

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический
Направление подготовки 13.04.01-Теплоэнергетика и теплотехника
Кафедра Теоретической и промышленной теплотехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Экспериментальное исследование влияния теплофизических свойств хвойной биомассы на процесс сушки

УДК 630.8:536.423:66.047

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5В	Иванова Наталья Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТПТ	Бульба Елена Евгеньевна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры МЕН	Попова Светлана Николаевна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Василевский Михаил Викторович	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы магистра по направлению 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
P1	Использовать представления о методологических основах научного познания и творчества, анализировать, синтезировать и критически оценивать знания	Требования ФГОС (ОК-8, 9; ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-3; ПК-8, 24), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации, осуществлять педагогическую деятельность в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ОК-4, 5; ПК-3, 16, 17, 25, 27, 28, 32), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС (ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
	Профессиональные компетенции	
P6	Использовать глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания для создания и применения инновационных технологий в теплоэнергетике	Требования ФГОС (ПК-1, 5), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Применять глубокие знания в области современных технологий теплоэнергетического производства для постановки и решения задач инженерного анализа, связанных с созданием и эксплуатацией теплотехнического и теплотехнологического оборудования и установок, с использованием системного	Требования ФГОС (ПК-2, 7, 11, 18 – 20, 29, 31), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2, 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	анализа и моделирования объектов и процессов теплоэнергетики	
P8	Разрабатывать и планировать к разработке технологические процессы, проектировать и использовать новое теплотехнологическое оборудование и теплотехнические установки, в том числе с применением компьютерных и информационных технологий	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 12 – 15, 30), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Использовать современные достижения науки и передовой технологии в теоретических и экспериментальных научных исследованиях, интерпретировать и представлять их результаты, давать практические рекомендации по внедрению в производство	Требования ФГОС (ПК-6, 22 – 24), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P10	Применять методы и средства автоматизированных систем управления производства, обеспечить его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на теплоэнергетическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-21, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Готовность к педагогической деятельности в области профессиональной подготовки	Требования ФГОС (ПК-32), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Институт	Энергетический
Направление подготовки	13.04.01 - 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:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5В	Ивановой Наталье Андреевне

Тема работы:

Экспериментальное исследование влияния теплофизических свойств хвойной биомассы на процесс сушки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 235/с от 27.01.2017г

Срок сдачи студентом выполненной работы:	30.05.2017 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(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.).</i></p>	<p>Объект исследования: четыре образца хвойных пород древесины:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ель; 2. Пихта; 3. Кедр; 4. Сосна.
---	---

<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"> – постановка цели и задач исследования; – обзор литературы; – определение массы испарившейся влаги; – расчет массовой скорости испарения; – расчет парциального давления; – анализ и обработка полученных результатов; – анализ параметров, влияющих на коэффициент аккомодации; – 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>Попова Светлана Николаевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Василевский Михаил Викторович</p>
<p>Часть ВКР на иностранном языке</p>	<p>Костомаров Петр Иванович</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Введение,</p>	
<p>Обзор литературы,</p>	
<p>Заключение;</p>	
<p>Список используемых источников.</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>23.09.2015</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент кафедры ТПТ</p>	<p>Бульба Елена Евгеньевна</p>	<p>К. Т. Н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5БМ5В</p>	<p>Иванова Наталья Андреевна</p>		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5В	Иванова Наталья Андреевна

Институт	Энергетический	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Тема моей работы: «Экспериментальное исследование теплофизических свойств хвойной биомассы на процесс сушки».</p> <p>Объектом исследования является хвойная биомасса 4 сортов древесины: ель, пихта, кедр, сосна.</p> <p>Результаты выполненных экспериментальных исследований могут служить базой для дальнейшего уточнения механизма удаления влаги из пористой структуры влагосодержащего материала и развития общей теории сушки, а так же могут служить для применения в области энергетики и лесной промышленности. Так же из биомассы возможно получение хлорофилло-каротиновой пасты, топлива, а так же тепла и электричества.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1.Производственная безопасность</p> <p>1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.</p> <p>1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведенной среды.</p>	<p>1.1 Техника безопасности при обслуживании сушильных камер: 1) При заходе в камеру оператор сушильной установки должен надевать брезентовый костюм перчатки, шлем и противогазовую маску с воздухоохладителем. 2) Камеры должны быть оборудованы электрическим освещением 12-18 В. 3) Коридоры управления камер, лаборатория, топочные помещения газовых камер должны быть оборудованы вентиляцией. 4) Паропроводы должны быть изолированы.</p> <p>1.2</p> <ul style="list-style-type: none"> • ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. • СанПиН 2.2.4.548-96 Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений • ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования. • ГОСТ 12.1.019 – 79 Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>Сушка пиломатериалов является обязательной технологической операцией при производстве изделий из древесины, а так же для использования ее в других областях. Это достаточно сложный, энергоемкий и длительный процесс, который сопровождается выделением определенного объема парогазовой смеси в воздушный бассейн.</p> <p>Проблема определения качественного и количественного состава газовыделений при сушке древесины относится к категории малоизученных. В настоящее время среди специалистов деревообработки, занимающихся сушкой древесины, бытует мнение, что с поверхности пиломатериалов испаряется только влага. Поэтому экологической проблемы сушки древесины не существует.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p>	<p>В лаборатории возможно возникновение возгораний и взрывов на коммуникациях и технологическом оборудовании в результате короткого замыкания проводов в ПК и аудитории, а так же вследствие несоблюдения техники безопасности при работе с оборудованием.</p> <p>Необходимо выявления угроз пожара и оповещение персонала, а так же в лаборатории должны быть средства защиты от ЧС, правила поведения при возникновении ЧС и план эвакуации.</p>
<p>4. Правовые и</p>	<p>Выявление угроз пожара и оповещение сотрудников;</p> <p>Подготовка сотрудников к действиям в условиях ЧС;</p>

организационные вопросы обеспечения безопасности:	Создание запасов средств индивидуальной защиты и поддержание их в готовности; Создание благоприятных условий на рабочем месте для сотрудников.
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Василевский М.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5В	Иванова Н.А.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5БМ5В	Иванова Наталья Андреевна

Институт	ЭНИН	Кафедра	ТПТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Определение и анализ трудовых и денежных затрат, направленных на реализацию исследования. Приблизительная стоимость ресурсов научного исследования, в том числе научно-технического оборудования, составляет около 76 тыс. руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым выплатам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Технико-экономическое обоснование НИР
2. Разработка устава научно-технического проекта	Не разрабатывается.
3. Планирование процесса управления НТИ	Определение этапов работы, трудоемкости работы, составление план-графика, сметы затрат.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка экономической эффективности проекта, научно-технического уровня НИР.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры МЕН	Попова Светлана Николаевна	К. Э. Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5БМ5В	Иванова Наталья Андреевна		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 117 страниц, 12 рисунков, 19 таблиц, 59 источников

Ключевые слова: хвойная биомасса, массовая скорость испарения, давление насыщения, влажность, парциальное давление, коэффициент аккомодации.

Объектом исследования является хвойная биомасса четырех сортов древесины, ее свойства и параметры.

Цель работы – экспериментальное исследование теплофизических свойств хвойной биомассы на процесс сушки, а также нахождение скорости испарения жидкости из хвойной биомассы, расчет коэффициента аккомодации и парциального давления, которые позволяют оценить параметры, влияющие на процесс испарения жидкости при сушке биомассы.

В результате эксперимента получены результаты изменения массовой скорости испарения, коэффициента аккомодации и парциального давления для хвойных пород древесины. Получены зависимости массовой скорости испарения от температуры и от времени сушки.

Область применения: энергетика, лесная промышленность (сушка древесины).

Список обозначений

В настоящей работе использованы следующие обозначения:

$W_{\text{исп.}}$ – массовая скорость испарения, кг/ (м²·с);

Δm – изменение массы образца, после 10 минут сушки, кг;

S – площадь ёмкости, м²;

t – время сушки, с;

P^* – давление парциальное, Па;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8314$ Дж/кмоль·К;

M – молекулярная масса, г/моль;

T – температура вещества, К;

A – коэффициент аккомодации;

P_n – давление насыщенного пара, Па;

V – объем сушильной камеры, м³;

$m_{\text{с.в.}}$ - масса сухого воздуха, кг;

m_{H_2O} - масса водяного пара, кг;

M_{H_2O} - молекулярная масса воды, $M_{H_2O} = 18$ г/моль;

$M_{\text{с.в.}}$ - молекулярная масса сухого воздуха, $M_{\text{с.в.}} = 29$ г/моль;

g_{H_2O} - массовые доли водяного пара в образце;

r_{H_2O} - объемные доли водяного пара в образце

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий»;
- СП 52.13330.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95»;

- СНиП 23-05-95· «Естественное и искусственное освещение»;
- ГОСТ 12.1.006-84· «ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»;
- СанПин 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях»;
- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»;
- СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»;
- ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества»;
- СНиП 3.05.06-85 «Электротехнические устройства»;
- СНиП 21-01-97· «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;
- ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»;

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	14
1. Обзор литературы	16
1.1 Характеристика и строение хвойной древесины	16
1.2 Физические свойства хвойной древесины	18
1.3 Биомасса, виды, достоинства, биоэнергетика	22
1.4 Анализ энергоэффективности использования биомассы	26
1.5 Сушка древесины и виды сушильных камер	28
1.6 Математическое моделирование процессов тепломассопереноса при сушке древесины	33
1.7 Современное состояние городских лесов города Томска	35
1.8 Теория планирования инженерно – физического эксперимента	36
1.9 Выводы по обзору литературы	37
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАССОВОЙ СКОРОСТИ ИСПАРЕНИЯ ИЗ ХВОЙНОЙ БИОМАССЫ	38
2.1 Описание экспериментальной установки	39
2.2 Образцы для проведения эксперимента	40
2.3 Методика эксперимента	44
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	45
3.1 Результаты расчета парциального давления	45
3.2 Результаты погрешностей измерений	50
3.3 Результаты расчета коэффициента аккомодации	55
4. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	55
4.1 Анализ зависимости скорости испарения от времени	58
4.1.1 Теоретическая кривая скорости испарения	60
4.1.2 Экспериментальная кривая скорости испарения	61
4.2 Зависимость скорости испарения от температуры	62
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	64

5.1 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды	
5.2 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды	
5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	
5.4 Выводы	
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	79
6.1 Определение перечня работ и оценка времени на их выполнение	79
6.2 Смета затрат на разработку проекта	82
6.3 Оценка научно–технической результативности научно–исследовательской работы	85
6.4 Выводы	87
Заключение	96
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ	90
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	91
Приложение А	99

Введение

Во всем мире сейчас возрастает интерес к биотопливным ресурсам.

С каждым годом в России всё более остро встают вопросы энергосбережения, эффективного использования ресурсов, утилизации отходов. Объемы и разнообразие отходов увеличиваются быстрыми темпами, ввиду развития промышленности и ростом потребления энергии. Поэтому задача эффективной утилизации отходов является актуальной [1].

В результате обработки древесины и лесозаготовок появляется большое количество отходов. Их использование пока минимально. Поскольку лесосечные отходы практически не применяются, их утилизация связана с большими финансовыми затратами. В качестве выхода из сложившейся ситуации предлагается переход на использование возобновляемых источников энергии. Одним из таких источников является растительное сырье, в частности древесина [2].

Органическая составляющая отходов представляет собой постоянно возобновляемый источник энергии, который может быть использован для выработки как тепловой, так и электрической энергии.

На сегодняшний день большинство развитых стран стремятся развивать альтернативную энергетику, поскольку классические источники энергии являются исчерпаемыми. Биоэнергетика имеет больше преимуществ, так как в качестве исходного материала используется биомасса, расходы на получение которой минимальны [3].

Но использование древесной биомассы в энергетике осложнено из-за большого, как правило, влагосодержания древесины. Процессы сушки древесины длительны и энергозатратны. Поэтому анализ закономерностей процессов влагоудаления является одной из основных задач, решение которых необходимо при разработке технологий сжигания древесной биомассы в топках паровых и водогрейных котлов.

Древесные отходы являются хорошим топливом, имеющим высокую теплотворную способность. Главным достоинством этого топлива является его экологическая безопасность, так как при его сгорании образуется минимальное количество золы и вредных веществ [4]. При естественном разложении древесины в атмосферу выделяется то же количество углекислого газа, как при ее сгорании [5].

Поэтому целью работы является экспериментальное изучение процессов влагоудаления из образцов древесины хвойных пород и определение численных значений характеристик процесса сушки.

Задачами исследования: является

1. Аналитический обзор литературы по выбранной тематике;
2. Выбор методики эксперимента;
3. Подготовка экспериментальной установки и образцов исследуемой биомассы;
4. Проведение эксперимента;
5. Анализ результатов;
6. Формулировка выводов.

1 Обзор литературы

1.1 Характеристика и строение хвойной древесины

В статье [6] автор описывает методы определения гистологического состава древесины различных типов. Рассматривает особенности строения хвойных и лиственных пород.

Древесина хвойных пород отличается простым, примитивным строением. Водопроводящие элементы представлены здесь замкнутыми прозенхимными клетками с окаймленными порами – трахеидами. Специализированные механические (опорные) ткани отсутствуют, их функцию совмещают поздние трахеиды, так как хвойные породы – вечнозеленые.

Гистологический состав древесины сосны обыкновенной приведен в таблице 1.

Таблица 1.1.1– Процентное соотношение элементов древесины сосны

Ранние трахеиды	Поздние трахеиды	Вертикальный смоляной ход	Сопровождающая паренхима	Сердцевинные лучи
67,5	26,2	0,8	0,5	5,0

В справочнике [7] описываются свойства хвойной древесины. Свежесрубленная древесина пихты имеет влажность около 120% и это максимальный показатель для хвойных пород. Пихта сибирская и белокорая относятся к малоусыхающим породам древесины, а пихта цельнолистная и Нордманна (кавказская) — к среднеусыхающим.

Древесину пихты от других хвойных пород отличает низкая газопроницаемость. Заболонь практически не пропускает воздух (азот).

В таблице 2 представлена плотность различных видов пихты.

Таблица 1.1.2 – Плотность различных видов пихты.

Плотность древесины различных видов пихты (кг/м ³)					
	Пихта белая	Пихта Нордманна	Пихта белокорая	Пихта сибирская	Пихта цельнолистная
При стандарт, влажности (12%)	425	435	395	375	395
Абс. сухой древесины	400	415	375	350	375
Базисная	350	355	325	310	325

В учебнике [8] автор подробно описывает свойства и основные породы хвойной древесины, среди которых сосна занимает около 20 % площади всех лесов России. Наиболее распространена сосна обыкновенная. Древесина её мягкая, умеренно легкая, механически прочная, не пластичная, она хорошо обрабатывается. Ель более сучковатая порода, чем сосна, хуже пропитывается антисептиками. Обладает большей гигроскопичностью, чем сосна. Мягкая порода, но после высыхания древесина ели по прочности почти не уступает древесине сосны. Лиственница является самой распространенной породой в России. На ее долю приходится 70 % покрытой лесом площади. Лиственница ценится очень высоко, так как более устойчива к сырости, и в 2-3 раза дороже сосны. Лиственница — единственное дерево, не гниющее в морской воде. Плотность и прочность её почти на 30% выше, чем у сосны. Древесина тяжелая и прочная, устойчива к гниению.

Кедр относится к тому же биологическому виду, что и сосна. Обладает целебными свойствами, оно очень богато фитонцидами. При нагревании древесина кедра выделяет уникальный аромат, который благотворно влияет на нервную систему, а также убивает практически все болезнетворные микробы.

В работе [9] рассмотрены диэлектрические свойства древесины хвойных пород (ель, сосна, кедр, пихта). Измерения проводились в прямоугольных резонаторах в диапазоне 3–12 ГГц. Приведено сравнение с

диэлектрической проницаемостью березы из разных мест произрастания, как представителя лиственных деревьев. Экспериментально исследовано влияние весовой влажности на диэлектрические свойства древесины.

1.2 Физические свойства древесины.

В работе [10] изложены краткие теоретические сведения и методика выполнения лабораторных работ по определению основных физических свойств древесины: влажности, плотности, усушки.

В растущем дереве древесина содержит значительное количество воды, необходимое для его нормальной жизнедеятельности.

Различают два вида влаги, содержащейся в древесине: связанную и свободную.

Влага, находящаяся в клеточных оболочках, называется связанной или гигроскопической.

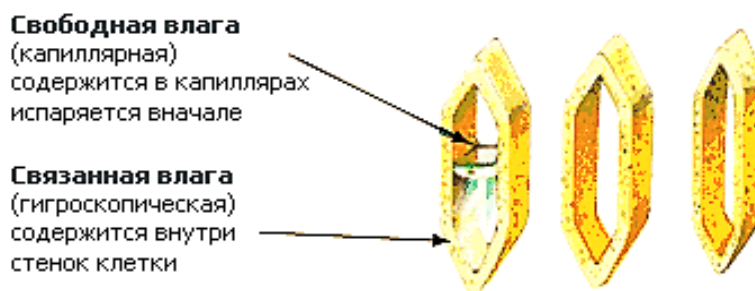


Рисунок 1.2.1 – Сосуды и капилляры древесины

Влага, находящаяся в полостях клеток и межклеточных пространствах, называется свободной или капиллярной. Связанная влага прочно удерживается физико-химическими связями. Удаление ее затруднено и существенно отражается на большинстве свойств древесины. Свободная влага удерживается только физико-механическими связями, поэтому она значительно легче удаляется и ее удаление оказывает меньшее влияние на свойства древесины.

Максимальное количество связанной влаги в клеточных стенках соответствует пределу их насыщения, или пределу гигроскопичности.

Предел насыщения клеточных стенок - это максимальная влажность клеточных стенок, достигаемая при увлажнении древесины в воде.

При расчетах среднее значение предела насыщения клеточных стенок принимается $W_{п.н.} = 30 \%$. Предел насыщения клеточных стенок зависит от плотности древесины. С увеличением плотности уменьшается площадь поверхности клеточных стенок, в углублениях которых удерживается микрокапиллярная влага, что приводит к уменьшению количества связанной влаги и, следовательно, к снижению предела насыщения клеточных стенок.

Предел гигроскопичности - максимальная влажность клеточных стенок, достигаемая при увлажнении древесины в паровоздушной среде, - характеризуется отсутствием свободной воды в полостях клеток. Предел гигроскопичности заметно снижается с увеличением плотности и с повышением температуры древесины.

При выдерживании древесины в воздухе определенного состояния ее влажность становится устойчивой. Состояние воздуха характеризуется температурой и относительной влажностью, которая может изменяться от 0 до 100 %. Величина устойчивой влажности древесины, длительно выдержанной при определенных значениях, практически одинакова для всех пород. Древесина может достигать устойчивого влажностного состояния двумя способами: либо поглощая влагу из воздуха, либо отдавая ее в воздух. Процесс поглощения древесиной влаги из воздуха называется сорбцией. Процесс отдачи древесиной влаги в воздух называется десорбцией. При поглощении влаги (сорбции) величина устойчивой влажности меньше, чем при удалении влаги (десорбции). Эту разницу между устойчивыми влажностями называют гистерезисом сорбции. Измельченная древесина имеет очень малый гистерезис сорбции, ее устойчивую влажность называют равновесной влажностью. Для количественной характеристики содержания влаги в древесине используют показатель влажности древесины W .

Различают абсолютную и относительную влажность древесины. Под абсолютной влажностью понимают выраженное в процентах отношение массы воды к массе абсолютно-сухой древесины:

$$W_{абс} = \frac{m_w - m_o}{m_o} \cdot 100\%; \quad (1.2.1)$$

где m_w - масса образца влажной древесины, г;

m_o - масса образца абсолютно-сухой древесины, г.

При определении содержания воды в дровах используют показатель относительной влажности.

Под относительной влажностью понимают выраженное в процентах отношение массы воды к массе влажной древесины до высушивания:

$$W_{отн} = \frac{m_w - m_o}{m_w} \cdot 100\%; \quad (1.2.2)$$

По степени влажности древесину разделяют на пять категорий:

- 1) мокрая древесина, долгое время находившаяся в воде в затопленном состоянии, $W > 100 \%$;
- 2) свежесрубленная древесина, сохранившая влажность растущего дерева, $W = 31-100 \%$;
- 3) воздушно-сухая древесина, выдержанная на открытом воздухе при атмосферной сушке, $W = 13-30\%$;
- 4) комнатно-сухая древесина, долгое время находившаяся в отапливаемом помещении, $W = 8-12 \%$;
- 5) абсолютно-сухая древесина, высушенная при $t = 103^\circ\text{C}$ до $W = 0 \%$.

Влажность древесины определяют прямыми и косвенными методами.

В работе [7], так же описываются физические свойства древесины к которым относятся: внешний вид, запах, показатели макроструктуры, влажность, плотность, теплопроводность.

Таблица 1.2.1 – Средняя влажность древесины в свежесрубленном состоянии

Порода древесины	Влажность, %
Ель	91
Лиственница	82
Пихта	101
Сосна обыкновенная	88
Сосна кедровая сибирская	92

Усушкой называется уменьшение линейных размеров и объема древесины при высыхании. Усушка начинается после полного удаления свободной влаги и с начала удаления связанной влаги.

Таблица 1.2.2 - Усушка древесины (от водонасыщенного состояния до абсолютно сухого)

Вид древесины	Усушка, %		
	В продольном направлении	В тангенциальном направлении	В радиальном направлении
Ель	0,3	6-8	3-4
Лиственница	0,3	7-8	3-5
Пихта	0,1	7-9	3-4
Сосна (обычная)	0,4	6-8	3-4
Сосна смолистая	0,2	7-7,5	4-5

Напряжения, которые возникают без участия внешних сил, называют внутренними. Причина образования напряжений при сушке древесины - это неравномерность распределения влаги. Внутренние напряжения в высушенном материале сохраняются и служат причиной изменения размеров и формы деталей при механической обработке древесины.

Плотность древесины зависит от влажности и для сравнения значения плотности всегда приводят к единой влажности $W = 12\%$. Между плотностью и прочностью древесины существует тесная связь. Более тяжелая древесина,

как правило, является более прочной. Величина плотности колеблется в очень широких пределах.

Таблица 1.2.3 - Плотность древесины (г/см³)

Порода дерева:	Плотность, (г/см ³)
Пихта сибирская	0.39
Ель	0.45
Сосна	0.52
Лиственница	0.66

В статье [11] авторы представили полученные по результатам экспериментальных исследований массовой скорости испарения влаги лиственных пород древесины. Получили зависимости массовой скорости испарения от температуры и выполнили расчет коэффициента аккомодации для соответствующих диапазонов температур. А так же проанализировали температурные режимы сушки соответствующих пород древесины.

В статье [12] проведены экспериментальные исследования закономерностей парообразования при температурах ниже температуры кипения. Определена массовая скорость испарения дистиллированной воды в больших интервалах времени при различных температурах с целью обоснованного заключения о стационарности процесса испарения жидкости в условиях выполненных экспериментов, а также изучалось влияние температуры на скорость испарения.

1.3 Биомасса, виды, преимущества

В статье [13] автор пишет, биомасса старейший источник энергии, используемый человечеством. Ее доля в энергобалансе развивающихся стран составляет 35%, в мировом потреблении энергоресурсов — 12%, в России —

3%. В России только 2 млн. сельских домов имеют сетевой газ, остальные 12,6 млн. используют для отопления дрова и уголь.

Биомасса делится на первичную (растения, животные, микроорганизмы) и вторичную (отходы переработки первичной биомассы, продукты жизнедеятельности человека и животных).

Энергия биомассы используется двумя способами: путем непосредственного сжигания (отходов сельскохозяйственной продукции) и путем глубокой переработки исходной биомассы с целью получения из нее более ценных сортов топлива - твердого, жидкого или газообразного, которое сжигается с высоким КПД при минимальном загрязнении окружающей среды.

При непосредственном сжигании биомассы химическая энергия горючих компонентов преобразуется в тепловую энергию высокотемпературного теплоносителя – газообразных продуктов горения (дымовых газов), которые из топочного устройства подаются в то или иное теплоиспользующее устройство: водонагреватель, парогенератор, воздушный калорифер, сушильную установку.

При термохимической обработке биомассы отходы подвергают тепловому и химическому воздействию, при котором органическая часть биомассы разлагается с образованием твердого горючего вещества, горючих газов или жидкого топлива. Каждый из этих продуктов представляет собой высококачественное, эффективное и экологически чистое топливо, которое сжигается в обычных топочных устройствах. Основу термохимической обработки составляет пиролиз – термическое разложение органической массы отходов при ее нагревании.

В статье [14] автор классифицирует всё биотопливо следующим образом:

1. Первичное древесное топливо (дрова, лесосечные отходы, щепа, энергетический лес и т.д.).

2. Вторичное древесное топливо (кора, опилки, стружка, гранулы, пеллеты, брикеты, древесный уголь).

3. Утилизированное древесное топливо (отработанные щелока целлюлозного производства, бумажное и картонное вторсырье).

4. Торф.

5. Утилизационное топливо из промышленных бытовых отходов (биогаз из различной биомассы, и в том числе от анаэробной очистки бытовых и промышленных стоков).

6. Жидкие виды биотоплива (биоэтанол, дизельное растительное топливо и т.д.).

7. Не древесные биомассы (солома, отходы растениеводства и т. д.).

Существуют различные способы преобразования биомассы в энергию:

1. Получение растительных углеводов (предельные и непредельные углеводороды, растительные масла, высокомолекулярные жирные кислоты);

2. Прямое сжигание биомассы, газификация, пиролиз, флестпиролиз, сжижение;

3. Биотехнологическая конверсия биомассы в топливо (при влажности более 75%): низкоатомные спирты, жирные кислоты, биогаз.

А так же появились и сравнительно новые виды биотоплива:

- пеллеты;
- биогаз, получаемый из твердых бытовых отходов (ТБО);
- продукты жизнедеятельности микроорганизмов.

Пеллеты представляют собой небольшие цилиндры-карандашики, спрессованные из мелких стружек и опилок хвойных пород дерева.

В последнее время новый вид биотоплива стал очень популярен в Европе. Пеллеты там называют "улучшенным" топливом, так как теплотворная способность одной тонны пеллет сопоставима с теплотворностью одной тонны угля, а 2 тонны гранул соответствуют одной тонне нефти или кубометру газа. Еще одним несомненным плюсом пеллет

является то, что они не самовозгораются, так как в их структуре мало межпоровое пространство (например, в угле больше). Теплотворная способность пеллет меньше, чем каменного угля, нефти, природного газа (рис. 1.3.1). Однако их сжигание не оказывает такого негативного влияния на окружающую среду, как сжигание традиционных топлив.

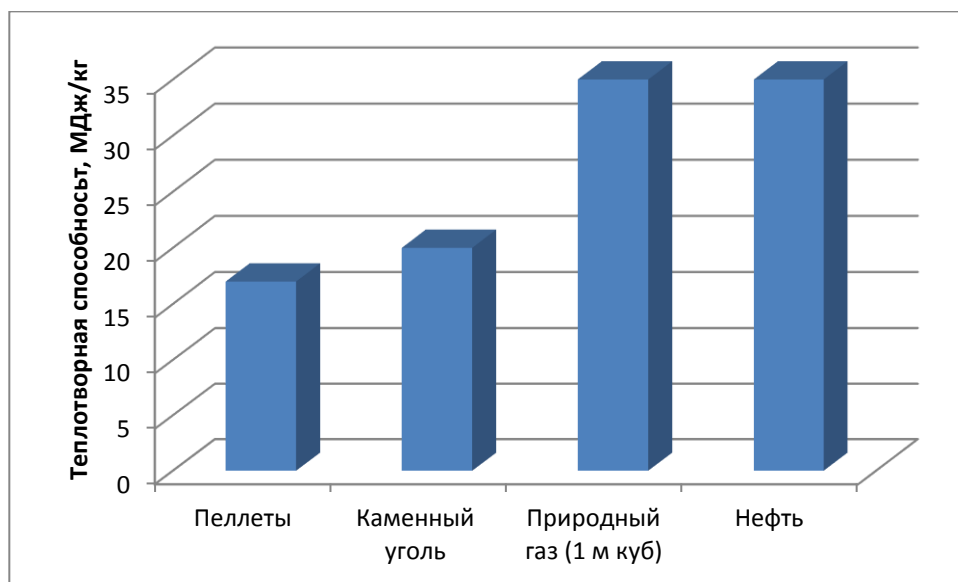


Рисунок 1.3.1 - Теплотворные способности различных топлив

В западных странах получило широкое распространение выращивание специальных пород леса с целью его дальнейшей энергетической переработки. Для выращивания выбираются наиболее быстрорастущие сорта деревьев. Срок роста такого леса до эффективного промышленного использования составляет от 4 до 7 лет.

В статье [15] одним из перспективных методов получения топлив из возобновляемых биоресурсов является переработка древесных отходов. Объемы отходов лесоперерабатывающих предприятий, например, в Ленинградской области достигают 250-300 тыс. м³ ежегодно.

Авторы выделяют следующие основные методы термохимической переработки древесных отходов: сжигание; пиролиз; газификация; ожижение.

На рисунке 1.3.2 представлены энергетические характеристики различных видов топлив.

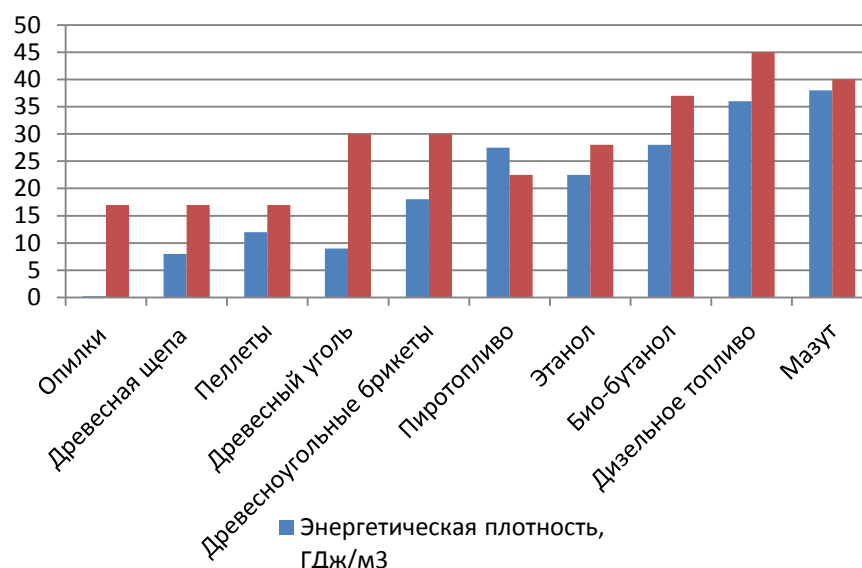


Рисунок 1.3.2 – Энергетические характеристики различных видов топлив.

В работе [16] одним из возможных направлений решения задачи истощения запасов органического топлива является газификация органического сырья (древесины, растительных отходов) с получением газообразного энергоносителя и его использование в эффективных когенеративных системах, вырабатывающих одновременно электрическую и тепловую энергию.

В настоящее время разработаны когенеративные системы комбинированного тепло- и электроснабжения малой мощности (мини-ТЭЦ) с использованием для выработки электроэнергии как газопоршневых двигателей, так и микротурбин, работающие главным образом на природном газе или дизельном топливе.

1.4 Анализ энергоэффективности использования биомассы.

В статье [17] авторы показывают варианты эффективного использования отходов лесозаготовки. Произведена оценка ресурсов хвойной древесной зелени, лесосечных отходов, деревообработки, рассчитано возможное получение хлорофилло-каротиновой пасты, тепла и электричества. Доказаны эффективность их производства, востребованность.

В статье [18] показан опыт зарубежных университетов в организации «Зеленых зданий», приведено обоснование использования древесной биомассы как источника получения тепловой и электрической энергии на примере отходов делопроизводства Южно-Уральского государственного университета, показаны особенности процесса производства пеллет.

В статье [19] авторы описывают наиболее эффективный способ производства твёрдого биотоплива, которым является гранулирование. Так как при этом конечная влажность готового продукта составляет всего 8-12%, а исходный материал уплотняется в 5-10 раз. Гранулированное биотопливо обладает рядом других преимуществ, среди которых постоянство качественных характеристик, удобство хранения, возможность использования в отопительных системах с автоматической подачей топлива.

Таблица 1.4.1 - 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
Теплотворность 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

1.5 Сушка древесины и виды сушильных камер

В учебном пособии [20] рассказываются физические процессы сушки древесины.

Изготовленные из сырой древесины изделия с течением времени изменяют свои размеры. Поэтому древесину перед дальнейшей переработкой нужно высушить. Сушка происходит путем перемещения влаги от середины к поверхности древесины и испарения воды с поверхности. Когда влажность дерева достигнет уровня 28-30 % (эта величина практически не зависит от вида древесины), это означает, что вся свободная вода удалена. С этого момента начинается процесс удаления связанной воды из стенок клеток. И с этого момента начинается процесс усушки. Усушка – это уменьшения линейных и объемных размеров.

Существуют два способа сушки дерева: атмосферный и искусственный. Атмосферная сушка производится в штабелях, омываемых воздухом без подогрева. Для ускорения процесса получения качественной продукции из исходного сырья применяется искусственная сушка древесины в сушильных камерах.

По способу нагрева древесины сушильные установки разделяются:

- 1) конвективные - нагрев древесины производится проходящим через штабель нагретым воздухом;
- 2) кондуктивные - передача теплоты материалу при непосредственном контакте с нагретыми поверхностями;
- 3) радиационные - передача тепла излучением;
- 4) диэлектрические – нагрев электромагнитным полем высокой частоты;
- 5) индукционные - электромагнитным полем промышленной частоты нагреваются расположенные внутри штабеля ферромагнитные пластины.

Сушильные установки разделяются еще на две категории:

- 1) нормального давления – древесина сушится при атмосферном давлении;
- 2) вакуумные - при сушке древесина находится в разреженной среде.

В статье [21] описывается физическая картина процессов, протекающих при предварительной сушке и термообработке

пиломатериалов. Она раскрывает основные виды термомодифицирования пиломатериалов как совокупность стадий нагрева, сушки, термомодифицирования и охлаждения при использовании различных технологий в разных средах.

В статье [22] представлены энергосберегающие технологии аэродинамической сушки древесины хвойных пород.

Отличительной особенностью сушки древесины в аэродинамических камерах любой мощности является изменение во времени температурновлажностных параметров среды без искусственного её увлажнения.

В работе [23] авторы описывают особенности импульсной сушки пиломатериалов, при которой камера работает циклами, состоящими из стадии «импульс» и стадии «пауза». На стадии «импульс» происходит интенсивная сушка материала за счет более высокой температуры и более низкой степени насыщенности сушильного агента. На стадии «пауза» циркуляция сушильного агента прекращается, тепло к материалу не подводится. Температура на поверхности сортамента уменьшается, стремясь к температуре предела охлаждения.

Применение импульсной сушки позволяет существенно снизить затраты на электроэнергию за счет отключения циркуляционных вентиляторов на стадии «пауза». При этом продолжительность сушки сравнима с продолжительностью сушки по стандартным режимам.

В статье [24] авторы с целью обобщения возможностей использования микроволнового излучения в промышленных процессах рассмотрели и проанализировали различные методы сушки древесины.

Обосновали технологические и экономические преимущества сушки древесины в электромагнитном поле сверхвысокой частоты. Рассмотрели возможности комбинирования СВЧ сушки с другими известными способами, привели примеры сушилок с СВЧ нагревом.

В работе [25] автор рассмотрел процессы тепломассообмена термохимически обработанной древесины, как объекта для моделирования технологии конвективной сушки древесины трудносохнущих пород.

В статье [26] авторами проведён анализ существующих технологий сушки пиломатериалов хвойных и лиственных пород древесины. Наиболее распространенной является совмещённая «сушка-прогрев», которая осложняет тепловлагоперенос и вызывает появление микротрещин на поверхности материала с одновременным замедлением продвижения влаги из центра доски. Результаты данных исследований, а так же анализ и аналитические разработки позволили создать более прогрессивный способ конвективной сушки со значительным сокращением процесса.

В статье [27] приведены исследования дубовых пиломатериалов вакуумимпульсным способом. Приведена методика определения убыли влаги из опытных дубовых образцов. Авторами учитывались следующие параметры пиломатериала: начальная влажность, масса образцов в первоначальном состоянии и масса образцов после сушки, а так же время нахождения образцов в экспериментальной установке. Полученные результаты исследований выявили закономерность убыли влаги из опытных образцов за сравнительно небольшой промежуток времени.

В работе [28] предложена экспериментальная установка для исследования кинетики сушки капиллярно-пористых материалов по вакуумно-импульсной технологии.

В работе [29] проведен анализ кинетики и механизма высокотемпературной сушки картона и бумаги. Для каждой стадии сушки разработан специфический механизм тепломассопереноса, который описан соответствующими дифференциальными уравнениями. Научно обоснованы и апробированы более совершенные процессы тепломассопереноса с односторонним теплоподводом.

В статье [30] рассмотрен принцип работы солнечно-топливной сушилки люлечно-конвейерного типа, работающей в непрерывном режиме с

встроенными ИК-излучателями и водяным термоаккумулятором, использующим солнечную радиацию. Сушилка содержит замкнутую О-образную вертикальную камеру, имеющую прямоугольное поперечное сечение. Внутри камеры на тяговых цепях подвешены сетчатые продуктовые корзины, над каждой из которых установлены ИК-лампы с параболаобразным рефлектором.

В статье [31] авторами описывается установка для ультразвуковой сушки, в которой улучшены технические характеристики, за счет специальной формы сушильной камеры и созданных излучателей. Результаты их экспериментальных исследований подтверждают высокую эффективность созданной установки при сушке капиллярно пористых материалов. Максимальная эффективность сушки достигается при осуществлении ультразвукового воздействия совместно с подачей нагретого (не более 40°C) сушильного агента. При этом обеспечивается сокращение времени сушки и снижение энергозатрат на 20 %.

В работе [32] рассматривается принцип построения частотно-широотно-импульсного регулятора переменного напряжения в составе системы управления сушильной камеры.

В статье [33] авторы описывают сушку в условиях вакуума. Интенсифицировать данный процесс возможно за счет использования переменного давления – путем организации баровакуумной сушки. Настоящая работа посвящена исследованию процессов, происходящих при сушке продуктов в условиях переменного давления. Опыты проводили при двух различных условиях: когда изначально объект сушки выдерживался под остаточным давлением с последующей сушкой под избыточным давлением и в условиях, когда объект изначально выдерживался под избыточным давлением с последующим обезвоживанием в условиях вакуума.

В работе [34] автор описывает дробление жидкости в сушильных камерах. Благодаря диспергированию жидкости площадь контактирования материала с сушильным агентом может увеличиваться до 700 раз, что

значительно интенсифицирует процесс сушки материала. В данном случае важным становится взаимосвязь параметров распылительного механизма с размерами частиц, полученными в результате диспергирования.

В работе [35] рассматривается система регулирования температуры сушильной камеры, обеспечивающая минимальный перепад температур по ее объему, и результаты экспериментальных исследований процессов конвективного теплообмена в камере.

В статье [36] приведены результаты экспериментальных исследований аэродинамики сушильного агента в сушильных камерах. Сушильная камера выполнена в виде цилиндрического корпуса с коническим днищем. В данной работе авторами были получены представления о характере распределения составляющих по текущему радиусу камеры на различном удалении от плоскости распыла.

В статье [37] рассмотрены физические процессы сушки древесины, описан один из наиболее перспективных методов вакуумной сушки и его этапы. Рассмотрен подход к определению режимов сушки древесины в вакуумных сушильных установках.

1.6 Математическое моделирование процессов тепломассопереноса при сушке древесины

В работе [38] сформулирована математическая модель тепломассопереноса в древесине при кондуктивном нагреве с использованием модели фронтального испарения влаги. Проведено численное исследование тепломассопереноса при сушке древесины кондуктивным способом в условиях пониженного давления окружающей среды. Проведен анализ влияния основных параметров технологического процесса на длительность сушки.

В статье [39] авторы раскрывают физическую картину процесса вакуумно-конвективного термомодифицирования древесины в среде

перегретого пара, в статье представлено описание экспериментальной установки и математической модели вакуумно-конвективного термомодифицирования пиломатериалов.

В работе [40] рассмотрен процесс кондуктивной сушки капиллярно-пористых коллоидных тел при давлении ниже атмосферного. Предложена математическая модель данного способа. Приведены результаты экспериментальных исследований вакуумной сушки древесины, отражающие адекватность математической модели реальному процессу.

В статье [41] разработан алгоритм численного анализа совместно протекающих процессов теплопроводности и влагопереноса при конвективной сушке плоского влагосодержащего образца на примере древесины сосны. Разработанное программное обеспечение позволяет рассчитывать величину механических напряжений в материале, затраты тепловой энергии на проведение процесса сушки и соответственно выбирать режим.

В работе [42] авторы представляют математическую модель процессов тепломассопереноса в древесине, сформулированную на основе механики гетерогенных систем. Древесина рассматривается как трехфазная ненасыщенная коллоидная капиллярно-пористая среда. Проведено численное исследование модели для случая интенсивной термообработки древесины. Рассмотрены особенности развития полей теплофизических переменных.

В статье [43] рассматривается реологическая модель для описания механического поведения древесины, как для среды с двойной пористостью. Проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния древесного образца при его прессовании в закрытой пресс-форме в изотермических условиях. Показано, в частности, что уровень прочности существенно зависит от реологических характеристик древесины, а также от распределения полей влажности и пористости.

В работе [44] автор представляет краткий обзор работ по механике реагирующих сред где утверждает, что древесина является пористой

реагирующей средой. На основе законов сохранения массы, количества движения, энергии и уравнения состояния, автор получил общую замкнутую систему уравнений в частных производных для описания процессов зажигания и горения древесины. Так же автор утверждает, что реакционные и теплофизические свойства древесины сильно отличаются от другой природной реагирующей среды – торфа и предлагает новую физико-математическую модель зажигания и горения древесины.

В статье [45] авторы с позиций аэродинамики рассмотрели концепцию построения математической модели циркуляционных каналов лесосушильных камер переменного поперечного сечения с вертикально-поперечной циркуляцией. Выявили, что параметры бокового канала сушильной камеры переменного поперечного сечения не зависят от температуры и влажности циркулирующего воздуха, а значит, и от «жесткости» режимов сушки. Они также не зависят ни от скорости движения агента сушки, ни от длины штабеля пиломатериалов.

В работе [46] для сушильной камеры, используемой для сушки и полимеризации лакокрасочного покрытия, проведен аэродинамический расчет с использованием современной САЕ-системы. Рассмотрено четыре различных способа монтажа вентилятора и воздуходувов внутри камеры. В результате расчета получены диаграммы распределения скорости в сечении камеры и на поверхности примитивов, помещенных в нее. На основании их были сделаны выводы о наилучших конфигурациях камеры.

1.7 Современное состояние городских лесов г. Томска

В статье [47] авторами изучено современное состояние лесов г. Томска. Объектами их исследований послужили естественные ненарушенные и естественные нарушенные серые лесные почвы и древесные породы: сосна обыкновенная, лиственница сибирская, ель сибирская, пихта сибирская. При обследовании состояния древесных пород особое внимание уделялось сосне

обыкновенной, имеющей индикационное значение, так как из-за высокой чувствительности к атмосферному загрязнению накапливает токсины в тканях.

Томская агломерация расположена в бассейне р. Томи, в южной части Томской области. В ее состав, кроме г. Томска, входят: г. Северск, поселки Лоскутово, Тимирязево, Коларово, Богашево и др. Характерными особенностями территории являются ее неоднородность в геоморфологическом отношении, что предопределяет разнообразие почв и растительности, а также замедленный поверхностный сток и слабый дренаж грунтовых вод. По санитарно-климатическому районированию Сибири южная тайга относится к зоне умеренно дискомфортного климата. К абиотическим факторам, оказывающим неблагоприятное воздействие на организм человека, относятся переохлаждение зимой и перегрев летом, быстрая смена погоды, резкие суточные перепады температуры, неустойчивый ветровой режим, снежные заносы и др.

Основными лесообразующими породами городских лесов являются: береза повислая, занимающая площадь около 2733 га, осина обыкновенная – 2042 га, сосна обыкновенная – 1821 га, пихта сибирская представлена на площади 508 га, ель сибирская – 346 га. Незначительно представлены кедр сибирский – 32 га, лиственница сибирская – 40 га и т.д.

1.8 Теория планирования инженерно – физического эксперимента

В статье [48] приведены основные понятия и определения математического планирования эксперимента в научных исследованиях.

Под экспериментом будем понимать совокупность операций, совершаемых над объектом исследования с целью получения информации о его свойствах.

В учебном пособии [49] описаны этапы планирования эксперимента, которые включает в себя ряд этапов:

1. Установление цели эксперимента;

2. Уточнение условий проведения эксперимента;
3. Выявление и выбор входных и выходных параметров;
4. Установление потребной точности результатов измерений;
5. Составление плана и проведение эксперимента;
6. Статистическая обработка результатов эксперимента: определение доверительного интервала среднего значения и дисперсии для заданной статистической надежности;
7. Объяснение полученных результатов и формулирование рекомендаций по их использованию.

Методы планирования эксперимента позволяют минимизировать число необходимых испытаний, установить рациональный порядок и условия проведения исследований в зависимости от их вида и требуемой точности результатов.

1.9 Выводы

При аналитическом обзоре литературы было рассмотрено 59 источников, на основании которых выполнен анализ энергоэффективности использования биомассы, изучены теоретические основы сушки и виды сушильных камер, рассмотрена теория инженерно-физического эксперимента. А так же найдены параметры, влияющие на процесс испарения влаги из древесины. И на основании рассмотренных источников, были сделаны выводы, что в литературе достаточно информации о строении и физических свойствах хвойной древесины, но отсутствует информация о значениях парциального давления и коэффициента аккомодации, что мешает теоретическому расчету при создании математической модели.

2 Экспериментальное исследование массовой скорости испарения из хвойной биомассы

На основании выводов по обзору литературы нет сомнений в актуальности проведения исследований влияния различных факторов на процесс сушки биомассы.

Цель работы: экспериментальное исследование факторов влияющих на процесс испарения жидкости из биомассы хвойных пород древесины в сушильной камере и анализ температурных режимов сушки хвойной биомассы

Задачи работы:

1. разработка методики эксперимента;
2. сборка экспериментальной установки;
3. подготовка экспериментальных образцов;
4. проведение эксперимента;
5. формулирование выводов.

2.1 Описание экспериментальной установки

В данном эксперименте используется сушильный шкаф типа SU 32 (рис.2.1.1), предназначенный для сушки различных материалов. Шкаф имеет коррозионностойкую камеру из нержавеющей стали, надежный и удобный дверной замок.

Нагрев рабочей камеры в сушильном шкафу обеспечивается проволочными нагревателями, размещенными вокруг камеры нагрева. Такие нагревательные панели имеют хорошую теплопередачу и обеспечивают равномерный нагрев поверхности рабочей камеры.

Характеристики сушильного шкафа типа SU 32: напряжение – 220 В; частота – 50 Гц; сила тока – 6,8 А; рабочий диапазон температур – 40 – 200 °С; мощность – 4,5 кВт.

Основные элементы сушильного шкафа SU 32:

- рабочая камера из нержавеющей стали;
- проволочные нагреватели;
- отверстие для сброса паров влаги;
- отверстие для установки термометра;
- тумблер включения нагрева.



Рисунок 2.1.1 – Сушильный шкаф типа SU 32

2.2 Образцы для проведения эксперимента

В научно - исследовательской работе в качестве экспериментальных образцов использовалась биомасса четырех хвойных пород древесины, которые наиболее распространены на территории Сибири и представлены на рисунке 2.2.1.



Рисунок 2.2.1 – Образцы хвойной биомассы

2.3 Методика эксперимента

В ходе работы осуществлено планирование эксперимента, которое включает следующее:

- подготовка образца массой 100 грамм (рис. 2.3.1);
- измерение массы емкости, используемой для сушки, с помощью лабораторных весов;
- заполнение емкости исследуемым образцом биомассы;
- включение сушильной камеры;
- с помощью электроконтактного ртутного термометра устанавливается необходимая температура в сушильной камере (рис. 2.3.2);
- ёмкость с биомассой помещается в сушильную камеру на заранее выбранный интервал времени(10 минут).
- по истечению необходимого времени производится изъятие ёмкости и измерение её массы;
- анализ полученных результатов.



Рисунок 2.3.1 – Подготовка образцов



Рисунок 2.3.2 – Ртутный термометр

Примечание: данный эксперимент проводится аналогично и не менее 3 раз для любых выбранных температур в печи в одном и том же выбранном интервале времени [50].

6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью выполнения данного раздела является экономическое обоснование научно–исследовательской работы. Оценка является комплексной и произведена в разрезе экономической эффективности, социальной значимости и других аспектов, т.к. проведение экспериментальных исследований скорости испарения жидкости из хвойной биомассы, требует привлечения финансовых затрат и других ресурсов, которые должны быть экономически оправданы и целесообразны.

Для достижения поставленных целей данного раздела поставлены следующие задачи [51]:

1. Определение этапов работы;
2. Определение продолжительности этапов работы;
3. Расчет затрат необходимых для НИР;
4. Расчет рентабельности проекта;
5. Оценка научно – технической результативности НИР.

Первоначально производится организация и планирование работ, куда включается определение этапов работы и их трудоемкости.

6.1 Определение перечня работ и оценка времени на их выполнение

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально спланировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Изначально составляется полный перечень проводимых работ и определяются их исполнители (студент, научный руководитель). Результатом планирования работ является сетевой, либо линейный график реализации проекта. Наиболее удобным, простым и наглядным способом для этих целей является использование линейного графика (диаграмма Ганта).

На основе анализа диаграммы установлено, что самыми продолжительными по времени выполнения оказались пункты: проведение

серии экспериментов, обработка экспериментальных данных и обзор литературы.

Составим перечень работ, которые необходимо произвести для достижения цели. Сведения об этапах, их продолжительности и сотрудниках, работающих над выполнением проекта, представлены в таблице 6.1.1

Работа над проектом осуществляется силами двоих человек: НР – научный руководитель; С – студент.

Таблица 6.1.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

№ п/п	Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей	Длительность работ, дни
1	Формулирование задачи	НР	100%	1
2	Поиск и изучение литературных источников	НР	10%	45
		С	90%	
3	Разработка методики проведения экспериментальных исследований	НР	50%	7
		С	50%	
4	Сборка и установка оборудования	С	15%	5
		НР	85%	
5	Подготовка образцов хвойной биомассы	С	100%	8
6	Проведение серии экспериментальных исследований	НР	10%	40
		С	90%	
7	Обработка экспериментальных данных	НР	20%	30
		С	80%	
8	Анализ полученных результатов	НР	35%	15
		С	65%	
9	Работа над разделом «Социальная ответственность»	С	100%	7
10	Работа над разделом «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	С	100%	5

Продолжение таблицы 6.1.1

11	Оформление расчетно-пояснительной записки	С	100%	10
12	Проверка расчетно-пояснительной записки и исправление ошибок	НР	85%	10
		С	15%	
13	Сдача расчетно-пояснительной записки руководителю	С	100%	5
			Итого:	188

Перейдем к расчету продолжительности этапов работ, который реализуется вероятностным способом. Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ воспользуемся формулой (6.1.1).

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (6.1.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях, $T_{рд}$ ведется по формуле (6.1.2):

$$T_{рд} = \frac{t_{ож}}{K_{вн}} \cdot K_{д}, \quad (6.1.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{вн}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{вн} = 1$);

$K_{д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{д} = 1,2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях, $T_{кд}$ ведется по формуле (6.1.3):

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (6.1.3)$$

где $T_{\text{к}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности, $T_{\text{к}}$ рассчитывается по формуле (6.1.4):

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}}, \quad (6.1.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни ($T_{\text{кал}} = 365$);

$T_{\text{вд}}$ – выходные дни ($T_{\text{вд}} = 52$);

$T_{\text{пд}}$ – праздничные дни ($T_{\text{пд}} = 12$).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 12} = 1,21 \quad (6.1.5)$$

6.2 Смета затрат на разработку проекта

Суммарные затраты на разработку темы или договорная цена на выполнение работы будет рассчитываться по формуле (6.2.1):

$$K_{\text{пр}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{зн}} + I_{\text{со}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}}, \text{ руб.}, \quad (6.2.1)$$

где $I_{\text{мат}}$ – материальные затраты, руб;

$I_{\text{зн}}$ – заработная плата, руб;

$I_{\text{со}}$ – социальные отчисления, руб;

$I_{\text{пр}}$ – прочие затраты, руб;

$I_{\text{накл}}$ – накладные расходы, руб.

Рассмотрим каждую составляющую суммарных затрат в отдельности.

а) Материальные затраты

Затраты, связанные с закупкой расходных материалов сведены в таблицу 6.2.1 Цены приведены в соответствии с договором поставки.

Таблица 6.2.1– Стоимость закупаемых расходных материалов

№, п/п	Наименование	Кол-во	Цена, руб.	Стоимость, руб.
1	Тетрадь 96л.	3 шт.	65	195
2	Ручка шариковая	2 шт.	15	30
4	Перчатки хозяйственные	1 пара	60	60

Продолжение 6.2.1

5	Биомасса хвойная	4 кг.	160	640
6	Нож	1 шт.	200	200
7	Чаша	1шт.	165	165
Итого:			1290	

Затраты, связанные с закупкой компьютера и орг. техники сведены в таблицу 6.2.2 Цены приведены в соответствии с договором поставки.

Таблица 6.2.2 – Стоимость используемой компьютерной техники [52]

№, п/п	Наименование	Кол-во	Цена, руб
1	Материнская плата ASUS H81 - GAMER	1	5290
2	Процессор Intel Core i3-3210 OEM	1	6790
3	Оперативная память Samsung 4 Гб	1	2790
4	Жесткий диск Seagate Pipeline HD 320 Гб	1	2690
5	Корпус DEXP AWG-DE7	1	3550
6	Мышь проводная A4Tech N-360-1	1	170
7	Монитор Acer K192HQLb черный	1	4990
8	Клавиатура DNS HOME KB-032BD	1	410

Итого: 26900 р.

Итого: $I_{mat} = 28190 \text{ руб.}$

б) Заработная плата

Заработная плата студента:

$$I_{зн(c)} = 3\Pi_o \cdot k_1 \cdot k_2 = 1900 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 2717 \text{ руб.}, \quad (6.2.2)$$

Заработная плата научного руководителя :

$$I_{зн(HP)} = (3\Pi_o \cdot k_1 + Д) \cdot k_2 = (16750 \cdot 1,1 + 1900) \cdot 1,3 = 26423 \text{ руб.}, \quad (6.2.3)$$

где $3\Pi_o$ – месячный оклад, руб;

k_1 – коэффициент, учитывающий отпуск (10%);

k_2 – районный коэффициент (30%);

Д – доплата за интенсивность труда (для ассистента – 1900руб).

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$I_{\text{зн}(c)}^n = \frac{I_{\text{зн}(c)}}{21} \cdot n = \frac{2717}{21} \cdot 117 = 15137,6 \text{ руб.}, \quad (6.2.4)$$

$$I_{\text{зн}(HP)}^n = \frac{I_{\text{зн}(HP)}}{21} \cdot n = \frac{26423}{21} \cdot 8 = 10066 \text{ руб.}, \quad (6.2.5)$$

Фонд заработной платы:

$$\Phi ЗП = I_{\text{зн}(инж)}^n + I_{\text{зн}(HP)}^n = 15137,6 + 10066 = 25203,5 \text{ руб.} \quad (6.2.6)$$

в) Социальные отчисления

$$I_{co} = 27,1\% \Phi ЗП = 0,271 \cdot 25203,5 = 6830 \text{ руб.} \quad (6.2.7)$$

г) Прочие затраты

$$I_{np} = 10\% (I_{mat} + I_{ам} + I_{зн} + I_{co}), \quad (6.2.8)$$

$$I_{np} = 0,1 \cdot (1290 + 1725 + 25200 + 7561) = 3578 \text{ руб.},$$

д) Накладные расходы

$$I_{накл} = 40\% \Phi ЗП = 0,4 \cdot 25203,5 = 10081,4 \text{ руб.} \quad (6.2.9)$$

е) Расходы на электроэнергию

Таблица 6.2.3 - Потребление электроэнергии

Источник потребления	Мощность Вт	Кол-во часов	Сумма, Вт.
Компьютер	80	240	19200
Освещение	50	240	12000
Сушильная камера	4500	240	1080000
Итого:			1111200

Общая смета расходов на выполнение НИР сведена в таблицу 6.2.4.

Таблица 6.2.4 – Смета расходов на выполнение НИР

№	Наименование статей	Величина, руб
1	Материальные затраты	28190
2	Заработная плата	25203,5
3	Социальные отчисления	6830
4	Прочие затраты	3578
5	Накладные расходы	10081,4
6	Расходы на электроэнергию	2000
Себестоимость (С)		75883

6.3 Оценка научно–технической результативности научно–исследовательской работы

Оценка научной и научно – технической результативности НИР производится с помощью системы взвешенных балльных оценок. Для фундаментальных НИР рассчитывается только коэффициент научной результативности (таблица 6.3.1), а для поисковых работ и коэффициент научно–технической результативности (таблица 6.3.2).

Таблица 6.3.1 – Характеристики факторов и признаков научной результативности НИР

Фактор научной результативности	Коэф. значимости фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутог о уровня
Новизна полученных результатов	0,5	Высокая	Новые результаты применимые на предприятиях лесоперерабатывающей промышленности	1

Продолжение 6.3.1

Глубина научной проработки	0,35	Средняя	Невысокая сложность расчетов	0,6
Степень вероятности успеха	0,15	Высокая	-	1

Таблица 6.3.2 – Характеристики факторов и признаков научно–технической результативности

Фактор научной результативности	Коэф. значимост и фактора	Качество фактора	Характеристика фактора	Коэф. достигнутого уровня
Перспективность использования результатов	0,5	Полезная	Результаты будут использованы при последующих НИР и других разработках	0,5
Масштаб реализации результатов	0,3	Отдельны е фирмы и предприя тия	Время реализации: до 5 лет на предприятиях лесоперерабатывающей отрасли	0,5
Завершенность результатов	0,2	Средняя	Рекомендации, развернутый анализ, предложения	0,6

В этом случае коэффициент научно–технической результативности определяется по формуле:

$$K_{\text{нр(нтр)}} = \sum_{i=1}^n K_{\text{вли}} \cdot K_{\text{пи}}, \quad (6.3.1)$$

где $K_{\text{вли}}$ – коэффициент влияния i – го параметра на научно–техническую результативность;

K_{pi} – коэффициент относительного повышения i – го параметра по сравнению с базовым значением.

Формула (6.14) рассчитывались по [37].

Для удобства выполнения расчетов данные сводятся в таблице 6.8

Таблица 6.3.4 – Оценка научно – технической результативности НИР

Параметр	$K_{вли}$	K_{pi}	$K_{вли} \cdot K_{pi}$
Новизна полученных результатов	0,5	1	0,5
Глубина научной проработки	0,35	0,6	0,21
Степень вероятности успеха	0,15	1	0,15
Перспективность использования результатов	0,5	0,5	0,25
Масштаб реализации результатов	0,3	0,5	0,15
Завершенность результатов	0,2	0,6	0,12

Коэффициент научной результативности:

$$K_{нр}=0,5+0,21+0,15=0,86 \quad (6.3.2)$$

Коэффициент научно – технической результативности:

$$K_{нтр}=0,25+0,15+0,12=0,52 \quad (6.3.3)$$

В ходе экономического обоснования научно–исследовательской работы была проведена количественная оценка научной результативности НИР и получен соответствующий коэффициент $K_{нр}=0,86$, а также был рассчитан коэффициент научно–технической результативности $K_{нтр}=0,52$, что показывает высокую результативность проведенной научно–исследовательской работы.

6.4 Выводы по главе:

Определены этапы и трудоемкость работы, составлен линейный график работ на основе рассчитанного для студента и научного руководителя времени $T_{кд}$. Рассчитана смета затрат на научное исследование, таким образом, расходы на научно–исследовательскую работу составили $C = 75883$ руб.

В настоящее время не существует экспериментальных исследований скорости испарения влаги из биомассы, следовательно, нет сопоставленных теоретических и практических сведений. Исходя из этого, исследование процесса сушки хвойной биомассы является актуальной задачей. В результате проведенных экспериментальных исследований получены зависимости массовой скорости испарения от температуры жидкости, массовой скорости испарения от времени испарения, коэффициента аккомодации от температуры и коэффициента аккомодации от массовой скорости испарения.

В ходе оценки научной результативности НИР был получен коэффициент научной результативности $K_{\text{нр}}=0,86$, а также был рассчитан коэффициент научно – технической результативности $K_{\text{нтр}}=0,52$, что показывает высокую результативность проведенной научно–исследовательской работы.

Список публикаций

1. Бульба Е.Е., Иванова Н.А. Экспериментальное исследование скорости испарения жидкости из хвойной биомассы. Статья подана в издательство зарубежного журнала MATEC Web of Conferences.