

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
 Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
 Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Анализ энергоэффективности использования древесной биомассы второго сорта для выработки тепловой и электрической энергии

УДК 620.91/.92-027.236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Шагунов Дмитрий Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Бульба Е.Е.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Василевский Михаил Викторович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПТ	Кузнецов Г.В.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
Р2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
Р3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
Р4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
Р5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
Р6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
Р8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
Р9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
Р10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
Р11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать

	опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.
P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
<i>Специальные профессиональные</i>	
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
Направление подготовки Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой ТПТ
Кузнецов Г.В.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

Студент:

Группы	ФИО
5БЗБ	Шагунов Дмитрий Олегович

Тема работы:

Анализ энергоэффективности использования древесной биомассы второго сорта для выработки тепловой и электрической энергии

Утверждена приказом ректора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

13.06.17

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Объект исследования – древесная биомасса второго сорта, ее энергетическая эффективность для получения энергии.

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Введение; • Постановка цели и задач исследования; • Аналитический обзор литературных источников; • Выводы по обзору литературы. • Заключение.
<p>Перечень графического материала</p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кузьмина Наталия Геннадьевна, ст. преп. каф. МЕН</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Василевский Михаил Викторович доцент, каф. ЭБЖ</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>31.05.17</p>
--	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Бульба Е.Е.	К.Т.Н.		31.05.17

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Шагунов Дмитрий Олегович		31.05.17

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 82 с., 4 рис., 15 табл., 2 диаграммы, 62 источника литературы.

Ключевые слова: биотопливо, пеллет, энергетическая эффективность, экологичность, сушка.

Объектом исследования является древесная биомасса второго сорта и ее энергетическая эффективность.

Цель работы – исследовать современное состояние литературных источников по процессу сушки и энергетической эффективности подготовки древесной биомассы для выработки тепловой и электрической энергии в России и других странах мира.

Задачи:

1. Ознакомление с процессом сушки;
2. Получение сведений о теплотехнических свойствах древесины;
3. Изучение древесной биомассы;
4. Изучение энергетической эффективности древесной биомассы в России и мире.

Проводилось исследование по определению энергетической эффективности древесной биомассы второго сорта для получения энергии, были подчеркнуты плюсы и минусы использования данного вида топлива в энергетике.

В результате исследования определено, что древесная биомасса является перспективой полной замены ископаемых источников энергии и так же является приоритетным направлением в развитии экономики стран.

Оглавление

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	10
1.1 ТЕОРИЯ СУШКИ.....	10
1.2 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ.....	16
1.3 ДРЕВЕСНАЯ БИОМАССА	19
1.4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	27
1.5 ВЫВОД ПО ОБЗОРУ ЛИТЕРАТУРЫ	43
2. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	46
2.1 ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТЫ И ИХ ВРЕМЕННЫХ ОЦЕНОК	46
2.2 РАСЧЕТ БЮДЖЕТА НИ.....	47
2.2.1 Материальные затраты	48
2.2.2 Амортизация техники	48
2.2.3 Затраты на заработную плату.....	48
2.2.4 Затраты на социальные нужды	49
2.2.5 Прочие затраты.....	50
2.2.6 Накладные расходы.....	50

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Определения

В настоящей работе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Энергетическая эффективность – эффективное (рациональное) использование энергетических ресурсов. Использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве.

Пеллет – биотопливо, получаемое из древесных отходов и отходов сельского хозяйства. Производится в виде прессованных гранул стандартного размера.

Древесная биомасса – это совокупность органических веществ, которые образуются в результате жизнедеятельности древесных растений.

Сушка - это процесс удаления влаги из твердого или пастообразного материала путем испарения в нем жидкости за счет подведенного к материалу тепла и отвода образующихся паров.

ВВЕДЕНИЕ

В России и за рубежом с каждым годом возрастает процент использования древесной биомассы. Это напрямую связано с современными актами и договорами об экологичном производстве энергии. К тому же биомасса является возобновляемым источником энергии, что сэкономит ископаемые ресурсы, которые в будущем могут и не достаться следующему поколению ввиду своей убыточности.

Но перед использованием древесную биомассу следует довести до улучшенных характеристик с помощью процесса сушки. Суть сушки заключается в удалении влаги из материала путем ее испарения. Высушенный материал является более энергоэффективным по сравнению с материалом с большим влагосодержанием. Процесс сушки помогает достигать наиболее высоких теплотехнических свойств древесины полезных для выработки энергии.

Россия имеет большой потенциал по массовому производству биотоплива из древесной биомассы, так как объем производства лесозаготовки и деревообработки у страны огромный и тем самым имеются предпосылки к масштабному производству весьма экологичного топлива.

Экологичность в современном мире играет не последнюю роль. В Европе за последние года страны Скандинавии практически полностью перешли на потребление биотоплива в качестве основного. И эта тенденция развивается и в других странах.

И тем самым имея данные плюсы древесная биомасса требует дополнительных исследований по определению энергетической эффективности в сравнении с другими видами топлива.

Целью данной работы является исследование энергетической эффективности древесной биомассы второго сорта и процесса ее подготовки для выработки электрической и тепловой энергии.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Теория сушки

Сушка – это процесс удаления влаги из твердого или пастообразного материала путем испарения в нем жидкости за счет подведенного к материалу тепла и отвода образующихся паров. Единственной целью сушки является улучшение качеств материала. В процессе сушки твердого топлива увеличивается теплота его сгорания. Во всех случаях при сушке в виде пара удаляется легколетучий компонент (вода, органический растворитель и т.д.)

По способу удаления влаги из материала сушка разделяется на два вида:

1. Механический способ удаления влаги
2. Тепловой способ удаления влаги.

При механическом способе происходит отсасывание, фильтрование, центрифугирование и при изменении давления возможны в тех случаях, когда допускается некоторая деформация материалов и достаточно высокое конечное влагосодержание в них. В некоторых случаях механический способ совмещают с тепловым. Тепловым агентом является воздух и солнечная энергия.

Тепловой способ получил наибольшее распространение. Сушку материалов с использованием теплоты можно производить естественным и искусственным способами. Естественная сушка происходит на воздухе, под навесами и в специальных помещениях. Тепловым агентом является воздух и солнечная энергия. Искусственная сушка материалов производится в специальных устройствах с применением принудительной циркуляции газовой среды, поглощающей водяные пары с поверхности высушиваемого материала. Установки для искусственной сушки аналогичны другим тепло- и массообменным аппаратам.[1]

По способу подвода теплоты различают:

1. Конвективную сушку
2. Контактную сушку
3. Радиационную сушку
4. Сублимационную сушку
5. Диэлектрическую сушку

В основном в промышленности распространены конвективный и контактный методы сушки. При конвективной сушке тепло передается от теплоносителя к поверхности высушиваемого материала. В качестве теплоносителя используют воздух, инертные и дымовые газы. При контактной сушке тепло высушиваемому материалу передается через обогреваемую перегородку, соприкасающуюся с материалом.

Сушильным агентом наиболее часто является влажный воздух, который состоит из смеси сухого воздуха и водяного пара. Он характеризует следующие параметры: температура, давление, плотность, относительная и абсолютная влажность, влагосодержание, теплоемкость, энтальпия.

Ниже на рисунке рассматривается влажное твердое тело, находящееся в контакте с газовым потоком. Давление пара жидкости в твердом теле отличается от парциального давления пара в потоке газа, тем самым между двумя фазами будет происходить массообмен вплоть до того момента пока состояние равновесия не наступит между ними, которое достигается равенством давлений пара в твердом теле и в потоке газа. При этом наступает состояние динамического равновесия, которому соответствует предельная влажность тела, которая называется равновесная влажность w_p^o .

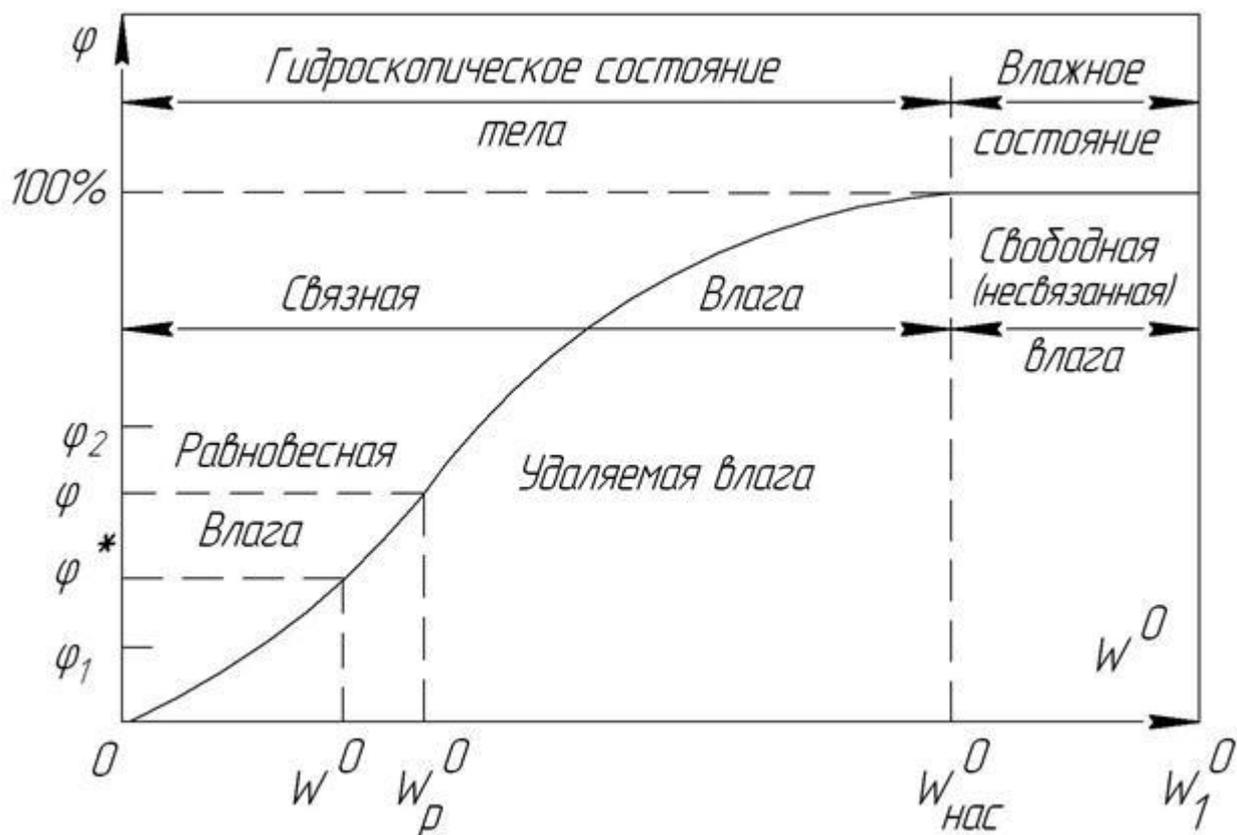


Рисунок 1.1 – Диаграмма состояния влажного твердого тела

Основываясь на Рисунок 1.1 можно выделить две области состояния влажного тела:

1) область влажного состояния, когда давление паров жидкости в твердом теле не зависит от влажности материала и равно давлению насыщения свободной жидкости при температуре материала;

2) область гидроскопического состояния, когда давление пара жидкости над поверхностью твердого тела не отличается от давления насыщенного пара свободной жидкости и зависит от его влажности и температуры.

На практике же деление на зоны оказывается условным, потому что при средних значениях влагосодержания, которые превышают $w_{нас}^0$, влагосодержание на поверхности твердого тела может быть близким к равновесному.[2]

Применяемые в промышленности сушилки можно классифицировать по технологическим признакам: давлению (атмосферные и вакуумные),

периодичности процесса, способу подвода тепла(конвективные, контактные, радиационные, с нагревом токами высокой частоты), роду сушильного агента (воздушные, газовые, сушилки на перегретом паре), направлениям движения материала и сушильного агента (прямоточные и противоточные) способу обслуживания, схеме циркуляции сушильного агента, тепловой схеме.

Наибольшее распространение получили барабанные сушилки. Эти сушилки отличаются высокой эффективностью и относятся в конвективным сушилкам. В качестве сушильного агента в них используют воздух и дымовые газы.[3]

В [4] так же рассматривается барабанная сушилка. Представлена схема установки с описанием ее составляющих. Основными преимуществами данной сушилки являются: высокая интенсивность процессов переноса, предотвращение локального перегрева частиц и сравнительно простое конструктивное выполнение.

Выбор агента сушки обуславливается технологией этого процесса и наличием тех или иных источников тепла. Основными источниками являются жидкое или газообразное топливо, пар, электроэнергия. Как уже говорилось в конвективной сушке применяют нагретый воздух или азот, топочные газы, перегретый водяной пар или пары органических жидкостей. Для материалов, чрезвычайно чувствительных к нагреву, применяется так называемая холодная сушка, т.е. используется предварительно осушенный воздух при температуре не выше 40 °С, так как при низких температурах окислительные процессы значительно замедляются.[5]

Движущей силой процесса сушки является стремление влажного материала к фазовому равновесию, при котором наблюдается равенство химических потенциалов жидкости и ее пара. При достижении указанного равновесия сушка прекращается. В соответствии с этим можно сказать, что

сушка является существенно неравновесным процессом, обусловленным разностью химических потенциалов.[6]

К тепловым свойствам древесины относят теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность и тепловое расширение. Сухая древесина представляет собой двухфазную систему древесинное вещество – воздух. Массовая доля воздуха в древесине крайне мала, и теплоемкость сухой древесины практически равна теплоемкости древесинного вещества. На способность древесины проводить тепло влияют многие факторы. Один из основных – плотность древесины. При увеличении плотности сухой древесины возрастает теплопроводность древесины. При нагревании древесины, происходит увеличение ее объема.[7]

В данное время востребованным является направление сушки отходов лесопиления и деревообработки. Таким образом из опилок путем сушки получают брикеты, пеллеты и древесную муку. Для получения различных видов используют разные скорости сушки. Для сушки опилок и древесной муки применяют барабанные сушилки, трубы-сушилки, аэрофонтан, сушилки с мешалками. Сушка древесных опилок происходит как горячим воздухом, так и дымовыми газами. Температура сушки в барабанной сушилке лежит в пределах 250 – 300 °С для опилок.[8]

В статье [9] исследовалась разработка новых технологий получения термодревесины. Современные деревообрабатывающие предприятия очень энергоемки и материалоемки, и существует цель на повышение коэффициента использования древесины. Тем самым требуется разработка энергосберегающих технологий, которые позволят использовать древесину разных сортов, даже низших. И такой технологией может стать термомодифицирование. Суть этой технологии в том, что древесина сохраняет ценные качества традиционного материала, но и так же приобретает новые, которые являются безусловно ценными. Проблемой этого метода является применение перегретого водяного пара или жидкой среды для подвода тепла.

Это приводит к большим энергозатратам и быстрому износу дорогостоящего оборудования из-за влияния высокотемпературной агрессивной среды. Решением этой проблемы предлагается использовать вакуумно-кондуктивные сушильные камеры. Использование вакуума исключит воспламенение древесины и снизит затраты энергии из-за предотвращения потерь тепла в окружающую среду. А контактный метод подвода тепла способствует интенсифицированию процесса сушки.

Выводом исследования было то, что процесс термомодифицирования улучшал биологическую стойкость древесины, уменьшал равновесную влажность и коэффициент разбухания при увлажнении. Техно-экономический анализ показал что затраты на энергию сокращаются на 30 % при использовании такого метода сушки.

В статье [10] производился контроль процесса сушки пиломатериалов в СВЧ-лесосушильной камере резонаторного типа. Для повышения качества сушки древесины в микроволновых сушильных камерах следует применять измерительный контроль градиентов влажности и температуры биомассы. Тем самым резонансный метод позволяет непрерывно определять градиенты влажности и температуры, регулировать подводимую мощность и повышать точность определения влажности сырья.

В [11] рассматриваются особенности сушки древесной биомассы. Древесная биомасса как сырье является природным биокomпозитом, который состоит из группы органических полимеров. Тем самым режим сушки определяется реакцией этих полимеров на техническую обработку. Так же описывается движение влаги в древесине и процессы тепло- и массопереноса. Посредством конвекции, термодиффузии и диффузии на молекулярном уровне происходит перенос влаги в древесной биомассе.

1.2 Теплотехнические свойства древесины

Древесную биомассу, которая поступает в топку котла, называют рабочим топливом. И состав древесной биомассы можно описать следующим уравнением:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%,$$

где C^p , H^p , O^p , N^p — содержание в древесной массе соответственно углерода, водорода, кислорода и азота, %; A^p , W^p — содержание в топливе соответственно золы и влаги.

Охарактеризовать топливо в теплотехнических расчетах можно такими понятиями как сухая масса и горючая масса.

Сухая масса топлива — это биомасса, высушенная до абсолютно сухого состояния. Ее состав можно выразить как:

$$C^c + H^c + O^c + N^c + A^c = 100\%.$$

Горючая масса топлива представляет собой биомассу, из которой удалены влага и зола, состав которой описывается следующим уравнением:

$$C^g + H^g + O^g + N^g = 100\%.$$

Индекс p в уравнении обозначает содержание компонентов в рабочей массе, индекс c — содержание компонентов в сухой массе, g — содержание компонентов в горючей массе топлива.

Из-за стабильности стволовой древесины, удельная теплота сгорания различных пород практически не изменяется. Элементарный состав горючей массы стволовой древесины почти одинаковый для всех пород. На этом основании, при теплотехнических расчетах без большой погрешности можно принимать для всех сортов следующий состав древесины на горючую массу: $C^g=51\%$, $H^g=6,1\%$, $O^g=42,3\%$, $N^g=0,6\%$.

Теплота сгорания биомассы – это количество теплоты, выделившееся при сгорании 1 кг биомассы. Существует низшая и высшая теплота сгорания.

Высшей теплотой сгорания называется та теплота, которая выделяется при сгорании 1 кг вещества при полной конденсации всех паров воды, образовавшихся при горении, с отдачей им тепла, израсходованного на их испарение, другими словами скрытая теплота парообразования. Высшую теплоту сгорания Q^B можно определить по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q^B = 340C^P + 1260H^P - 109O^P \text{ (кДж/кг)}.$$

Низшая теплота сгорания – это то количество теплоты, которое выделяется при сгорании 1 кг сырья, без учета тепла, которое затратилось на испарение влаги, образовавшейся при сгорании этого топлива. Определить ее можно по следующей формуле:

$$Q^P = 340C^P + 1030H^P - 109O^P - 25W^P \text{ (кДж/кг)}.$$

Теплота сгорания древесной биомассы зависит только от двух величин: зольность и влажность. 18,9 МДж/кг – низшая теплота сгорания горючей массы стволовой древесины, которая является практически постоянной.[12]

Влажность древесной биомассы – это количественная характеристика, которая показывает сколько влаги содержится в биомассе. Делится она на два типа: абсолютную и относительную.

Абсолютная влажность – это отношение массы влаги к массе сухой древесины.

$$W^a = \frac{m - m_0}{m_0},$$

где W^a – абсолютная влажность, m – изначальная масса древесины до высушивания, m_0 – масса сухой древесины.

Относительная или рабочая влажность – отношение массы влаги к массе влажной древесины.

$$W^p = \frac{m - m_0}{m},$$

где W^p – рабочая влажность, m – изначальная масса древесины до высушивания, m_0 – масса сухой древесины.

Различают две формы влаги, которая содержится в древесной биомассе: связанная и свободная. Свободная влага находится в полостях клеток и в межклеточном пространстве, является по объему большей влагой находящейся в древесине, при сушке легко удаляется из биомассы, но требует не очень высоких температур и определенной скорости высушивания. Связанная влага находится внутри стенок клеток и ее удаление уже затруднено и требует более высоких температур при сушке чем при удалении свободной влаги. При высушивании связанной влаги древесина имеет свойство изменять свои геометрические параметры.

Ниже приведена таблица 1.1 с рабочей влажностью различных частей двух видов древесины.

Таблица 1.1 – рабочая влажность древесины

Часть дерева	Рабочая влажность, %	
	Сосна	Ель
Ствол	45-50	40-60
Ветки	50-56	42-46
Верхушка	60	60
Кора	36-67	38-63

Как можно увидеть, практически все показатели рабочей влажности у хвойных деревьев одинаковые.

После сушки в полевых условиях влажность древесины 20-25 %, при комнатной температуре – 8-15 %.

Зольность древесины – это содержание в топливе минеральных веществ, которые остаются после полного сгорания всей горючей массы. Зола является нежелательной частью топлива, так как снижается содержание горючих элементов, и эксплуатация топочных устройств становится затруднительной. Зольность древесины 0,1 – 1,2 %, и этот показатель меньше чем у остальных известных топлив. Следовательно, древесная биомасса является более экологичным топливом.

Содержание золы выражается в % на сухую массу:

$$A^c = A^p \cdot 100(100 - W^p).$$

Летучие вещества – это газообразные и парообразные продукты, выделяющиеся при нагревании древесины на воздухе до 900°C в течение 7 минут.[13]

1.3 Древесная биомасса

Древесная биомасса – это совокупность органических веществ, которые образуются в результате жизнедеятельности древесных растений. Тем самым, древесной биомассой являются все вещества, из которых состоят стволы деревьев, ветви, сучья, листья, только сформировавшиеся побеги, кора и корневая система. Различные виды биомассы различаются по теплотехническим и по физико-химическим свойствам. И эти свойства оказывают влияние на эффективность их использования в энергетике.[14]

Биомасса дерева – это сумма всех частей дерева, таких как ствол, корни и кроны, которые измеряются в единицах массы или объема. Ниже в таблице 1 приведены ориентировочные соотношения составных частей в биомассе разных пород деревьев.

Основную массу дерева составляет древесина, которая располагается в частях дерева представленных в таблице 1.2.[15]

Таблица 1.2 – Относительный объем частей дерева

Порода	Ствол	Корни	Ветви
Лиственница	77-82	12-15	6-8
Сосна	65-77	15-25	8-10
Ясень	55-70	15-25	15-20
Береза	78-90	5-12	5-10
Бук	55-70	20-25	10-20
Клен	65-75	15-20	10-15

Древесная биомасса является наиболее привлекательным источником энергии в современном мире. Древесина экологична, что является большим плюсом, и к тому же является возобновляемым источником энергии. Древесину можно считать безубыточным источником энергии и сырья, если будет соблюдаться одно условие, количество используемого сырья не будет превышать количество подрастающего. И как уже говорилось про возобновляемость, древесина CO₂-нейтральна, так как при сгорании выделяется ровно такое же количество углекислого газа, которое потребовалось для роста дерева. Тем самым, экосистема развивается естественным путем.

В отопительные установки, древесная биомасса поступает в разных видах. Наиболее распространенными являются такие как:

- 1) гранулы;
- 2) поленья;
- 3) щепы.

Древесные гранулы представляют собой маленькие цилиндры, спрессованные из натурального необработанных древесных остатков, таких как опилки, стружки или древесные отходы леса. Предназначенная для производства древесина сушится, очищается, размалывается в мельницах и

прессуется в гранулы. Гранулы в основном изготавливаются на больших лесопильных заводах, где щепки являются побочным продуктом производства. В энергетической ценности можно сравнить гранулы с жидким топливом: 2 кг древесных гранул примерно равны по энергетической ценности 1 литру жидкого топлива.

Поленья с каждым годом становятся более востребованными для энергетических целей. Для сжигания подходит абсолютно любая древесина, высушенная на воздухе до содержания влаги примерно 15-20%. Изготавливается данный вид биомассы различными путями. Например древесина не соответствующая нормам деловой древесины, остающаяся после заготовки, или плохие и искривленные стволы пилятся и раскалываются на поленья.

Для производства щепы имеются пара распространенных способов. В первом случае не пригодные для другой обработки части ствола хвойных деревьев непосредственно измельчаются до 1-5 см на лесопильных предприятиях и в последующем сжигаются в таком виде в котлах. Второй способ: непригодный кругляк для обработки измельчается прямо на лесосеке.[16]

Древесину можно классифицировать на пять сортов:

1. Отборная кондиция. Пиломатериалы данного сорта применяются в судостроении и автостроении и является наиболее качественной древесиной, но и тем самым более дорогой. Не допускается в данном сорте глубоких трещин, большое количество сучков, гниющих частей.

2. Первый сорт. Данный вид используется в мебельном производстве и в отделке помещений. Не допускается в данном виде содержание выпавших сучьев, а так же сучьев превышающих 10 мм. К тому же, древесина, имеющая трещины глубиной более 1 мм и проникающие трещины отбраковывается.

3. Второй сорт. Ко второму сорту древесины можно отнести дерево, не имеющее расщатанных сучьев и сучьев размером не более 20 мм. Должны отсутствовать проникающие трещины, а так же трещины глубиной более 1 мм. Отбраковыванию подлежит трухлявый и поврежденный пиломатериал. Не допускается древесина с отверстиями от жуков, с инородными повреждениями и с плесенью.

4. Третий сорт. Данный вид применяется в основном для производства упаковочной тары и для дальнейшей переработки. Допускаются любые упущения, такие как трещины, прорость, наклон волокон, изменение цвета. Самое главное, чтобы древесина была прочной.

5. Четвертый сорт. Является самым слабым сортом. Применяется в строительстве лесов, создания опалубки, для временных заборов и сооружений.[17,18]

Отличие первого и второго сорта древесины незначительны. Конечно, второй сорт может иметь больше недостатков, но требования к глубине и ширине трещин не меняется. Как и первый сорт, такая древесина не должна иметь плесень, гниль и большие щели. То есть, визуального отличия между двух сортов не имеется, и поэтому второсортную древесину используют в наружных работах.[19]

Россия обладает крупнейшими в мире возобновляемыми запасами биомассы, которая может использоваться в энергетических целях. Самым технологически перспективным видом твердого топлива, который изготавливается из этой биомассы, являются топливные гранулы или топливные брикеты, другими словами пеллеты. Они представляют собой спрессованный под высоким давлением древесный материал, чаще всего опилки, который в результате прессования приобретает совсем иные свойства по сравнению с обычным состоянием. К примеру, плотность пеллет свыше 1000 кг/ м³, а теплотворная способность 5000 кКал/кг, такое значение приблизительно равно значению каменного угля.[20]

Пеллеты представляют собой маленькие цилиндрические гранулы диаметром 5-10 мм и длиной от 10 до 50 мм. Изготавливают их из переработанных древесных отходов, которые остаются после деревообрабатывающего или лесопильного производства. Опилки, стружки, древесную муку перемалывают, сушат, гранулируют и спрессовывают. Спрессовывание происходит под высоким давлением, тем самым скреплять химически нет нужды. Основными преимуществами является то, что гранулы имеют высокую калорийность и минимальное количество пепла, так же их можно экологично хранить и использовать.

Основными преимуществами гранул является то что их теплотворная способность в полтора раза больше чем у древесины и сравнима с углем. Так же они оказывают минимальное влияние на окружающую среду. Например при использовании классических топлив(газ, уголь) выделяется в 10-50 раз больше углекислого газа чем при сжигании пеллет, золы образуется в 15-20 больше. Ниже в таблице 1.3 представлены характеристики различных видов топлив.

Таблица 1.3 – Характеристика различных видов топлив

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	Сера в дымовых газах, %	Зола, %	Содержание CO ₂ в дымовых газах, кг/ГДж
Уголь	15-25	1-3	10-20	60
Мазут	42	1,2	1,5	78
Природный газ	36	0	0	57

Пеллеты (древесные гранулы)	17,5	0,1	1	0
--------------------------------	------	-----	---	---

Из таблицы можно увидеть, что при сжигании гранул совсем не выделяется углекислый газ, что является большим плюсом. И эффективность их горения тоже является высокой.[21]

Состав пеллет зависит от того, какую древесину перерабатывают. Производить можно из соломы, шелухи, опилок, тростников и т.д. каждый вид будет иметь свои отличительные свойства энергоэффективности. Тем самым пеллеты можно разделить на «чистые» и с примесями. Соответственно «чистые» производятся из чистой древесины, и в своем составе не имеют примесей. А другой вид уже имеет в своем составе раздробленную кору, солому, шелуху. И если рассматривать дальше, то пеллеты имеющие в составе большое количество примесей – это низкосортная продукция, поэтому лучшим для большинства целей считаются гранулы, которые имеют зольность 1,5%.[22]

В статье [21] приводится сравнение характеристик пеллет из древесины и лузги. Лузга образуется в результате «горячего» прессования при производстве подсолнечного масла. Чаще всего лузгу вывозят как отход на свалку из-за того, что она имеет низкий насыпной вес, положительную способность к возгоранию и тлению, тем самым создается неприятный запах, следовательно, происходит загрязнение окружающей среды. Пеллеты из лузги имеют значимые преимущества:

- их теплотворность колеблется в пределах от 19000 до 21000 кДж/кг, это больше чем у древесины, и почти равно теплотворности некоторых видов угля;

- при сжигании 1000 кг топливных гранул энергии выделяется примерно столько же, как и у 500 л дизельного топлива или 700 л мазута;

- при сжигании пеллет не образуется вредных для окружающей среды выбросов;

- при гранулировании насыпной вес увеличивается в 6 раз по сравнению с исходным сырьем, тем самым происходит экономия средств при транспортировке.

В таблице 1.4 ниже приведены сравнительные характеристики различных видов топлива.

Таблица 1.4 – сравнительные характеристики некоторых видов топлива

Тип топлива. Параметры	Древесные опилки	Лузга подсолнечника	Древесина	Топливная гранула из лузги подсолнечника
Средний насыпной вес, кг/м	220-250	90	960	550-600
Теплотворная способность, кДж/кг	17150	19320	10000	19800-21000
Влага, %	6-8	4-7	12-20	8-10
Зольность, %	0,5-1	0,35-3	1,75-10	1-3

В статье [24] производились исследования по энергетической плотности пеллет. Этот показатель является самым важным в оценке качества характеристик топливных гранул. При одинаковом химическом составе древесины основное влияние на изменение теплоэнергетических характеристик биотоплива оказывают влагосодержание и гранулометрический состав отходов, из которых изготавливают пеллеты. Высокая влажность и неоднородный гранулометрический состав встречаются в отходах лесопильных и

деревообрабатывающих производств. Влажность в них сопоставима с влажностью свежесрубленной древесины, примерно 80%. Так же велика влажность отходов в виде проваренного шпона-рванины, карандашей. Вода является веществом, которое не восприимчиво к горению, тем самым не имеет энергетическую составляющую и отрицательно влияет на теплоту сгорания топлива. При уменьшении влагосодержания происходит увеличение теплотворной способности биомассы в его единице объема. При уменьшении влаги в биомассе на 10%, теплотворная способность повышается на 30%. Основной трудностью сжигания древесной биомассы является влага, малая энергетическая плотность, низкая эффективность оборудования, длинная стадия воспламенения и горения, причиной всего этого является влага. Котлы на сухом топливе имеют коэффициент полезного действия приблизительно такой же как и на жидком топливе.

В таблице 1.5 ниже приведены результаты исследований теплоты сгорания древесных гранул при различных значениях влажности. Для эксперимента были подобраны пробы сырья из осины и сосны.

Таблица 1.5 – результаты исследований теплоты сгорания древесных пеллет при разных значениях влагосодержания

№ опыта	Влажность подаваемого сырья $W_c, \%$	Энергетическая плотность пеллет $E, \text{МДж/ м}^3$	Среднее значение энергетической плотности $E_{ср}, \text{МДж/ м}^3$
1	8	23660	24050
2	8	24310	
3	8	24180	
4	10	22100	22100
5	10	22360	
6	10	21970	
7	12	21710*	21710
8	12	21450*	
9	12	21840*	

1.4 Энергетическая эффективность

В России биомасса дерева является одним из перспективных видов возобновляемого сырья, ее прирост за год составляет 700 млн. м³. Переработке подвергаются такие отходы как: лесозаготовки, рубки ухода, лесопиления и деревообработки.

Древесное топливо составляет примерно 10% топлива от всеобщего количества топлива используемого в мире, но эту долю можно увеличить, так как большая часть древесины попусту растрачивается и не используется в дальнейшей переработке для получения энергии. Из древесной биомассы можно получать различные виды энергии:

- тепловая энергия;
- электрическая;
- транспортное топливо.

По данным шведской биоэнергетической ассоциации на 2002 год, доля биотоплива в производстве разных видов энергии в Швеции составляет:

- тепловая энергия - 52%;
- электроэнергия - 4,5%;
- транспортное топливо - 1%.

И с каждым годом эти цифры увеличиваются.

В России же, приведены примерные данные об использовании биотоплива. Тепловая энергия составляет 5 %, электроэнергия 1%. Как можно заметить цифры довольно не великие по сравнению со Швецией 2002 года. Откуда следует вывод, что использование биотоплива в России находится на очень низком уровне, хотя объемы лесной промышленности у страны огромные.[25]

В России в связи с мировым экономическим кризисом происходила модернизация национальной экономики для того чтобы конкурировать на мировом рынке, но так же до сих приходится выработать новые стратегии для решения этих задач. К тому же внутри страны стоит вопрос о энергосбережении. Решением этого вопроса может быть развитие и

использование биотоплива именно внутри страны. В странах европейского союза спроси на альтернативные виды энергии растет с каждым годом. В таких странах как Швеция, Норвегия, Латвия использование биотоплива как вид для выработки тепловой или электрической энергии занимает большую половину от общего значения. Во многих странах на возобновляемые источники энергии ставят огромные надежды. С каждым годом доля ВИЭ на теплоэлектростанциях растет.

В России так же определены цели энергетического направления в области возобновляемых источников энергии, обозначены они в документе, утвержденном распоряжением Правительства Российской Федерации «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года». Данная стратегия формирует новые стратегические ориентиры развития российской экономики и перехода на более инновационные пути развития. Одной из целей является сохранение здоровья населения и качества жизни путем снижения темпов роста загрязнения воздуха в окружающей среде при использовании ископаемых топлив. Использование пеллет или топливных брикетов является не загрязняющим видом энергии, при их сжигании негативного влияния на окружающую среду нет. Так же целью является вовлечь в топливно-энергетический баланс дополнительные топливно-энергетические ресурсы. То есть использование биотоплива уменьшит процент использования традиционных видов топлив, и в связи с этим будет происходить экономия. Тем самым сэкономленные ресурсы можно отправлять на экспорт и соответственно экономика в стране будет расти. Или же наоборот можно увеличить производство топливных гранул и отправлять на экспорт большее количество, так как в Европе большинство стран переходят на возобновляемые источники энергии, и спрос на этот вид топлива будет большой.[26]

Производственный процесс пеллет является экологически чистым, так как для его производства применяется экологически чистое сырье и электроэнергия. С применением современного оборудования при изготовлении

гранул вредных выбросов в атмосферу не происходит. Производство является безотходным.

В Европе древесина является дефицитным видом сырья из-за большой конкуренции. Тем самым многие страны полагаются на импорт древесной биомассы. На диаграмме 1.1 ниже представлено использование древесной биомассы в производстве энергии в Европе.



Диаграмма 1.1 – использование древесной биомассы в производстве энергии в Европе

На Европу приходится порядка половины мирового производства пеллет и примерно 75% их потребления. Северная Америка и Азия формируют около 20 % рынка. Япония и Южная Корея с каждым годом увеличивают производство пеллет.

Из-за большого потребления пеллет в производстве тепловой и электрической энергии странам европейского союза приходится закупать их у стран Северной Америки и у России.

Основной целью производства биотоплива состоит в том чтобы заменить жидкое ископаемое топливо. В таблице 1.6 показаны цифры по потреблению и производству пеллет в мире.

Таблица 1.6 – Показатели производства и потребления пеллет по всему миру

	Производство, млн.т	Потребление, млн.т
Северная Америка	8	2,8
ЕС 28	13,5	18,8
Другие страны Европы	1,2	0,5
Азия	2,6	2,4
Россия и СНГ	1,5	0,9
Другие страны мира	0,3	0,01

Как можно увидеть в таблице наибольшее количество пеллет производится и потребляется в странах европейского союза. У России же число производства и потребления довольно маленькое, практически сравнимо с другими странами Европы, которые не входят в ЕС.[27]

Древесина давно используется в качестве традиционного вида топлива для бытовых целей. Примерно половина заготавливаемой древесины используется в целях получения энергии. Американские эксперты считают, что большая половина сырья в лесопильном производстве переходит в отходы. На мебельных предприятиях та же половина превращается в отходы. И эти неиспользуемые для технологической переработки отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности можно применять в энергетике.

В результате уточнения мировых запасов ископаемых видов топлива, ученые осознали, что в ближайшие столетия произойдет полное исчезновение всех ископаемых ресурсов. Тем самым будущее поколение рискует остаться совсем ни с чем.[28]

В статье [29] рассматривается повышение энергетической эффективности древесины путем нагрева образцов. Увеличение темпа нагрева биомассы при переработке древесных отходов создает предпосылки для снижения энергетических затрат от 35 до 40%.

В статье [30] рассматривается пеллетное топливо как перспективное повышение экологической безопасности. Приводится приказ Минэнерго о стратегии России до 2030 года по энергосбережению. Так же затрагивается вопрос о том, что в нынешнее время приоритетом является именно экологичная безопасность и энергосбережение. И пеллетное топливо является наиболее подходящим по всем запросам. При его сжигании выделяется столько же углекислого газа, сколько требуется для роста дерева. В мире использование альтернативного вида топлива всюду вовлекается во всех структурах. Но тут же встает вопрос о том, что нет четких научно-технических обоснований по использованию этого топлива и тем самым потенциальные покупатели без особо пристрастия приобретают котлы на пеллетах.

В данный момент основным направлением по использованию вторичного сырья для получения экологически чистой энергии является его прессование в гранулы. К тому же в последнее время интерес к развитию нетрадиционной энергетики востребован тем, что цены на углеводородное сырье растут, а так же исчерпаемостью запасов угля, газа и нефти.

Древесные гранулы являются более эффективным видом топлива для получения энергии по сравнению с другими видами топлива, за исключением угля и газа. Но тут же пеллеты приобретают свои плюсы. С ростом цен внутри страны из-за выравнивания с мировыми, газ становится менее популярным в использовании, так же не каждый может обеспечить себе подключение к системе газоснабжения.

В европейском союзе ежегодно используются миллионы тонн древесных гранул. С каждым годом рост потребления гранул увеличивается на 15%. В России производство пеллет так же развивается. Но за отсутствием сформированного внутреннего рынка осуществление массового производства древесного биотоплива невозможно.

Одной из причин относительно малого использования древесных гранул является то, что в данное время возможности сменить оборудование котельных и систем отопления в частных домах ограничены из-за нестабильных

предложений поставок пеллет внутри страны. Тем самым внутренний рынок сбыта является несовершенным. В таблице 1.7 приводятся сравнительные характеристики различных видов топлива.

Таблица 1.7 – сравнительные характеристики используемых видов топлива

Топливо	Средняя теплота сгорания, ккал/кг	Содержание			Средний КПД сгорания топлива и тепловой установки	Средняя цена единицы объема топлива, р.	Стоимость выработки тепла, р./Гкал
		с е р ы	з о л ы	Углекислого газа			
Свежая древесина	1890	0	2	0	50	1,8	1905
Древесные гранулы	4253	0	0,6	0	85	3,47	959
Уголь каменный	4270	0,8	24	60	50	2	937
Мазут топочный	9590	3,5	0,1	78	60	11	1639
Дизельное топливо	10150	0,3	0	78	80	24	2956
Природный газ $\rho = 0,7 \text{ кг} / \text{м}^3$	8400	0	0	57	85	5,74	803

В [31] были проведены опыты по двум вариантам массового производства древесных гранул. Первый вариант без технологической щепы. Объем производства составил около 13 500 т/год топливных гранул. Второй

вариант предполагал переработку всех отходов лесопильного производства, итогом стало производство 37 000 т/год.

Анализ экономической окупаемости показал, что второй вариант является более прибыльным, так как окупится приблизительно через 4,5 года. И тем самым переработку всех отходов лесопильного производства можно считать более эффективной.

В регионах с огромным ростом лесозаготовок наиболее приоритетным направлением является создание линий по производству альтернативных видов топлива на основе древесины. Пеллеты и топливные гранулы являются целесообразным источником тепловой энергии для населенных пунктов малой населенности. Во-первых, это создаст дополнительные условия для надежного обеспечения домов теплом, а во-вторых, они не имеют высокие экологические нагрузки для окружающей среды.

Почти весь мировой рынок по выпуску пеллет можно разделить на 10 стран, так как их суммарная доля от общего числа равна примерно 75%. В таблице 1.8 ниже показаны страны производящие пеллеты на основе древесины за период 2012-2014 гг.

Таблица 1.8 – Объем производства топливных гранул в 2012-2014 гг.

Страны	Млн. тонн пеллет за 2012 г.	Млн. тонн пеллет за 2013 г.	Млн. тонн пеллет за 2014 г.
США	5,1	5,7	6,9
Германия	2,2	2,2	2,1
Канада	1,5	1,8	1,9
Швеция	1,2	1,5	1,6
Латвия	1	1,1	1,3
Франция	0,7	0,9	1,2
Австрия	0,9	1	0,9
Россия	0,8	0,7	0,9
Португалия	0,7	0,8	0,8
Польша	0,6	0,6	0,6

Как можно увидеть, США имеет серьезный отрыв по производству биомассы, по сравнению с остальными странами. Одна четвертая мирового производства топливных гранул приходится на США.

В России заметен малый рост выпуска продукции. Но в основном вся продукция направлена на экспорт в Швецию и Данию. Внутренний спрос на данный вид топлива относительно невелик.

В рядах европейских стран используются пеллетные котлы и это становится экономически выгодным для государства, но при одном условии, если государство выделяет субсидии и дотации на установку оборудования.[32]

Энергетическая эффективность пеллет не уступает эффективности черного топочного угля. А по другим потребительским свойствам они даже превосходят его. Ниже в таблице 1.9 приведено сравнение трех видов топлива.

Таблица 1.9 – Сравнение основных используемых видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	Оптовая цена, руб/т	Розничная цена, руб/т
Дерево (твердая масса, сухая)	12	520	920
Топливная гранула	18	4200	5500
Черный уголь	20	2100	2700

Из таблицы видно, что дерево и черный уголь имеют более низкую цену, чем выигрывают у пеллет в несколько раз.

Теплотворная способность топливных гранул сравнима с углем и составляет 4,5 кВт/кг.

По сравнению с дровами топливные гранулы имеют ряд положительных качеств. Во-первых, теплотворная способность пеллет в 3-3,5 раза больше чем у дров. Во-вторых, плотность гранул составляет 1200 кг/м³, насыпная плотность 1000 кг/ м³. насыпная плотность дров 300 кг/ м³. Таким образом, машина,

привозящая 10 м³ топлива, привезет либо 12000 кг гранул, либо 3000 кг дров. [33]

К 2050 году к нынешнему населению планеты прирастет еще 2 млрд людей, тем самым спрос на энергию будет возрастать с каждым годом и ископаемые источники энергии не смогут долгое время удовлетворять потребности населения. Учитывая этот факт современная энергетика смещает свой акцент на развитие нетрадиционных источников энергии.

Древесина является важным источником в возобновляемой энергетике, примерно половину в данное время. Производство пеллет востребовано более всего. Ожидается рост производства с 15 млн тонн до 45 млн тонн с 2010 по 2020 год. Снабжение древесным сырьем постепенно становится проблематичным в регионах, где рынок разрастается. Россия имеет наилучший потенциал и конкуренцию в привлечении крупных инвесторов это видно на Рисунке 1.2.

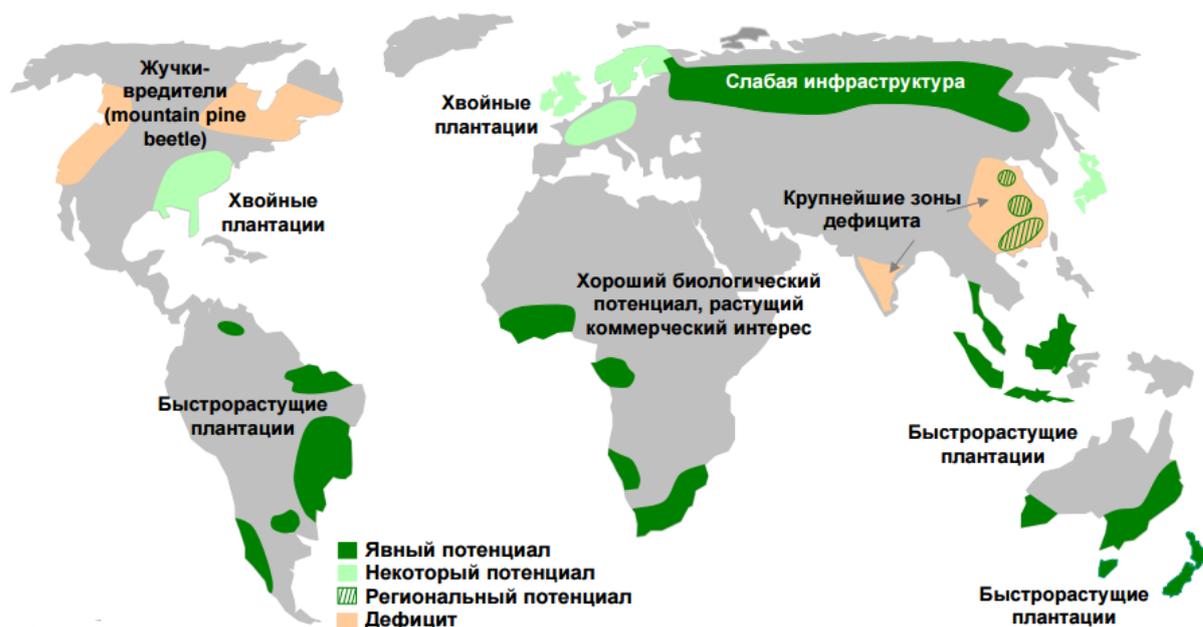


Рисунок 1.2 – Точки роста в производстве продукции древесины

Развитие производства в России зависит от общего развития ситуации в лесопромышленном секторе и от поддержки внутреннего спроса на продукцию.[34]

Пеллеты имеют такие преимущества как, высокая плотность, а так же в их составе отсутствует влага. Благодаря этому пеллеты имеют высокую энергетическую эффективность. Один килограмм такого топлива равен по эффективности 0,5 литра жидкого топлива. Так же его преимуществом является то, что топливные гранулы абсолютно экологичны. При сгорании, пеллеты выделяют столько же углекислого газа как и при естественном выделении его при гниении.

Коэффициент полезного действия котлов на пеллетном топливе составляет 95%. Топливные гранулы соответствуют энергетическим требованиям. Мир не стоит на месте, и тем самым рост технологий идет вперед, и исследование древесной биомассы является приоритетным направлением.[35]

В статье [36] проводились исследования по определению экономической и энергетической эффективности торрефицированных топливных гранул для получения тепловой и электрической энергии. Для определения энергетической эффективности был использован коэффициент использования топлива, который рассчитывался как отношение выработанной электроэнергии продуктов сгорания к теплосодержанию израсходованного природного газа. Проводилось несколько опытов с торрефицированными пеллетами сжигаемыми совместно с углем и в качестве исходного сырья в газогенераторах. Наиболее лучшим оказался результат сжигания только торрефицированных пеллет. Так же было замечено, что при использовании совместного сжигания пеллет с традиционными источниками энергии наблюдался спад вредных выбросов в атмосферу.

Мировая популярность гранулированного топлива растет из-за ряда несомненно важных преимуществ по сравнению с исходным сырьем. Во-первых, из-за большого насыпного веса объем складов уменьшен на 50%. Во-вторых, горение в котлах происходит более эффективно по сравнению с исходным материалом. Так же, современные котлы автоматизированы, и подача топлива осуществляется легко. И еще несомненным плюсом является

то, что горелки для гранул легко можно устанавливать вместо горелок для жидкого топлива, с сохранением высокого уровня автоматизации.

Преимущества пеллет так же состоят в том, что они:

- экологически чистые;
- доступные;
- имеют высокую теплотворную способность;
- имеют низкое содержание золы и вредных веществ;
- возобновляемы;
- могут использоваться вторично (зола как удобрение).

Получение тепловой и электрической энергии с помощью топливных гранул по сравнению с традиционными видами топлива более выгодно. Топливо является экологически чистым, исходным сырьем являются отходы лесной промышленности. Для сжигания уже существует инфраструктура для сжигания твердых топлив. Так же пеллеты можно использовать как местное топливо в отдаленных районах проживания, где нет централизованных энергоисточников.[37]

Преимуществом древесной биомассы по сравнению с ископаемыми топливами является низкое содержание серы. Содержание углерода и кислорода в разных древесных породах практически идентично. Но кора имеет более высокие значения по сравнению с самой древесиной.

Ниже в таблице 1.10 представлены сравнительные характеристики разных видов древесной биомассы.

Таблица 1.10 – Физические характеристики отдельных древесных видов топлива

Древесный материал	Влажность %	Высшая теплота сгорания кВт-ч/кг	Низшая теплота сгорания кВт-ч/кг	Объемная плотность кг/ м ³	Плотность энергии кВт-ч/ м ³
Гранулированная древесина	10	5,5	4,6	600	2756
Древесная щепа	30	5,5	3,4	320	1094

(твердая древесина, подвергнутая предварительной сушке)					
Древесная щепа (твердая древесина)	50	5,5	2,2	450	1009
Древесная щепа (мягкая древесина, подвергнутая предварительной сушке)	30	5,5	3,4	250	855
Древесная щепа (мягкая древесина)	50	5,5	2,2	350	785
Кора	50	5,6	2,3	320	727
Опилки	50	5,5	2,2	240	538

Как можно увидеть древесные гранулы обладают наибольшей плотностью энергии, но высшая теплота сгорания у всех видов одинаковая.[38]

В последнее время ведется активное изучение торрефицированной древесной биомассы. ведь она обладает улучшенными физическими качествами. Торрефикация представляет собой «мягкий» пиролиз, который позволяет придать биомассе характеристики, максимально приближенные к характеристикам каменного угля, но при этом сохраняя экологичность и энергию, которая содержалась в исходной биомассе.

При торрефикации биомасса подвергается температурному воздействию при ограниченном доступе воздуха, тем самым теряется калорийность летучих веществ, и увеличивается калорийность материала.

К преимуществам торрефицированного пеллетного топлива относятся:

- повышенная энергетическая плотность – экономия при транспортировке и хранении;
- пониженная гигроскопичность – возможность хранения под открытым небом;

- топливные характеристики близкие к характеристикам угля – отсутствие нужны на модернизацию котельно-топочного оборудования;
- экологичность.[39]

Пеллетные котлы являются стационарным оборудованием универсального способа установки. Их мощность варьируется от 15 кВт до нескольких мегаватт. Такой котел состоит из корпуса, горелок, топки, теплообменника, топливного бункера и дымохода. При такой конструкции температура уходящих газов всего 180-200 °С. В котле установлена специальная гранульная горелка объемного типа, которая обеспечивает более высокий КПД котла чем у других твердотопливных котлов и практически сравнима с КПД котлов на природном газе. Так же немаловажным является тот факт, что такие котлы долговечны, срок службы 20 лет и более.[40]

Растительная биомасса (древесные и сельскохозяйственные отходы) относится к возобновляемым углеводородным ресурсам и является перспективным и экологически чистым сырьем, которое может заменить минеральное топливо. Интерес к ее использованию в энергетических целях обусловлен рядом факторов, в частности, развитием средств автономной энергетики, ростом внимания к экологическим аспектам производства тепло- и электроэнергии, доступностью. Однако большая неравномерность биомассы и низкая плотность энергии приводят к снижению эффективности ее использования. За счет гранулирования, может быть повышена экономическая составляющая процесса использования биомассы в энергетике. Производство пеллет растет во всем мире и в России к 2016 году достигло 1 млн. тонн в год. Наряду с расширением производства биогранул наблюдается тенденция повышения потребительских характеристик этого вида топлива, в частности увеличения удельного энергетического содержания и уменьшения гигроскопичности.

Разработка технологии торрефикации (нагрев до температур 200 – 300 °С в бескислородной среде) позволит получать топливные гидрофобные

пеллеты из биомассы, с повышенными теплотехническими свойствами.

Использование таких пеллет в энергетических целях приведет к полной или частичной замене твердого ископаемого топлива (угля) в топливно-энергетическом комплексе России и других стран.[41]

Пеллеты без сомнения можно назвать топливом нового поколения. Отопление помещения с помощью данной продукции является полностью безопасным и экологичным. Представляя собой гранулы цилиндрической формы, они легко хранятся, не издают неприятного запаха и не пачкаются в отличие от некоторых других видов топлива. Производство топливных пеллет (брикетов) осуществляется без использования каких-либо химических веществ. Получаемое биотопливо является полностью натуральным. Склеивание опилок происходит благодаря веществу, которое выделяется самой древесиной, а также воздействию на них воды и пара в процессе гранулирования. Пеллеты уверенно могут посоревноваться с давно известными видами топлива, такими как уголь, дизельное топливо и дрова. Образование золы в процессе сгорания топливных гранул не превышает 1,5 - 3%. А это говорит об очень высокой энергетической эффективности этого вида топлива. Благодаря доступности сырья, используемого в изготовлении пеллет, стоят они сравнительно недорого. Составить конкуренцию топливным гранулам может только природный газ. Но только при условии, что в расчет не берется стоимость установки газового оборудования.[42]

Древесные пеллеты евростандарта ENplus, А-1. Эти древесные гранулы диаметром 6 мм и 8 мм отличаются великолепными показателями:

- зольность 0,5% — 0,7%;
- влажность 7% — 10%;
- теплота сгорания более 19 МДж/кг.

Популярный стандарт был принят в Германии более пяти лет назад. С тех пор он распространился в ЕС и в Россию. Согласно требованиям стандарта EN 14961-2, определяются основные параметры и качество биомассы.

Как оптимальная форма переработанных отходов древесины данный стандарт пеллет характеризуется высокой энергетической плотностью, низкой себестоимостью производства и низкими энергозатратами в процессе их производства.

Пеллеты стандарта ENplus, A-1, как альтернативный вид топлива, намного опережают традиционные источники отопления в быту. Белые древесные гранулы являются экологически чистым топливом, что позволяет отапливать помещения с минимальным выбросом CO₂ в атмосферу при самой высокой энергетической эффективности.

Для гранул этого стандарта введена всемирно признанная сертификация топлива. Система работает в странах Евросоюза и на северо-американском континенте. В настоящее время стандарт активно тестируется и принимается на вооружение и в России.

Сегодня сертификацию по ENplus, A-1 проходят более 60% общего объема производимой продукции. Согласно параметрам стандарта, в нем используются новые критерии оценки пеллет:

- плотность гранул;
- фиксированный диаметр;
- температура плавления золы.[43]

В статье [44] рассматривалось мероприятие по энергосбережению и тем самым повышение энергетической эффективности в сельском хозяйстве. В замену электронагревательной системе водяного отопления было применено отопление с помощью котлов на пеллетах. В следствие чего был получен результат что при отоплении на пеллетах стоимость отопления была ниже в три

раза чем при отоплении другими котлами. Тем самым можно сказать что в агропромышленном комплексе использование котлов на пеллетах эффективно.

Основной объем древесной биомассы с России экспортируется в скандинавские страны. Но в последнее время наблюдается рост продаж в страны центральной Европы. Так же происходит развитие географии экспорта. В 2015 году Россия поставляла сырье в Нидерланды и Великобританию, хотя традиционно эти рынки принадлежали североамериканским производителям.

Ниже представлена диаграмма 1.2 на которой можно увидеть в какие страны производился экспорт пеллет в 2015 году.

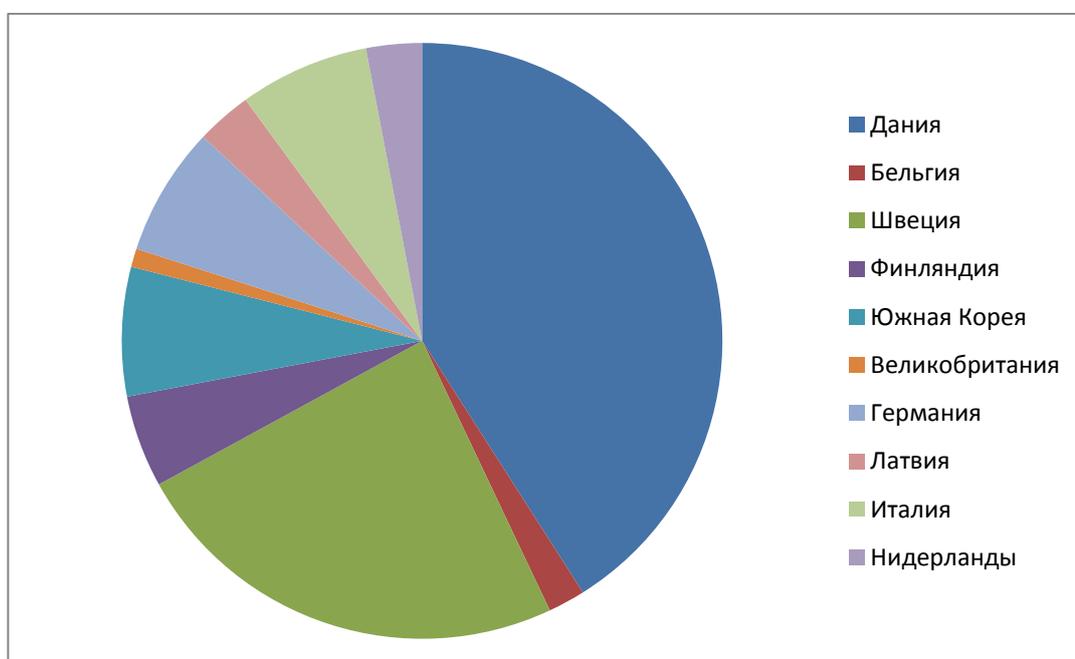


Диаграмма 1.2- Структура экспорта древесных гранул в 2015 году

В связи с теплыми осеннее-зимними периодами в странах ЕС, стоимость топливных гранул уменьшилась, что негативно повлияло на российских экспортеров. Но с другой стороны с низкими ценами расчищается рынок от североамериканских и европейских производителей, потому что продавать по такой цене они не могут себе позволить. И тем самым снижение цен на продукцию может только способствовать отечественным производителям расширять географию экспорта.[45,46]

Развитие производства биотоплива – новая и перспективная отрасль современной топливной промышленности. Через некоторое время при поддержке темпов развития данного направления биотопливо станет полноценным сырьем топливно-энергетического комплекса РФ. Так же имеется ряд недостатков данного топлива. Теплотворная способность ниже чем у бензина; себестоимость производства высокая. Специалисты пытаются улучшить и удешевить получение пеллет. К тому же разрабатываются проекты по улучшению энергетической эффективности биологического топлива. Россия может стать главным экспортером на мировом рынке биотоплива. Но для этого так же надо развивать лесное законодательство и разрабатывать программу развития биоэнергетики в рамках закона об энергетической эффективности с участием заинтересованных организаций и ведомств. Производство биотоплива в виде гранул, брикетов, щепы может стать локомотивом развития российской глубинки: это и котельные в негазифицированных регионах, и перевод муниципальных котельных с ископаемых видов топлива (угля, нефти, мазута) на биотопливо, и создание новых рабочих мест в районах с хронической безработицей, и внедрение новых технологий и модернизация инфраструктуры, и улучшение экологической обстановки, и возможность получения дополнительного финансирования по проектам Киотского протокола. [47-50]

1.5 Вывод по обзору литературы

Анализируя учебную литературу и интернет-источники можно сказать, что древесная биомасса является эффективным топливом для получения тепловой и электрической энергии. В основном рассмотрению подвергались древесные гранулы (пеллет) и брикеты. Они являются экологически чистыми источниками энергии, так как при сжигании пеллет количество выбросов углекислого газа равны количеству этого же газа при потреблении дерева на рост. К тому же топливные гранулы имеют высокие топливные характеристики, которые близки к углю, но в ценовом характере превышают цену угля примерно в два раза. Плюсом пеллет является высокая насыпная плотность, тем самым затраты на транспортировку намного ниже чем у обычной древесины.

Так же после сжигания золу можно использовать как удобрение в агропромышленности. Так же заметен рост экспорта в последние года в страны Европейского союза, где многие страны почти полностью переходят на биотопливо. Но в России пока что использование данного вида топлива не популярно. Причиной этого является малый спрос на внутреннем рынке. В дальнейшем Россия может стать крупнейшим производителем топливных гранул в связи с большим запасом биологической массы растительного и животного происхождения, но для этого следует развивать инфраструктуру.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО		
5БЗБ	Шагунов Дмитрий Олегович		
Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	промышленная теплоэнергетика

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Дол. оклад НР – 26300 руб. Дол. оклад инженера – 17000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Амортизационные отчисления – 20% Районный коэффициент – 30%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления по страховым взносам составляют 30% от ФОТ</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Планирование НИ</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Смета затрат на НИ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение практической значимости проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст.преподаватель	Кузьмина Наталия Геннадьевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БЗБ	Шагунов Дмитрий Олегович		

2. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Темой НИ является анализ энергоэффективности использования древесной биомассы для выработки тепловой и электрической энергии.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности НИ.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

- планирование научно-исследовательских работ;
- составление бюджета НИ.

С учетом решения данных задач была сформирована структура и содержание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

2.1 Планирование работы и их временных оценок

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят руководитель и инженер. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе был составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, а также проведено распределение исполнителей по видам работ (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – План научно – технического исследования

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя	Продолжительность, дней
Разработка и выдача технического задания	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Инженер	1
Выбор направления исследований	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	10

	Выбор методик и программных комплексов для работы	Инженер	2
	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, Инженер	3
Теоретические и экспериментальные исследования	Анализ литературных источников	Инженер	17
Теоретические и экспериментальные исследования	Описание полученных результатов	Инженер	17
Обобщение и оценка результатов	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	2
Разработка технической документации и проектирование	Выводы по проделанной работе	Инженер	10
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	Составление пояснительной записки	Инженер	16
Итого		Инженер	78
		Руководитель	6

2.2 Расчет бюджета НИ

Бюджет рассчитывается, как затраты на приобретение необходимого оборудования для выполнения НИ и текущие расходы. Затраты на осуществление НИ рассчитываются по следующим статьям расходов с последующим суммированием:

- расходы на оплату труда;
- отчисления во внебюджетные страховые фонды;
- расходы на материалы и комплектующие изделия;
- расходы на спецоборудование;
- накладные расходы.

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ руб.} \quad (1)$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты;

$K_{\text{ам}}$ - амортизация компьютерной техники;

$K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату;

$K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды;

$K_{\text{пр}}$ - прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

2.2.1 Материальные затраты

Под материальными затратами понимается величина денежных средств, потраченных на канцелярские товары. Величину этих затрат принимаем 1000 руб.

2.2.2 Амортизация техники

Амортизацию оборудования в классическом понимании можно назвать постепенным переносом стоимости основной части финансов организации и её активов нематериального значения по уровню их морального и физического износа на итоговую цену выпускаемых товаров.

Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб./год}, \quad (2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ - время использования компьютерной техники;

$T_{\text{кал}}$ - календарное время;

$C_{\text{кт}}$ - цена компьютерной техники;

$T_{\text{сл}}$ - срок службы компьютерной техники.

$$K_{\text{ам}} = \frac{103}{365} \cdot 30000 \cdot \frac{1}{5} = 1693,15 \text{ руб./год.}$$

2.2.3 Затраты на заработную плату

Заработная плата – это вознаграждение за труд в зависимости от квалификации работника, сложности, количества, качества и условий выполняемой работы, а также выплаты компенсационного и стимулирующего характера.

Затраты на заработную плату рассчитываются как:

$$K_{з/пл} = 3П_{инж}^{\phi} + 3П_{нр}^{\phi} \text{ руб.}, \quad (3)$$

где $3П_{инж}^{\phi}$ - фактическая заработная плата инженера;

$3П_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя.

Месячный оклад:

$$3П_{инж}^м = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2; \quad (4)$$

$$3П_{нр}^м = 3П_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5)$$

где $3П_{инж}^м$ - месячная заработная плата инженера;

$3П_{нр}^м$ - месячная заработная плата научного руководителя;

$3П_0$ - месячный оклад (инженер 17000 руб., научный руководитель 26300 руб.);

K_1 – коэффициент, учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%);

K_2 - районный коэффициент равен 1,3 (10%).

$$3П_{инж}^м = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310 \text{ руб.};$$

$$3П_{нр}^м = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб.},$$

Фактическая заработная плата:

$$3П_{\phi} = \frac{3П_{мес}}{21} \cdot n^{\phi} \text{ руб.}, \quad (6)$$

где $3П_{мес}$ - месячная заработная плата;

21 - среднее число рабочих дней в месяце;

n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

$$\text{Инженер: } 3П_{инж}^{\phi} = \frac{17000}{21} \cdot 78 = 63142,857 \text{ руб.}$$

$$\text{Научный руководитель } 3П_{нр}^{\phi} = \frac{26300}{21} \cdot 6 = 7514,286 \text{ руб.}$$

$$K_{з/пл} = 63142,857 + 7514,286 = 70657,143 \text{ руб.}$$

2.2.4 Затраты на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды – обязательные отчисления по нормам, установленным законодательством государственного социального страхования в Фонд социального страхования РФ, Пенсионный фонд РФ, фонды обязательного медицинского страхования от затрат на оплату труда работников, включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), по

элементу «Затраты на оплату труда» (кроме тех видов оплаты, на которые страховые взносы не начисляются).

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату.

$$K_{c.o} = 0,3 * K_{\frac{з}{пл}} \text{ руб,} \quad (7)$$

$$K_{c.o} = 0,3 * 70657,143 = 21197,143 \text{ руб.}$$

2.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{пр} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\frac{з}{пл}} + K_{c.o}) * 0,1 \text{ руб.} \quad (8)$$

$$K_{пр} = (1000 + 1693,15 + 70657,143 + 21197,143) * 0,1 = 94547,436 \text{ руб.}$$

2.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – расходы на хозяйственное обслуживание производства и управление предприятием, являющиеся дополнительными к основным затратам и наряду с ними включаемые в издержки производства.

Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\frac{з}{пл}} * 2 \text{руб.} \quad (9)$$

$$K_{\text{накл}} = K_{\frac{з}{пл}} * 2 = 70657,143 * 2 = 141314,286 \text{ руб.}$$

Рассчитанная величина затрат научного исследования является основой для формирования бюджета затрат НИ, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции 70657,143

Определение бюджета затрат на НИ по каждому варианту исполнения приведен в таблице 1.2.6.

Таблица 1.2.6 – Расчет бюджета затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИ	1000
2. Затраты на амортизацию	1693,15
3. Расходы на оплату труда	70657,143
4. Затраты на социальные нужды	21197,143
5. Прочие затраты	94547,436
6. Накладные расходы	141341,286
Итого:	330409,158

Применение древесной биомассы повышает экономию невозобновляемых источников энергии и повышает ресурсоэффективность производства тепловой и электрической энергии. Данная продукция является экологически чистым, возобновляемым источником энергии – топливом, применяемым во всем мире, как для отопления загородной недвижимости в частном секторе, так и в больших, промышленных и муниципальных, котельных и электростанциях.

Исторически большинство котельных работают на каменном угле в нашей стране. За исключением хорошо газифицированных южных и некоторых других районов страны. Но в основном уголь продолжает оставаться основным топливом.

Многие котельные являются частными и перевод их на газ очень дорог и сложен. Тем самым заместить каменный уголь в котельных мы можем пеллетами. Технического переоборудования для этого проводить не следует. Топливные брикеты сегодня при сравнимой калорийности обходятся дешевле, чем каменный уголь. Тем самым прослеживаются экономические предпосылки для использования брикетов вместо каменного угля в большинстве регионов РФ.

