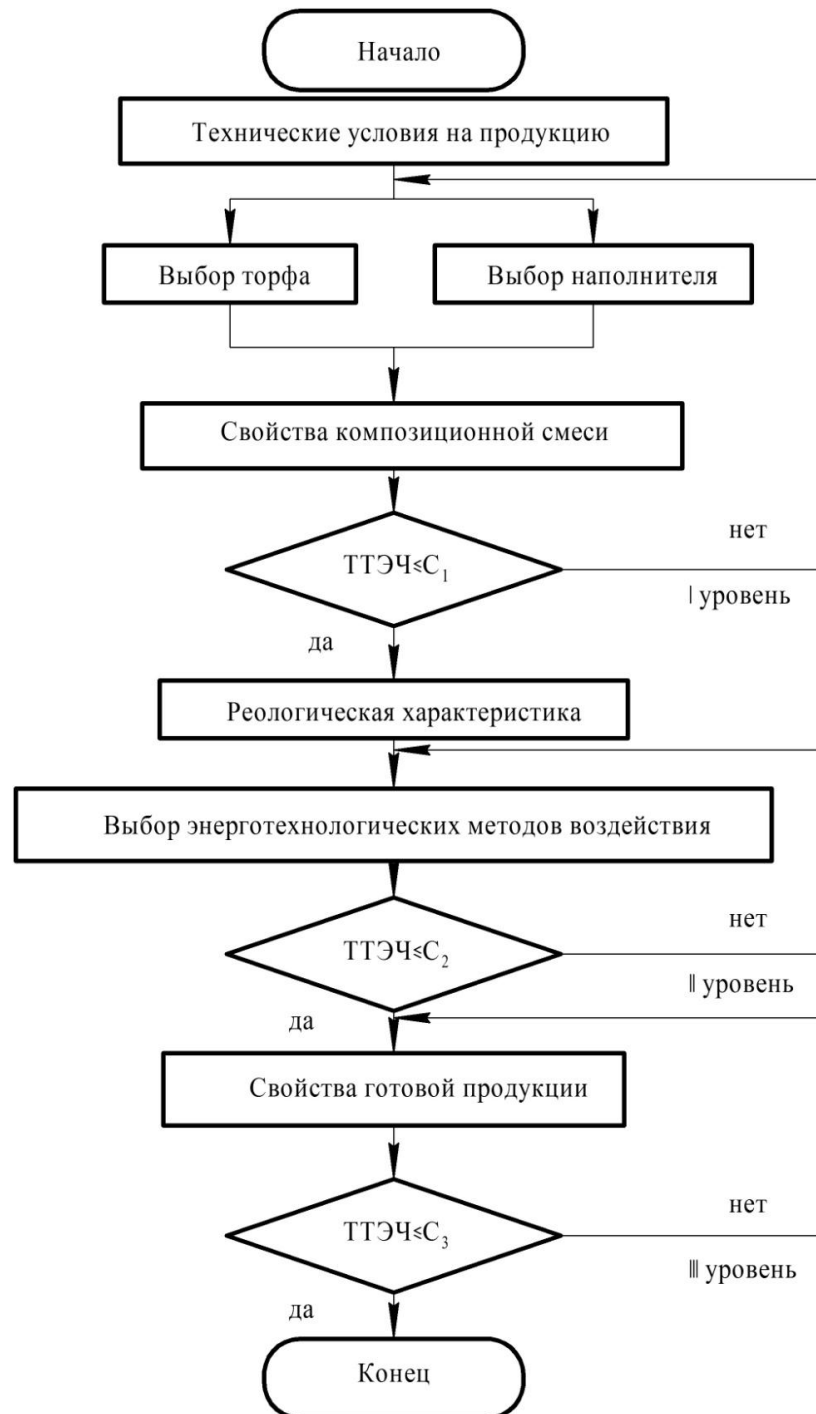


Рисунок 2.7 – Алгоритм выбора состава композиционных материалов

Технологическое топливно-экологическое число (ТТЭЧ) равно сумме ТТЧ и ТЭЧ. Расчет ТТЭЧ помогает сделать выбор состава технологической смеси, технологий производства и свойств готовой продукции. Алгоритмом выбора состава композиционных материалов задается необходимый уровень энергозатрат (A) и уровень воздействия на окружающую среду (B). При этом должны сбыть соблюдены следующие соотношения: $ТТЧ \leq A$; $ТЭЧ \leq B$. В соответствии с этим, значение ТТЭЧ также не должно превышать некоторого допустимого уровня C ($ТТЭЧ \leq C$), который может быть определен на основе анализа наилучших доступных технологий (НДТ) [93].

Определение ТТЧ и ТЭЧ продукции позволяет принять решение для оценки экономического ущерба от загрязнения окружающей среды. Предлагается комплексный подход (экономический, энергетический, экологический) с точки зрения оценки экономической компенсации за нанесенный экологический ущерб, например, от продуктов сгорания, в условных единицах на единицу продукции (кг у.т./т продукции), как это производится при расчете энергозатрат. Сопоставимые значения ТЭЧ с ТТЧ свидетельствуют о плохой работе предприятий с точки зрения дополнительных издержек на компенсацию экологического ущерба.

2.3 Принципы выбора состава и технологии торфяного композиционного топлива

В работе [85] на основе системного анализа сформулированы принципы выбора состава и технологии производства торфяных композиционных материалов, уточнение которых необходимо применительно к торфяному композиционному топливу.

Эти принципы соответствуют принятому в 2010 году Национальному стандарту РФ «Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии» (НДТ) ГОСТ 554097-2010 [93]. Настоящий стандарт подготовлен с учетом основных положений Директивы Европейского парламента и Совета ЕС и Справочника ЕС по наилучшим доступным технологиям [94-99].

Стандарт определяет:

- принципы оценки аспектов комплексного воздействия на окружающую среду;
- основные принципы оценки экономической целесообразности внедрения НДТ;
- основные принципы выбора НДТ из альтернативных вариантов технологий;
- обобщенный алгоритм аспектов оценки ожидаемой экономической целесообразности применения НДТ в отрасли промышленности.

Применительно к технологии производства торфяного топлива на основе материалов разделов 2.1 и 2.2 принцип оценки аспектов комплексного воздействия на окружающую среду может быть сформулирован следующим образом.

Первый принцип – выбор технологии производства торфяного топлива выполняется на базе системного и энерго-экологического анализа основных трансформационных процессов добычи и переработки, с учетом технологических и экологических аспектов производства и потребления готовой продукции.

Свойства торфяного сырья в значительной степени определяют качества торфяного топлива – брикетов и гранул. Применительно к производству торфяных брикетов сбалансированный подбор качественных показателей исходного торфа и является основополагающим принципом при разработке новых технологических процессов.

Согласно основному положению физико-химической механики, конечные свойства дисперсной системы зависят от начальной структуры материала, и любому ее изменению соответствуют измененные конечные свойства системы.

Оценка пригодности торфяного сырья для получения брикетов должна проводиться с учетом органической и минеральной части, химического состава, структурных характеристик, содержания зольных элементов, поглотительной и ионообменной способности, содержания гуминовых веществ в органической части и др.

По способности давать прочные брикеты, А.А. Терентьевым предложены

ряды брикетированности (в порядке убывания прочности на изгиб), имеющие следующий вид [26]:

- для низинного торфа: древесно-осоковый > древесный > осоковый > осоково-гипновый > древесно-тростниковый > шейхцериевый > тростниковый;
- для верхового торфа: пушицево-сфагновый > пушицевый > шейхцериевый > сфагново-мочажинный > магелланикум > сосновый.

По способности давать водостойкую продукцию (в порядке убывания водопоглощаемости) ряды имеют вид:

- для низинного торфа: древесно-осоковый > древесный > древесно-тростниковый > осоковый > шейхцериевый > тростниковый > осоково-гипновый;
- для верхового торфа: сфагново-мочажинный > магелланикум > пушицево-сфагновый > шейхцериевый > сосновый > пушицевый.

На основе всесторонних исследований влияния группового состава торфа, его кислотности, катионного состава предложены классификации сырья для брикетирования и производства кускового торфа.

В основу классификации положено отношение содержания гуминовых кислот $ГК$ к содержанию легкогидролизуемых веществ $ЛГ$. Так, при $ГК/ЛГ < 1,2$ получаемые брикеты – высокопрочные, а при $ГК/ЛГ > 2,2$ – низкопрочные; для кускового торфа при $ГК/ЛГ < 1,5$ – продукция прочная и водостойкая, а при $ГК/ЛГ > 2$ – низкопрочная (таблица 2.1).

Строения гуминовых кислот характеризуется отношением негидролизуемой ($НГ$) и гидролизуемой ($Г$) частей. При $НГ/Г < 4$ кусковой торф прочный и водостойкий, при $НГ/Г > 5$ $НГ$ – низкопрочный и нестойкий к осадкам.

Второй принцип – отношение содержания гуминовых кислот $ГК$ к содержанию легкогидролизуемых веществ $ЛГ$ в органической части торфа определяет прочность брикетов и гранул. Сбалансированный подбор свойств торфяного сырья осуществляется на основе математической модели многокомпонентной шихты, позволяющей оптимизировать состав шихты с использованием метода линейного программирования.

В основе выбора рецептуры и технологии производства торфяных композиционных материалов лежат сложные физические, физико-химические, химические, технические процессы, которые были объектами разносторонних исследований многочисленных авторов [100-103] и требуют разработки методологических основ их систематизации.

Таблица 2.1 – Выбор торфяного сырья по условию прочности брикетов

Характеристика брикета	Условия отбора	Вид, группа, тип торфа	Групповой состав органической массы, %		Значение показателя, ГК/ЛГ
			ВР и ЛГ	ГК	Среднее
			Среднее	Среднее	
Высокая прочность брикетов	ГК/ГЛ<1,2	Травяно-моховая	28,5	10,8	0,4
		Сфагновый	29	34,9	1,2
		Моховая	29,3	36,1	1,2
		Шейхцериевый	27,5	32,7	1,2
		Осоково-сфагновый	28,5	35	1,2
		Сфагновый	34,3	28,5	0,8
		Моховая	31,7	31,7	1,0
		Шейхцериевый	28	30,7	1,1
		Пушицево-сфагновый	30,2	30,4	1,0
		Шейхцериово-сфагновый	33,7	26,1	0,8
		Травяно-моховая	1,5	9,1	0,9
		Фускум-торф	42,8	18,2	0,4
		Медиум-торф	42,5	19,4	0,5
		Комплексный	43,3	18,7	0,4
		Сфагново-мочажинный	47,8	15,5	0,3
		Моховая	43,3	18,5	0,4
		Переходный	35,8	24,7	0,7
Низкая прочность брикетов	ГК/ГЛ>2,2	Древесная	15,4	44,3	2,9
		Древесно-сфагновый	18,2	42,4	2,3
		Древесно-моховая	18,2	42,4	2,3
		Древесная	16,2	41,8	2,6
		Сосново-пушицевый	16,9	40,6	2,4
		Древесно-травяная	16,9	40,6	2,4

Основной целью выбора состава и технологии производства торфяного топлива является обеспечение заданных свойств готовой продукции. При этом свойства композиционной продукции формируются свойствами отдельных компонентов, их количественным соотношением, а также содержанием влаги в смеси и характером операций, которым смесь подвергается в процессе дальнейшей переработки.

Между составом смеси и характером операций есть причинно-следственная связь. Так, смесь с определенной качественной характеристикой может быть переработана с использованием определенных энерготехнологических методов.

Оптимальный состав многокомпонентной смеси предложено устанавливать с использованием математической модели линейного программирования, в которой целевая функция может характеризоваться максимально возможным содержанием заданного полезного компонента при ограничениях по отдельным качественным показателям смеси, определяемым требованиями к качеству готовой продукции и требованиями технологических операций.

В работе [104] предложена модель применительно к двухкомпонентной смеси торфа и нефтяного кокса при производстве торфоуглеродистого восстановителя.

Решение рассматриваемой задачи было получено с использованием поиска решений в приложении к программе МО EXCEL. Экстремальное значение функции цели составило 19,09%, в качестве которой было выбрано содержание твердого углерода. Максимальное значение целевой функции было получено при содержании нефтяного кокса в брикете 60%.

Применительно торфяным топливным брикетам и гранулам критерием оптимизации может быть теплота сгорания. Максимальное значение теплоты сгорания достигается шихтованием двух или более видов торфа с различными качественными свойствами или шихтованием торфа с углеродистыми наполнителями при ограничениях по условию брикетированности или качеству готовой продукции

$$\begin{cases} c_1 x_1 + c_2 x_2 = F \rightarrow \max; \\ a_{11} x_1 + a_{12} x_2 \leq 10; \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 \leq 0,5; \\ a_{31} x_1 + a_{32} x_2 \leq 0,5; \\ a_{41} x_1 + a_{42} x_2 \leq 0,5; \\ a_{51} x_1 + a_{52} x_2 \leq 1,2; \\ x_1 + x_2 = 1; \\ x_1 \geq 0; x_2 \geq 0. \end{cases} \quad (2.23)$$

где: c_1 и c_2 – соответственно теплота сгорания торфа и углеродистого наполнителя (в случае брикетирования шихты из двух видов торфа с различными качественными показателями c_1 и c_2 – соответственно теплота сгорания торфа первого и второго видов); F – теплота сгорания композиционной шихты; a_{11} , a_{12} – соответственно зольность на сухое вещество торфа и углеродистого наполнителя; a_{21} , a_{22} , a_{31} , a_{32} , a_{41} , a_{42} – соответственно, процентное содержание в золе торфа и углеродистого наполнителя железа, кальция, алюминия; a_{51} , a_{52} – соответственно отношение содержания гуминовых кислот ГК к содержанию легкогидролизуемых веществ ЛГ в торфе первого и второго; x_1 , x_2 – соответственно содержание торфа и углеродистого наполнителя в составе брикета.

В качестве углеродистых наполнителей могут использоваться отсеvy каменного и бурого угля, мелкий нефтяной кокс, пековый кокс, отсев древесного угля, отходы графитации угольных стержней, отходы электродного производства и др.

Таким образом, оптимизация двухкомпонентной смеси торфа и нефтяного кокса сводится к нахождению максимально возможного содержания углерода в брикетах при ограничениях по качественному и количественному составу зольных элементов и выполнении условий получения качественной продукции. Ограничение применяется в случае брикетирования шихты из двух видов торфа с различными качественными показателями (таблица 2.2).

Принцип выбора альтернативных вариантов технологий может быть реализован на основе технологического графа (рисунок 2.7).

Третий принцип – выбор энергоэффективной технологии производства торфяного топлива выполняется на основе минимизации технологического топливного числа ТТЧ, представляющего затраты всех видов энергии во всех пределах технологического процесса и выраженного в килограммах условного топлива на единицу продукции.

Четвертый принцип – комплексная оценка технологической и эколого-экономической целесообразности производства и использования торфяного

Таблица 2.2 – Выбор состава брикета по теплоте сгорания

Компоненты	Влаго- содержание, кг/кг	Золь- ность, %	Состав золы, %			Теплота сгорания, МДЖ/кг	Состав брикета, %	Теплота сгорания смеси, МДж/кг
			Al	Fe	Ca			
Низинный								
Торф Бурый уголь	1,5 0,538	6,5 7,62	0,34 8,6	0,62 9,9	2,28 7,6	3100 3100	52,80 47,20	12,99
Торф Каменный уголь	1,5 0,149	6,5 15	0,34 9,26	0,62 10,11	2,28 1,9	3100 6450	53,85 46,15	19,47
Торф Антрацит	1,5 0,062	6,5 6,2	0,34 11,43	0,62 9,38	2,28 3,68	3100 6700	57,98 42,02	19,33
Торф Древесный уголь	1,5 0,111	6,5 1,5	0,34 2,4	0,62 1,2	2,28 7,8	3100 6510	50,72 49,28	20,03
Переходный								
Торф Каменный уголь	1,5 0,149	4,5 15	0,28 9,89	0,53 8,1	1,43 1,9	3100 6450	50,88 49,12	19,88
Торф Бурый уголь	1,5 0,538	4,5 7,62	0,28 8,3	0,53 9,2	1,43 8,7	3100 3100	50,89 49,11	12,99
Торф Антрацит	1,5 0,062	4,5 6,2	0,28 8,2	0,53 9,6	1,43 3,68	3100 6700	50,72 49,28	20,42
Торф Древесный уголь	1,5 0,111	4,5 1,5	0,28 2,4	0,53 1,2	1,43 8,7	3100 6510	50,89 49,11	20,01

Верховой								
Торф Бурый уголь	1,5 0,538	2,6 7,62	0,21 8,6	0,16 9,9	0,49 7,8	3100 3100	50,31 49,69	12,99
Торф Каменный уголь	1,5 0,149	2,6 15	0,21 9,82	0,16 8,97	0,49 1,9	3100 6450	50,16 49,84	19,99
Торф Антрацит	1,5 0,062	2,6 6,2	0,21 10,16	0,16 8,35	0,49 3,68	3100 6700	51,86 48,14	20,25
Торф Древесный уголь	1,5 0,111	2,6 1,5	0,21 2,4	0,16 1,2	0,49 9,73	3100 6510	51,19 48,81	19,96

топлива выполняется поэтапно на стадиях выбора технологии разработки сырья, процесса термомеханической переработки и потребления новых видов торфяного топлива с использованием в качестве критериев оптимизации технологического топливно-экологического числа ТТЭЧ, представляющего сумму двух чисел: технологического топливного числа ТТЧ и технологического экологического числа ТЭЧ.

ТТЧ является универсальным показателем всех форм энергопотребления за вычетом тепловых, топливных, материальных и других вторичных энергоресурсов. ТТЧ представляет затраты всех видов энергии во всех переделах технологического процесса и выражается в килограммах условного топлива на единицу продукции. Расчет ТТЧ на всех ступенях восходящей иерархии представляет разветвленный алгоритм со ступенчато повторяющимися циклами.

Для торфяной промышленности представление продукции в топливных единицах имеет большое значение, так как добыча и переработка торфа находятся в начале технологической цепи генерации тепловой и электрической энергии и ее дальнейшего использования в различных отраслях промышленности, сельского и жилищно-коммунального хозяйств. Кроме того, единицы условного топлива традиционно используются в экономике металлургии и энергетики, позволяют оценивать рациональное использование топливных ресурсов.

Выбор оптимальной технологической схемы осуществляется на основе построения и анализа технологического графа, который представляет собой

схематичное описание потоков материала, энергии, информации между отдельными элементами, а также их логическую и временную последовательность. Технологический граф преобразуется в сеть с одним истоком и одним стоком, и задача сводится к поиску кратчайшего пути, например, определение минимума приведенных затрат, рассчитанных на основе приведенных капитальных вложений и эксплуатационных расходов или ТТЧ может служить критерием энергоэффективности производства продукции для рассматриваемых вариантов организации технологического процесса.

Предлагаемый системный подход дает ответ не только по выбору состава смеси и типа применяемых технологических операций для обеспечения заданных качественных показателей, но и позволяет получить экологические и экономические показатели отдельных операций, технологического процесса в целом, а также оценить эффективность использования продукции потребителями

Для решения проблемы наиболее полного учета требований охраны окружающей среды необходимо переходить от традиционных способов проектирования к компьютерным технологиям многовариантного оптимизационного проектирования с использованием математических моделей и системного анализа.

В рамках предложенной системной модели комплексной оценки производства и потребления торфяных композиционных материалов предусматривается анализ эколого-экономических показателей на всех уровнях производства: от разведки запасов до реализации продукции и потребления.

Разработка принципов выбора состава и технологии производства композиционных материалов многоцелевого назначения возможна при дальнейшем углублении и развитии теоретических основ новых производств. Вместе с тем, наряду с решением технических задач получения новых видов продукции, встают вопросы об экономической эффективности и экологической безопасности разрабатываемых технологий, конкурентоспособности предлагаемой продукции.

В общем случае задача сводится к векторной стохастической оптимизации,

при этом возможно решение путем свертки частных критериев оптимизации в суперкритерий. Возможна также декомпозиция системы с использованием комплексных критериев. Так, в качестве комплексного критерия оптимизации целесообразно принять технологическое топливно-экологическое число ТТЭЧ, которое наряду с технологическими показателями учитывает и платежи, связанные с природопользованием.

Выбор оптимальной технологической схемы может осуществляться на основе построения и анализа технологического графа, который представляет собой схематичное описание потоков материала, энергии, информации между отдельными элементами, а также логическую и временную последовательность отдельных элементов.

Оптимизация системы переработки может быть сведена к задаче нахождения экстремума на графе, при решении которой необходимо правильно выбрать критерий оптимизации. Технологический процесс производства торфяных композиционных материалов является сложной многофакторной системой, оптимизация которой дает лучшие результаты при использовании комплексных критериев оптимизации, учитывающих сразу несколько выходных параметров.

Таким универсальным и достаточно полным критерием оптимизации является технологическое топливно-экологическое число ТТЭЧ, представляющее сумму двух чисел: технологического топливного числа ТТЧ и технологического экологического числа ТЭЧ.

При выборе оптимальной технологической схемы производства и потребления торфяных композиционных материалов в качестве критериев оптимизации может быть принят минимум технологического топливно-экологического числа ТТЭЧ.

2.4 Выводы по главе

1. При получении из природных систем полезной продукции растут удельные энергетические расходы, использование природных ресурсов ставится

все менее доступным и требует увеличения затрат труда и энергии на их извлечение и транспортировку. Совершенствование существующих и разработка новых технологических процессов на современном этапе развития науки и техники требуют дальнейшего детального исследования энергоэффективности процессов, протекающих при добыче и термомеханической переработке торфа.

2. Сквозной энерго-экологический анализ (СЭЭА) обеспечивает управление энергосбережением и снижением вредных воздействий на окружающую среду при модернизации и создании новых энерготехнологических процессов. СЭЭА представляет собой комплекс математических моделей, алгоритмов и программных средств компьютерной реализации, и может использоваться для поэтапной оценки эффективности добычи, термомеханической переработки и использования торфа.

3. Сформулированы задачи, решаемые в рамках системной модели технологии производства торфяных композиционных материалов. Предложена структура модели системы, представляющая единую системную цепочку: ресурсы – технология – потребление и включающая подсистемы: «Сырьевые ресурсы», «Добыча сырья и его переработка», «Потребление торфяных композиционных материалов и их маркетинг».

4. При выборе вариантов технологии удельные расходы топливно-энергетических ресурсов и негативные воздействия на окружающую среду учитываются при расчете ТТЧ и ТЭЧ продукции. Предложена иерархическая восходящая структура ТТЧ и ТЭЧ добычи, переработки и использования торфяного топлива.

5. На основе системного и энерго-экологического анализов сформулированы принципы выбора параметров ресурсосберегающей, энергоэффективной технологии производства торфяного топлива.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА

3.1 Исследование энергоэффективности производства фрезерного торфа

Расчет ТТЧ осушения, подготовки и добычи торфа требует анализа энергозатрат всех форм, расходуемых в технологических процессах.

Технологические схемы болотно-подготовительных работ при производстве фрезерного торфа научно обоснованы и обеспечены комплексом специализированных механизмов по подготовке поверхности [59].

Под технологической схемой подготовки понимается совокупность технологических операций, выполняемых последовательно в соответствии с техническими требованиями с целью создания нормальных условий работы оборудования по добыче торфа.

ТТЧ осушения торфяного месторождения будет определяться суммой всех затрат топлива на выполнение всех операций согласно выбранной схемы. Осушение торфяной залежи с естественной влажностью 86-93 % до эксплуатационной в верхних слоях 75-82% является сложным многофакторным процессом [104-108]. Обезвоживание торфяной залежи происходит за счет сил гравитации при свободной фильтрации воды и ее движении по руслам осушительных каналов.

Разработка методики расчета ТТЧ осушения и ТТЧ подготовки залежи к эксплуатации представляет собой самостоятельную научную задачу, которая выходит за рамки данной диссертационной работы.

С методических позиций расчет ТТЧ и ТЭЧ в системе СЭЭА осуществляется на основе анализа и учета энергетических и материальных потоков, которые принято характеризовать уравнениями теплового и материального баланса.

В настоящее время силами отечественных ученых создан научно-теоретический задел, обеспечивающий создание методики сквозного энерго-

экологического анализа добычи и термомеханической переработки торфа [109-111].

При производстве торфяного топлива в условиях использования природных источников энергоресурсов (солнечной энергии) возникает проблема оптимальной организации производств эффективного использования естественного тепла. На процесс сушки торфа в естественных условиях влияет большое число факторов, среди которых – солнечная радиация, представляющая собой основной источник тепловой энергии.

Управление процессом сушки фрезерного торфа в естественных условиях сводится к управлению перераспределением поступившей в него тепловой энергии, т. е. величиной радиационного баланса [112]. Последний определяется алгебраической суммой приходных (суммарная радиация – Q) и расходных (отраженная коротковолновая радиация – R и эффективное излучение торфа – $E_{эф}$, определяемое как разность между длинноволновым излучением торфа – E_s и атмосферы – E_a , $E_{эф} = E_s - \delta E_a$, (где δ – относительный коэффициент поглощения радиации торфом) составляющих радиации.

Радиационный баланс поверхности слоя фрезерного торфа является основным компонентом теплового баланса. Он определяет величину и знак потоков тепла в воздух (турбулентный теплообмен, F) в нижележащие слои торфа P , суточный ход испарения или конденсацию (EL , здесь E – интенсивность испарения, а L – скрытая теплота парообразования).

В общем виде уравнение теплового баланса включает эти составляющие, и связывает значение радиационного баланса с затратами тепла на испарение влаги из торфа.

В практике полевой сушки торфа широко используют уравнения теплового баланса для расчета интенсивности испарения с водонасыщенной поверхности испарителя (испаряемости). В расчете используют зависимости, полученные на базе основных закономерностей тепловлагодонпереноса, теории подобия и экспериментальных данных. Алгоритм расчета испарения приведен на рисунке 3.1. Данная методика позволяет рассчитать испаряемость, которая является

комплексным показателем потенциальных возможностей сушки в конкретных метеорологических условиях добычи торфа.

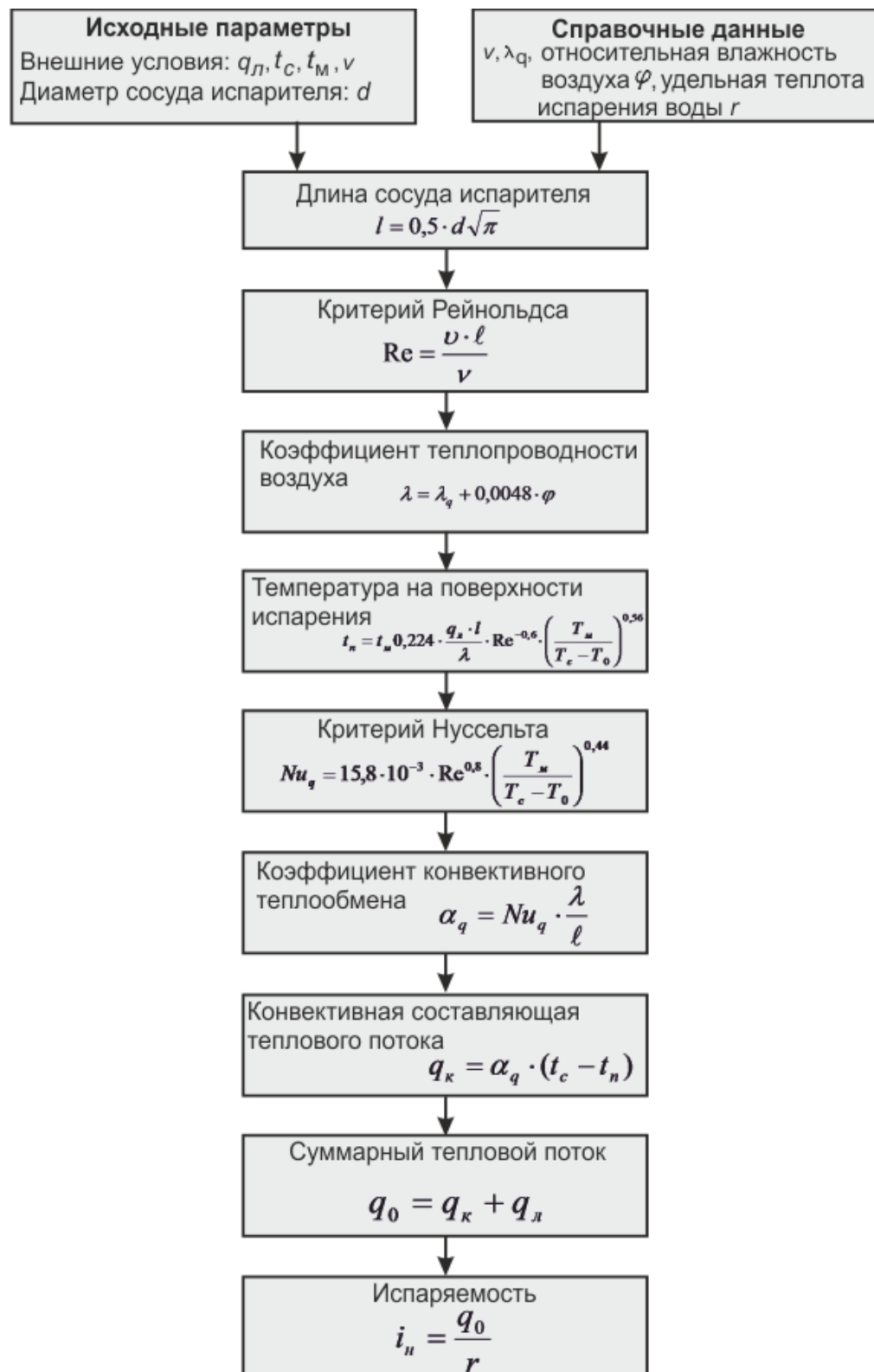


Рисунок 3.1 – Алгоритм расчета испаряемости

Фактические затраты тепла на сушку в процессе технологического цикла добычи определены из уравнения материального баланса [113]. Технологический процесс добычи фрезерного торфа состоит из четырех основных операций: фрезерования, сушки (ворошения), валкования и уборки (рисунок 3.2.)

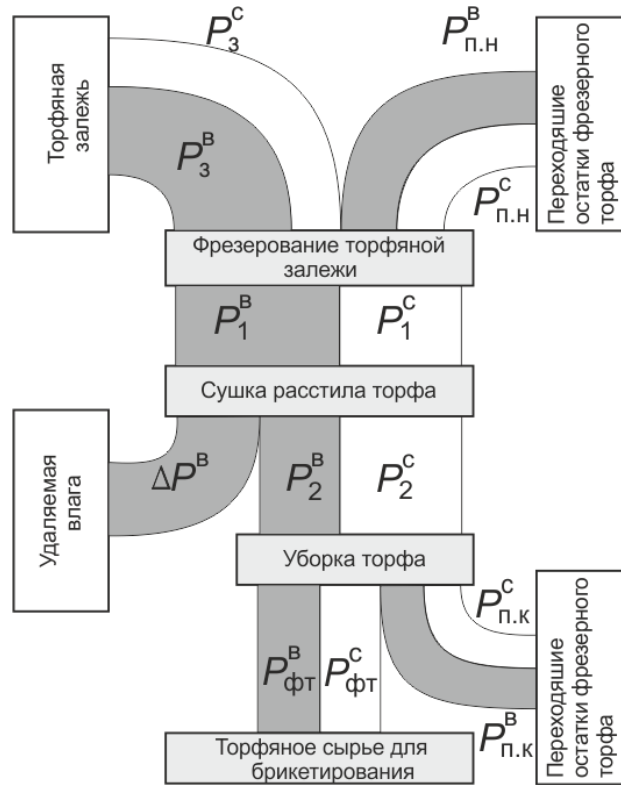


Рисунок 3.2 – Материальный баланс цикла производства фрезерного торфа

Условные обозначения основных составляющих материального баланса используемые в рисунке 3.2 и таблице 3.1: P^c – масса сухого вещества, $\text{кг}/\text{м}^2$; P^b – масса влаги, $\text{кг}/\text{м}^2$; P_3^c , P_3^b – соответственно масса сухого вещества и влаги, поступивших на единицу площади из залежи в процессе фрезерования, $\text{кг}/\text{м}^2$; $P_{п.н}^c$, $P_{п.н}^b$ – соответственно масса сухого вещества и масса влаги, поступивших на единицу площади от предыдущего цикла, $\text{кг}/\text{м}^2$; P_1^c , P_1^b – соответственно масса сухого вещества и масса влаги, на единице площади после фрезерования, $\text{кг}/\text{м}^2$; P_2^c , P_2^b – соответственно масса сухого вещества и масса влаги, поступившей в валок в процессе валкования после естественной сушки в расстиле, $\text{кг}/\text{м}^2$; $P_{п.к}^c$, $P_{п.к}^b$ – соответственно масса сухого вещества и масса влаги, оставшейся на единицу площади в переходящем остатке на начало последующего цикла, $\text{кг}/\text{м}^2$; $P_{фт}^c$, $P_{фт}^b$ –

соответственно масса сухого вещества и масса влаги в готовом торфяном сырье, кг/м²; ΔP^B – масса влаги, испаренной за цикл, кг/м².

Уравнение операции фрезерования:

$$P_1^C = P_3^C + P_{\text{ПН}}^C,$$

$$P_1^B = P_3^B + P_{\text{ПН}}^B,$$

Уравнение операции сушки:

$$P_2^C = P_2^C,$$

$$P_2^B = P_1^B - \Delta P_B,$$

Принимая, что потери сушки компенсируются поступлением массы торфа при подфрезеровывании рабочими органами ворошилок и валкователей.

Уравнение операции уборки

$$P_{\text{ТС}}^C = P_2^C + P_{\text{ПК}}^C,$$

$$P_{\text{ТС}}^B = P_2^B + P_{\text{ПК}}^B,$$

Составляющие материального баланса использованы для расчета ряда показателей технологического процесса, таких как коэффициент сбора при валковании, коэффициент сбора при уборке, общий коэффициент сбора технологического процесса, коэффициент полноты использования погодных условий, который представляет отношение массы влаги, испаренной за цикл к цикловой испаряемости.

Уравнение теплового баланса цикла производства фрезерного торфа имеет следующий вид

$$q = \Delta P_B \cdot r, \quad (3.1)$$

где: q – расход тепла солнечной радиации и окружающего воздуха на сушку фрезерного торфа за цикл, кДж/м²; r – удельная теплота испарения воды, кДж/кг.

На основе уравнений теплового и материального балансов получаем выражение для расчета процесса естественной сушки $ТТЧ_{\text{суш}}$

$$ТТЧ_{\text{суш}} = \frac{\Delta P \cdot 2 \cdot 1000}{Q_H^{YT} P_{\text{ГТ}}^C (1 + W_Y)}, \quad (3.2)$$

где Q_n^{yt} - низшая теплота сгорания условного топлива, кДж/кг; W_v - условное влагосодержание фрезерного торфа, равное 0,67 кг/кг.

Коэффициент, учитывающий степень использования метеоусловий

$$K_{мет} = \frac{\Delta P}{\sum i_{ц}} 100, \quad (3.3)$$

где $i_{ц}$ – цикловая испаряемость.

ТТЧ цикла добычи фрезерного торфа в общем виде представляет сумму топливных чисел предыдущих переделов технологической цепи (осушения $ТТЧ_{осш}$ и подготовки $ТТЧ_{под}$) и учитывает расход всех видов топлива на выполнение технологических операций внутри цикла: сушки $ТТЧ_{суш}$, фрезерование $ТТЧ_{фр}$, ворошение $ТТЧ_{вор}$, валкование $ТТЧ_{вал}$, уборка $ТТЧ_{уб}$ и штабелирование $ТТЧ_{шт}$

$$ТТЧ_{доб} = ТТЧ_{осш} + ТТЧ_{под} + ТТЧ_{суш} + ТТЧ_{фр} + ТТЧ_{вор} + ТТЧ_{вал} + ТТЧ_{уб} + ТТЧ_{шт},$$

Алгоритм расчетов всех технологических параметров, необходимых для расчета технологических топливных чисел цикла фрезерного торфа и коэффициента, учитывающий степень использования метеоусловий составлен на основе действующих методик расчета [114] в виде электронных таблиц в пакете МО Excel. Расчеты приведены для реальных условий добычи фрезерного торфа на торфяном месторождении «Суловско-Панфиловское» (кадастровый номер 769) Гусь-Хрустальный, Владимирской области (таблицы 3.1-3.3).

Таблица 3.1 – Расчет ТТЧ цикла добычи фрезерного торфа

Операции	Повторность операции в цикле	Общий расход топлива на выполнение операции, кг	Удельный расход топлива		ТТЧ, кг у.т./т
			кг/га	кг/т	
Фрезерование	1	6095,2	4,329	0,406	0,576
Ворошение	3	3351,7	2,380	0,223	0,317
Валкование	1	2140,2	1,520	0,143	0,202
Уборка	1	8490,2	6,030	0,566	0,803
Штабелирование	1	3139,9	2,230	0,209	0,297
Всего		23217,2		1,548	2,195
ТТЧсушки					232,0
ТТЧдоб					234,195

В таблице 3.2. приведены энергетические затраты в цикле добычи фрезерного торфа, рассчитанные в форме технологических топливных чисел без учета энергозатрат предшествующих переделов $ТТЧ_{ос}$ и $ТТЧ_{под}$.

Выполненные исследования позволяют провести количественный анализ фактических энергозатрат. Коэффициент $K_{мет}$ составил 43%, что указывает на потенциальные возможности совершенствования управления технологией добычи фрезерного торфа и повышения качества продукции.

Таблица 3.2 – Расчет цикловой испаряемости при сушке

Наименование показателя	Единица измерения	Значение
Исходные данные		
Интенсивность лучистого потока теплоты, q_l	Вт/м ²	400
Температура воздуха, t_c	°С	24
Температура на поверхности испарения, t_m	°С	20
Скорость потока, v	м/с	2
Диаметр сосуда испарителя, d	м	0,252
Справочные данные		
Кинематическая вязкость воздуха, γ	м ² /с	0,000015
Δq	Вт/(м·К)	0,0262
Относительная влажность воздуха, ϕ		0,68
Удельная теплота испарения воды, r	кДж/кг	2440
Результаты расчета		
Длина сосуда испарителя, l	м	0,223
Критерий Рейнольдса, Re		2,89E+04
Коэффициент теплопроводности воздуха, λ	Вт/(м·К)	0,0295
Температура на поверхности испарения, t_n	°С	25,8
Критерий Нуссельта, Nu_q		176,0
Коэффициент конвективного теплообмена, α_q	Вт/(м ² ·К)	23,2
Конвективная составляющая теплового потока, q_k	Вт/м ²	-41,5
Суммарный тепловой поток, q_0	Вт/м ²	358,5
Испаряемость, i_n	кг/(ч·м ²)	0,529
Цикловая испаряемость, i_n	кг/(цикл·м ²)	10,579

Таблица 3.3 – Расчет $ТТЧ_{сушки}$

Наименование показателя	Единица измерения	Значение 1	Значение 2
Исходные данные			
Влажность начальная, w_n	%	79	79
Влажность конечная, w_k	%	44	44
Плотность залежи, γ_z	кг/м ³	656	656
Коэффициент сбора, α		0,6	0,6
Глубина фрезерования, h_ϕ	м	0,011	0,011
Влагосодержание начальное, W_n	кг/кг	3,76	3,76
Влагосодержание конечное, W_k	кг/кг	0,79	0,79
Удельная теплота	МДж/кг	2,46	2,46
Результаты расчета			
1. Торфяная залежь			
P_z	кг/м ²	7,216	7,2 16
P_z^c	кг/м ²	1,52	1,5 2
P_z^B	кг/м ²	5,70	5,7 0
2. Переходящий остаток на начало цикла			
$P_{п.н}$	кг/м ²	0,000	1,0 82
$P_{п.н}^c$	кг/м ²	0,000	0,6 06
$P_{п.н}^B$	кг/м ²	0,000	0,4 76
3. Фрезерование			
P_1^B	кг/м ²	5,70	6,1 8
P_1^c	кг/м ²	1,52	2,1 2
влажность слоя	%	79,00	74, 43
влагосодержание слоя	кг/кг	3,76	2,9 1
4. Ворошение			
P_2^c	кг/м ²	1,52	2,1 2
P_2^B	кг/м ²	1,19	1,6 7
ΔP^B	кг/м ²	4,51	4,5 1
5. Уборка			
$P_{фг}$	кг/м ²	2,71	3,7 9
$P_{п.к}$ (переходящий на конец цикла)	кг/м ²	1,08	1,5 2

$P_{тс}$ (торфяное сырье)	кг/м ²	1,62	2,2 7
$P_{пк}^с$	кг/м ²	0,61	0,8 5
$P_{пк}^в$	кг/м ²	0,48	0,6 7
$P_{тс}^с$	кг/м ²	0,91	1,2 7
$P_{тс}^в$	кг/м ²	0,71	1,0 0
Расчет ТТЧ естественной сушки			
Расход тепла	МДж/м ²	11,095	11, 095
Расход тепла	МДж/кг торфа	6,833	4,8 81
ТТЧ сушки	кг у. т/т	232,98 1	16 6,415

Начальная влажность торфа оказывает существенное влияние на уровень необходимых для сушки энергозатрат (рисунки 3.3 и 3.4). Однако, существует возможность управления уровнем начальной влажности торфа с применением интенсивного осушения торфяной залежи [115].

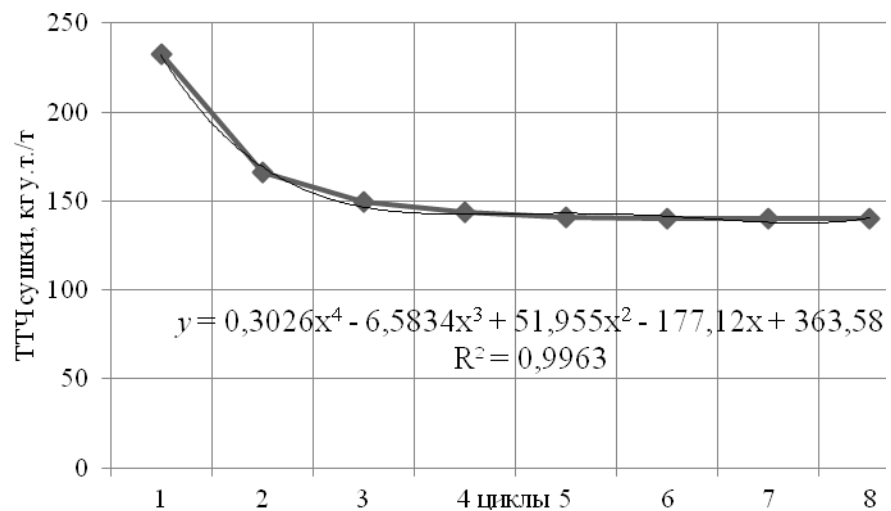


Рисунок 3.3 – Зависимость ТТЧ естественной сушки от числа последовательных циклов за один период без выпадения осадков

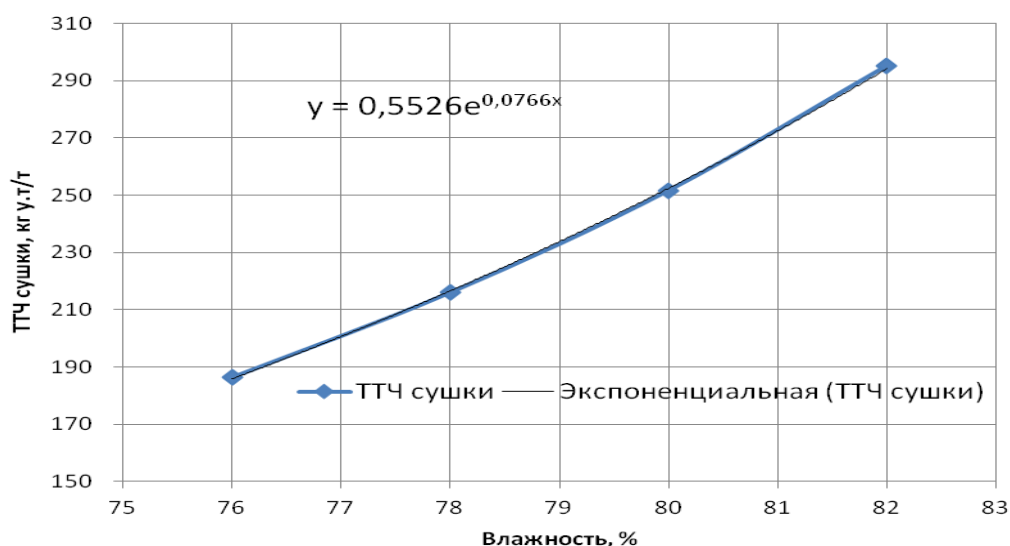


Рисунок 3.4 – Зависимость ТТЧ естественной сушки в цикле производства фрезерного торфа от начальной влажности

Качественные показатели фрезерного торфа в значительной степени определяют себестоимость брикетов, главным образом, это влажность и плотность насыпной массы. Снижение влажности фрезерного торфа против средней фактической на 1% на заводах мощностью 60 тыс. т в средних условиях позволяет увеличить выработку брикетов до 4% и снизить себестоимость на 0,4%. Повышение плотности насыпной массы фрезерного торфа на 10 кг/м^3 на заводах мощностью 60 тыс. т обеспечивает увеличение производительности сушилki в готовом материале на 0,3 – 0,47% и снижение себестоимости брикетов примерно на 0,5%.

3.2 Анализ энергоэффективности процессов термомеханической переработки торфа

Качественный анализ энергозатрат в процессах термомеханической переработки торфа представляется возможным на основе анализа основных производственно-технических и технико-экономических показателей торфобрикетных заводов.

При удалении влаги из торфяного сырья возрастает его теплота сгорания, однако при этом одновременно уменьшается масса.

В таблице 3.4 в результате анализа деятельности 30 брикетных заводов, действующих в РФ, приведены затраты на производство брикетов по отдельным статьям в процентах от себестоимости [41]. Основными являются затраты на сырье и топливо. Они составляют 50,3–50,8% от общей себестоимости торфяного брикета.

Себестоимость цехового передела на заводе с пневмогазовой сушилкой ниже, чем на заводе с пневмопароводяной сушилкой на 38,3 %. Доля затрат в общей стоимости цехового передела на отдельные операции на обоих заводах практически одинаковая. Основными являются затраты на сушку торфа, которые составили соответственно 52,3 и 48,7%. Второе место по затратам занимает прессование (25,9 и 33,8%) и третье – прием и подготовка сырья (21,8 и 17,5 %).

Таким образом, одним из основных путей снижения себестоимости заводского передела торфяного сырья является снижение затрат на операции сушки и прессования.

Таблица 3.4 – Затраты на производство торфяных брикетов

Статьи затрат	Затраты (%) на заводах с сушилками	
	пневмопароводяными	пневмогазовыми
Сырье и топливо	50,8	50,3
Электроэнергия	11,1	6,6
Фонд оплаты труда	8,0	14,0
Амортизация	8,1	5,8
Текущий ремонт	7,1	4,7
Цеховые	6,2	8,0
Общезаводские	8,0	10,1
Прочие производственные	0,7	0,15
ВСЕГО	100,0	100,0

Искусственная сушка осуществляется в сушильных установках различной конструкции за счет тепла, получаемого от сжигания топлива в заводской котельной. Оптимальные параметры искусственной сушки торфяного сырья должны обеспечивать минимальные капитальные вложения, затраты труда, тепла, электроэнергии и максимальную надежность при сохранении определенных эксплуатационных свойств продукции. Технология искусственной сушки торфа

теоретически обоснована и имеет многолетний опыт практической эксплуатации в нашей стране и за рубежом [116-119].

Из методов сушки, применяемых на практике - конвективного, контактного, радиационного, токами высокой частоты, вакуумного, сублимационного и др., для сушки торфа наибольшее распространение получил метод конвективной сушки. В качестве сушильного агента используется воздух или его смесь с продуктами сгорания топлива. Конвективная сушка торфа реализуется в сушильных установках следующих типов: конвейерных, с кипящим слоем, аэрофонтанных, пневмогазовых трубах, барабанных, тоннельных и шахтных.

В данной работе не рассматриваются технологические и конструктивные характеристики различных торфосушильных установок и схемы торфобрикетных заводов, так как они подробно изложены в литературе [120]. Широкое применение для сушки сыпучих материалов находят барабанные сушилки, которые характеризуются достаточно высокой производительностью и надежностью, относительно низким расходом тепла и электроэнергии. Недостатком сушильных установок этого типа является их взрыво- и пожароопасность в аварийных ситуациях, например, при отключении электроэнергии.

Среди серийно и комплектно выпускаемого сушильного оборудования часть составляют сушилки барабанного типа, которые изготавливаются Уральским заводом химического машиностроения, Бердичевским заводом химического машиностроения «Прогресс», ЛПО «Комплекс» (г. Сосновый Бор Ленинградской области).

Энергетическая характеристика теплогенерирующих и сушильных установок оценивается удельным расходом торфяного топлива на единицу продукции, выпускаемой сушилками, включая расход на получение теплоты и электроэнергии и потери торфа в сушильной установке, а также энергетическим и тепловым к.п.д. сушилки.

Анализ энергетической эффективности тепловых установок торфобрикетных заводов достаточно подробно изложен в литературе [121], в

которой приводятся результаты экспериментальных и энерго-экономических исследований по сушке топлив в электроэнергетике, в частности, рассматриваются влияния давления пара и температуры газов на параметры и расходы тепла в барабанных паротрубчатых и газовых сушилках. Систематизированы методы оценки энергетической эффективности торфобрикетного производства и рассмотрено влияние влажности сырья и параметров теплоносителя на энергетическую эффективность действующих топочно-сушильных и котельно-сушильных установок. Для более глубокого анализа энергетической эффективности исследуемых установок и комплексов использованы показатели, основанные на эксергетическом методе определения степени термодинамического совершенства теплогенерирующих и сушильных процессов торфобрикетного производства. Исследованы зависимости показателей энергетической эффективности пневмогазовых и пневмопаровых сушильных установок от влажности сырья и параметров теплоносителя, полученные на основе математического моделирования рассматриваемых установок.

Применительно к сушильным установкам торфобрикетного производства в качестве основных параметров процесса можно принять влажность материала (ω_1 и ω_2), температуру газов (t_1 и t_2) и массовый расход газов (воздуха), расход материала, расход и параметры пара (для паровых сушильных установок). Остальные переменные параметры и показатели процесса могут быть определены по обычным расчетным формулам, исходя из известных значений основных параметров.

В состав принятой в работе математической модели сушильной установки включены уравнения материального и теплового баланса сушиллки, тепло- и массо-обмена (связь между влажностью материала и температурой теплоносителя) и аэродинамического состояния системы (взаимосвязь между основными параметрами процесса и характеристиками вентилятора и сети).

Система ограничений модели формируется в виде неравенств, отражающих минимально и максимально допустимые или возможные значения переменных параметров.

Для условий торфобрикетного производства при анализе математической модели пневмогазовой или пневмопаровой сушильной установки были приняты заданными и постоянными следующие параметры и характеристики:

- влажность подсушенного торфа;
- характеристика сухой массы подсушиваемого и сжигаемого для получения газов торфа;
- температура исходного торфяного сырья;
- температура окружающего воздуха;
- коэффициент присосов воздуха в сушильную систему;
- потери тепла от теплообмена сушилки с окружающей средой;
- влагосодержание воздуха, поступающего в пневмопаровую сушильную установку;
- теплоемкость уходящих из сушилки газов (при их начальном влагосодержании) для практического диапазона режимов работы в условиях торфобрикетного производства.

С использованием математической модели [121] проведены исследования эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и рассмотрены их основные топливно-энергетические потоки.

Определение степени полезного использования топливно- энергетических ресурсов при производстве брикетов осуществляется на основе анализа всех составляющие топливно-энергетических потоков брикетного производства: расходов сырья, тепловой и электрической энергии, экономия топлива от теплофикации.

Топливный баланс для общего случая торфобрикетного производства можно представить в виде:

$$b_c + b_m + b_{\text{э}} = b_{\text{бр}} + b_{\text{э.опт}} + b_{\text{ном}}, \quad (3.4)$$

где b_c удельный расход топлива-сырья, b_t – удельный расход топлива на производство тепла $b_{\text{э}}$ – удельный расход топлива на электроэнергию; $b_{\text{бр}}$ – количество условного топлива, эквивалентное брикету; $b_{\text{э.опт}}$ – количество

условного топлива, эквивалентное электроэнергии, отпущенной ТЭЦ во внешнюю сеть $b_{\text{пот}}$ — удельные потери топлива.

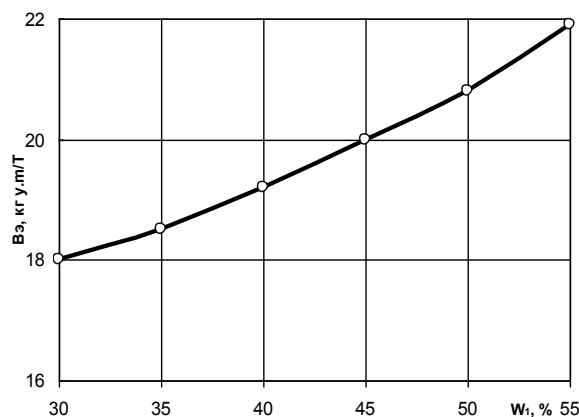
Все переменные измеряются в тоннах условного топлива на 1 т выпускаемых заводом брикетов.

Показатель энергетической эффективности использования топливных ресурсов в брикетном производстве определяется по уравнению топливного баланса

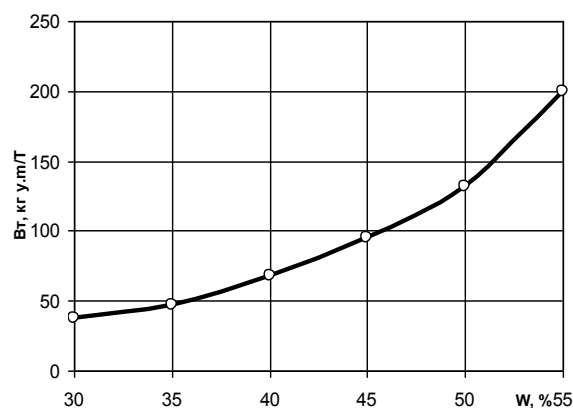
(3.5)

На рисунке 3.5 показана зависимость удельного расхода условного топлива-сырья на производство 1 т брикетов b_c от влажности исходного торфа. Влажность брикетов принята 14%, потери сырья — 2,7%, потери сушенки и брикетов — 3%, теплота сгорания торфа при влажности 50% — 8500 кДж/кг. С увеличением влажности сырья повышается расход его на производство 1 т брикетов, и одновременно снижается теплота сгорания торфяного сырья. Результирующее влияние от увеличения влажности приводит к снижению b_c .

а)



б)



в)

г)

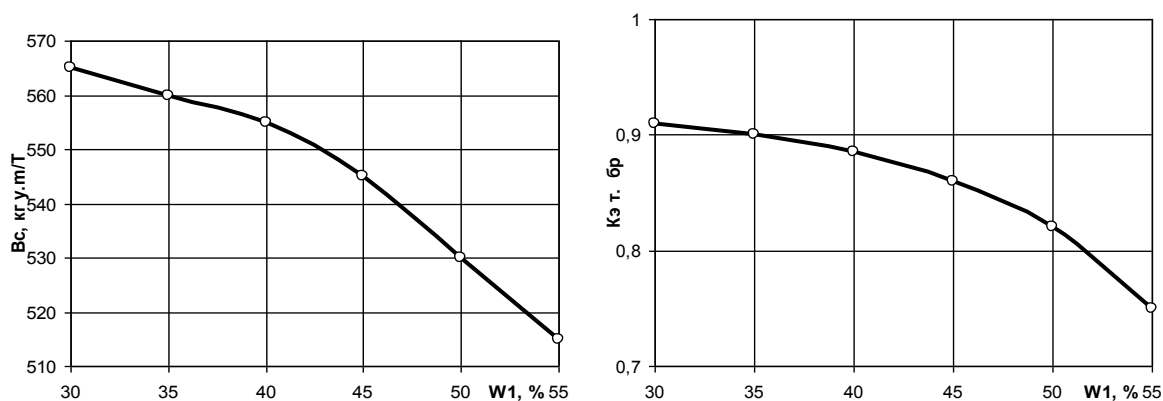


Рисунок 3.5 – Влияние влажности сырья на составляющие расхода топливно-энергетических ресурсов и показатель $K_{э.т.бр}$:

- а) удельный расход топлива на электроэнергию; б) удельный расход топлива на производство тепла; в) удельный расход топлива-сырья; г) энергетической эффективности использования топливных ресурсов в брикетном производстве.

На рисунке 3.5 и таблице 3.5 приведены также зависимости, отражающие влияние влажности исходного торфа на удельные расходы условного топлива b_m и b_e для торфобрикетного завода с пневмогазовой трубой-сушилкой. Как видно из рисунка, с увеличением влажности перерабатываемого сырья расходы топлива на производство тепла и электрической энергии возрастают. Особенно интенсивно повышается величина b_m .

На рисунке 3.5 г показана также результирующая зависимость показателя энергетической эффективности торфобрикетного производства $K_{э.т.бр}$ от влажности сырья для рассматриваемых условий.

С увеличением влажности исходного торфа величина показателя $K_{э.т.бр}$ уменьшается, что отражает рост расхода топливно-энергетических ресурсов на единицу продукции и снижение энергетической эффективности производства торфяных брикетов. В области повышенной влажности сырья рост влажности вызывает более интенсивное снижение степени полезного использования топлива.

При переменной влажности сырья изменяется также структура распределения топливно-энергетических затрат при производстве брикетов. Как показали проведенные расчеты, с увеличением влажности сырья доля расходов топлива на сырье и электроэнергию в общем топливном балансе снижается, а доля расхода топлива на производство тепла возрастает.

Уравнение топливного баланса (3.5) включают параметры, измеряемые в кг у.т/т, и представляет соответствующие ТТЧ, с учетом этого уравнение топливного баланса может представлено в следующем виде

Уравнение топливного баланса (3.9) включают параметры, измеряемые в кг у.т/т, и представляет соответствующие ТТЧ, с учетом этого уравнение топливного баланса может представлено в следующем виде

$$ТТЧ_c + ТТЧ_m + ТТЧ_э = b_{бр} + ТТЧ_{э.отн} + ТТЧ_{пот}, \quad (3.6)$$

где $ТТЧ_c$ - торфяного сырья; $ТТЧ_t$ - генерации тепла расходуемого на сушку торфа; $ТТЧ_э$ - генерации электрической энергии, расходуемой на брикетирование; $b_{бр}$ - количество условного топлива, эквивалентное брикету; $ТТЧ_{э.отн.}$ - генерации электрической энергии, отпущенной ТЭЦ во внешнюю электрическую сеть; $ТТЧ_{пот}$ - удельных потерь топлива.

На основе анализа статистических данных [121,122] и с учетом проведенных исследований получены зависимости ТТЧ от влажности исходного торфяного сырья (таблица 3.5)

В таблице 3.6 приведены сравнительные данные по ТТЧ искусственной сушки и энергетической эффективности пневмопароводяной, паротрубчатой и пневмогазовой сушилок, пневмосепарационной сушилки.

Таблица 3.5 – Зависимость ТТЧ от влажности фрезерного торфа

Зависимость ТТЧ от влажности	Вид зависимости	R^2
$ТТЧ_э$ - генерации электрической энергии, расходуемой на брикетирование;	$y = 0,0024x^2 - 0,051x + 17,337$	0,9985
$ТТЧ_t$ - генерации тепла расходуемого на сушку торфа;	$y = 0,256x^2 - 15,535x + 275,77$	0,9925
$ТТЧ_c$ - торфяного сырья	$y = - 0,0643x^2 + 3,4643x + 518,57$	0,9981
$ТТЧ_{э.отн.}$ - генерации электрической энергии, отпущенной ТЭЦ во внешнюю электрическую сеть	$y = - 0,0003x^2 + 0,0182x + 0,6176$	0,9938

Таблица 3.6 – Сравнительные данные по энергетической эффективности сушилок

Тип сушилки и схемы теплоснабжения	ТТЧ сушики кг у.т/т	Удельный расход торфа при w=50%, кг/т	Коэффициент полезного действия	
			энергетический	тепловой
Пневмопароводяная с получением пара от ТЭЦ (схема замкнутая)	59,2	203,8	0,81	1,39
Пневмопароводяная с получением пара от ТЭЦ (схема разомкнутая)	76	261,6	0,63	0,9
Пневмопароводяная с получением пара от котельной (схема замкнутая)	73,6	253,4	0,65	1,39
Пневмопароводяная с получением пара от котельной (схема разомкнутая)	98,4	338,7	0,49	0,9
Паротрубчатая барабанная. Пар от котельной	106,8	367,7	0,45	0,74
Парогазовая барабанная. Пар и газы от котельной	93,8	322,9	0,51	0,87
Пневмогазовая. Газы от технологической топки	94,5	325,3	0,51	0,69
Пневмосепарационная. Газы от технологической топки	81,1	279,2	0,59	0,86

Из таблицы 3.6 следует, что наибольшей энергетической эффективностью отличаются пневмопароводяные сушилки с вторичным использованием теплоты сокового пара, работающие в комплекте с заводской ТЭЦ. Стабилизация влажности сушенки при вариации начальной влажности торфа для пневмогазовых сушильных установок может быть обеспечена в известных пределах изменением расхода газов, поступающих в сушилку.

Однако, пневмопароводяные сушилки не могут служить основой для развития торфобрикетного производства на перспективу, так как строительство маломощной ТЭЦ на торфобрикетном заводе в районе действия энергетических систем общего пользования неоправданно повышает капиталовложения. Кроме того, для использования этими сушилками низкопотенциального вторичного тепла сокового пара требуется искусственно увеличить поверхность теплообмена. Поэтому, пневмопароводяные сушилки отличаются от пневмогазовых увеличенной в 2,5 раза удельной металлоёмкостью на 1 т выпускаемой продукции.

3.3 Обоснование основных технологических параметров модульного завода по производству торфяного топлива

С целью обоснования параметров промышленной барабанной сушилки были проведены исследования на экспериментальной сушильной установке. С учетом выполненного анализа конструкций сушилок и предварительных результатов лабораторных исследований процесса сушки была максимально упрощена конструкция экспериментальной установки, выполненная в виде трубы с прямоточной подачей сушильного агента.

Основные закономерности переноса тепла и влаги в процессе сушки описываются дифференциальными уравнениями второго порядка в частных производных с коэффициентами, зависящими от влагосодержания материала. Использование таких уравнений в инженерной практике затруднительно. Для практических расчетов можно применять обычные дифференциальные уравнения, коэффициенты, которых представляют собой сосредоточенные параметры системы [123].

Для облегчения задачи примем в качестве управляющего воздействия расход сушильного агента, а не расход топлива, как в действительности. Предположим также, что топка имеет достаточный запас мощности и режим ее работы не сказывается на режиме сушки.

В установившемся режиме приток и расход топлива в элементе объема барабана равны. Тепло в барабан поступает:

с сушильным агентом

$$Q_{c.a.} = q_a c_a t_a, \quad (3.7)$$

с сухой частью материала

$$Q_{c.k.} = q_k \cdot 100 - w_k / 100 \cdot c_k T_k, \quad (3.8)$$

с влагой, вносимой материалом,

$$Q_B = q_k \cdot 100 - w_k / 100 \cdot c_B T_k, \quad (3.9)$$

где q_a – объемный расход сушильного агента, м³/ч; c_a – средняя объемная теплоемкость агента, Дж/(м³·К); t_a – начальная температура агента, К; q_k – массовый расход материала, кг/ч; w – начальная относительная влажность материала, %; c_k – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг·К).

Тепло расходуется с уходящим сушильным агентом

$$Q''_{c.a.} = q_a c_a T_r, \quad (3.10)$$

с уходящим высушенным материалом

$$Q''_{c.k.} = q_k \cdot 100 - w_n / 100 \cdot c_k T_k, \quad (3.11)$$

с уходящей влагой

$$Q''_B = q_k \cdot 100 - w_n / 100 \cdot c_B T_k, \quad (3.12)$$

на испарение влаги

$$Q''_{H.B.} = q_k \cdot 100 - w_k w_{II} / 100 \cdot r, \quad (3.13)$$

где T_r – конечная температура сушильного агента, К; q_k – массовый расход высушенного материала, кг/ч; w_{II} – конечная относительная влажность материала, %; T_k – конечная температура материала, К; r – удельная теплота парообразования, Дж/кг.

При внесении возмущения нарушается баланс между притоком и расходом тепла. Элементарный объем агента, заключенный в исследуемом участке барабана, получает изменение энергии, равное дебалансу тепла за время dt

$$c_a \Delta l_s \cdot dT_r / dt = q_a c_a (t_f - T_r) + q_k \cdot w_k - w_{II} / 100 [(T_k - T_k'') (c_k + c_a) + r], \quad (3.14)$$

или

$$c_a \Delta l_s \cdot dT_r / dt \cdot T_r = t_a + q_k / q_a c_a \cdot w_k - w_{II} / 100 [(T_k - T_k'') (c_k + c_a) + r], \quad (3.15)$$

где: Δl_s – длина исследуемого участка барабана, м; s – площадь сечения барабана, м².

Сушильным агентом в предлагаемой сушилке является дымовые газы, полученные от сжигания торфяного топлива. Для обеспечения необходимой температуры агента и высокой эффективности тепловлагообмена в слое торфа предусматривалась возможность циркуляции агента и добавления атмосферного

воздуха. Регулирование подачи агента в сушилку обеспечивается с помощью шиберных заслонок.

При проектировании новых и модернизации существующих пневмогазовых сушилок большое значение имеет знание кинетики сушки влажных торфяных частиц в потоке газов. Использование для нахождения кинетических зависимостей теории тепло- и массообмена приводит к системе нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих температурное и влажностное поля внутри материала. Их решение связано со значительными трудностями и в большинстве случаев не позволяет получить конкретного результата из-за неопределенности многих коэффициентов, входящих в уравнения.

Перечисленные трудности могут быть преодолены путем применения методов, базирующихся на сравнительно простых математических моделях и учитывающих только наиболее существенные черты реального процесса.

Для пневмогазовой сушки фрезерного торфа характерно использование в качестве теплоносителя высокотемпературных топочных газов. Нахождение зависимости, описывающей кинетику сушки, сводится к совместному решению уравнения теплопроводности и теплового баланса. В работе [117] при анализе высокотемпературной сушки частиц фрезерного торфа предложено уравнение кинетики сушки вида:

$$\tau = rW_0\rho_0R^2/3\lambda(t - \theta_\phi)\left\{3/2 \cdot [1 - W/W_0]^{2/3} - (1 - \lambda/\alpha R)(1 - (W/W_0))\right\}, \quad (3.16)$$

где τ - время сушки; r , Θ_ϕ - удельная теплота и температура парообразования; t - температура газа; R - радиус частицы; ρ_0 - плотность торфа в сухом состоянии; W - текущее среднее влагосодержание частицы; λ - эффективный коэффициент теплопроводности; α - коэффициент теплообмена частицы с газом.

При этом частицы рассматривались, как шарообразные, коэффициент их геометрической формы равен 1,08-1,10. Разность $(t - \Theta_\phi)$ представляет собой средне-интегральное значение температурного напора за время τ . Для

прямоточных пневмогазовых сушилок его величина в первом приближении может быть вычислена по формуле

$$t - \theta_{\phi} = (t_1 - t_2) / (\ln \cdot t_1 - \theta_{\phi} / t_2 - \theta_{\phi}), \quad (3.17)$$

где t_1 и t_2 - температура газа на входе и выходе из сушилки.

Зависимость (3.17) была проверена в лабораторных условиях. Получена хорошая сходимость расчетных данных с опытными кривыми сушки. Результаты экспериментов подтвердили также основные предпосылки, положенные в основу модели.

Для повышения эффективности процесса пневмогазовой сушки фрезерного торфа необходимо либо увеличить время пребывания в сушилке и коэффициент теплообмена с газом частиц крупной фракции, либо измельчать их в процессе подготовки или сушки. Увеличение времени пребывания частиц материала в зоне сушки приводит к увеличению габаритов прямоточной сушилки. Сушенка при этом имеет повышенную межфракционную влагоразность.

Влияние коэффициента теплообмена на продолжительность сушки главным образом зависит от размеров частиц (рисунок 3.6). Время τ_0 и коэффициент теплообмена a_0 соответствуют значениям, приведенным в таблице 3.7.

Увеличение коэффициента теплообмена оказывает большое влияние на снижение времени сушки мелких частиц. Так, при радиусе частицы $R = 0,1$ мм повышение коэффициента теплообмена в 2 раза по сравнению с a_0 приводит к снижению времени сушки также в 2 раза, при $R = 1$ мм такое же изменение коэффициента теплообмена уменьшает время сушки в 1,4 раза, а при радиусе $R = 4$ мм - всего лишь в 1,2 раза.

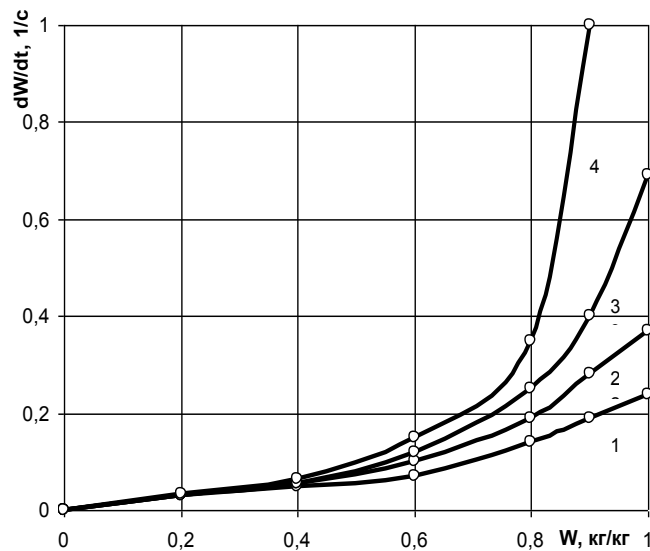


Рисунок 3.6 Зависимость времени сушки от текущего влагосодержания:

1- $R=0,2$; 2- $R=0,4$; 3- $R=1,0$; 4- $R=2,0$; $R=4,0$ м

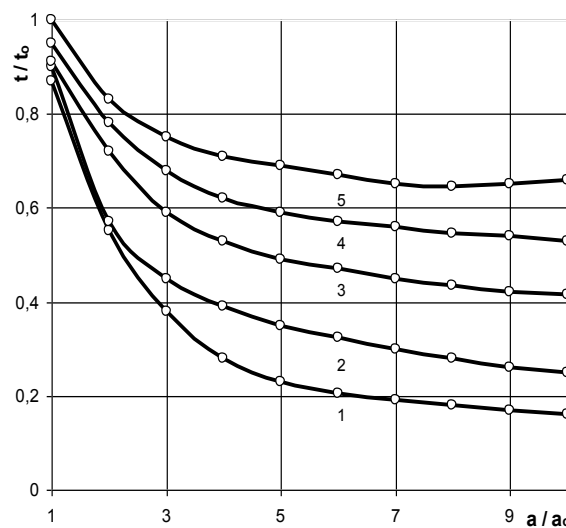


Рисунок 3.7. Зависимость скорости сушки торфа от торфа от коэффициента теплообмена: 1- $\alpha=250$; 2- $\alpha=370$; 3- $\alpha=750$; 4- $\alpha=1000$ Вт/(м²·К)

Таблица 3.7 Параметры процесса пневмогазовой сушки фрезерного торфа

Размер фракции, мм	Коэффициент теплообмена α , Вт/(м ² ·К)	Время сушки τ , с
10-7	328	43,2
7-5	378	22,38
5-3	483	10,65
3-2	611	4,46
2-1	734	1,83
1-0,5	843	0,61

0,5-0,25	962	0,21
0,25-0	1149	0,12

В случае применения мелкодисперсного сырья существенно возрастет роль гидродинамических условий теплообмена, что делает благоприятным интенсификацию сушки за счет увеличения относительных скоростей движения материала и газов. Практический интерес представляет анализ влияния коэффициента теплообмена α на интенсивность сушки в различных ее стадиях. Скорость сушки находится дифференцированием зависимости (3.16) по времени τ

$$dW/d\tau = 3\lambda(t - \theta_\phi) / rW_0 p_0 R^2 [1 - (W/W_0)^{-1/3} - \lambda/\alpha R], \quad (3.18)$$

По уравнению (3.18) построены расчетные зависимости скорости сушки от текущего влагосодержания при различных значениях коэффициента теплообмена α (рисунок 3.9). Их анализ показывает, что наибольшее влияние на скорость сушки величина α оказывает в начальный период. В дальнейшем интенсивность сушки практически мало меняется. Физически это объясняется тем, что по мере углубления зоны испарения термическое сопротивление «сухой» области материала становится более определяющим фактором передачи тепла от газа к частице по сравнению с внешним теплообменом. Поэтому интенсификация процесса сушки за счет гидродинамических параметров теплообмена целесообразна лишь в ее начальный период. Полученное выражение, позволяет оценивать кинетику процесса сушки фрезерного торфа в пневмогазовых сушилках.

В существующих прямоточных пневмогазовых сушилках необходимо стремиться к наилучшему измельчению сырья или применять устройства, позволяющие добиться этого в процессе сушки.

Интенсификацию процесса пневмогазовой сушки за счет увеличения гидродинамических условий теплообмена целесообразно проводить на ее начальной стадии.

Для обоснования конструктивных параметров промышленной сушилки и теплогенератора были проведен комплекс лабораторных и промышленных исследований. Полученные результаты позволят установить изменение параметров сушильного агента при его прохождении через сушилку при различной влажности и расходе торфяного сырья; расход сырья на сушку и брикетирование; оптимальные режим сушки и управления сушильным комплексом СК и теплогенератором ТГ. На основе теоретического и экспериментального материала был выполнен прогнозный расчет процесса сушки фрезерного торфа.

Алгоритм расчета реализован в электронных таблицах МО Excel и представлен на рисунке 3.8.

Параметры и условные обозначения, используемые в алгоритме:

t - температура сушильного агента, °С;

Θ -температура торфа, °С;

F - относительная влажность сушильного агента,;

P_n - парциальное давление насыщенного пара, кПа;

C_T -масса сушимого материала, т/ч;

w - относительная влажность материала, %;

K - коэффициент, учитывающий потери материала;

W - количество испаряемой влаги в сушилке за 1 час, кг/ч;

l - удельный расход сухого агента сушки, кг_{воздуха}/ кг_{исп. влаги};

L -общий расход воздуха, кг/ч;

v_0 -удельный объем агента, м³/кг;

$P_{см}$ - плотность смеси агента и пара, кг/м³;

q - удельный расход тепла, кДж/кг_{исп. влаги};

$Q_{об}$ - общий расход тепла, кДж/ч;

g - удельный расход пара на испарение 1 кг влаги, кг_{пара}/кг_{исп. влаги};

$C_{т\ пара}$ - общий расход пара, кг/ч;

$V_{об}$ - общий расход смеси сушильного агента и испаренного пара, м³/ч;

q_1 - удельный расход теплоты на испарение влаги из материала, кДж/кг;

q_2 - удельный расход теплоты на подогрев сушильного агента кДж/кг;
 q_3 - удельный расход теплоты на подогрев материала, кДж/кг;
 q_4 - удельный расход теплоты на подогрев конвейеров, кДж/кг;
 q_5 - удельный расход теплоты на покрытие потерь в окружающую среду, кДж/кг.

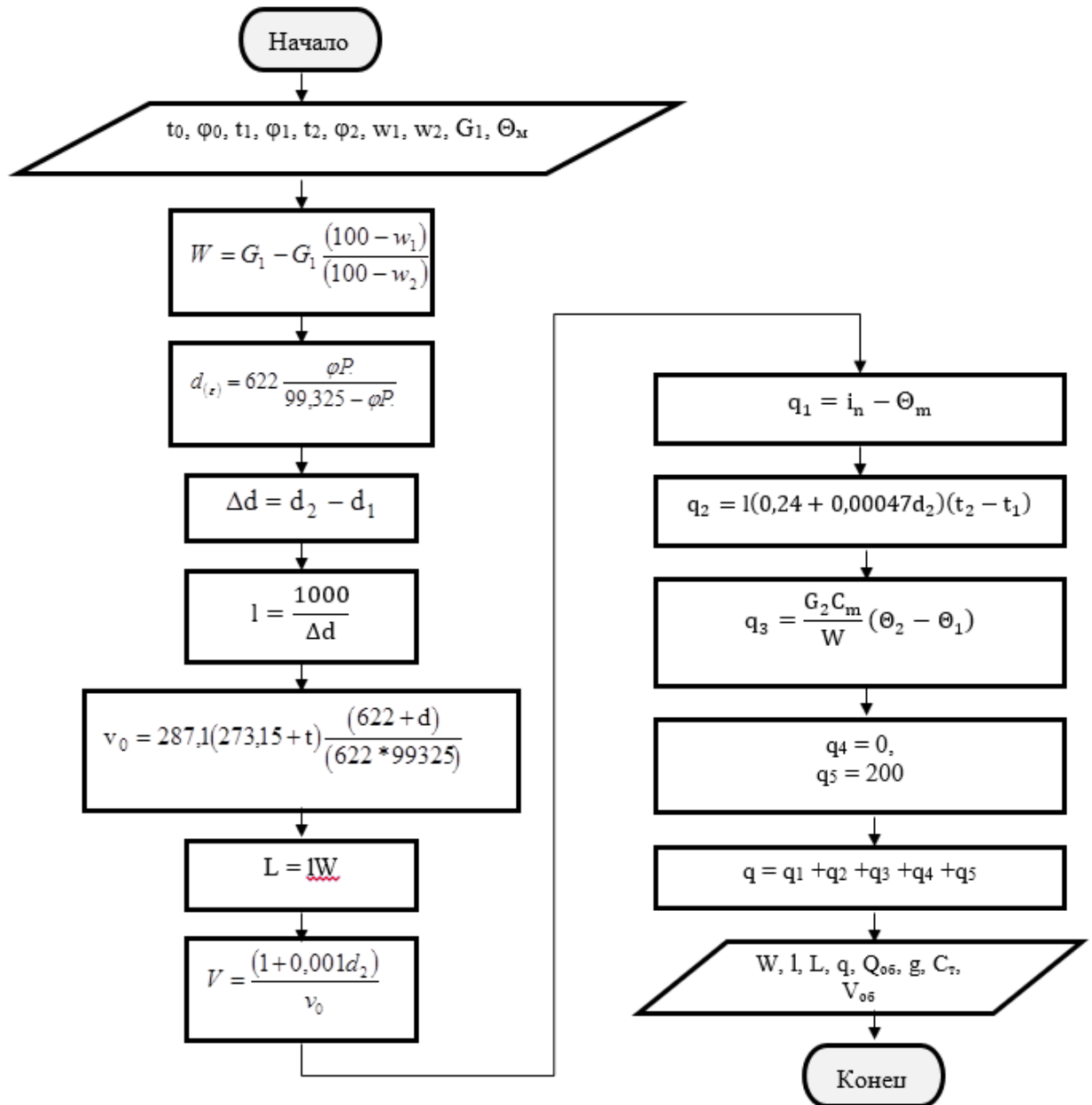


Рисунок 3.8 – Алгоритм расчета процесса сушки торфяных композиций

Эта задача частично может быть решена улучшением качества подготовки фрезерного торфа к сушке даже за счет некоторого её удорожания, а также строгого соблюдения технологического режима сушки.

Таблица 3.8 Материальный баланс торфобрикетного производства

Наименование параметра	Ед. изм.	Обозначение	Значение
Исходные данные			
Проектная годовая производительность	т	Q_r	7200
Годовой фонд рабочего времени оборудования	ч	T	7200
Влажность сырья	%	w_1	50
Влажность брикета (товарного)	%	w_2	16
Зольность сырья на сухую массу	%	A^c	7
Плотность сырья	кг/м ³	p_1	340
Содержание фракций > 7 мм	%		35
Коэффициент эксплуатации			0,25
Материальный баланс			
Объем производства по брикетам	т/ч	$Q_{\text{ч}}$	1,000
Объем производства по брикетам + потери	т/ч	$Q_{\text{чп}}$	1,005
Производительность прессового отделения	т/ч	$Q_{\text{пр}}$	1,005
Производительность сушильного отделения:			
по высушенному торфу	т/ч	Q_2	1,047
по исходному материалу	т/ч	Q_1	1,758
по испаренной влаге	т/ч	$W_{\text{суш}}$	0,712
Расход торфа для генерации пара	т/ч	B_r	0,440
Производительность подготовительного отделения	т/ч	$Q_{\text{под}}$	2,20
Потребность в сырье:			
часовая	т/ч	$Q_{\text{сч}}$	2,21
годовая	т/Г	$Q_{\text{сг}}$	15 922

Таблица 3.9 – Проектные энерготехнологические параметры
термомеханической переработки торфа с использованием барабанной
пневмогазовой сушилки

Параметр	Ед. изм.	Значение	Примечание
ТТЧ сушики	кг ут/т	94,5	Табл. 3.6
Удельный расход торфа с $w=50\%$	кг /т	2210	Табл.3.8
Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/т	100	Табл.1.3
Удельный расход электроэнергии	кг ут/т	12,3	
ТТЧ сушики и ТТЧэ	кг ут/т	106,8	

Кроме потребления торфа, воздействие на окружающую среду торфяного производства определяются локальными эффектами нагрузки на водные системы, запылением воздуха и эмиссией газов при сгорании торфа.

Для решения проблемы наиболее полного учета требований охраны окружающей среды необходимо переходить от традиционных способов проектирования к компьютерным технологиям многовариантного оптимизационного проектирования с использованием математических моделей и системного подхода. Основные принципы компьютерной технологии проектирования разработки торфяных месторождений позволяют решать основные вопросы добычи торфяного сырья и его комплексной переработки.

Производств торфяных композиционных брикетов в случае использования в качестве дополнительных компонентов вторичных ресурсов других производств необходимо рассматривать по стадиям технологического процесса, включая экологические аспекты освоения торфяного месторождения и техногенного образования, совместной переработки торфа и отходов, дальнейшего использования выработанных площадей и утилизации производственной продукции.

Экологические последствия техногенных воздействий принято количественно оценивать в условно-стоимостном выражении в виде ущерба, наносимого тем или иным воздействием. При этом в процессе совместной переработки тор-

фяных и вторичных ресурсов может сокращаться ущерб, обусловленный образованием и хранением используемых отходов.

Комплексную оценку воздействий на окружающую среду при производстве торфяных брикетов возможно провести на основе сквозного энерго-экологического анализа.

Для оценки экологического ущерба и сведения всех форм воздействия строительства производственного участка, добычи торфа и производства брикетов на окружающую среду к единому универсальному показателю вводится понятие ТЭЧ (технологическое экологическое число). Анализ ТЭЧ выполнен для реальных производственных условий торфяного месторождения «Суловско-Панфиловское», результаты приведены в таблицах 3.10, 3.11, 3.12. и рисунке 3.9.

Таблица 3.10 – Расчет ТЭЧ выбросы в атмосферу от локальных источников

Этап	Сумма вредных выбросов, т/год	Удельная приведенная масса вредных выбросов, т/т	Плата за вредные выбросы, руб./т у.выбр.	ТЭЧ, кг у.т./т
Строительство участка	0,402	0,000037	154,16	0,002
Добыча	1,619	0,000150	151,28	0,007
Производство брикетов	304,01	0,025334	65,91	0,537

Таблица 3.11 Расчет ТЭЧ сбросов дренажных вод

Этап	Сумма вредных сбросов, т. вр.сбр./год	Удельная приведенная масса вредных сбросов т.вр.сбр./т.прод.	Плата за вредные сбросы руб./т.у.выбр.	ТЭЧ, кг у.т./т
Строительство участка	5,34	0,0005	1006,28	0,159
Добыча	5,34	0,0005	1006,28	0,159

Таблица 3.12– Расчет ТЭЧ размещения отходов

Этап	Сумма вредных отходов, т. вр.отх./год	Удельная приведенная масса вредных отходов, т.вр.сбр./т.прод.	Плата природопользователя за вредные отходы, руб./т.отходов	ТЭЧ,
Строительство участка	1,190	0,000110	983,91	0,034
Добыча	0,878	0,000081	983,91	0,025

Источником выделения вредных веществ в атмосферу на участке добычи торфа являются машинно-тракторные агрегаты, а также экскаваторы, бульдозеры и погрузчики.

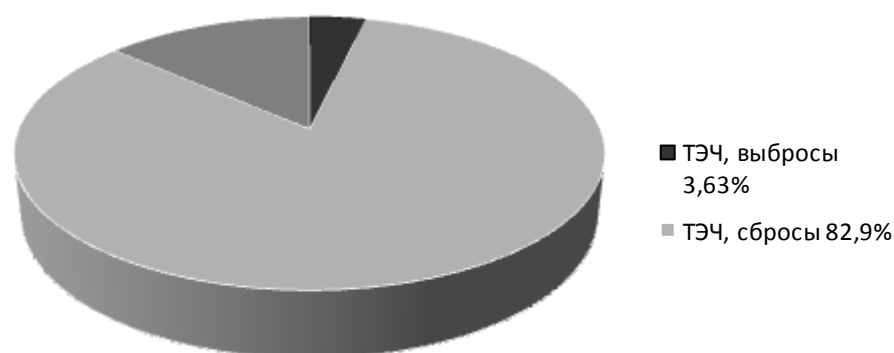


Рисунок 3.9 – Доля различных воздействий на окружающую среду при добыче торфа в виде ТЭЧ

К основным вредным веществам относятся: диоксид азота, оксид азота, углерод (сажа), сернистый ангидрид, оксид углерода, бензин нефтяной малосернистый. Сточные воды осушительной системы полей добычи торфа характеризуются повышенным содержанием взвешенных и растворенных органических веществ. Для предотвращения излишнего сброса загрязняющих веществ (взвешенные вещества) в реку предусматривается строительство на сбросном канале однокамерного отстойника-илоуловителя с затворами и шлюзами для задержки взвешенных веществ. При работе участка по добыче торфа образуются отходы производства и ТБО. Перечисленные виды отходов являются нетоксичными, класс опасности – IV, агрегатное состояние – твердое.

Комплексная оценка эффективности добычи и термомеханической переработки торфа выполнена с учетом удельных затрат энергии и воздействий на окружающую среду на основе расчета ТТЭЧ. Алгоритм расчета приведен на рисунке 3.10.

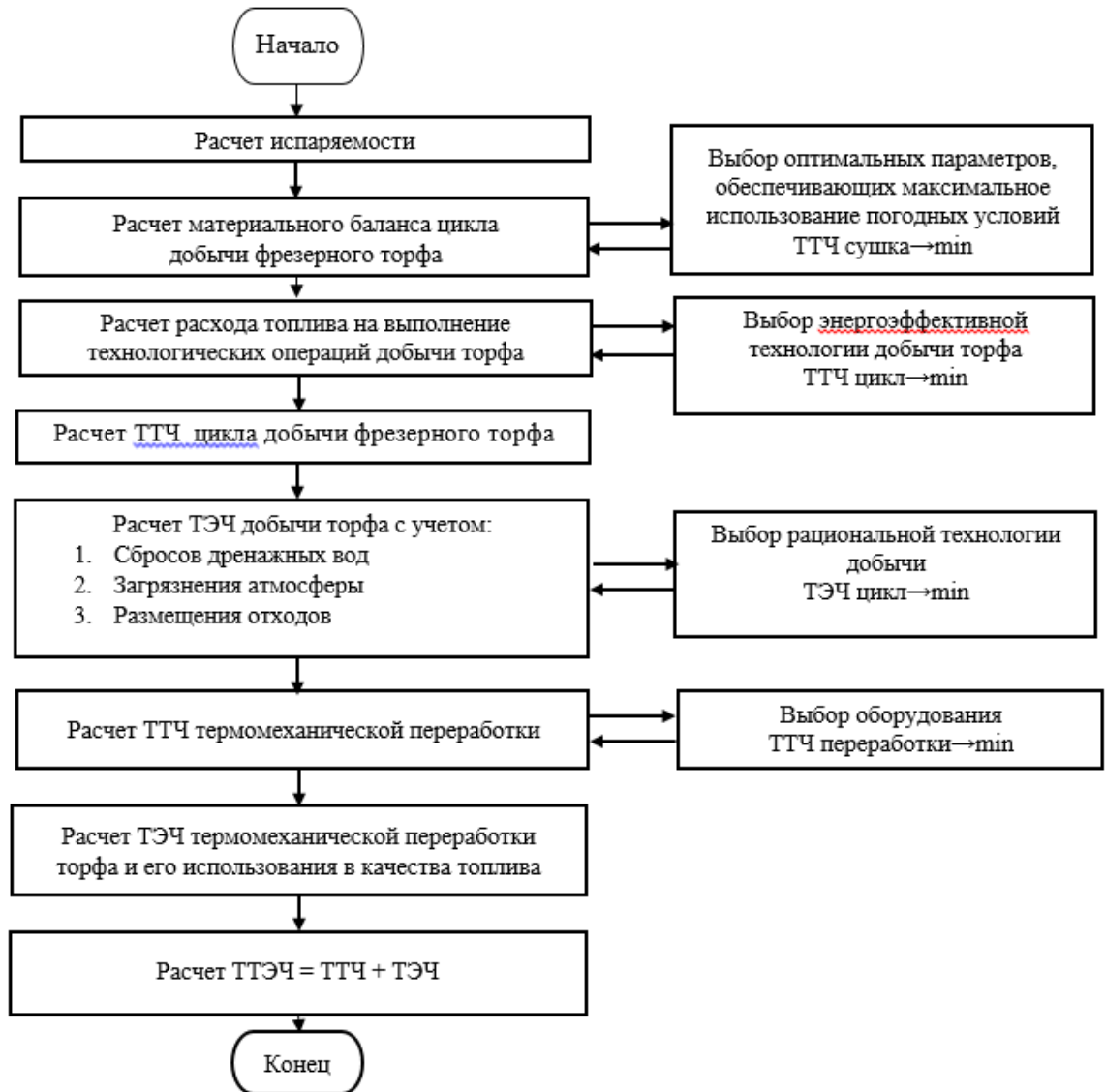


Рисунок 3.10 –Алгоритм выбора энергоэффективной технологии добычи и термомеханической переработки торфа

Торфобрикетным комплексом в атмосферу выбрасываются: диоксид азота, оксид азота, диоксид серы, оксид углерода и взвешенные вещества. Полностью исключен сброс стоков в водоемы: бытовые стоки цеха отводятся существующим выпуском в септиктанк с последующим вывозом на очистные сооружения, а для

цеха предусмотрена система оборотного водоснабжения. Поверхностные стоки с территории отводятся самотеком в сборный водоотливной лоток с мусороудерживающей решеткой. После заполнения емкости, стоки увозятся автотранспортом для утилизации в установленные места.

3.4 Выводы по главе

1. Проведен анализ ТТЧ цикла добычи фрезерного торфа, который в общем виде представляет сумму топливных чисел последовательных переделов в технологической цепи и учитывает расход всех видов топлива на выполнение технологических операций добычи торфа внутри цикла. Управление процессом сушки фрезерного торфа в полевых условиях сводится к управлению перераспределением поступившей в него тепловой энергии.

2. Разработан алгоритм расчета технологических топливных чисел цикла производства фрезерного торфа и коэффициента, учитывающего степень использования метеоусловий за цикл.

3. Проведен анализ энергетических затрат термомеханической переработки торфа с учетом влажности исходного сырья и параметров теплоносителя, энергетической эффективности котельно-топочного и сушильного оборудования. Математические модели параметров процесса сушки позволяют определить зависимость основных показателей от переменных факторов и типа сушилок. Рассмотрено влияние различных способов регулирования сушильных установок на их энергетическую эффективность.

4. На основе комплексного анализа результатов экспериментальных исследований обоснованы исходные данные для системы автоматизированного управления модульным торфобрикетным заводом.

5. Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований положены в основу создания технологии и оборудования для производства торфяных брикетов и гранул, их эффективного использования в распределенной энергетике.

4 АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РАЗРАБОТОК ПО ПРОИЗВОДСТВУ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ТОРФЯНОГО ТОПЛИВА

4.1 Энергоэффективность технологии модульного комплекса по производству торфяных брикетов и гранул

Выполненные разработки послужили предпосылкой для создания принципиально нового маломасштабного быстровозводимого производства торфяных брикетов заводской готовности.

На основе результатов произведенных экспериментальных и теоретических исследований основных энерготехнологических процессов термомеханической переработки - генерации тепловой энергии при сжигании фрезерного торфа и его сушки в барабанной сушилке, обоснована принципиальная технологическая схема модульного завода производства брикетов и гранул, сформулированы требования к технологическому оборудованию, проведена комплектация завода серийным технологическим оборудованием, разработана конструкция нестандартного оборудования, внедрена автоматизированная система управления технологическими операциями, учитывающая возможные изменения качественных показателей сырья (таблица 4.1).

Разработана концепция и реализованы несколько проектов, связанных с переработкой фрезерного торфа в топливный брикет.

Основой является брикетный комплекс, который представляет собой самостоятельное производство от приема исходного сырья до выпуска конечной продукции – торфяного топливного брикета.

Брикетный комплекс – быстровозводимый объект, не требующий больших капитальных вложений на строительство зданий и сооружений, и может располагаться на открытой площадке и эксплуатироваться как в летний, так и в зимний период [43].

Таблица 4.1 – Техничко-эксплуатационная характеристика брикетного комплекса

Наименование показателя	Значение
Производительность, кг/ч	1000
Вид используемого сырья, в том числе, как топливо для теплогенератора	торф фрезерный
Влажность исходного сырья, %	42 ÷ 52
Влажность сырья для брикетирования, %	12 ÷ 18
Насыпная плотность исходного сырья, кг/м ³	200 ÷ 330
Применяемый теплоноситель	топочные газы
Температура теплоносителя, °С, не более	350
Срок службы до списания, лет, не менее	9
Масса, кг	60000*

*- зависит от состава оборудования

Брикетный комплекс предназначен для производства топливных брикетов и гранул из фрезерного торфяного сырья (рисунок 4.1.)



Рисунок 4.1 – Общий вид комплекса по производству брикетов и гранул
(пос. Гусь-Хрустальный, Владимирская область)

В соответствии с технологией брикетирования комплекс представляет собой блочно-модульную конструкцию и состоит из следующих блоков (рисунок 4.2, таблица 4.2):

- блок оперативного складирования и подачи;
- блок распределения и дозирования;
- блок генерации теплоносителя;
- блок безопасности и подготовки теплоносителя;
- блок сушки;
- блок очистки отработанного теплоносителя;
- блок прессования;
- блок автоматики и управления.

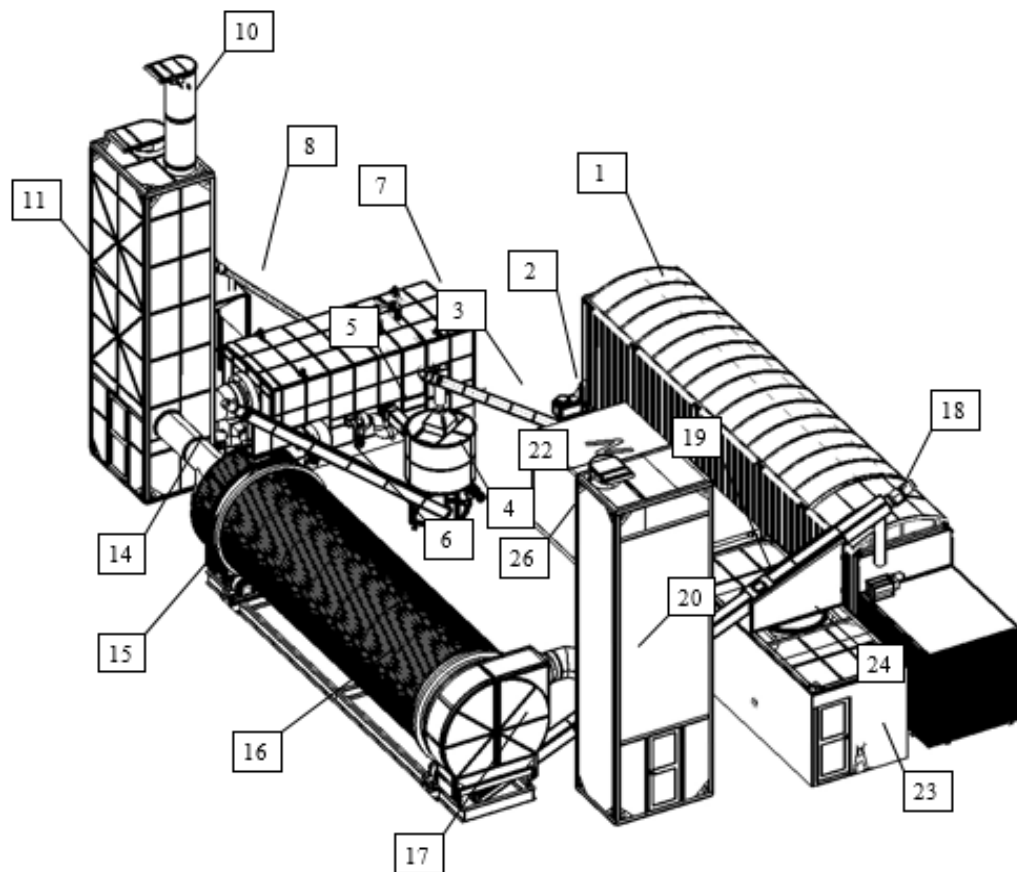


Рисунок 4.2 – Схема комплекса по производству брикетов и гранул

Фрезерный торф подается погрузчиком в блок оперативного складирования и подачи 1 (рисунок 4.2). Для предотвращения попадания в сырье осадков и исключения уноса торфа блок оснащен подъемной крышей.

Таблица 4.2 – Состав брикетного комплекса

Поз.	Наименование	Обозначение
Блок оперативного складирования и подачи (БОСП)		
1	Контейнерный склад	КС
2	Шнековый конвейер выгрузки из склада	ШТВС
3	Шнековый конвейер подачи в блок распределения и дозирования	ШТПБРД
Блок распределения и дозирования (БРД)		
4	Оперативный дозирующий бункер	ОДБ
5	Система подачи и дозирования топлива	СПДТ
6	Система подачи и дозирования материала	СПДМ
Блок генерации теплоносителя (БГТ)		
7	Теплогенератор NPA-SD1000-3	ТГ
8	Шнек удаления золы	ШУЗ-1
9	Контейнер накопитель золы	КНЗ
Блок безопасности и подготовки теплоносителя (ББПТ)		
10	Аварийная дымовая труба	АДТ
11	Золоулавливающий искрогаситель	ЗИ
12	Газоход	Г
13	Шнек удаления золы	ШУЗ-2
Блок сушки (БС)		
14	Газоход с клапаном вентиляции	ГКВ
15	Смеситель	СМ
16	Сушильная камера	СК
17	Выгрузка механическая	ВМ
18	Шнековый конвейер выгрузки	ШТВ
19	Система измерения влажности	СИВ
Блок очистки отработанного теплоносителя (БООТ)		
20	Пылеосадитель	ПО
21	Тягодутьевое устройство	ТУ
22	Выхлопная труба	ВТ
Блок прессования (БП)		
23	Контейнерный блок модуль машинного зала	КБММЗ
24	Дозирующий бункер подачи материала в пресс	ДБПМП
25	Брикетный пресс	
Блок автоматики и управления (БАУ)		
26	Блок модуль операторской	БМО
27	Комплекс микропроцессорной АСУ	

Сырье из блока оперативного складирования и подачи 1 шнековыми конвейерами 2 и 3 подается в блок распределения и дозирования 4. Для предотвращения слеживания торфа и обеспечения подачи материала блок оснащен ворошителем. Далее материал разделяется на два потока: первый при помощи системы подачи и дозирования топлива 5 обеспечивает топливом теплогенератор 7; второй системой подачи и дозирования материала направляет торфяное сырье в сушилку. Теплоносителем и сушильным агентом при производстве топливных брикетов с сушильной камерой барабанного типа служат топочные газы — смесь продуктов сгорания торфа в технологической топке теплогенератора с воздухом.

Теплогенератор 7 оснащен системой автоматического золоудаления. Шнековым конвейером 8 зола из теплогенератора перемещается в контейнер накопитель золы. Теплоноситель, выработанный теплогенератором, через газоход 12 попадает в блок безопасности и подготовки теплоносителя 11, где происходит осаждение несгоревших частиц и их перемещение шнековым конвейером 13 в контейнер накопитель золы 9. Затем уже очищенный теплоноситель по газоходу 14 подается в смеситель 15. Из блока распределения и дозирования 4 торф системой подачи и дозирования материала 6 подается в загрузочную горловину смесителя 15, подхватывается потоком теплоносителя и попадает в сушильную камеру 16. Перемещаясь в потоке теплоносителя и перемешиваясь с ним, масса сырья постепенно высыхает. В сушильной камере 16 обеспечивается избирательный принцип сушки, т.е. частицы, имеющие большую поверхность теплообмена или меньшую массу, высыхают быстрее и уносятся из камеры, а более крупные частицы находятся в камере до полного высыхания более длительное время. Этим обеспечивается равномерная сушка продукта неоднородного по фракционному составу.

Высушенный торф подается в бункер 17 и из блока очистки отработанного теплоносителя 20 шнековым конвейером выгрузки 18 перемещается в дозирующий бункер подачи материала в пресс 24. Насыщенный влагой

теплоноситель через выхлопную трубу тягодутьевого устройства 21 выбрасывается в атмосферу.

Топливные брикеты формируются в брикетном прессе путем механического сжатия. Брикеты подаются на склад готовой продукции по кулерам, на которых они охлаждаются и упрочняются. Отгрузка брикетов потребителям производится в железнодорожные вагоны, автомобили и другие виды транспорта.

В технологическую схему завода дополнительно включается блок производства топливных гранул, с производительностью до 1,5 т/ч (рисунок 4.3).

Блок предназначен для измельчения торфяного брикета.

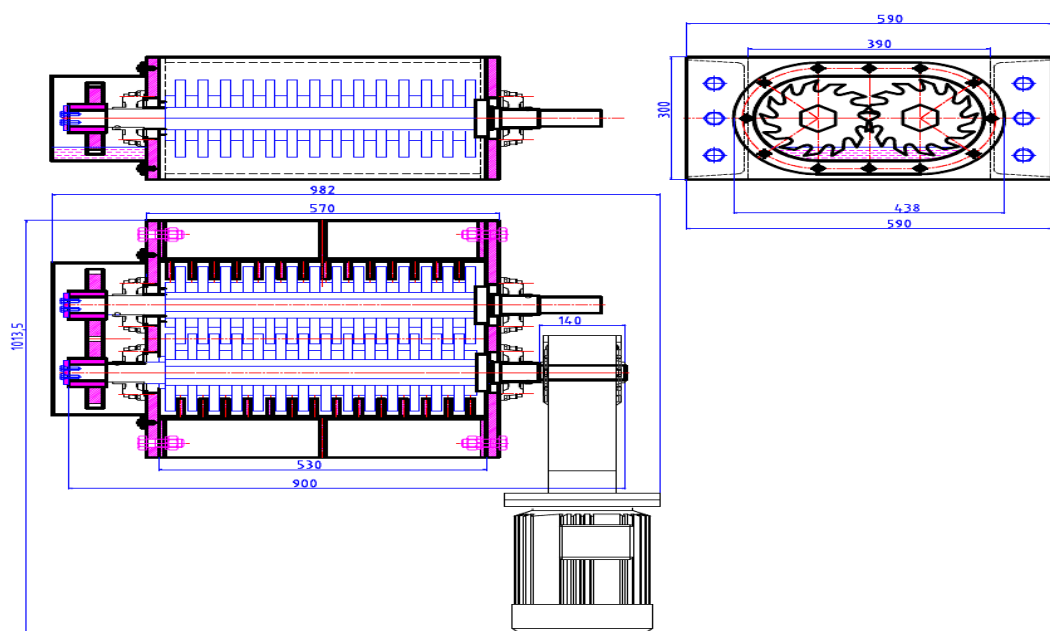


Рисунок 4.3 – Блок производства топливных гранул

Дробилка типа шредер однороторная отличается низким уровнем шума при работе, пониженным потреблением электроэнергии. Скорость вращения ротора составляет 55 мин^{-1} . Материал ножей-измельчителей - высококачественная инструментальная сталь DC53 с высокими показателями твердости, прочности, износостойкости. Роторные ножи-измельчители имеют 4 рабочих поверхности и при затуплении достаточно повернуть нож на 90 градусов. На одну тонну гранул, получаемых путем измельчения брикетов, расходуется 2,4-2,6 кВт·ч электроэнергии. Диаметр ячеек фильтрующей сетки варьируется от 1,6 до 80 мм в зависимости от требуемых размеров измельченной фракции и перерабатываемого

сырья. В результате производства гранул образовывается порядка 4% пыли которая шнеком возвращается в прессовое отделение.

Органы управления и сигнализации. На лицевой панели ШУ установлены сенсорные панели, предназначенные для индикации текущего состояния и оперативного управления комплексом. Сенсорная панель оператора представляет собой мини компьютер с операционной системой. Экран, оформленный в виде мнемосхемы (рисунок 4.5) объекта, дает возможность виртуально «войти» в любой узел автоматики. Сенсорные панели позволяют осуществить:

- вывод оперативной информации и информации об аварийных ситуациях;
- ввод управляющих сигналов;
- изменение значений переменных для настройки необходимых режимов работы комплекса.

Основным инструментом управления БКТ-3000 является персональный компьютер, с установленной исполнительной средой Indusoft Web Studio. Мнемосхема предоставляет оператору, наблюдающему за технологическим процессом, графический интерфейс для наглядного динамического отображения хода технологического процесса.

На мнемосхеме (рисунок 4.4) представлена упрощенная схема расположения технологического оборудования на объекте БКТ-3000, отображены кнопки управления, дисплеи, отображающие текущий ток и частоту питающей сети мотор-редукторов, показания датчиков температуры, давления, разряжения, влажности, индикаторы концевых выключателей и датчиков уровня, статус работы линий.

В стандартном режиме комплекс может работать полностью автоматически. Для сервиса и обслуживания систему управления можно перевести в ручной режим управления. Эффективность работы комплекса определяется рациональным управлением процессами генерации тепловой энергии для сушки фрезерного торфа.

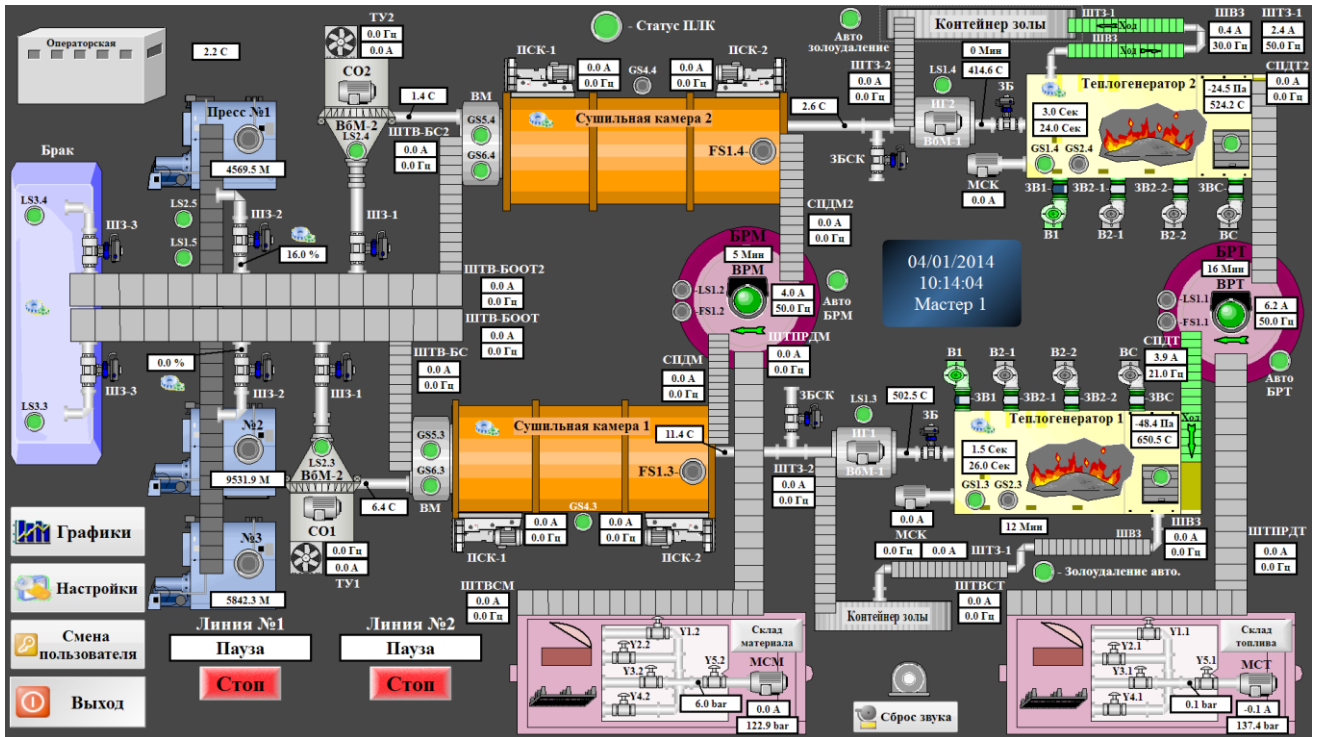


Рисунок 4.4 – Интерфейс системы управления брикетным комплексом

Функциональная модель процесса сушки фрезерного торфа при производстве брикетов и гранул представлена схемой приведенной на рисунке 4.5. Исходным сырьем является фрезерный торф, основанные параметры которого влажность w_1 , зольность A^c и плотность насыпной массы ρ_1 являются главными возмущающими воздействиями процессов горения и сушки. Диапазон измерения перечисленных параметров является довольно широким, т.к. фрезерный торф имеет нестационарные характеристики. К контролируемым параметрам относятся температура отходящих газов $t_{o,г}$, температура в сушильной камере t_c , влажность сушенки w_2 , производительность сушильной установки q_c , частота вращения барабанной сушилки ω_c и др. За управляющие координаты принимают расходы сырья G_T . К качественным выходным показателям конечного продукта относят влажность w_3 и прочность σ_3 торфяного брикета. Число и вид параметров той или иной группы находят из анализа математических моделей управления процессом сушки, которые представляют собой уравнения регрессии по различным каналам воздействий.

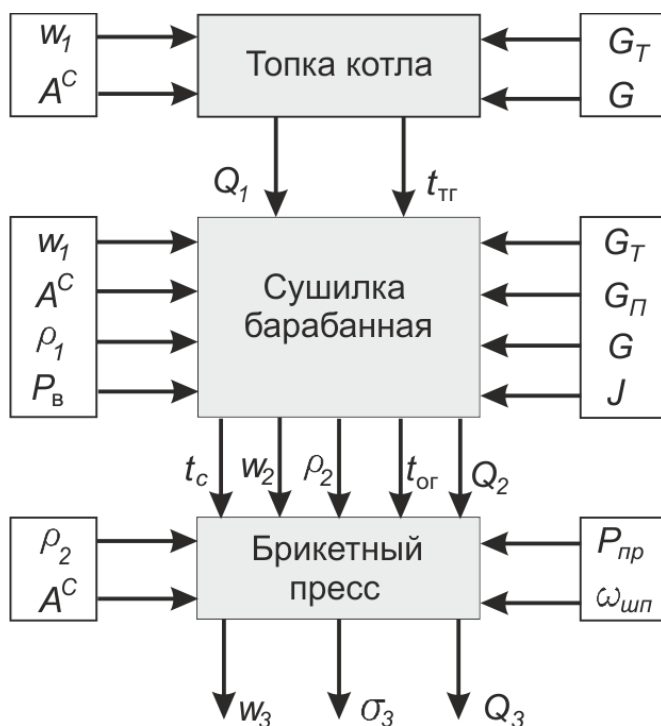


Рисунок 4.5 – Функциональная модель управления технологическими процессами брикетного комплекса

Повышение энергетической эффективности сушильных установок при переменных режимах их эксплуатации обеспечивается рациональным выбором способа регулирования процесса при отклонении исходных параметров от номинальных.

Для пневмогазовых сушильных установок принято следующее уравнение регрессии [123,136]

где $t_{ТГ}$ – температура тепловых газов; $t_{ог}$ – температура отходящих газов; $G_{в}$ – расход воздуха; $G_{Т}$ – расход торфяного сырья; w_1, w_2, w_3 – влажность торфа, сушенки, брикета; ρ_1 – плотность торфа; $P_{в}$ – давление воздуха; $G_{Т}, G_{в}$ – расход торфа, воздуха.

При изменении начальной влажности торфа стабилизация влажности подсушенного торфа может быть достигнута изменением количества материала, поступающего в сушилку или изменением начальной температуры теплоносителя.

В зависимости от конкретных условий регулирования сушильной установки в переменных условиях эксплуатации выбор оптимального метода стабилизации влажности подсушенного торфа может быть выполнен на основе данных, полученных с использованием математической модели сушильной установки. В качестве критерия энергетической оптимальности способа регулирования принимается условие обеспечения минимума затрат топливных ресурсов на сушку, которые определяются технологическим топливным числом операции искусственной сушки $ТТЧ_{иск.суш.}$.

В большинстве случаев при повышении влажности сырья выше расчетного значения более экономичным является метод увеличения температуры теплоносителя. Наоборот, при снижении влажности сырья более экономичным может оказаться метод регулирования увеличением расхода материала на сушку.

На рисунке 4.6 показано изменение суммарного удельного расхода топлива в зависимости от начальной влажности торфа для пневмогазовой трубы-сушилки ТБЗ-60 при различных способах стабилизации влажности подсушенного торфа.

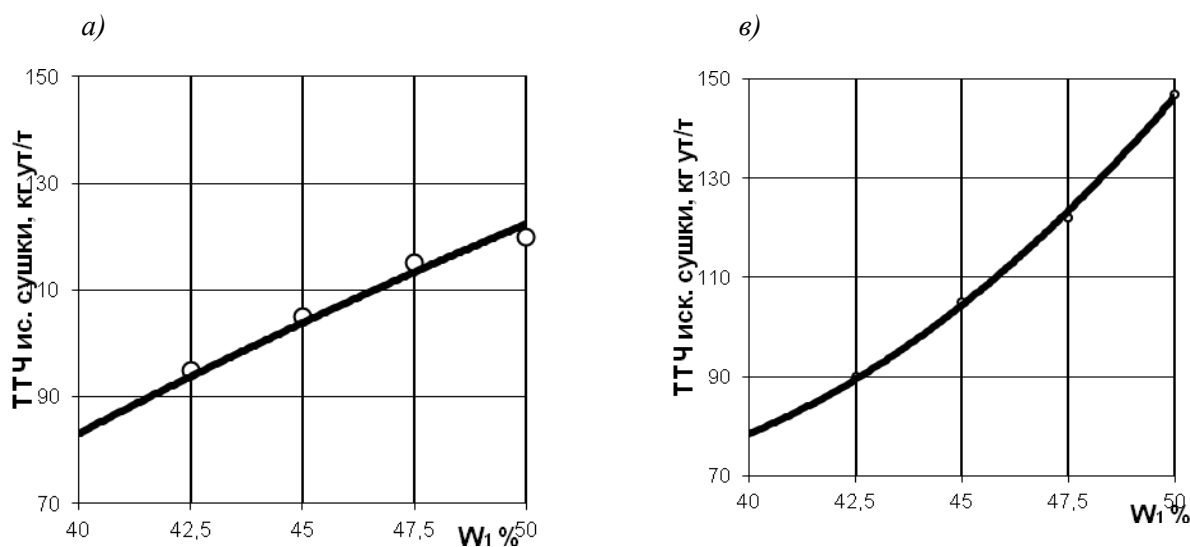


Рисунок 4.6 – Зависимость $ТТЧ$ искусственной сушки фрезерного торфа при различных способах регулирования:

а) - расход сырья на сушку постоянный, температура агента сушки переменная; б) - расход сырья на сушку переменный, температура агента сушки постоянная.

При уменьшении влажности сырья в тех же условиях более экономичным является регулирование процесса сушки изменением расхода сырья на сушку по сравнению с изменением температуры агента сушки.

В первом случае величина $b_{пр}$ уменьшается на 40%, а во втором — на 34%. На основе анализа опубликованных экспериментальных данных [120] и опытно-промышленной эксплуатации барабанной сушилки, установлена зависимость ТТЧ искусственной сушки фрезерного торфа при следующих режимах управления:

при постоянном расходе сырья на генерацию тепла

при постоянной температуре сушильного агента

В зависимости от режима система управления регулирует подачу топлива и воздуха в теплогенератор по двум параметрам: положение заслонки вентилятора первичного воздуха и интервал подачи топлива в теплогенератор. На рисунке 4.7 приведена схема оперативных настроек теплогенератора системы управления.



Рисунок 4.7 – Оперативные настройки теплогенератора

Управление режимом сушки торфяного сырья. На рисунке 4.8 показаны оперативные настройки режима. Разработаны два варианта режима «СУШКА»: по температуре и по влажности. Когда активирован режим «по температуре» то основным критерием регулирования является температура на выходе из сушильной камеры.

Такой режим позволяет стабилизировать процесс. В режиме «СУШКА» включаются в работу регуляторы. Первый, изменяя частоту вращения шнека СПДМ регулирует температуру на выходе из сушильной камеры. При выборе режима сушки «по влажности» работает другой регулятор, который изменяя частоту вращения шнека СПДМ регулирует влажность. Оба регулятора имеют схожие настройки (рисунок 4.8).

Настройки сушильной камеры №1

По "влажности"

Максимальная частота СПДМ -	3500
Минимальная частота СПДМ -	1500
Задание Влажности -	18.00
Время цикла измерения влажности (Л1) -	200 Сек.
Время очистки датчика влажности (Л1) -	10 Сек.
Время насыпки (Л1) -	15 Сек.
Время измерения влажности (Л1) -	10 Сек.

Измерения по температуре

По "температуре"

Максимальная частота СПДМ -	3500
Минимальная частота СПДМ -	1750
Задание Температуры -	52.00

☒ -Перегрев сушильной камеры №1
☒ -Нет потока материала (FS1.3)
☒ -Нет вращения сушильной камеры №1

Рисунок 4.8 – Показатели оперативной настройки режима сушки торфяного сырья

При работе на режиме по «влажности» влажность измеряется непрерывно, но система более инертна к изменению влажности и будет больше ($\approx$ на 10-20%) бракованного материала, чем в случае работы по «температуре». На рисунке 4.9 показано окно оперативных настроек влагомера.

Настройка влагомера линии №1

Время цикла измерения влажности (Л1) -	200	Сек.
Время очистки датчика влажности (Л1) -	10	Сек.
Время насыпки (Л1) -	15	Сек.
Время измерения влажности (Л1) -	10	Сек.

Влажность Min -	15	%
Влажность Max -	22	%

Текущее значение влажности -	0.0 %
Расчетное значение влажности -	20.7 %

Очистка

Рисунок 4.9 – Показатели оперативной настройки влагомера

В случае работы по «температуре» за влажностью следит оператор и вводит корректировки, учитывая инерционность системы. Температура на входе в сушильную камеру определяет энергозатраты на сушку торфа и, напрямую, влияет на производительность технологической линии. Энергопотоки контролируются в автоматическом режиме и выводятся на монитор компьютера, вместе с другой необходимой информацией (рисунок 4.10).

Энергоэффективность предлагаемой схемы брикетного комплекса обуславливается снижением удельных затрат на электроэнергию ТТЧэ 9,60 кг у.т. / т (для данной технологии), в то время как для существующих технологий ТТЧэ составляет 12,3 в кг у.т/т (таблица 4.3).

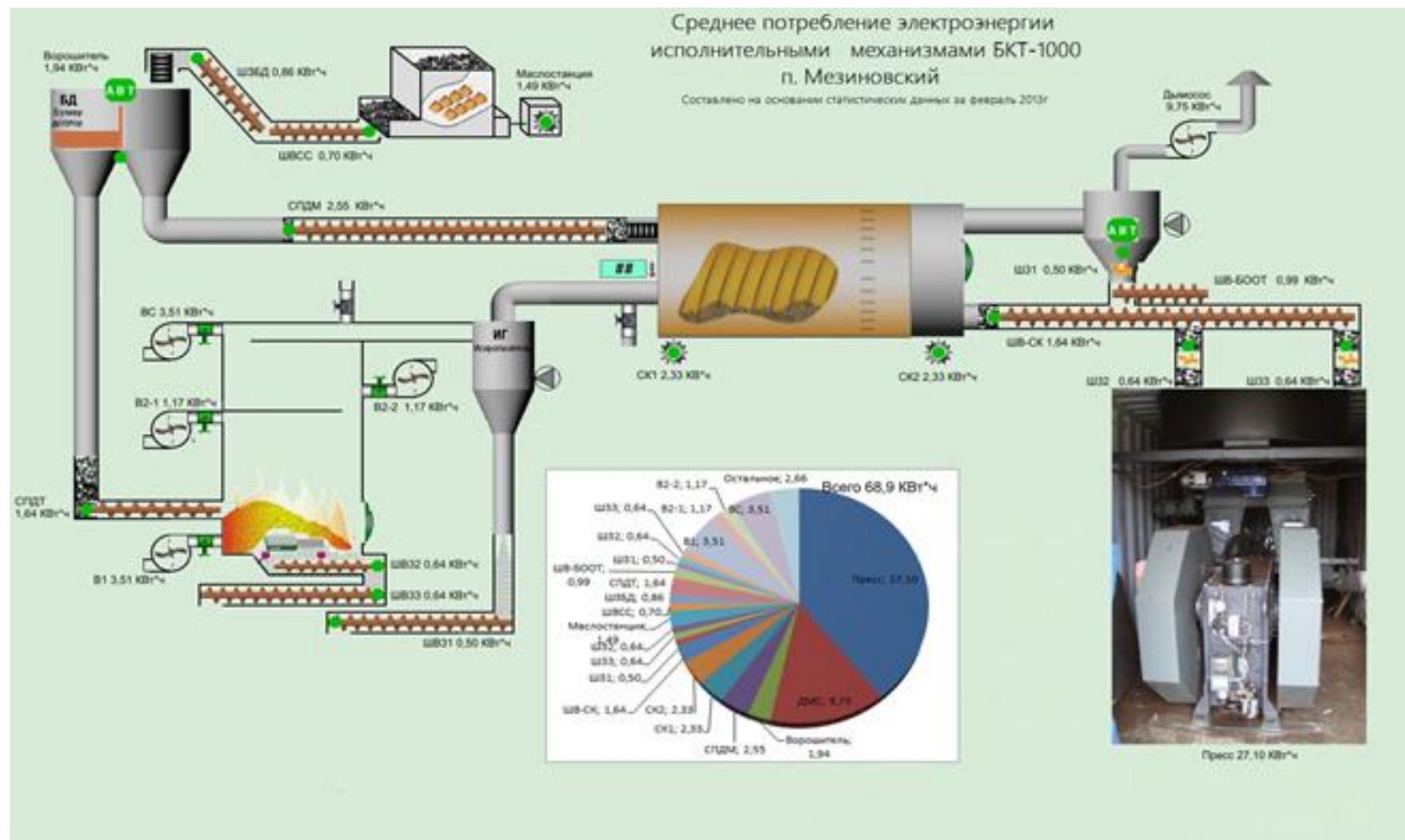


Рисунок 4.10 – Схема энергопотребления механизмами брикетного комплекса

Таблица 4.3 – Схема энергопотребления комплекса по производству торфяных брикетов

Наименование оборудования	Мощность, кВт	Количество, шт	Установленная мощность, кВт	Коэффициент использования мощности	Используемая мощность, кВт
Приемный бункер торфяного сырья с подвижным полом	3	1	3	0,5	1,5
Дисковый сепаратор	0,55	1	0,55	0,5	0,275
Конвейер фракции более 10 мм	3	1	3	0,5	1,5
Конвейер подачи сырья на склад	10	1	10	0,6	6,0
Склад торфяного сырья	7,5	2	15	0,27	3,05
Конвейер выгрузки сырья на сушку	1,5	1	1,5	1	1,5
Конвейер выгрузки сырья на топливо	1,5	1	1,5	0,5	0,75
Теплогенератор NESEN «NPA-S1000»	11,65	1	11,65	0,65	7,57
Сушильная камера барабанного типа	18,5	1	18,5	0,25	4,66
Система механической выгрузки	1,5	1	1,5	1	1,5
Система очистки отработанного теплоносителя	36,5	1	36,5	0,31	18,29
Конвейер подачи на участок брикетирования	1,5	1	1,5	1	1,5
Брикетный пресс	50	1	50	0,54	30,1
Итого, кВт/т			164,2	0,47	78,2
ТТЧ ₃ кг у.т. / т					9,60

Наличие в схеме управления персонального компьютера обеспечивает возможность вывода на дисплей оперативной информации о функционировании брикетного комплекса в виде таблиц и графиков (таблица 4.4 и рисунок 4.11).

Таблица 4.4 – Оперативная информация функционирования комплекса

Code	Время	Температура в топке, °C	Температура отходящих газов, °C	Температура воздуха, °C	Температура на входе в СК, °C	Температура на выходе из СК, °C
1	0:00:03	718	400	-16,6	321	48
2	0:00:08	714	398	-16,6	320	48
3	0:00:13	710	396	-16,6	319	48
4	0:00:18	706	394	-16,6	317	48
5	0:00:23	702	392	-16,6	317	48
6	0:00:28	699	390	-16,6	316	48
7	0:00:33	696	387	-16,6	315	48
8	0:00:38	692	385	-16,6	314	48
9	0:00:43	691	383	-16,6	314	48
10	0:00:48	688	381	-16,6	313	48
11	0:00:53	687	378	-16,6	313	48
12	0:00:58	687	377	-16,6	313	48
13	0:01:03	687	377	-16,6	313	48
14	0:01:08	686	374	-16,6	311	47
15	0:01:13	680	372	-16,6	311	47
16	0:01:18	678	371	-16,6	311	47

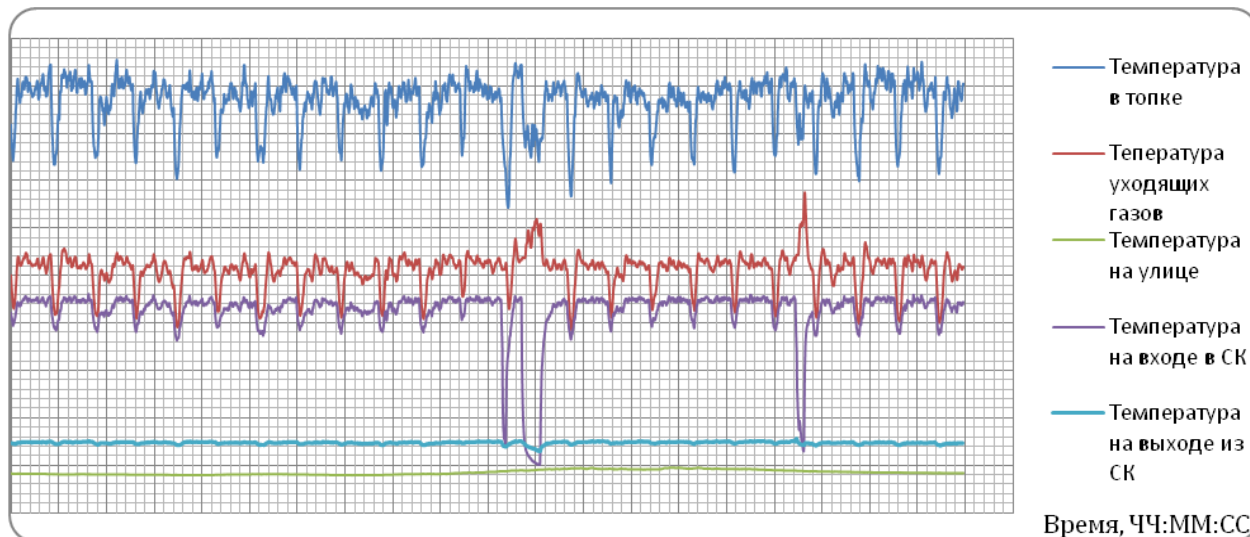


Рисунок 4.11 – Графики оперативной информации функционирования комплекса

Полный расчет экономической обоснованности применения брикетного комплекса представлен в приложении 1. На основе анализа опытно-промышленной эксплуатации брикетного комплекса получена структура себестоимости и производственных затрат (рисунок 4.12).

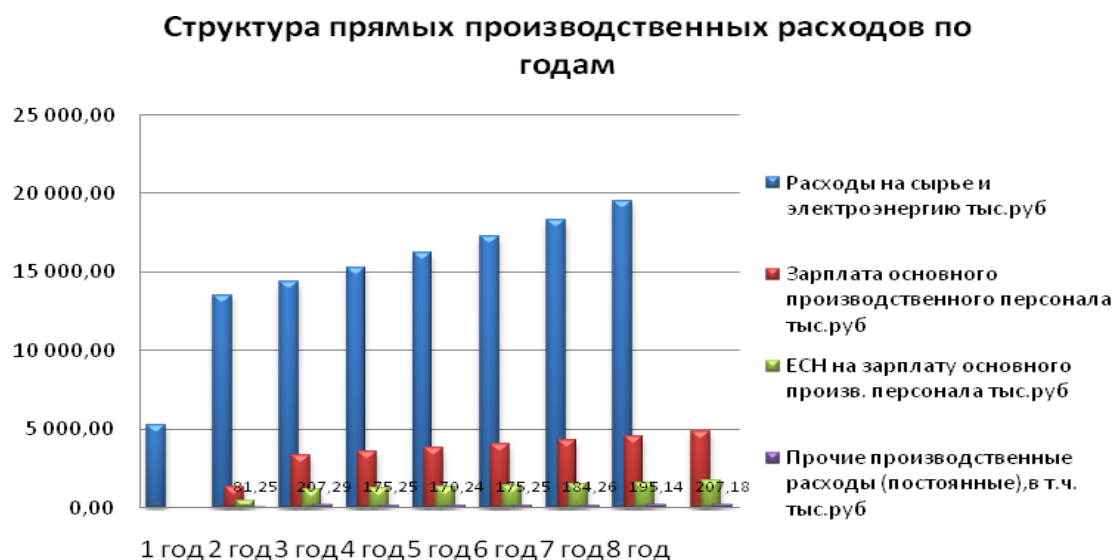


Рисунок 4.12 – Структура производственных расходов при получении брикетов

4.2 Эксплуатационные показатели торфяного топлива и эффективность его использования

Торфяные топливные брикеты, выпускаемые ранее на отечественных штемпельных прессах, представляли куски правильной формы в виде призмы с закругленными углами.

Влажность продукции изменялась в пределах 11-18 %, зольность до 15 %, прочность на изгиб плашмя составляет 2,5-4,0 МПа, и на ребро 4-6 МПа, влагоемкость за 0,5 ч пребывания в воде с температурой 20 °С равна 30-50 %, плотность в навале 700 кг/м³ и в укладке 950 кг/м³, теплота сгорания при влажности 15 % и зольности 11 % примерно равна 15,8 МДж/кг. При ограниченных запасах торфа в виде исключения допускается производство брикетов зольностью до 23 %.

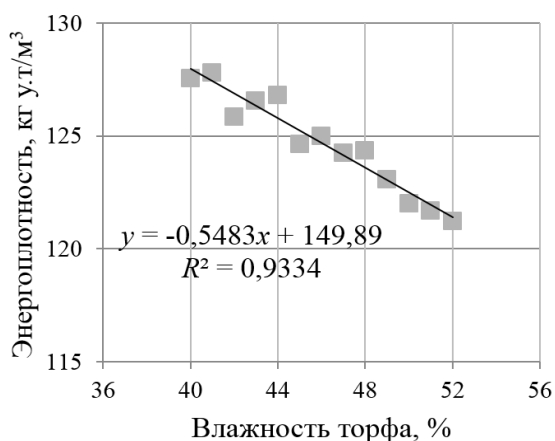
В европейских стандартах качества используется наряду с теплотой сгорания понятие энергоплотности, выражаемое в единицах энергии, заключенной в кубическом метре насыпного топлива [127]. Понятие энергоплотности используют для характеристики брикетов [128].

Энергоплотность торфяных брикетов при проведении энерго-экологического анализа процессов добычи и переработки торфа целесообразно измерять в кг у.т./м³. Это позволит оценивать энергоэффективность технологических операций отношением приращения энергоплотности получаемого топлива к технологическому топливному числу данной операции.

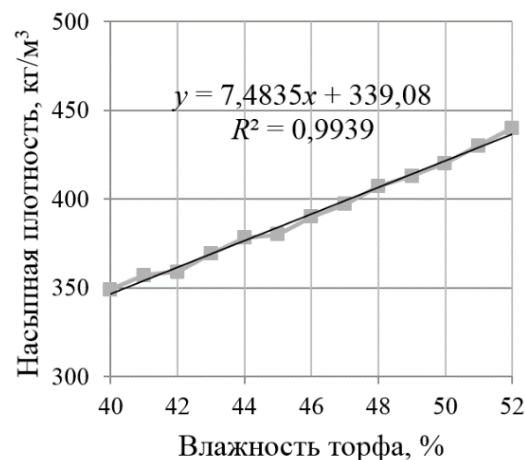
Проведенные комплексные исследования позволили определить основные качественные показатели торфяного топлива, получаемого с использованием разработанного оборудования и выполнить оценку энергоэффективности предлагаемых технологических операций производства брикетов и гранул. Результаты исследований приведены в таблице 4.5 и на рисунках 4.13 и 4.14.

Таблица 4.5 – Качественные показатели торфяного топлива

Наименование показателя	Единицы измерения	Значения
<u>Исходное сырье: Торф низинный</u>		
Влажность на входе в сушилку	%	47
Зольность	%	7
Насыпная плотность фрезерного торфа	кг/м ³	397
Энергоплотность	МДж/м ³	3509,5
Энергоплотность	кг у.т. / м ³	119,6
<u>Характеристика брикета</u>		
Диаметр	мм	78
Длина	мм	35-80
Влажность брикетов	%	16
Плотность	кг/м ³	920-1095
Прочность брикета на сжатие	МПа	25,7
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	17,2
Насыпная плотность	кг/м ³	750
Энергоплотность	МВт·ч/м ³	3,583
Энергоплотность	кг у.т. / м ³	439,8
Отношение приращение энергоплотности к ТТЧ		3,07
<u>Характеристика гранул</u>		
Длина, l_{cp}	мм	22,14
Высота, h_{cp}	мм	7,15
Плотность гранул	кг/м ³	920-1095
Насыпная плотность	кг/м ³	790
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	17,2
Энергоплотность	МВт·ч/м ³	3,774
Энергоплотность	кг у.т. / м ³	463,2
Отношение приращение энергоплотности к ТТЧ		3,29



а)



б)

Рисунок 4.13 – Зависимость энергоплотности (а) и насыпной плотности (б) фрезерного торфа от влажности

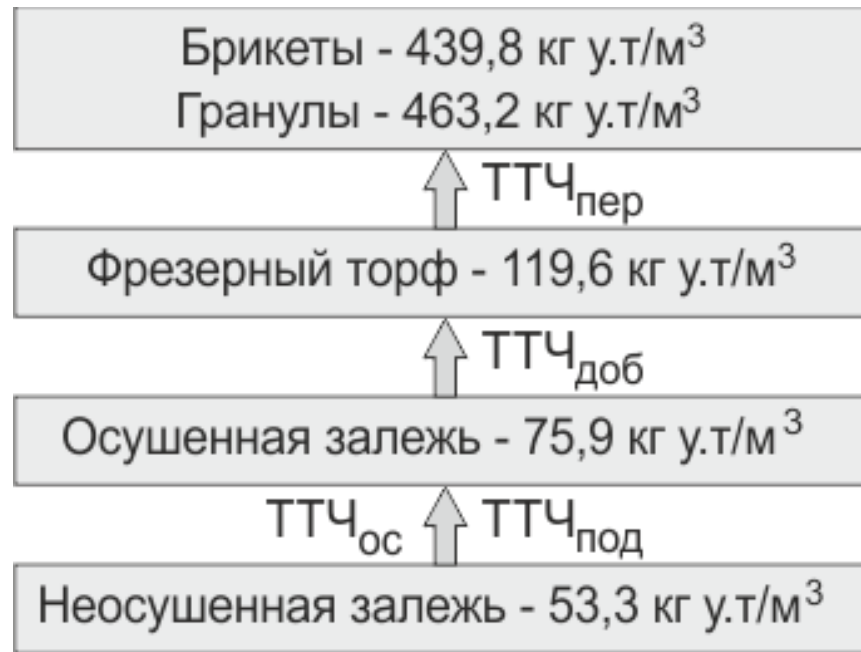


Рисунок 4.14 – Изменение энергоплотности торфа в процессе добычи и термомеханической переработки

Общий вид торфяного топлива: брикетов и пеллет представлен на рисунке 4.15.

а)



б)



Рисунок 4.15 – Торфяные топливные брикеты (а), гранулы (б), полученные путем дробления брикетов

На рисунке 4.16 приведены зависимость прочности на сжатие от плотности брикетов.

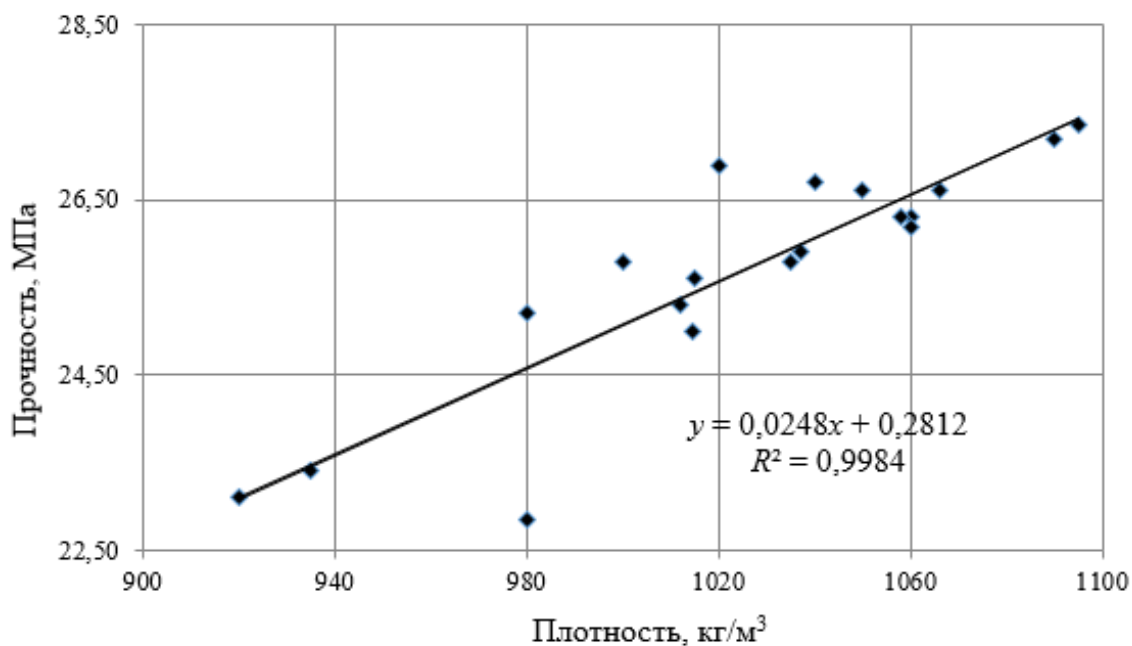


Рисунок 4.16 – Зависимость прочности на сжатие от плотности брикетов

Брикетный комплекс обеспечивает получение инновационного продукта в виде гранул, полученных путем дробления торфяных брикетов.

В таблице 4.6 приведены статистические характеристики некоторых качественных показателей брикетов.

Таблица 4.6 – Статистические характеристики плотности и прочности брикетов

Статистические характеристики	Плотность, кг/м³	Прочность, МПа
Среднее	1025	25,7
Стандартная ошибка	11	0,3
Медиана	1036	26,1
Мода	980	26,6
Стандартное отклонение	48	1,4
Дисперсия выборки	2328	1,8
Эксцесс	0	0,3
Асимметричность	-1	-1,1
Минимум	920	22,8
Максимум	1095	27,4
Уровень надежности (95,0%)	24	0,7

Работа разрушения брикета зависит от прочности образца, удельной энергии, необходимой для образования новой поверхности, и модуля упругости разрушаемого тела.

Одно из важнейших преимуществ гранул — высокая и постоянная насыпная плотность. Благодаря правильной форме, небольшому размеру и однородности гранулы можно пересыпать через специальные рукава, что позволяет автоматизировать процессы погрузки-разгрузки, а также сжигания этого вида топлива при подаче в топку котла шнековым питателем.

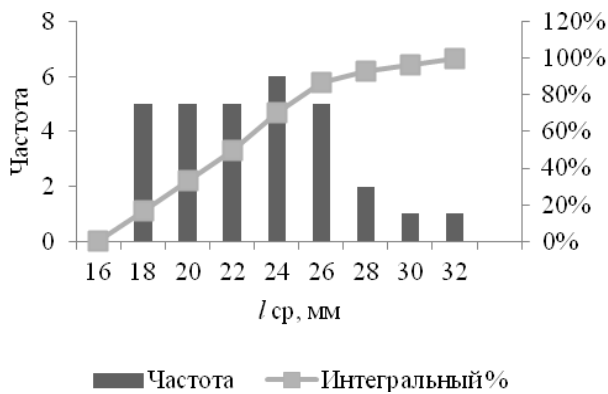
Важную роль при сжигании гранул имеют геометрические характеристики слоя топлива, таким характеристикам относятся (рисунок 4.17 и таблица 4.7):

Таблица 4.7 – Геометрические характеристики топливных гранул

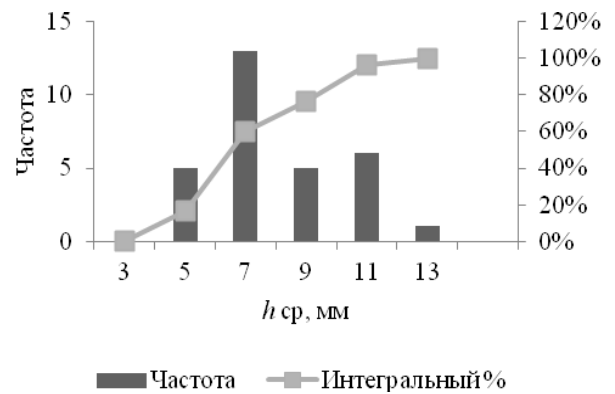
Статистические характеристики	Длина, мм	Высота, мм	Масса, г	Площадь F , см ²	F/m , см ² /г
Среднее	22,14	7,150	2,742	11,974	5,037
Стандартная ошибка	0,702	0,399	0,261	0,712	0,203
Медиана	22,15	6,850	2,560	11,476	4,698
Мода	25,5	5,750	1,530	8,666	5,879
Стандартное отклонение	3,844	2,187	1,430	3,902	1,111
Дисперсия выборки	14,779	4,784	2,045	15,227	1,233
Эксцесс	0,216	-0,968	2,322	2,322	1,249
Асимметричность	0,384	0,304	1,371	1,371	1,274
Интервал	17,5	7,300	6,290	17,165	4,476
Минимум	14,5	3,700	0,880	6,892	3,571
Максимум	32	11,000	7,170	24,057	8,047
Уровень надежности (95,0%)	1,435	0,817	0,534	1,457	0,415

Площадь поверхности частиц непосредственно связана с «топографией» поверхности и пористостью. Она измеряется в квадратных метрах на грамм наполнителя и может варьироваться от долей м²/г до сотен м²/г.

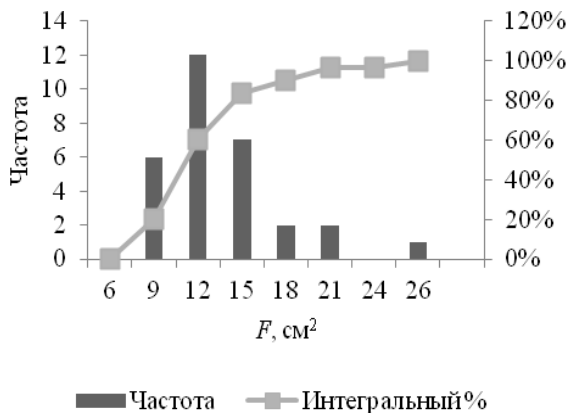
а)



б)



в)



г)

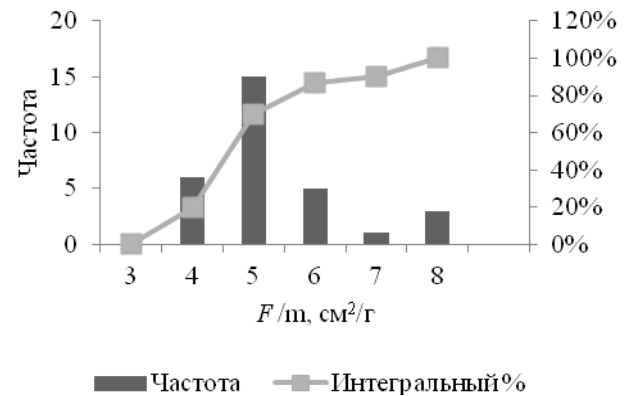


Рисунок 4.17 – Диаграммы геометрических характеристик топливных гранул:
 а и б – линейные размеры (горизонтальные и вертикальные); в – площадь
 поверхности гранул; г – площадь удельной поверхности гранул.

Из важнейших преимуществ гранул — высокая и постоянная насыпная плотность, позволяющая относительно легко транспортировать этот сыпучий товар на большие расстояния. Благодаря правильной форме, небольшому размеру и однородной консистенции товара гранулы можно пересыпать через специальные рукава, что позволяет автоматизировать процессы погрузки-разгрузки и также сжигания этого вида топлива.

Проведено более 40 тестовых испытаний *эффективности использования торфяных брикетов при сжигании в котельных*. Сравнительные испытания по

сжиганию каменного угля и торфяного брикета проведены на отопительных котельных г. Юрьев-Польский (Владимирская область), с. Шогринское (Свердловская область), пос. Молоково и г. Весьегонск (Тверская область).

Целью проведения на одном котловом агрегате опытного сжигания каменного угля, используемого в качестве основного топлива, и торфяного брикета, является определение технико-экономических показателей сжигания двух видов топлива и их сравнительного анализа.

В результате проведенных опытно-промышленных испытаний определено: количество выработанной тепловой энергии, КПД котельного агрегата, тепловые потери котла и удельные расходы условного и натурального топлива затраты на электроэнергию при работе котельного агрегата на каждом из видов топлива.

Качественные показатели угля и торфяных брикетов определены в аттестованной лаборатории физико-химических и технологических исследований Испытательного Центра ФГУП «ВУХИН и исследовательской лаборатории «INCOLAB SERVICES RUSSIA S.C.» (таблица 4.8).

Таблица 4.8 – Характеристики каменного угля и торфяного брикета

Параметры	Каменный уголь	Торфяной брикет
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	18,86	17,18
Влажность, %	12,7	13,52
Зольность, %	13,9	5,18
Массовая доля серы, %	0,31	0,15
Геометрические характеристики топлива	Рядовой	Ø 78 мм
Стоимость, руб.	2910	3050

Приборы, использовавшиеся для проведения измерений: Газоанализатор TESTO 340, Пирометр TESTO 845, тепловизор TESTO 881-2 и расходомер АКРОН-01. В ходе проведения испытаний проводились измерение массы загружаемого топлива и определялись параметры котлоагрегата: температура воды в прямом трубопроводе ($T_{пр.}$, °С); температура воды в обратном трубопроводе ($T_{обр.}$, °С); давление воды в прямом трубопроводе ($P_{пр.}$, МПа); – давление воды в обратном трубопроводе ($P_{обр.}$, МПа); – расход воды через котел

трубопроводе ($G_{\text{в}}, \text{м}^3/\text{ч}$). – температура отходящих газов ($T_{\text{от}}, ^\circ\text{C}$); – состав отходящих газов ($\text{O}_2, \text{CO}, \text{CO}_2, \text{NO}_x$)., а также расход электроэнергии, анализ дымовых газов и определение КПД котельного агрегата методом обратного баланса.

При полном сгорании топлива коэффициент избытка воздуха рассчитывался по отношению к азоту воздуха, израсходованному на сжигание топлива. КПД котельного агрегата определялся, как отношение количества выработанной и полученной при сжигании топлива теплоты.

На основании полученных данных произведен расчет основных параметров (таблица 4.9) [128-129].

Таблица 4.9 – Сводная таблица результатов проведения тестовых испытаний

№ п/п	Параметры	Каменный уголь	Торфяной брикет
1	Масса топлива, загруженного в топку котла, кг	1506,6	1447,9
2	Выработанная тепловая энергия за время проведения испытаний, кВт·ч	3632,2	4220,0
3	Масса золы и шлака (кг), выгруженной из топки и подколосниковой зоны, (%)	282,0 (18,72)	86,9 (6,00)
4	Средняя часовая мощность котла, кВт	403,6	468,9
5	КПД котельного агрегата по обратному балансу, %	35,33	61,08
6	Потери теплоты с уходящими газами, %	39,87	30,65
7	Потери теплоты с химическим недожогом, %	22,75	6,50
8	Потери теплоты в окружающую среду, %	2,05	1,77
9	Средняя температура уходящих газов, $^\circ\text{C}$	88,36	92,90
10	Коэффициент избытка воздуха, α	10,10	7,47
11	Масса топлива для выработки 1 Гкал тепла, кг	482,3	399,0
12	Стоимость 1 Гкал выработанного тепла (топливная составляющая), руб.	1403,55	1216,95
13	Стоимость 1 т топлива, руб.	2910	3050
14	Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал, кг у.т./Гкал	404,33	233,88
15	Удельный расход натурального топлива на выработку 1 Гкал, кг/Гкал	503,08	396,98

Сравнительные испытания при сжигании каменного угля и торфяного брикета проводились по 9 часов на каждом виде топлива.

При сжигании 1506,6 кг каменного угля образовалось 282 кг золы и шлака, что соответствует 18,7% от общей массы каменного угля, загруженного в топку котла. При сжигании 1447,9 кг торфяного брикета образовалось 86,9 кг золы и шлака, что соответствует 6% от общей массы торфяного брикета, загруженного в топку котла. Средняя часовая мощность котла при сжигании каменного угля составляет 403,6 кВт, что на 14% меньше средней часовой мощности котла при сжигании торфяного брикета.

Коэффициент полезного действия при сжигании каменного угля на котле с П-образным расположением экранных труб составляет 35,3%, при сжигании торфяного брикета 61,1%. Расчет коэффициента полезного действия методом обратного баланса зависит от тепловых потерь. Наибольшими тепловыми потерями являются потери с уходящими газами, которые зависят от температуры уходящих газов и от коэффициента избытка воздуха. Значения коэффициента избытка воздуха при сжигании каменного угля меньше на 26% значения коэффициента избытка воздуха торфяного брикета.

Средняя температура уходящих дымовых газов при сжигании торфяного брикета превосходит среднюю температуру уходящих дымовых газов при сжигании каменного угля на 5%. Расход каменного угля на 1 Гкал выработанной теплоты составляет 482,3 кг, что на 17,3% больше расхода торфяного брикета на 1 Гкал теплоты. Стоимость 1 Гкал выработанного тепла при сжигании каменного угля составляет 1403,55 руб., что на 13,3% выше стоимости 1 Гкал выработанного тепла при сжигании торфяного брикета.

Таким образом, проведенные испытания показали, что сжигание торфяного брикета на котле с П-образным расположением экранных труб эффективнее с точки зрения выработанного и отданного потребителю количества теплоты и экономичнее с точки зрения расхода топлива и стоимости 1 Гкал выработанной тепловой энергии.

На первом этапе реализации инновационных технологических проектов производства коммунально-бытового топлива делается акцент на замену каменного угля, что не представляет серьезных трудностей в технологическом,

ресурсном и финансовом отношении. В зависимости от ситуации на конкретной территории возможна организация производства композиционного топлива на основе торфа.

Торф натуральный органический экологически чистый материал и использование продукции на его основе оказывает относительно низкое техногенное воздействие на природу. Воздействие, оказываемое на окружающую среду в процессе сжигания топлива, зависит от характеристик самого топлива, его химического состава. Характеристики различных видов топлива приведены в таблице 4.10

Таблица 4.10 – Характеристики различных видов топлива

Топливо	Плотность (насыпная масса) т/м ³	Низшая теплота сгорания рабочей массы ккал/кг	Влажн- ость w ^p ,%	Золь- ность A ^p ,%	C ^p ,%	H ^p ,%	N ^p ,%	S ^p ,%	O ^p ,%
Природный газ	0,000733	10900	0	0,0	65,4	32,7	1,6	0,0	0,30
Мазут	0,89	9500	3	0,1	83,3	11,2	0,5	1,4	0,50
Каменный уголь	0,90	5000	10	15,0	59,0	4,0	1,0	1,0	10,00
Бурый уголь	0,80	3800	25	20-40	40,5	3,0	1,0	0,5	10,00
Дрова	0,45	2400	40	1,0	30,3	3,6	0,4	0,0	24,7
Торф, полубрикет	0,6	2560	40	6,6	30,9	3,2	1,3	0,2	17,8

По содержанию серы торф относится к малосернистым топливам (обычно менее 0,3% на горючую массу), что является большим его преимуществом. Сера в торфе может содержаться в виде горючей части и негорючей массы (сульфатные соли) [124,125].

Сжигание топлива приводит к выбросам в атмосферу различных веществ (таблица 4.11). Выбросы могут перемещаться на длинные расстояния воздушными потоками или рассеиваться в воздухе. Запыление атмосферы и парниковые газы (метан, двуокись углерода и др.) как предполагается, способствуют глобальному потеплению климата.

Кроме ряда явных экономических преимуществ торфа как топлива, развитие производства торфяного топлива позволяет резко снизить негативное экологическое воздействие теплоэнергетического комплекса на окружающую среду без использования каких-либо современных средств защиты, а именно: сократить вредные выбросы с дымовыми газами, организовать полное снижение топлива при минимальных выбросах оксида углерода и оксидов азота; организовать переработку отходов промышленных и сельскохозяйственных производств путем их использованием в качестве наполнителя торфяных композиционных материалов многоцелевого назначения; сохранение лесных ресурсов области за счет сокращения их вырубки на топливо (разработка одного га торфяной залежи на топливо позволяет сохранить более 100 га леса).

Таблица 4.11 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при сжигании различных видов органического топлива (кг/т)

Топливо- энергетический ресурс	Твердые частицы	Углеводороды	Оксиды азота
Природный газ	0,05 – 0,20	0,03 – 0,30	5,00 – 20,00
Моторное топливо	2,00 – 8,00	10,00 – 40,00	15,00 – 60,00
Мазут	2,00 – 4,00	0,17 – 1,50	5,00 – 20,00
Уголь	1,00 – 100,00	0,10 – 1,20	5,00 – 20,00
Торф	5,00 – 20,00	0,10 – 0,20	15,00

Выделяют следующие направления мероприятий природоохранного значения при использовании торфяного топлива.

Снижение выбросов серы. Среднее содержание серы в торфе составляет 0,3%. Содержание серы в каменном угле в зависимости от типа залежи составляет 1,5-6,5% (возьмем среднее значение 2,6%). Принимая завышенное соотношение между торфом и углем по теплоте сгорания равное 2 в пользу каменного угля, получаем, что при замене одной тонны каменного угля двумя тоннами торфа снижение выбросов серы в окружающую среду составляет 2,0 кг.

При выполнении данной Программы выбросы серы от котельных Свердловской области должны сократиться более, чем на 2000 т.

Снижение выбросов пыли. Зольность угольного топлива, используемого для сжигания в котельных Свердловской области, колеблется от 10 до 40%. зольность торфа в среднем составляет 5%. Выбросы золы в атмосферу на каждую замененную тонну угля снижаются на 100 кг.

Снижение выбросов оксида азота. Содержание оксидов азота в дымовых газах прямо пропорционально уровню температуры горения соответствующих видов топлива, обеспечивающей практическое отсутствие содержания горючих в топочных шлаках и золе. Данный параметр определяется теплопроизводительностью топлива (теплотой его сгорания) - у торфа он примерно в 2-2,5 раза ниже, чем у каменного угля.

Таблица 4.12 – Параметры дымовых газов котельной 3 МВт на торфяных брикетах 10.10.12.

Показатель	Значение				
Время замеров	11:51:58	12:37:55	13:07:12	13:54:55	14:55:18
% O ₂	10,66	9,03	7,82	10,23	9,95
ппм СО	80	51	54	56	49
ппм NO	219	165	234	215	259
ппм SO ₂	58	85	98	48	63
ппм NO _x	230	173	246	226	272
% CO ₂	9,3	10,77	11,86	9,69	9,94
°С ТГ	133,8	153	154,2	149	140,2
°С ТВ	14	15	15,5	15,8	16,7
% КПД	90,4	90,4	91,2	89,7	90,7
°С Т росы	40,9	43	44,3	41,5	41,9

4.3 Внедрение результатов исследований

Подводя итог выполненной работы можно выделить и обобщить три основных направления внедрения результатов исследования: в промышленности, проектировании и учебном процессе.

В промышленности внедрение осуществлялось поэтапно в зависимости от решаемых технологических задач. Результаты проведенных исследований использованы при создании первого в России модульного автоматизированного модульного завода по производству топлива из торфа – топливных гранул и брикетов (пос. Гусь-Хрустальный Владимирской области).

Расширение использования местных видов топливно-энергетических ресурсов, включая торф, являются одним из приоритетных направлений энергетической стратегии как в России, так и Владимирской области на перспективный период. Технология перевода небольших газовых котельных на местное топливо получает все более широкое распространение по мере роста цен на ископаемое углеводородное топливо. Для региона очень важно, что увеличение использования местных видов топлива предусматривает создание новых рабочих мест, повышает социальный уровень населения, обеспечивает рост налогооблагаемой базы, денежные средства, направляемые на закупку топлива остаются в регионе.

На основании разработанного в регионе и утвержденного Администрацией Владимирской области перечня мер «Комплексное развитие добычи, переработки и использования торфа на территории Владимирской области на период 2011-2016 гг.» во Владимирской области начата реализация Проекта Регионального Биоэнергетического холдинга. Для успешной реализации Проекта была разработана концепция создания регионального биоэнергетического кластера.

Кластерный подход к решению задач развития биоэнергетической отрасли во Владимирской области и реализации региональной целевой Программы позволит повысить надежность и управляемость систем теплоснабжения, повысить эффективность финансовых вложений, получить дополнительный

синергический эффект от развития нового отраслевого кластера в смежных отраслях экономики региона [130].

В состав Владимирского биоэнергетического кластера входят предприятия по: добыче и переработке торфа, инжиниринговые подразделения по разработке и производству специализированного теплового оборудования, компания, осуществляющая эксплуатацию и модернизацию угольных и мазутных котельных путем их перевода на торф. В таблице 4.13 приведены результаты расчета энергосберегающего эффекта от замены традиционного привозного топлива местным торфяным

Таблица 4.13 Расчет энергосберегающего эффекта от замены традиционного привозного топлива местным торфяным

Закупки	2011 2012	2012 2013	2013 2014	2014 2015	2015 2016	ИТОГО
Мазут, млн. руб.	25,418	74,622	153,908	169,066	194,717	
Уголь, млн. руб.	47,595	171,864	341,413	393,493	434,000	
Всего привозного, млн. руб.	73,013	246,486	495,321	562,559	628,717	2 006,097
Торфяной брикет, млн. руб.	56,192	185,021	369,357	407,046	452,274	1 469,889
Экономия, млн. руб.	16,822	61,465	125,965	155,513	176,443	536,208

Необходимо отметить, что потребление угля и мазута рассчитано исходя из предположения, что альтернативным вариантом перевода котельных на местные виды топлива будет их модернизация и установка современных технологий сжигания традиционного топлива. Если произвести расчет эффективности при существующем потреблении угля и мазута (при КПД сжигания не более 50%), то экономический эффект окажется более значительным.

Из приведенного анализа видно, что за пятилетний период реализации Программы ресурсосберегающий экономический эффект (экономия на закупки топлива) составит 536 млн. руб., и к отопительному сезону 2016-2017 годов превысит 200 млн. руб. в год.

В дальнейшем эта тенденция увеличения экономии сохраниться, т.к. темпы повышения цены на традиционные виды топлива будут ежегодно превышать темпы увеличения цены на торф.

На сегодняшний день в рамках региональной программы:

- инвестором вложено 450 млн. руб. в развитие отрасли;
- создано более 120 рабочих мест;
- восстановлена производства топливного торфа в пос. Мезиновский;
- создана технологическая база и новая отраслевая инфраструктура, включая предприятия по производству оборудования для переработки торфа и современного котельного оборудования
- построены и введены в эксплуатацию современные заводы по переработке торфа в торфяные брикеты и пеллеты на энергообъектах пос. Головино, пос. Сойма. Мощность: 600 кВт. Вид топлива: торфяные пеллеты.

Для создания условий привлечения бизнеса к реализации подобных Проектов в регионах могут быть разработаны меры стимулирования и поддержки инвесторов, прозрачные и понятные механизмы реализации региональных Программ. Такими механизмами могут быть: государственно-частное партнерство, налоговые льготы, программы поддержки, финансирование инфраструктурных затрат и многие другие.

Основными целевыми ориентирами и индикаторами реализации кластерного подхода могут быть:

- Повышение энерго- эффективности экономики региона, в том числе жилищно-коммунального сектора;
- Ресурсосбережение – сокращение затрат на закупку топлива;
- Снижение темпов роста тарифов на услуги теплоснабжения для населения и объектов социальной сферы;
- Повышение надежности системы теплоснабжения и качества предоставляемых услуг;
- Оптимизация системы теплоснабжения с учетом специфики системы расселения области;

- Повышение эффективности использования местных природных ресурсов;
- Формирование нового экономического высокотехнологичного кластера;
- Развитие производственного потенциала региона: формирование сектора переработки местных видов топлива, локализация производства оборудования для коммунальной энергетики;
- Создание новых рабочих мест, увеличение налоговых поступлений в бюджеты всех уровней.

Основные планируемые результаты реализации Программы:

- увеличение производства тепловой энергии из местных топливно-энергетических ресурсов до 286 440 МВт/час в год;
- увеличение добычи топливного торфа до 180,0 тыс. т в год;
- увеличение объемов производства улучшенного топлива до 91,0 тыс. т торфяных брикетов (гранул).

Для развития проекта, повышения эффективности работы кластера и выхода на конечный продукт, необходимые инвестиционные вложения:

- Необходимый объем инвестиций – 119 000,0 тыс. руб., в т.ч.
- Внешние ресурсы 100 000,0 тыс. руб.
- Внутренние ресурсы 19 000,0 тыс. руб.
- Простой не дисконтированный срок окупаемости проекта составляет 2,6 года.
- Дисконтированный срок окупаемости при ставке сравнения (дисконтирования) 15% годовых составляет 2,9 года.
- Свободный остаток денежных средств за весь горизонт планирования 147 792,49 тыс. руб.
- Усредненный годовой объем чистой прибыли на протяжении горизонта планирования оценивается на уровне 23 603,84 тыс. руб.
- Чистая текущая стоимость проекта (NPV) при ставке дисконтирования 15% годовых составляет 93 429,49 тыс. рублей. Положительная величина NPV подтверждает целесообразность вложения средств в проект.

– Внутренняя норма прибыли проекта (IRR) составляет 35%.

При проектировании новых производств результаты исследования используются на стадии подготовки технического задания и обоснования технологической схемы на основе решения многовариантных задач с использованием компьютерных технологий проектирования новых предприятий по производству торфяного топлива.

Результаты диссертационного исследования используются в Уральском государственном горном университете на кафедре «Природообустройство» при проведении занятий по учебным дисциплинам: «Возобновляемые источники энергии», для студентов специальности 280402 - «Природоохранное обустройство территорий» и направления 280100 – «Природообустройство и водопользование».

Разделы диссертации, посвященные оптимизации и моделированию новых технологических процессов, используются студентами при проведении научных исследований, результаты которых докладывались на Международной научно-практической конференции «Уральская горная школа – регионам» 2012, 2013 и 2014 годов на секции «Биоэнергетика, экология и рациональное природопользование» [133-134].

Результаты диссертационной работы в период с 2009 по 2014 гг. использовались в дипломных и курсовых работах студентов УГГУ.

В настоящее время многочисленными научно-исследовательскими и проектными организациями разрабатываются и внедряются перспективные технологии производства биотоплива. Спектр свойств торфяного топлива может быть значительно расширен за счет введения различных наполнителей и дальнейшей переработки с получением торфяных композиционных материалов, что подтверждается выполненными исследованиями автора диссертации и другими авторами [135-136].

Тенденции дальнейшего совершенствования технологии и оборудования производства энергоплотного торфяного топлива согласуются с современной тенденцией развития торфяной отрасли, направленной на более глубокую комплексную переработку торфа совместно с другими компонентами.

4.4 Выводы по главе

1. На основе результатов, произведенных экспериментальных и теоретических исследований основных энерготехнологических процессов термомеханической переработки - генерации тепловой энергии при сжигании фрезерного торфяного сырья и его сушки в барабанной сушилке, обоснована принципиальная технологическая схема модульного комплекса по производству брикетов и гранул, сформулированы требования к технологическому оборудованию комплекса.

2. Основным инструментом управления комплексом БКТ-3000 является персональный компьютер, с установленной исполнительной средой Indusoft Web Studio. Графический интерфейс обеспечивает автоматизированное управление технологическими операциями, учитывающая возможные изменения качественных показателей сырья. Установлена зависимость ТТЧ искусственной сушки от влажности фрезерного торфа при постоянном расходе сырья на генерацию тепла и при постоянной температуре агента сушки.

3. Предлагаемые технические и технологические разработки обеспечивают энергоэффективность схемы автоматизированного модульного комплекса за счет снижения удельных затрат на электроэнергию, которые в пересчете на ТТЧэ составляют 9,60 кг у.т. / т, в то время как для существующих технологий ТТЧэ составляет 12,3 в кг у.т. / т.

4. В технологическую схему завода дополнительно включается блок производства топливных гранул, производительностью до 1,5 т/ч. На одну тонну гранул, получаемых путем измельчения брикетов, расходуется 2,4-2,6 кВт·ч электроэнергии. Для предлагаемой технологии отношение приращение энергоплотности к ТТЧ производства брикета составило 3,07, а при производстве гранул - 3,29.

5. Установлены зависимости насыпной плотности и энергоплотности фрезерного торфа, используемого в качестве сырья, от его влажности, зависимость прочности брикетов от их плотности, определены теплота сгорания и энергоплотность брикетов и гранул.

6. В производственных условиях проведены тестовые испытания по сравнительному сжиганию каменного угля и торфяных брикетов.

7. Результаты научно-исследовательских разработок внедрены в учебный процесс подготовки специалистов, в практику проектирования и в промышленное производство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных исследований изложены новые научно обоснованные технические и технологические разработки, обеспечивающие создание энергосберегающей технологической схемы автоматизированного модульного комплекса по производству окускованного торфяного топлива за счет сбалансированного подбора свойств исходного сырья, рационального выбора энерготехнологических операций и способов регулирования процесса сушки. Предлагаемые разработки имеют существенное значение для развития топливно-энергетического комплекса страны. Полученные научные и практические результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработан алгоритм поэтапной оценки энергоэффективности добычи и переработки торфяного сырья с учетом материальных и энергетических потоков на основе сквозного анализа энергоемкости трансформационных процессов переработки путем минимизации технологического топливного числа ТТЧ, представляющего затраты всех видов энергии во всех переделах технологического процесса и выраженного в килограммах условного топлива на единицу продукции.

2. Теоретически обоснован метод оценки энергоэффективности технологических операций получения торфяного топлива отношением приращения энергоплотности получаемого топлива к технологическому топливному числу операции. Для предлагаемой технологии отношение приращения энергоплотности к ТТЧ производства брикета составило 3,07, а при производстве гранул - 3,29. Энергоэффективность схемы автоматизированного модульного комплекса за счет снижения удельных затрат на электроэнергию в пересчете на ТТЧэ составляет 9,60 кг у.т. / т, по сравнению с ТТЧэ существующих технологий - 12,3 кг у.т. / т.

3. При производстве композиционного топлива сбалансированный подбор свойств торфяного сырья и наполнителя осуществляется на основе

математической модели многокомпонентной шихты, позволяющей оптимизировать состав шихты с использованием метода линейного программирования, а система производства и потребления торфяного топлива представляется в виде полного графа производства при расчете технологического топливно-экологического числа ТТЭЧ продукции, представляющего сумму двух чисел: технологического топливного числа ТТЧ и технологического экологического числа ТЭЧ.

4. Разработана методика и алгоритм расчета ТТЧ на основе анализа теплового и материального балансов цикла полевого производства фрезерного торфа.

5. Обоснована принципиальная энергоэффективная технологическая схема модульного брикетного комплекса и автоматизированная система управления технологическими операциями производства брикетов и гранул. Установлена зависимость ТТЧ искусственной сушки от влажности фрезерного торфа при двух режимах управления: при постоянном расходе сырья на генерацию тепла и при постоянной температуре агента сушки.

6. Разработана инновационная технология измельчения брикетов для производства топливных гранул производительностью до 1,5 т/ч и удельной энергоемкостью 2,4-2,6 кВт·ч.

7. Опытными промышленными испытаниями доказана экономическая эффективность использования окускованного торфяного топлива с точки зрения выработанного и отданного потребителю количества теплоты, расхода топлива и стоимости выработанной тепловой энергии.

8. Результаты научно-исследовательских разработок внедрены в учебный процесс подготовки специалистов, в практику проектирования и в промышленное производство.

Список литературы

1. Александров Б.М. Физико-технические основы круглогодовой добычи торфа для комплексной переработки. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Мн., 1988. 41 с.
2. Афанасьев А.Е. Физические процессы тепло-массопереноса и структурообразования в технологии торфяного производства. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Калинин, 1984. 40 с.
3. Базин Е.Т. Физические и технологические основы осушения и комплексного использования торфяных месторождений: дис. ... д-ра техн. наук. Калинин, 1988. 51 с.
4. Булышко М.Г., Петровский Е.Е. Технология торфобрикетного производства. М.: Недра, 1968. 312 с.
5. Белькевич П.И., Гайдук К.А., Трубилко Э.В. и др. О возможности получения металлоуглеродных катализаторов на основе модифицированных торфов // Химия твердого топлива. 1982. № 6. С. 112-115.
6. Богатов Б.А. Моделирование и оптимизация процессов брикетного производства. М.: Недра, 1976. 184 с.
7. Гамаюнов Н.И. Тепло - и массоперенос в торфяных системах: дис. ... д-ра техн. наук. Калинин, 1967. 665 с.
8. Гатих М.А. Физико-технические основы системы контроля и регулирования технологических процессов торфобрикетного производства: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Мн., 1980. 34 с.
9. Дмитриев Г.А., Наумович Т.В. Автоматизация процесса сушки верхового торфа низкой степени разложения в виброкипящем слое // Торф, его свойства и перспектива применения: Международный симпозиум IV и II комиссий НТО. Минск. 1982. С. 490-494.
10. Корчунов С.С. Зависимость механической прочности торфа и других грубодисперсных систем от влажности // Торф. пром-сть. 1948. № 3. С. 16.

11. Кислов Н.В. Разработка принципов перемещения измельченного торфа воздушным потоком в торфяном производстве. Автореф. дис. д-ра техн. наук. Мн., 1982. 44 с.
12. Кужман Г.И. Теоретические основы и процесс получения мелкокускового торфяного топлива для энергогазохимического использования. Ленинград: Госэнергоиздат, 1961. 304 с.
13. Ларгин И.Ф., Базин Е.Т., Косов В.И. Особенности водно-физических и физико-механических свойств торфяной залежи месторождения Уломское I // Торф. пром-сть. 1982. № 2. С. 11-14.
14. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. Мн.: Наука и техника, 1975. 320 с.
15. Лазарев А.В., Покаместов В.В. Технология и механизация ремонта торфяных эксплуатационных площадей. М.: Недра, 1970. 159 с.
16. Малков Л.М. Основы методики расчета и пути улучшения технологических показателей сезонной добычи торфа. Автореф. дис. д-ра техн. наук. Калинин, 1973. 45 с.
17. Гамаюнов С.Н., Мисников О.С., Пухова О.В. Перспективные направления использования продукции на основе гранулированного торфа // Горный журнал, 1999. № 10. С. 41-44.
18. Афанасьев А.Е., Мисников О.С. Структурообразовательные процессы в технологиях производства продукции на основе природных органоминеральных материалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Академия горных наук, 2000. № 11. С. 145-150.
19. Селеннов В.Г., Михайлов А.В. Торф в малой энергетике // Академия энергетике, №1 (27), 2009. С. 48-56.
20. Михайлов, А.В. Торфяное топливо - проблемы и перспективы / А.В. Михайлов // Торф и бизнес. 2009. № 1. С.12.
21. Наумович В.М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов. М.: Недра, 1971. 280 с.

22. Раковский В.Е., Пигулевская Л.В. Химия и генезис торфа. М.: Недра, 1978. 230 с.
23. Солопов С.Г. Физико-механические основы получения формованного торфяного брикета (мелкокускового) торфа // Торф. пром-сть. 1971. № 11. С.14-17.
24. Терентьев А.А. Исследования структуры торфа / А.А. Терентьев, В.И. Суворов. - Мн.: Наука и техника, 1980. 92 с.
25. Косов В.И. Системные принципы разработки ресурсосберегающих технологий в торфяном производстве: Автореф. дис. д-ра техн. наук. Тверь, 1991. 44 с.
26. Терентьев А.А. Управление структурообразованием в торфяных системах при получении бытового топлива. Автореф. дис. д-ра техн. наук. Мн., 1989. 46 с.
27. Лиштван И.И., Базин Е.Т., Косов В.И. Физические свойства торфа и торфяных залежей. Мн.: Наука и техника, 1985. 240 с.
28. Маркку Мякела. Торф – приемлемое топливо с точки зрения влияния на климат. Торф и бизнес № 3(9). 2007. С. 4-5.
29. U.S. Geological Survey, 2014, Mineral commodity summaries 2014: U.S. Geological Survey, 196 p.
30. Плаkitкина Л.С., Апухтин П.А. Добыча торфа в России и мире: Анализ развития торфяной промышленности в России и мире в период с 2000 по 2009 годы// Горная Промышленность, №1 (95), 2011. С. 4-13.
31. Peat for fuel use, production (thousand metric tons) - for all countries. URL:<http://www.factfish.com/statistic/peat,%20production> (дата обращения: 27.06.2014)
32. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года // Прил. к обществ.-дел. журн. "Энергетическая политика". – М.: ГУ ИЭС, 2010. 184 с.
33. World Energy Resources: 2013 Survey. URL:http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/10/WER_2013_6_Peat.pdf (дата обращения 27.06.2014).

34. Назаров А.К., Оспенникова Л.А., Ямпольский А.Л. Об оценках запасов торфа Российской Федерации// Торф и бизнес, №4 (6), 2006. С. 8-11.
35. Гордон Коуч. Топливный торф - мировые ресурсы и их использование. Материалы Международного энергетического агентства исследований угля. Лондон, Великобритания, IEAC/56, 1993. 257 с.
36. Михайлов А.В., Селеннов В.Г. Торфяная промышленность России // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 9 С. 22-28.]
37. Михайлов А.В. Торфяное топливо и распределенная энергетика / Сб. тр. XII междунар. научно-практ. конфер. «Научная дискуссия: инновации в современном мире» – М.: Изд. «Международный центр науки и образования», 2013. С.15-19.
38. Михайлов А.В., Большунов А.В. Торфяное окускованное топливо для распределенной энергетике/ Тр. 11-ой межд. научно-практ. конфер. Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения. Воркутинский горный институт. – Воркута, 2013. С. 444-447.
39. Наумович В.М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов. М.: Недра, 1971. 222 с.
40. Зверев Д.П. Пути усовершенствования торфобрикетного производства//Труды ВНИИТП, Вып. XXII, Л.: Недра, 1964. С.3-11.
41. Лазарев А.В., Лыкин Б.Г., Демьянов Е.С. и др. Технология производства торфяных брикетов. М.: Недра, 1986. 264 с.
42. Гребенников Д.И., Лыкин Б.Г., Шилов Д.И. О создании блочного мини-завода по производству торфяных брикетов // Торф и бизнес. 2006. № 1(3). С. 10-15.
43. Сорокин Р.Н. Разработка и реализация региональных программ по развитию потребления местных топливно-энергетических ресурсов (торфа) – один из реальных путей развития торфяной отрасли // Торф и Бизнес. № 1(15). 2009. С. 24.

44. ГОСТ Р 54248—2010. Брикеты и пеллеты (гранулы) торфяные для коммунально-бытовых нужд. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 8 с.

45. Суворов В.И., Соловьев Н.Л. Производство коммунально-бытового топлива (КБТ) на основе торфа в Весьегонском, Сандовском и Молоковском районах Тверской области // Торф и бизнес. № 4(18). 2009. С. 21-24.

46. Люндышев А. Р. Выбор смазок пресс-инструмента при производстве торфяных топливных брикетов / А. Р. Люндышев, А. М. Кудряшов // Сборник: Физика процессов торфяного производства. Калинин, 1983. С. 151-154.

47. Литвинов В. Е. Производство торфоугольных брикетов на торфобрикетном заводе Березинский / В. Е. Литвинов, Б. И. Гаврис, Р. К. Мойса, Н. П. Марук // Торф. Пром-сть. 1988. № 3. С. 9-10.

48. Богатов Б.А., Поликарпова Н.Н., Медведь Т.С. Биологически активные вещества и топливные брикеты из отходов гидролизного производства // Торф. пром-сть. 1989. №5. С. 10-12.

49. Топливные брикеты из смеси органогенных материалов / Б.А. Богатов, Г.А. Куптель, А.И. Яковец, В.И. Сенкевич // Торфяная пром-сть. 1989. №3. С. 24-26.

50. Терентьев А.А., Битюков Н.Н., Павлович И.Г. Топливные углеводородные дисперсии на основе торфа // Физикохимия торфа и сапропеля, проблемы их переработки и комплексного использования. Материалы VII Международной научно-технической конференции. Ч. I., Тверь, 1994. С. 129.

51. Трошкина О.И. Использование отходов при производстве торфяных брикетов // Торф. пром-сть: Экспресс-информ./ ЦБНТИ Минтоппрома РСФСР.- 1988. №11. 20 с.

52. Гревцев Н.В., Тяботов И.А., Верхотуров И.М. Выбор оптимальных условий структурообразования многокомпонентных полидисперсных органо-минеральных систем при получении новых композиционных материалов. Материалы Уральской горнопромышленной декады. Екатеринбург. 2006. С.447

53. Необходимость энергии. Энергобаланс [Электронный ресурс] // информ.-справочный портал. Липецк, 2010. URL: <http://www.energybalance.ru/stati-4.html> (дата обращения: 22.07.2014)
54. Смольянинов С.И., Маслов С.Г. Термобрикети́рование торфа. Томск: Томский университет, 1975. 108 с.
55. Терентьев А.А., Битюков Н.Н., Павлович И.Г. Топливные углеводородные дисперсии на основе торфа // Физикохимия торфа и сапропеля, проблемы их переработки и комплексного использования. Материалы VII Международной научно-технической конференции. Ч.I., Тверь, 1994. С. 129.
56. Наумович В.М. Теоретические основы процесса брикетирования. Мн.: АН БССР, 1960. 204 с.
57. Равич Б.М. Брикетирование руд. М.: Недра, 1982. 180 с.
58. Гревцев Н.В. Производство торфяных композиционных материалов // Известия вузов. Горный журнал. 1996. №5-6. С.116-121.
59. Справочник по торфу / Под ред. Лазарева А.В. и Корчунова С.С. М., Недра, 1982. 760 с.
60. Глущенко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых. М., 1995. 356 с.
61. Белькевич П.И., Томсон А.Э., Гайдук К.А. и др. Исследование структуры преобразований органического вещества в процессе термической деструкции методом ЭМР // Химия твердого топлива. 1986. № 6. С. 18-21.
62. Получение гранулированного торфа формованием с подогревом и последующим окатыванием/ Б.А. Богатов, Г.А. Куптель, Ф.Г. Халявкин, Н.Н. Семенович // Машины и технология торфяного производства. Мн.: Высшая школа, 1985. № 14. С. 23-26.
63. Дубовиков Л.С. Исследование процесса термической подготовки торфа при термобрикети́ровании // Технология и комплексная механизация торфяного пр-ва. Калинин: КГУ, 1985. С. 12-17.

64. Журавлев А.В. Физико-технологические основы повышения эффективности производства формованной торфяной продукции в условиях Урала. Автореф. дис. д-ра техн. наук. Тверь, 1993. 40 с.
65. Журавлев А.В. Термомундштук для формования // Торф. пром-сть. 1984. № 10. С. 5-6.
66. Люндышев А.Р., Кудряшов А.М. Выбор смазок пресс-инструмента при производстве торфяных топливных брикетов // Физика процессов торфяного производства. Сб. таучн. тр. Калинин, 1983. С. 151-154.
67. Терентьев А.А., Суворов В.И. Исследования структуры торфа. Мн: Наука и техника, 1980. 96 с.
68. Лиштван И.И., Терентьев А.А., Базин Е.Т., Головач А.А. Физико-химические основы технологии торфяного производства. Мн.: Наука и техника, 1983. 232 с.
69. Елишевич А.Т. Брикетирование полезных ископаемых. Киев: Лыбидь, 1990. 296 с.
70. Перспективы развития новых технологий добычи торфа / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, А.В. Большунов, Д.О. Нагорнов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2010. № 9. С. 189-194.
71. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, А.В. Большунов, Э.А. Кремчеев, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 4. С. 59-63.
72. Михайлов А.В. Епифанцев К.В. Применение шнекового экструдера в грануляторах для малой энергетики // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 2. С.102-109.
73. Патент РФ N 2017788, МКИ⁵ С 10 F 7/06. Способ производства топливного кускового торфа / Н.В.Гревцев, И.А.Тяботов, А.Г.Студенок.- Оpubл. 15.08.94, Бюл. №15.
74. Применение низкотемпературного термолиза для газификации твердых топлив/ А.Е. Афанасьев, Э.М. Сульман, А.Е. Усанов, О.С. Мисников // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: МГГУ, 2002. N9. С. 154-157.

75. Производство торфяных брикетов с применением смазки поверхностей пресс-форм/ О.А. Цепляев, А.Р. Люндышев, А.М. Кудряшов и др. // Торф. пром-сть. 1976. №4. С.15-18.

76. Структурообразование торфяных систем, модифицированных неионогенными ПАВ/ А.А. Терентьев, В.М. Некрашевич, А.И. Некрашевич и др. // Торф. пром-сть. 1987. №1. С. 28-30.

77. Суворов В.И., Соловьев Н.Л. Результаты исследования влияния химических добавок на свойства кускового торфа // Исследование физико-механических свойств торфа: сб. научных трудов. 1991. № 66. С. 152-157.

78. Холодинская Е.Н., Терентьев А.А. Влияние механо-химической активации на физико-механические свойства торфоугольных композиций // Физико-химия торфа и сапропеля, проблемы их переработки и комплексного использования: материалы VII Международной научно-технической конференции. Тверь, 1994. Ч.I. С. 130.

79. Давыдик И.И., Борисейко В.В., Кислов Н.В. Применение ультразвуковых колебаний при прессовании торфа // Торф. пром-сть. 1976. №10. С. 12-13.

80. Васильев В.И., Матвеев В.А. Прессование предварительно уплотненной сушенки с замещением газовой фазы торфа водяным паром // Торф. пром-сть. 1970. №9. С. 11-13.

81. Паремский В.Б., Терентьев А.А. Исследование влияния ПАВ на дисперсность и энергозатраты при переработке торфа // Машины и технология торфяного производства. Мн.: 1980. С. 113-120.

82. Цыпляев О.А. Прессование торфа под вакуумом // Торф.пром-сть. 1963. №6. С. 15.

83. Энерго-экологический анализ, программное обеспечение и снижение эколого-экономического ущерба: учебное пособие / Лисиенко В.Г., Дружинина О.Г., Зобнин Б.Б. и др. - Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 310 с.

84. Кремчеев Э.А., Михайлов А.В., Нагорнов Д.О. Принципы построения транспортного модуля торфяного предприятия с карьерной технологией добычи // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №7. С. 75-81.

85. Гревцев Н. В. Научные основы технологии торфяных композиционных материалов: дис. ... доктора технических наук: 05.15.05 / Уральская гос. горно-геологическая акад. - Екатеринбург, 1998. 459 с.

86. Михайлов А.В., Кремчеев Э.А., Нагорнов Д.О. Механизация добычи торфа из неосушенной залежи // Записки Горного института. 2012. Т. 196. С. 256-260.

87. Косов В.И. Системные принципы разработки ресурсосберегающих технологий в торфяном производстве. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Тверь, 1991.

88. Гревцев Н.В., Тяботов И.А., Горбунов А.В. Обоснование энерготехнологических способов обеспечения заданного качества торфяных композиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. №7. С. 123-131.

89. Shier C. The co-firing challenge: the use of biomass in peat-fired generating stations in Ireland // After Wise Use - The Future of Peatlands. 2008. Vol. 1. P. 133-136

90. Bramer E.A., Brem G. A novel technology for fast pyrolysis of biomass: pyrolysis reactor // Proc. of the Second World Biomass Conference. 2004. P.963-966

91. Экономика природопользования / под ред. М.Н. Игнатьевой; Урал. гос. Горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. 706 с.

92. Ямпольский А.Л. Методика эколого-экономической оценки торфяных болот // Труды Инсторфа. 2010. №2(55). С.3-10.

93. ГОСТ Р - 54097-2010. Ресурсосбережение наилучшие доступные технологии. Методология идентификации. Введ. 2012 - 01 - 01. М.: Стандартиформ, 2011. 13 с.

94. Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning integrated pollution prevention and control. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31996L0061:en:HTML> (дата

обращения 24.09.2014).

95. Directive 2008/1/EC of the European Parliament and of the Council of 15 January 2008 concerning integrated pollution prevention and control. URL: [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:024:0008:0029:en:PDF) OJ:L:2008:024:0008:0029:en:PDF (дата обращения 24.09.2014).

96. Отчеты Проекта ЕС «Гармонизация экологических стандартов II, Российская Федерация» (идентификационный номер EuropeAid/123157/C/SER/RU).

97. Янсен Й. Экономические аспекты (частичной) имплементации директивы ККПЗ в Российской Федерации//Экономические аспекты экологической политики в России: Избранные материалы семинаров Проекта Тасис «Гармонизация нормативных баз в области охраны окружающей среды, Россия». М., 2004. 34 с.

98. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Economics and Cross-Media Effects. July 2006».

99. Сайт Европейского бюро по комплексному предупреждению и контролю загрязнений (EIPPCB) URL: <http://eippcb.jrc.es> (дата обращения 24.09.2014).

100. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван, А.А. Терентьев, Е.Т. Базин, А.А. Головач. Мн.: Наука и техника, 1983. 231 с.

101. Энерготехнологические способы управления качественными показателями торфянных композиционных материалов: научная монография/Н.В. Гревцев, И.А. Тяботов, В.И. Шерстнев, А.В. Горбунов, И.В. Кирсанов, А.Г. Шампароа, Д.Р. Якупов; под ред., Н.В. Гревцева; Урал, гос. горный ун-т.-Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. 112 с.

102. Зюзин Б.Ф., Фомин Д.С. О влиянии физико-механических свойств исходного торфа на процесс механического диспергирования // Труды Инсторфа. 2013. №7(52). С.49-52.

103. Зюзин Б.Ф. Влияние механической переработки на качество кускового торфа // Труды Инсторфа. 2010. №(1)54. С. 52-55.

104. Горбунов А.В. Разработка и обоснование технологии экструзионного брикетирования торфяного и техногенного сырья. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2013. 20 с.
105. Тановицкий И.Г., Обуховский Ю.М. Антропогенные изменения торфяно-болотных комплексов / Под ред. Н.Н. Бамбалова. Мн.: Наука и техника, 1988. 165 с.
106. Lupinovich I.S. // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования. Мн., 1969. С. 34-50.
107. Ларгин И.Ф. Качественные показатели торфяных залежей в зависимости от их гидрологических условий залегания // Природа болот и методы их исследований. Л.: Наука, 1967. С. 120-122.
108. Базин Е.Т., Косов В.И. Физические процессы в торфяных залежах при их осушении и разработке.// Физика процессов торфяного производства, - Калинин: КГУ, 1984. С.9-18.
109. Лисиенко В.Г. Розин С.Е., Щелоков Я.М. Методика расчета и использования технологических топливных чисел // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1987. №2. С. 108-112.
110. Лисиенко В.Г. Дружинина О.Г., Морозова В.А. Методика сквозного энерго-экологического анализа энерготехнологических объектов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1999. №9. С. 61-65.
111. Расчет технологических топливно-экономических чисел цикла производства фрезерного торфа/ Н.В. Гревцев, Р.Н. Сорокин, Л.Н. Олейникова, О.С. Егошина // Экономические, социальные и экологические проблемы горной промышленности Урала: сб. научных ст. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. С. 139-146.
112. Афанасьев А.Е., Чураев Н.В. Оптимизация процессов сушки и структурообразования в технологии торфяного производства. М.: Недра, 1992. 288 с.

113. Технология и комплексная механизация разработки торфяных месторождений/А.Е. Афанасьев, Л.М. Малков, В.И. Смирнов и др. М.: Недра, 1987. 311 с.
114. Антонов В.Я., Малков Л.М., Гамаюнов Н.И. Технология полевой сушки торфа: Учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп./ Под ред. Л.М. Малкова. М.: Недра, 1981. 239 с.
115. Гамаюнов Н.И., Афанасьев А.Е. Процессы тепломассопереноса и структурообразования в торфе // Торф. пром-сть. 1982. №10. С. 20-22.
116. Богатов Б.А. Управление процессом разработки торфяных месторождений. Минск: Вышэйшая школа, 1985. 168 с.
117. Наумович В.М. Искусственная сушка торфа. М.: Недра, 1984. 222 с.
118. Дмитриев Г.А., Наумович Т.В. Автоматизация процесса сушки верхового торфа низкой степени разложения в виброкипящем слое // Торф, его свойства и перспектива применения: Тр. Международного симпозиума IV и II комиссий НТО. Минск. 1982. С. 490-494.
119. Испирян Р.А., Наумович В.М., Самочин С.К. Оценка кинетики пневмогазовой сушки фрезерного торфа // Торф. пром-сть. 1984. №11. С.19.
120. Наумович В. М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов. М., Недра, 1971. 204 с.
121. Опман Я.С. Любошиц А.И. Энергетическая эффективность тепловых установок торфобрикетного производства. Мн.: Наука и Техника. 1973. 96 с.
122. Опман Я.С. Влияние влажности торфяных брикетов на экономичность их производства и использования // Торф.пром-сть. 1985. №3. С.30-32.
123. Прокофьев Е.В. Автоматизация технологических процессов и производств. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. 356 с.
124. Каблашов А.В. Состояние экологической обстановки в торфяной промышленности // Торф.пром-сть. 1990. №8. С. 3-5.
125. Крохин В.Н. Брикетирование углей. М.: Недра, 1974. 216 с.
126. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И. и др. Технический анализ торфа / Под общ. Ред. Базины Е.Т. М.: Недра. 1992. 431 с.

127. Требования к торфяному сырью для производства окускованного топлива / А.В. Михайлов, Э.А. Кремчеев, А.В. Большунов, К.В. Епифанцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. №4. 2012. С. 59-63.

128. Гревцев Н.В., Сорокин Р.Н., Шампаров А.Г. Эффективность использования торфяных брикетов на предприятиях коммунальной энергетики // Естественные и технические науки. 2014. №2. С. 247-251.

129. Гревцев Н.В., Сорокин Р.Н., Шампаров А.Г.. Эффективность энергетического использования торфяного биотоплива // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2014. №6. С. 33-39.

130. Гревцев Н.В., Сорокин Р.Н., Олейникова Л.Н. Опыт и перспективы создания региональных биоэнергетических кластеров // Экономические, социальные и экологические проблемы горной промышленности Урала: сб. научных ст. / под ред. Н.В. Гревцева, И.А. Коха. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. С. 134-139.

131. Сорокин Р. Н., Гревцев Н. В., Лебзин М. С. Инновационные технологии производства топливных брикетов // Сб. докладов Уральской международной практической конференции «Уральская горная школа – регионам», Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. С. 210.

132. Лазарева Т. Ю., Мочалова О. С., Сорокин Р. Н. Целесообразность перевода угольных котельных Свердловской области на местные виды торфяного топлива // Сб. докладов Уральской международной практической конференции «Уральская горная школа – регионам», Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. С. 214.

133. Системный подход при оптимизации технологии торфяных композиционных материалов/ Н.В. Гревцев, Б.Б. Зобнин, Р.Н. Сорокин, А.Г. Шампаров // Естественные и технические науки. 2014. №5. С. 68-73.

134. Гревцев Н.В., Сорокин Р.Н., Лебзин М.С., Лазарева Т.Ю. Оптимизация состава торфяного топлива с использованием метода линейного программирования // Экономические, социальные и экологические проблемы горной промышленности Урала: сб. научных ст. / под ред. Н.В. Гревцева, И.А. Коха. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2014. С. 147-151.

135. Макаренко Г.Л., Яконовская Т.Б., Тимофеев А.Е. Технологические, экологические и экономические аспекты комплексного освоения торфяных месторождений // Торф и бизнес. №4 (10). 2007. С. 17-26.

136. Автоматизация торфяного производства: Учеб. пособие для ВУЗов/ Н.М. Караваева, Г.А. Дмитриев, В.Г. Бугров и др. М.: Недра, 1991. 312 с.

Приложение А

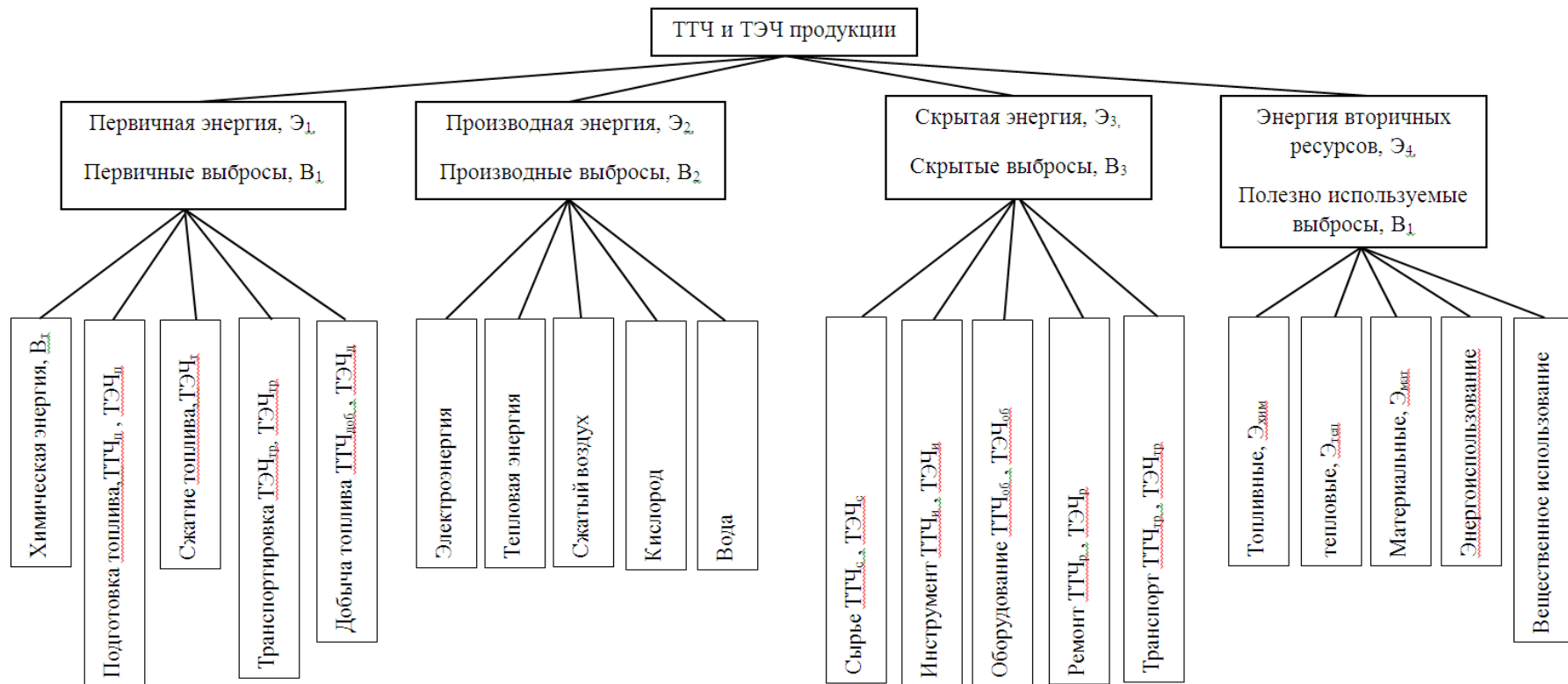


Рисунок А.1 – Структура ТТЧ и ТЭЧ продукции

Приложение Б

Таблица Б.1 – Цены на готовую продукцию

Показатели	единица измерения	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год
Коэффициент инфляции		1	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
Отпускная цена брикетов с НДС	тыс. руб/тонн	3,50	3,89	4,31	4,79	5,31	5,90	6,55	7,27
Отпускная цена брикетов без НДС	тыс. руб/тонн	2,97	3,29	3,65	4,06	4,50	5,00	5,55	6,16

Таблица Б.2 – Ставки по налогам

[illegible]

Таблица Б.3 – Кредиты

Инвестиционный Кредит	тыс.руб.	27 808,00
Ставка по кредиту	%	14,00%
Срок кредитования	лет	6
Интервал начала погашения основного долга по кредиту	год	1
Длительность погашения основного долга по кредиту	лет	6
Условия погашения основного долга	гибкий график	
Отсрочка выплаты начисленных процентов	год	нет

Таблица Б.4 – Инвестиционные затраты, тыс.руб. с НДС

Инвестиционные затраты всего	тыс. руб	27808,00
Брикетная линия	тыс. руб.	22283,00
Линия по производству топливных брикетов из торфа, стоимость с учетом 3% скидки	тыс. руб	19863,00
Фундаментные работы	тыс. руб	400,00
Монтаж оборудования	тыс. руб	1580,00
Монтаж эл. части	тыс. руб	440,00
Подготовительное оборудование	тыс. руб	2915,00
Стоимость оборудования	тыс. руб	2700,00
Монтаж	тыс. руб	215,00
Строительно-монтажные работы	тыс. руб	-

Продолжение таблицы Б.4

Инжиниринговые услуги	тыс. руб	2 480,00
Доставка оборудования	тыс .руб	130,00

Таблица Б.5 – Оборудование

Показатели	единица измерения	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год
Стоимость оборудования без НДС	тыс. руб	19 121,19							
Срок полезного использования оборудования	лет	8							
Нормативная производительность оборудования	тонн/час	1							
Нормативное количество часов работы оборудования в месяц	часов	625							
Плановое количество часов работы оборудования	часов	1250	7500	7500	7500	7500	7500	7500	7500
Плановое количество месяцев работы оборудования	мес.	2	12	12	12	12	12	12	12
Амортизация	тыс. руб	398,36	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15
Остаточная стоимость оборудования	тыс. руб	18 722,83	16332,68	13942,53	11552,38	9162,24	6772,09	4381,94	1991,79

Таблица Б.6 – Нормы расходования ресурсов на ед. вида продукции

Наименование позиций	Плановый расход	
Расход торфа	1,959	Тонн/тонн
Расход электроэнергии	0,1378	тыс кВтч/тонн

Таблица Б.7 – Цена ресурса (с НДС)

Наименование позиций	ед.изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год
Цена торфа (с доставкой)	тыс. руб/тонн	0,600	0,666	0,739	0,821	0,911	1,011	1,122	1,246
Цена электроэнергии	тыс. руб./тыс. кВтч	4,140	4,595	5,101	5,662	6,285	6,976	7,744	8,595

Таблица Б.8 – Численность и заработная плата работников

[illegible]

Таблица Б.9 – Постоянные затраты (с НДС), тыс. руб.

Наименование расходов	В год
Прямые производственные расходы	
Прочие цеховые расходы	30,00
Охрана труда (молоко, мыло)	5,00
Спецодежда	60,00
Материалы	100,00
Общие производственные расходы	
Ремонт оборудования текущий 5% от ст-ти оборуд	1390,40
Административные расходы	
ИТОГО	1585,40

Таблица Б.10 – Затраты на сырье и материалы

Наименование расходов	ед.изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Расход торфа	тыс.руб	1469,24	9785,11	10861,47	12056,23	13382,41	14854,48	16488,47	18302,20	97199,60
Расход электроэнергии	тыс.руб	713,00	4748,59	5270,93	5850,73	6494,32	7208,69	8001,65	8881,83	47169,74
Итого	тыс.руб	2182,24	14533,69	16132,40	17906,96	19876,73	22063,17	24490,12	27184,03	144369,34

Таблица Б.11 – Персонал и заработная плата

Категория персонала	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Основной производственный персонал	тыс. руб	200,00	1 332,00	1478,52	1641,16	1821,68	2022,07	2244,50	2491,39	13231,32
Оператор	тыс. руб	120,00	799,20	887,11	984,69	1093,01	1213,24	1346,70	1494,84	7938,79
Водитель погрузчика	тыс. руб	80,00	532,80	591,41	656,46	728,67	808,83	897,80	996,56	5292,53
Административный персонал	тыс. руб	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ФОТ АУП	тыс. руб	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого		200,00	1332,00	1478,52	1641,16	1821,68	2022,07	2244,50	2491,39	13231,32
Начисленный ЕСН и страхование	тыс. руб	56,60	483,52	536,70	595,74	661,27	734,01	814,75	904,38	4786,97
Расходы на зарплату с учетом ЕСН и страхования	тыс. руб	256,60	1815,52	2015,22	2236,90	2482,96	2756,08	3059,25	3395,77	18018,29
Общая численность персонала		8	8	8	8	8	8	8	8	

Таблица Б.12 – Текущие затраты по проекту (с НДС)

Статьи расходов	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Прямые производственные расходы		2 471,34	16 565,66	18 338,13	20 337,27	22 567,81	25 047,89	27 802,29	30 860,23	163 990,62
Расходы на сырье и электроэнергию	тыс. руб	2 182,24	14 533,69	16 132,40	17 906,96	19 876,73	22 063,17	24 490,12	27 184,03	144 369,34

Продолжение таблицы Б.12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Зарплата основного производственного персонала	тыс. руб	200,00	1 332,00	1 478,52	1 641,16	1 821,68	2 022,07	2 244,50	2 491,39	13 231,32
ЕСН на зарплату основного произв. персонала	тыс. руб	56,60	483,52	536,70	595,74	661,27	734,01	814,75	904,38	4 786,97
Прочие производственные расходы (постоянные), в т.ч.	тыс. руб	32,50	216,45	190,51	193,41	208,13	228,64	252,93	280,43	1 602,99
Прочие цеховые расходы	тыс. руб	5,00	33,30	36,96	41,03	45,54	50,55	56,11	62,28	330,78
Охрана труда (молоко, мыло)	тыс. руб	0,83	5,55	6,16	6,84	7,59	8,43	9,35	10,38	55,13
Спецодежда	тыс. руб	10,00	66,60	24,18	8,78	3,19	1,16	0,42	0,15	114,47
Материалы	тыс. руб	16,67	111,00	123,21	136,76	151,81	168,51	187,04	207,62	1102,61
Общие производственные расходы		630,09	3933,49	4103,26	4291,70	4500,87	4733,05	4990,77	5276,84	32460,09
Амортизация	тыс. руб	398,36	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	17129,40
Ремонт оборудования текущий	тыс. руб	231,73	1543,34	1713,11	1901,55	2110,73	2342,90	2600,62	2886,69	15330,69
Управленческие расходы		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Итого: затраты в отчете о прибылях и убытках	тыс. руб	2728,24	18013,70	19690,13	2 577,83	23682,92	26023,10	28622,00	31507,24	171845,16
Итого: оплата текущих расходов	тыс. руб	2703,07	18109,00	20051,24	22238,82	24678,53	27390,79	30402,92	33746,93	179321,31
Себестоимость 1 тонны торфяных брикетов	тыс. руб	2,183	2,402	2,625	2,877	3,158	3,470	3,816	4,201	

Таблица Б.13 – Налоговое окружение по проекту

НДС	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
НДС к возмещению из бюджета	тыс. руб	4615,09	2485,45	2751,26	3051,14	3385,77	3757,84	4171,07	4629,84	28847,44
НДС к возмещению от ТМЦ	тыс. руб	373,19	2485,45	2751,26	3051,14	3385,77	3757,84	4171,07	4629,84	24605,54
НДС к возмещ. оборудование	тыс. руб	4241,90								4241,90
Налогооблагаемый оборот (выручка от реализации)	тыс. руб	3707,63	24692,80	27409,00	30423,99	33770,63	37485,40	41608,80	46185,77	245284,03
НДС от реализации	тыс. руб	667,37	4444,70	4933,62	5476,32	6078,71	6747,37	7489,58	8313,44	44151,12
НДС к уплате в бюджет	тыс. руб	-3947,72	1959,26	2182,36	2425,18	2692,95	2989,54	3318,52	3683,60	15303,68
НАЛОГ НА ИМУЩЕСТВО	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Налогооблагаемая база	тыс. руб	3153,67	17527,75	15137,61	12747,46	10357,31	7967,16	5577,01	3186,86	
Налог на имущество к уплате в бюджет	тыс. руб	69,38	385,61	333,03	280,44	227,86	175,28	122,69	70,11	1664,41
НАЛОГ НА ПРИБЫЛЬ	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Налогооблагаемая база	тыс. руб	-2983,11	2595,02	4271,35	6229,85	8302,61	10508,40	12864,11	14 608,42	
Налог на прибыль к уплате в бюджет	тыс. руб	0,00	519,00	854,27	1245,97	1660,52	2101,68	2572,82	2921,68	11875,95
СТРАХОВЫЕ ВЗНОСЫ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Налогооблагаемая база	тыс. руб	200,00	1332,00	1478,52	1641,16	1821,68	2022,07	2244,50	2491,39	
Страховые взносы во внебюджетные фонды к уплате	тыс. руб	56,60	483,52	536,70	595,74	661,27	734,01	814,75	904,38	4 786,97
ВСЕГО НАЛОГОВ	тыс. руб	-3821,73	3347,39	3906,36	4547,33	5242,60	6000,50	6828,78	7579,77	33631,01

Таблица Б.14 – Отчет о прибылях и убытках проекта

Показатели	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Выручка от реализации без НДС	тыс. руб	3707,63	24692,80	27409,00	30423,99	33770,63	37485,40	41608,80	46185,77	245284,03
Себестоимость проданных товаров	тыс. руб	2728,24	18013,70	19690,13	21577,83	23682,92	26023,10	28622,00	31507,24	171845,16
- материалы и комплектующие	тыс. руб	1849,35	12316,69	13671,52	15175,39	16844,69	18697,60	20754,34	23037,31	122346,90
- оплата труда	тыс. руб	200,00	1332,00	1478,52	1641,16	1821,68	2 022,07	2244,50	2491,39	13231,32
- налоги, относимые на текущие затраты	тыс. руб	56,60	483,52	536,70	595,74	661,27	734,01	814,75	904,38	4786,97
- прочие производственные расходы	тыс. руб	27,54	183,43	161,45	163,90	176,38	193,76	214,34	237,66	1358,47
ремонт оборудования текущий	тыс. руб	196,38	1307,92	1451,79	1611,49	1788,75	1985,51	2203,92	2446,35	12992,11
- амортизация	тыс. руб	398,36	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	2390,15	17129,40
Валовая прибыль	тыс. руб	979,39	6679,09	7718,87	8846,17	10087,72	11462,30	12986,80	14678,53	73438,87
Коммерческие расходы	тыс. руб	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Управленческие расходы	тыс. руб	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Прибыль (убыток) от продаж	тыс. руб	979,39	6679,09	7718,87	8846,17	10087,72	11462,30	12986,80	14678,53	73438,87
Налоги, относимые на финансовые результаты	тыс. руб	69,38	385,61	333,03	280,44	227,86	175,28	122,69	70,11	1664,41
Проценты к уплате	тыс. руб	3893,12	3698,46	3114,50	2335,87	1557,25	778,62	0,00	0,00	15377,82
Прибыль до налогообложения	тыс. руб	-2983,11	2595,02	4271,35	6229,85	8302,61	10508,40	12864,11	14608,42	56396,64
Налог на прибыль	тыс. руб	0,00	519,00	854,27	1245,97	1660,52	2101,68	2572,82	2921,68	11875,95

Продолжение таблицы А.14

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чистая прибыль (убыток)	тыс. руб	-2 983,11	2076,01	3417,08	4983,88	6642,09	8406,72	10291,28	11686,74	44520,69
Чистая прибыль (убыток) с нарастающим итогом	тыс. руб	-2 983,11	-907,10	2509,98	7493,86	14135,95	22542,67	32833,95	44520,69	

Таблица Б.15 – Кредиты

[illegible]

Таблица Б.16 – Отчет о движении денежных средств

Показатели	ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поступления от продаж	тыс. руб	4375,00	29137,50	32342,63	35900,31	39849,35	44232,78	49098,38	54499,20	289435,15
Затраты на материалы и комплектующие	тыс. руб	2182,24	14533,69	16132,40	17906,96	19876,73	22063,17	24490,12	27184,03	144369,34
Зарплата	тыс. руб	200,00	1332,00	1478,52	1641,16	1821,68	2022,07	2244,50	2491,39	13231,32
Общие затраты	тыс. руб	264,23	1759,79	1903,62	2094,96	2318,85	2571,54	2853,55	3167,13	16933,68
Налоги	тыс. руб	-3821,73	3347,39	3906,36	4547,33	5242,60	6000,50	6828,78	7579,77	33631,01
Выплата процентов по кредитам	тыс. руб	3893,12	3698,46	3114,50	2335,87	1557,25	778,62	0,00	0,00	15377,82
Денежные потоки от операционной деятельности	тыс. руб	1657,15	4466,16	5807,23	7374,03	9032,23	10796,87	12681,43	14076,88	65891,98
Инвестиции в здания и сооружения	тыс. руб									0,00
Инвестиции в оборудование и другие активы	тыс. руб	27808,00								27808,00
Оплата расходов будущих периодов	тыс. руб									
Инвестиции в оборотный капитал	тыс. руб									
Денежные потоки от инвестиционной деятельности	тыс. руб	27808,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27808,00
Поступления кредитов	тыс. руб	27808,00								27808,00
Возврат кредитов	тыс. руб	1390,40	4171,20	5561,60	5561,60	5561,60	5561,60	0,00	0,00	27808,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Денежные потоки от финансовой деятельности	тыс. руб	26 417,60	-4171,20	-5561,60	-5561,60	-5561,60	-5561,60	0,00	0,00	0,00
Суммарный денежный поток за период	тыс. руб	266,75	294,96	245,63	1812,43	3470,63	5235,27	12681,43	14076,88	38083,98
Денежные средства на конец периода	тыс. руб	266,75	561,71	807,33	2619,76	6090,40	11325,66	24007,10	38083,98	

Таблица Б.17 – Денежные потоки для оценки полных инвестиционных затрат

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛНЫХ ИНВЕСТИЦИОНН ЫХ ЗАТРАТ	Ед. изм.		1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Денежные потоки от операционной деятельности	тыс. руб.		1657,15	4466,16	5807,23	7374,03	9032,23	10796,87	12681,43	14076,88	65891,98
Денежные потоки от инвестиционной деятельности	тыс. р.б		27808,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27808,00
Чистый денежный поток	тыс. руб.		-22257,73	8164,63	8921,72	9709,90	10589,48	11575,49	12681,43	14076,88	53461,81
Чистый денежный поток с нарастающим итогом	тыс. руб		-22257,73	-14093,11	-5171,39	4538,52	15128,00	26703,49	39384,92	53461,81	х
Ставка дисконтирования	%		20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	х
Коэффициент дисконтирования	тыс. руб.		1,000	0,833	0,694	0,579	0,482	0,402	0,335	0,279	х
Дисконтированный чистый денежный поток	тыс. руб.		-22258	6804	6196	5619	5107	4652	4247	3929	х
Дисконтированный поток нарастающим итогом	тыс. руб.		-22258	-15454	-9258	-3639	1468	6120	10367	14295	х
IRR (внутренняя норма доходности)	%		39%								
NPV (чистая текущая стоимость проекта)	ты с. ру б.	2 0 %	11 912,70								
DPP (Дисконтированный срок окупаемости)	ет		3,6								

Таблица Б.18 – Показатели финансовой состоятельности проекта

ПОКАЗАТЕЛИ ФИНАНСОВОЙ СОСТОЯТЕЛЬНОСТИ	Ед. изм.	1 год	2 год	3 год	4 год	5 год	6 год	7 год	8 год	ИТОГО
Рентабельность (прибыльность) продаж	%	-80,46%	8,41%	12,47%	16,38%	19,67%	22,43%	24,73%	25,30%	18,15%
Текущие затраты к выручке от реализации	%	73,58%	72,95%	71,84%	70,92%	70,13%	69,42%	68,79%	68,22%	70,06%
Общая рентабельность	%	-80,46%	10,51%	15,58%	20,48%	24,59%	28,03%	30,92%	31,63%	22,99%
Рентабельность по балансовой прибыли	%	- 109,34%	14,41%	21,69%	28,87%	35,06%	40,38%	44,94%	46,37%	32,82%
Рентабельность по чистой прибыли	%	- 109,34%	11,52%	17,35%	23,10%	28,05%	32,30%	35,96%	37,09%	25,91%
Рентабельность основной деятельности	%	26,42%	27,05%	28,16%	29,08%	29,87%	30,58%	31,21%	31,78%	29,94%
Рентабельность производства	%	35,90%	37,08%	39,20%	41,00%	42,59%	44,05%	45,37%	46,59%	42,74%
EBITDA	тыс. руб.	1377,75	9069,24	10109,02	11236,32	12477,87	13852,45	15376,95	17068,68	90568,26

Приложение В
Справки и заключения
об использовании и внедрении результатов диссертации

Российская Федерация
Общество с ограниченной ответственностью
«Уральская торфяная компания»

Юридический адрес: РФ, Свердловская обл., 620137, г. Екатеринбург, ул. Шефская, 1а
Почтовый адрес: РФ, Свердловская обл., 620075, г. Екатеринбург, ул. Шартанская, д. 19, офис 205.
ОГРН 1106673016614, ИНН 6673224301, КПП 667301001, Р/С 40702810128000003129 в филиале ОАО Банк ВТБ в г.
Екатеринбурге, г. Екатеринбург, К/С 30101810400000000952, БИК 046577952

Утверждаю
Генеральный директор
ООО «Уральская торфяная компания»
Бастриков А.А.



« 23 » июня 2014 г.

Акт внедрения
результатов научно-исследовательских
и технологических работ

Настоящим актом подтверждаем, что результаты диссертационной работы Сорокина Р.Н. «Геотехнологическое обоснование энергоэффективного производства и использования торфяного топлива» были использованы при проектировании и строительстве модульного комплекса по производству торфяного брикета производительностью 1 т/час.

В настоящее время на производственном участке «Островное» ООО «Уральская торфяная компания» используются технологические рекомендации Сорокина Р.Н. по организации рациональной добычи торфяного фрезерного сырья, и применяются предложенные им методы автоматизированного управления процессом генерации тепловой энергии и сушки фрезерного торфа на модульном брикетном комплексе.

Ответственный за внедрение
Исполнительный директор



Брюханов А.Г.



УТВЕРЖДАЮ

Ректор Уральского государственного
горного университета,

профессор Н. П. Косарев

15 сентября 2014 г.

СПРАВКА

об использовании материалов кандидатской диссертации
Сорокина Р.Н. в учебном процессе студентов
инженерно-экономического факультета.

Кандидатская диссертация Сорокина Р.Н. посвящена энерготехнологическому обоснованию производства и использованию топлива на основе торфа. Результаты диссертационного исследования используются в Уральском государственном горном университете на кафедре «Природообустройство» при проведении занятий по учебным дисциплинам: «Возобновляемые источники энергии», для студентов специальности 280402 - «Природоохранное обустройство территорий» и направления 280100 – «Природообустройство и водопользование».

Разделы диссертации, посвященные оптимизации и моделированию новых технологических процессов, используются студентами при проведении научных исследований, результаты которых докладывались на международной научно-практической конференции «Уральская горная школа – регионам» 2012, 2013 и 2014 года секция «Биоэнергетика, экология и рациональное природопользование».

Результаты диссертационной работы в период с 2009 по 2014гг. использовались в дипломных и курсовых проектах студентов: Мининой М.В. ВКР магистра на тему «Эколого-экономическая оценка эффективности производства и использования торфяного топлива (торфяных брикетов и пеллетов)»; Набирухина А.В. ВКР магистра на тему «Разработка технологии брикетирования композиционных брикетов на основе коксовой мелочи, дисперсного металлургического сырья, торфа в качестве топлива и сырья для металлургического процесса» и других.

Зам. декана инженерно-экономического
факультета, к.п.н., доцент

В.И. Пачиков

УРАЛГИПРОТОРФ

Институт местных видов топлива

Общество с ограниченной ответственностью

620075, г. Екатеринбург, ул. Шарташская, 19, Тел/факс (343) 3504337 e-mail giprotorf@mail.ru интернет: torf.etel.ru

Исх. № 14100 от 14.10.14г.

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООО
«Институт местных
видов топлива-Уралгипроторф»


Шампаров А.Г.
2014г.



Заключение

о результате внедрения материалов диссертационной работы Сорокина Р.Н.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы получены результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые легли в основу создания технологии и оборудования (модульных брикетных заводов) для производства торфяных брикетов и их использование в качестве топлива в энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Технический директор



Назаренко В.Д.


ВладТорф

 Производство и реализация
биотоплива

**Общество с ограниченной ответственностью
ООО «Мезиновское торфопредприятие»**

601525, Владимирская область, Гусь-Хрустальный район, пос.Мезиновский, ул.Строительная, д.
39 ИНН 3314007813, КПП 331401001, сайт: www.vladtorf33.ru, эл. почта: ooovtvm@mail.ru

Утверждаю

Генеральный директор

ООО «Мезиновское торфопредприятие»



«02 » октября 2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

О внедрении материалов диссертационной

работы Сорокина Р.Н.

В настоящее время на производственном участке Мезиновский ООО «Мезиновское торфопредприятие» с 2012 года работают два модульных комплекса по производству торфяного брикета суммарной производительностью 15 тыс. т в год.

Результаты диссертационной работы Сорокина Р.Н. по рациональным методам автоматизированного управления процессом генерации тепловой энергии и сушки фрезерного торфяного сырья используются в схеме управления торфобрикетными комплексами.

Ответственный за внедрение

Генеральный директор

Бадалов В.М.

NESEN Engineering, Ltd
г. Владимир, ул. Вокзальная, д. 1а
Эл. почта: neseneng@mail.ru



Скайп: neseneng
Тел./факс:
(4922) 42-12-25, 42-12-14, 42-11-09

Общество с ограниченной ответственностью

ООО «НЕСЕН Инжиниринг»

ИНН 3328472627 КПП 332801001

УТВЕРЖДАЮ:

Генеральный директор ООО
«НЕСЕН Инжиниринг»



Савенков Д.Г.

« 21 » августа 2014 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**О результате внедрения материалов диссертационной работы
Сорокина Р.Н. по теме: «Геотехнологическое обоснование
энергоэффективного производства и использования торфяного топлива»**

В ходе выполнения научно-исследовательской работы получены результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые легли в основу создания технологии и оборудования для производства торфяного топлива и их использования в качестве топлива в энергетике и жилищно-коммунальном хозяйстве.

Разработанные и научно обоснованные диссертантом технологические и технические решения по производству и использованию торфяного топлива, новые методы и методики используются при разработке проектов по комплексному освоению торфяных месторождений.

Генеральный директор

Савенков Д.Г.