

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплоэнергетика

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Экспериментальное исследование влияния теплофизических свойств лиственной биомассы на процесс подготовки к использованию в тепловой энергетике</b>

УДК 674.031:536-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Примак Артем Дмитриевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Бульба Елена Евгеньевна	к.т.н., доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	Н.Г. Кузьмина			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	А.М. Антонова	к.т.н., доцент		

Томск – 2018 г.

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

---

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплоэнергетика

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель профиля  
Е.Е. Бульба

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**бакалаврской работы**

(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
<b>5Б4Б</b>	<b>Примаку Артему Дмитриевичу</b>

Тема работы:

**Экспериментальное исследование влияния теплофизических свойств  
лиственной биомассы на процесс подготовки к использованию в  
тепловой энергетике**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

1 июня 2018 года

**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: четыре образца лиственных пород древесины:

1. Тополь;
2. Осина;
3. Липа;
4. Береза;

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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"> <li>– постановка цели и задач исследования;</li> <li>– обзор литературы;</li> <li>– определение массы испарившейся влаги;</li> <li>– расчет массовой скорости испарения;</li> <li>– расчет парциального давления;</li> <li>– анализ и обработка полученных результатов;</li> <li>– анализ параметров, влияющих на коэффициент аккомодации;</li> <li>– заключение;</li> </ul>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
--	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>
---

Раздел	Консультант
<b>Финансовый менеджмент</b>	М.В. Василевский, доцент Отделения контроля и диагностики
<b>Социальная ответственность</b>	Н.Г. Кузьмина, старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Е.Е. Бульба	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Примак Артем Дмитриевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Примак Артем Дмитриевич

Школа	ИШЭ	Отделение	НОЦ Н.И. Бутакова
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Теплоэнергетика и теплотехника

**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>Месячный оклад: Инженера – 15000 руб; Научного руководителя – 26300 руб;</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Кр = 30%, Нам = 20%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления в социальные фонды – 30 % от ФЗП</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Планирование работ и оценка их выполнения</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>2. Смета затрат на проект</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>3. Сравнительный анализ полученных данных</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Примак Артем Дмитриевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б4Б	Примак Артем Дмитриевич

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Отделение</b>	<b>НОЦ Н.И. Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

Характеристика объекта исследования	Экспериментальное исследование процесса сушки лиственной древесной биомассы в печи при различных значениях температуры
-------------------------------------	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.  1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении исследований.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты.</li> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита)</li> <li>– источники, средства защиты).</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ влияния объекта исследования на окружающую среду;</li> <li>– анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</li> </ul>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований;</li> <li>– анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований;</li> <li>-мероприятия по предотвращению ЧС.</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Примак Артем Дмитриевич		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 134 с., 13 рисунков, 25 таблиц, 66 источников литературы.

Ключевые слова: сушка древесины, коэффициент аккомодации, массовая скорость испарения, доверительный интервал.

Объектом исследования являются лиственные породы древесины, такие как береза, осина, тополь, липа.

Цель работы – Экспериментальное исследование процесса сушки лиственной древесной биомассы при подготовке ее к использованию в теплоэнергетике

В результате эксперимента получены результаты изменения массовой скорости испарения, коэффициента аккомодации и парциального давления для лиственных пород древесины, таких как тополь, липа, береза и осина. Получены зависимости массовой скорости испарения от температуры и от времени, а также проведен расчет коэффициента аккомодации.

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

## Оглавление

Введение.....	8
1. Обзор литературы .....	10
1.1 Биомасса, виды, достоинства, недостатки, биоэнергетика, современное состояние. ....	10
1.2 Состав и энергетическая ценность, данные о биомассе .....	18
1.3 Сушка биомассы, ее виды .....	24
1.4. Теория планирования инженерно – физического эксперимента .....	30
Выводы по обзору литературы .....	31
2 Экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из лиственной древесины в сушильной камере .....	32
2.1 Рекомендации для выполнения эксперимента .....	33
2.2 Описание экспериментальной установки .....	35
2.3 Образцы для проведения эксперимента.....	36
3 Результаты экспериментального исследования массовой скорости испарения жидкостей .....	37
3.1 Результаты расчёта погрешности измерений .....	38
3.2 Расчет парциального давления .....	43
3.3 Результаты расчёта коэффициента аккомодации.....	48
4 Анализ полученных результатов измерений .....	50
4.1 Анализ зависимостей массовой скорости испарения от времени для тополя, березы, осины, липы.....	51
4.2 Анализ зависимости массовой скорости испарения от температуры .....	56
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	58
5.1 Планирование работ и временная оценка их выполнения .....	58
5.2 Смета затрат на проектирование .....	59
6 Социальная ответственность.....	64
6.1 Введение.....	64
6.2 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды. ....	66
6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	75
6.4 Выводы.....	76
6.5 Заключение .....	77
7 Заключение по работе.....	78
8 Список литературы .....	80
Приложение А.....	84
Приложение Б.....	120

## Введение

Во всем мире, как за рубежом, так и в России, непрерывно возрастает интерес к использованию органических веществ растительного происхождения в качестве альтернативного топлива. В большинстве случаев связано это с их возобновляемостью и экологической чистотой. Ежегодно на территории нашей страны производится до 14-15 млрд. тонн биомассы, которая сравнима с энергией примерно 8 млрд. тонн условного топлива.

Однако биомасса нуждается в подготовке к сжиганию для более эффективного использования. Одним из этапов подготовки является ее сушка.

Процесс сушки заключается в удалении влаги из материала путем ее испарения. Содержащаяся в нем влага переходит в парообразное состояние и удаляется в окружающую среду. Сушка древесины, в т. ч. пиломатериалов, может происходить двумя путями: естественным — на открытом воздухе (атмосферная) и искусственным — в специальных сушильных установках (камерная). Поэтому такая задача, как сокращение времени и повышение объема и качества сушки древесины, относится к числу важнейших проблем лесопильно-деревообрабатывающей промышленности. Одним из путей решения этой задачи является разработка принципиально новых способов удаления влаги из древесины, отличающихся малой энергоемкостью и высокой интенсивностью. Снижение энергоемкости процессов сушки приобретает большое значение в связи с напряженным балансом энергоресурсов.

Мерой измерения протекания процесса испарения различных типов веществ во времени является массовая скорость испарения, т.е. количество вещества, которая испаряется с единицы площади поверхности в единицу времени ( $W$ , кг/м<sup>2</sup>·с). Массовая скорость испарения для различных веществ разная. В одних и тех же условиях различные по своей природе жидкости будут испаряться с разной скоростью. Например, вода испаряется намного медленнее спирта при нормальных атмосферных условиях.



В настоящее время исследования массовых скоростей испарения различных веществ имеют довольно спорный характер. Проведя анализ, ученые каждый раз приходят к различным выводам о процессе испарения различных веществ в целом. Поэтому, какие – либо точные сведения о массовых скоростях различного типа воды отсутствуют или, в общем найти их очень сложно. Таким образом, исследование процесса испарения жидкостей различного рода является актуальной задачей.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из листовенной биомассы в сушильной камере.

## **1. Обзор литературы**

### **1.1 Биомасса, виды, достоинства, недостатки, биоэнергетика, современное состояние.**

Биомасса или биоматерия — это масса животных, а также растительных организмов, присутствующих в экосистеме в момент исследования.

На протяжении многих лет люди использовали биомассу как источник пищи, энергии и как строительный материал. Биомасса может обеспечить большие объемы полезной энергии, гораздо меньше при этом, по сравнению с ископаемым топливом, воздействуя на окружающую среду.

Именно поэтому многие годы ведутся многочисленные исследования и разработки систем для переработки и конвертации биомассы в тепловую энергию, электричество, твердое, жидкое и газообразное топливо, а также другие химические вещества и продукты. [1]

Люди как млекопитающие дают около 350 миллионов тонн биомассы в живом весе или около 100 миллионов тонн в пересчете на сухую биомассу - пренебрежимо малое количество в сравнении со всей биомассой Земли.[2]

Биомасса – это все возобновляемые за достаточно короткие промежутки времени органические материалы. Она не занимает первое место по запасам из всех доступных источников энергии после угля, урана, нефти и природного газа, однако является альтернативным источником.

Энергия, полученная с использованием биотоплива, обычно называется «зеленой энергией». Оно может быть использовано как «чистое» топливо для производства электрической энергии и тепла от небольших дизельных двигателей, газовых турбин и котлов. Кроме них спектр химических веществ, которые могут быть извлечены или получены, содержит в том числе пищевые ароматические соединения, смолы агрохимикатов, минеральных удобрений.

Биомасса дает нам не только пищу, но и энергию, строительные материалы, бумагу, лекарства, ткани и химические вещества.

Ресурсы биомассы в различных видах есть почти во всех регионах мира, и почти в каждом из них может быть налажена ее переработка в энергию и топливо. На современном уровне за счет биомассы можно перекрыть 6-10% от общего количества энергетических потребностей промышленно развитых стран.

Ежегодно на Земле при помощи фотосинтеза образуется около 120 млрд тонн сухого органического вещества, что энергетически эквивалентно более 40 млрд тонн нефти. Использование биомассы может проводиться в следующих направлениях:

- прямое сжигание;
- производство биогаза из сельскохозяйственных и бытовых отходов;
- производство этилового спирта для получения моторного топлива.

В Соединенных Штатах Америки на незанятых людьми землях возможно ежегодно выращивать 1,3 миллиарда тонн биомассы. Из этой биомассы можно получать биотопливо в объеме эквивалентом 4,5 млн. баррелей нефти в день.

Биоэнергетика несет в себе новые технологии, которые потребуют для массового внедрения в энергетический баланс новых видов топлив, серьезной политической и экономической поддержки со стороны государства. Биомасса, аккумулирующая в себе солнечную энергию в форме углеводов растительного происхождения, служит исходным сырьем для выработки биотоплива в твердом, жидком и газообразном виде в зависимости от технологии переработки. Развитие биоэнергетики в России является весьма актуальной задачей, так как имеющийся ресурсный потенциал биомассы России практически неисчерпаем.

Основной ресурсной базой биотоплива в России являются отходы лесозаготовок, которые, как известно, составляют 40...60 % объема заготавливаемой древесины, и отходы, образующиеся при ее переработке

(горбыль, рейки, срезки, короткомер, стружка, опилки, древесная пыль, кора и др.).

Растительность, такую как травянистые растения можно собирать каждую осень, на созревание деревьев времени уходит больше – 50 лет и более.

Наиболее перспективными энергетическими культурами являются:

- Богатые маслами сельскохозяйственные культуры.

В их число входят рапс, белая горчица, рыжик, конопля и пр., используемые в производстве биодизеля;

- Быстрорастущие деревья с коротким, меньше 15 лет, циклом рубки – ива, серая ольха, береза, осина – используются для печного отопления;

- Быстрорастущие растения – двукисточник, волокнистая конопля, овсяница тростниковая, галега восточная – используются для производства биогаза;

- Сырье для производства этанола: пшеница, рожь, тритикале, картофель, сахарная свекла;

- Естественные кормовые, луговые травы, биомасса, скошенная с пастбищ, (полу)естественных фитоценозов, водоболотных угодий и прочее. [3]

Основные преимущества:

1. Биомасса – возобновляемый источник энергии. Это значит, что она не может быть исчерпана как ископаемые виды топлива. Биомасса, в основном, происходит от растений, которые необходимы для поддержания жизни на Земле. Другими словами, до тех пор, пока растения будут на этой планете, биомасса будет доступна в качестве возобновляемого источника энергии.

2. Биомасса предотвращает изменение климата, путем сокращения выбросов парниковых газов. Хотя использование биомассы связано с определенным уровнем выбросов, но этот уровень значительно меньше, чем у доминирующих источников, популярных в настоящее время.

3. Чистая окружающая среда. Биомасса способствует очищению окружающей среды. Население планеты постоянно увеличивается, и с увеличением населения также существует проблема увеличения отходов, которые должны быть утилизированы. Многие мусор попадает в реки, океаны и наносит вред на соседние экосистемы, а также оказывает отрицательное воздействие на здоровье человека. Вместо того, весь этот мусор можно использовать для производства энергии, что поможет очистке окружающей среды от различных загрязнений.

4. Биомасса – широкодоступный источник энергии. Есть множество потенциальных источников биомассы, а это одно из главных преимуществ использования энергии перед ископаемым топливом. Многие эксперты уверены, что энергия биомассы, как в экономическом, так и в экологическом плане, будет всегда в верхней части списка, как один из лучших энергетических источников.

5. Способствует развитию промышленности и созданию рабочих мест.

#### Недостатки

- Главный минус лиственной древесины — ее быстрое загнивание. Впрочем, бороться с этим помогает обработка различными антисептическими препаратами и сушка. Применяются такие пиломатериалы для изготовления внутренних архитектурных элементов, для обшивки перегородок и стен, подшивки потолков и прочих плотницких работах.

- Не допускается пользоваться в «свободных от выбросов CO в регионах», то есть в районах, где действуют предельные нормы CO<sub>2</sub>, и в этом случае трудно реализовать перевод отопления домов на биомассу;

- Необходимо иметь достаточно большие площади для хранения и складирования пеллетов.

- Способ сжигания биомассы.

Беря во внимание то, что прямое сжигание биомассы представляет собой достаточно старейшую и наиболее развитую технологию получения

энергии из биомассы, до сих пор имеется потенциал для ее дальнейшего развития с точки зрения увеличения КПД и улучшения экологических характеристик. Обычно биомассой заменяют нефть и бурый уголь. Учитывая, что свойства различных видов топлив очень отличаются друг от друга, то можно использовать несколько способов сжигания твердого топлива:

- сжигание в вихревых топках - высокие технические и экологические (по СО) показатели топочного процесса, возможность реализации в топках газомазутных котлов, имеющих малые объемы;
- сжигание в вихревых горелках более эффективно используется мощность котла, обеспечивается высокий КПД котла, возможно сжигание газа или мазута в той же горелке, что и биомассы;
- сжигание на решетках - сюда входят технологии с разной конструкцией решетки, обычно делимые на две группы - технологические решения с неподвижной и подвижной, т.е. механической решеткой;
- сжигание во вращающейся печи - в процессе сжигания во вращающейся печи сырье встряхивается и перемешивается при непрерывном вращении цилиндрической топки;
- сжигание в кипящем слое - используется технология циркулирующего или пузырьчатого кипящего слоя;
- ротационный принцип сжигания - не образует пылевидных выбросов, поскольку входящие в состав топлива минеральные вещества окисляются и превращаются в пар.[5]

В [6] приведены схема экспериментального стенда, общий вид экспериментальной установки и методика проведения эксперимента. Представлены результаты экспериментальных исследований повышения эффективности процессов биохимического взаимодействия путем создания развитой межфазной поверхности в результате механического измельчения фрагментов биомассы, активизации процесса при непрерывном удалении

образующихся микросфер биогаза путем наложения на процесс ультразвуковых полей. Проведен анализ полученных результатов.



Рисунок 1 – Возможные объемы получения энергии с 1 га

В качестве топлива используют:

- дрова – поленья, подготовленные для сжигания в плите или камине;
- отходы и побочные продукты лесной промышленности – кору,
- опилки, щепу, ветки и прочие остатки от вырубки леса;
- энергетические культуры – иву обыкновенную, тополь, березу, осину;
- солому и отходы сельскохозяйственной промышленности;
- солому злаковых, масленичных (рапс) и стручковых культур;
- отходы от сбора урожая, скорлупу кокосового ореха, очистки кукурузных початков;
- отходы и побочные продукты обрабатывающей промышленности, отходы переработки сахарного тростника.

Заготавливаемые древесные брикеты производятся по технологии прессования отходов деревообработки – опилок, щепы, стружки. Из-за низкого содержания влаги теплотворность брикета выше, чем у дров. Брикет высокой плотности сгорает достаточно медленно и постепенно. Пеллеты – это гранулы, состоящие из древесных отходов. Их производят из отходов

деревообработки и лесозаготовки, обычно, из опилок и щепы. Пеллеты можно также изготавливать из коры, стружки, энергетических культур, соломы и др. В качестве отопления общественных зданий и домашних хозяйств такая форма энергоресурсов используется уже много лет, производство пеллетов в Европе за последние годы выросло в несколько раз.

Современные проблемы энергетики могут быть решены только при рациональном использовании всех существующих на Земле и околоземном пространстве источников топлива и энергии. Среди них биомасса, как постоянно возобновляемый источник топлива, занимает существенное место.

Биоэнергетика - фундаментальное и прикладное направление, возникшее на границе современных биотехнологий, химической технологии и энергетики, изучающее и разрабатывающее пути биологической конверсии солнечной энергии в топливо и биомассу и биологическую и термохимическую трансформацию последней в топливо и энергию. [7]

Все аспекты, при которых развитые страны активно работают в области использования БИОЭНЕРГЕТИКИ, распространяются и на Россию. Однако существует специфика, вызванная существующим состоянием экономики и общества. Главная особенность состоит в том, что работы по БИОЭНЕРГЕТИКЕ в России могут быть направлены на решение социальных проблем, снижение уровня безработицы, развитие малого бизнеса, повышение качества жизни населения, уровня образования и культуры. Важное значение имеет снижение экологической напряженности, существующей в ряде городов, в том числе в зонах отдыха за счет снижения вредных выбросов от энергетических установок. Решение проблемы состоит в использовании биомассы для производства доступного топлива и энергии: электрической и тепловой. Другой проблемой является обеспечение энергоснабжения удаленных районов, не подключенных к сетям энергосистем. В районы Крайнего Севера, Дальнего Востока и Сибири ежегодно завозится 6—8 млн. т жидкого топлива (дизельное топливо, мазут) и 20—25 млн. т твердого (уголь). В связи с увеличением транспортных расходов стоимость топлива удваивается



и составляет, например, в Республике Тыва, Республике Алтай и на Камчатке >350 долл./т у. т. Централизованные системы энергоснабжения охватывают лишь 1/3 территории страны. Надежное энергообеспечение отдаленных районов сложная и дорогая для государства задача. [8]

Цель развития биоэнергетики в России – развитие производства и рынка энергетического оборудования и технологий использования БИОЭНЕРГЕТИКИ для надежного автономного экологически чистого энергообеспечения потребителей за счет экологически чистых местных возобновляемых источников энергии в районах, не подключенных к сетям централизованного энергоснабжения, освоение эффективных технологий сетевого электро- и теплоснабжения на базе ВИЭ, расширение производства и использования новых видов топлив, получаемых из различных видов биомассы.

БИОЭНЕРГЕТИКА для России – это создание современных условий труда и быта для 30 млн. жителей сельской местности. Развитие БИОЭНЕРГЕТИКИ означает:

- обеспечение диверсификации топливно-энергетического баланса субъектов РФ за счет увеличения производства электрической и тепловой энергии на базе БИОЭНЕРГЕТИКИ и в конечном счете, повышение ее доли в федеральном балансе производства и потребления электрической и тепловой и первичной энергии страны;

- повышение экологической безопасности в локальных территориях, т.е. снижение вредных выбросов от электрических и котельных установок в городах со сложной экологической обстановкой.

Ежегодный прирост биомассы на земле составляет 220 млрд. тонн, что позволяет запасать в виде энергии химических связей до  $4 \times 10^{21}$  Дж энергии. Ежегодное мировое коммерческое использование всей энергии составляет  $3.9 \times 10^{20}$  Дж, что в 10 раз меньше запасаемой энергии.

В настоящее время ряд авторов считает, что биомасса обеспечивает

энергией около 10-14% потребителей в мире. Около 25% энергии биомассы приходится на промышленно развитые страны, а остальные 75% на развивающиеся [8-9].

Очевидно, что биоэнергетика не может полностью заменить ископаемые виды топлива. Тем не менее, ее использование может частично снизить выбросы CO<sub>2</sub> и заменить нефть. Древесина является нейтральным топливом, при условии, что деревьев выращивают столько, сколько вырубает. Кроме того, для вырубki, трансформации и преобразования древесины в тепловую энергию требуется рабочая сила. Развитие лесной промышленности для энергетических целей способствует занятости местного населения, и поддержанию социальной и экономической деятельности в сельских и лесных районах.

### **1.2 Состав и энергетическая ценность, данные о биомассе**

Наиболее известны три вида биомассы, из которых получается большое количество тепловой энергии: отходы древесины, отходы сельского хозяйства и твердые городские отходы. Древесные отходы возникают на всех этапах ее заготовки и переработки.

Топливом из древесины могут служить и отходы, образующиеся при рубке леса, а также отходы деревообрабатывающей промышленности:

*- ветки, сучки, пеньки, опилки, обрезки, зелень, древесная пыль, горбыль, щепка, кора.*

По данным специалистов из Америки и Канады при лесопилении отходы составляют в среднем 60%. При этом в отходы идет лучшая, заболонная часть древесины.

Из общего количества отходов 34% приходится на трудно используемые: кору (11%), стружку (10%) и опилки (13%). Лишь 26% составляют крупномерные отходы, которые могут служить отличным сырьем для целлюлозно-бумажной промышленности и производства плит.

Энергия биомассы может использоваться для производства тепловой и электрической энергии посредством сжигания в современных устройствах - от

миниатюрных домашних котлов до многомегаваттных электростанций, использующих газовые турбины. Установки, использующие биомассу в энергетических целях, обеспечивают экономическое развитие без увеличения парникового эффекта, поскольку биомасса является нейтральной по отношению к выбросам CO<sub>2</sub> в атмосферу в случае, если ее производство и использование осуществляется разумным образом. Биомасса обладает другими щадящими экологическими свойствами (малой эмиссией серы и оксидов азота) и может способствовать реабилитации деградированных земель. Растет понимание того, что использование биомассы в больших коммерческих системах основано на устойчивых, аккумулированных ресурсах и отходах и может улучшить управление природными ресурсами в целом.

В таблице 1 – приведены данные энергоемкости для сравнения

Таблица 1 – Сравнительные данные энергоемкости.

Вид	Содержание воды, %	МДж/кг	кВт·ч/кг
Дуб	20	14,1	3,9
Сосна	20	13,8	3,8
Солома	15	14,3	3,9
Зерновые	15	14,2	3,9
Рапсовое масло	-	37,1	10,3
Антрацит	4	30,0-35,0	8,3
Бурый уголь	20	10,0-20,0	5,5
Печное топливо	-	42,7	11,9
Биометанол	-	19,5	5,4
Дуб	20	14,1	3,9
Сосна	20	13,8	3,8
Солома	15	14,3	3,9
Зерновые	15	14,2	3,9
Рапсовое масло	-	37,1	10,3
Вид	МДж/м <sup>3</sup>		кВт·ч/м <sup>3</sup>
Канализационный газ	16,0		4,4
Древесный газ	5,0		1,4
Биогаз из навоза	22,0		6,1
Природный газ	31,7		8,8

Водород	10,8	3,0
---------	------	-----

В статье [10] дан анализ современного состояния использования древесной биомассы в энергетических целях. Особое внимание уделено перспективам развития этого актуального направления в возобновляемой энергетике применительно к условиям Республики Беларусь.

Приведена информация по современным методам и оборудованию для заготовки и сжигания древесной биомассы, экологическим и экономическим аспектам их практического применения.

В статье [11] приводятся результаты исследования влияния тепла и влаги на экстрагирование фурфурола и формальдегида из древесины бука и дуба. Приводятся рекомендации по снижению воздействия вредных веществ на окружающую среду.

В [12] проведены экспериментальные исследования закономерностей термического разложения шести разновидностей древесной биомассы в диапазоне изменения температур до 600 °С при различных скоростях нагрева материалов. Установлено, что выход твёрдых (углистое вещество), жидких (биотопливо) и газообразных (биогаз) продуктов почти не зависит от темпа нагрева. Полученные результаты являются основой для разработки мероприятий по повышению энергоэффективности технологических процессов термической конверсии биомассы. Установлена общность зависимостей глубины термических превращений от температуры и темпа нагрева, существенно отличающихся по своей структуре, условиям роста и исходным характеристикам разновидностей древесной биомассы.

Химический состав биомассы различается в зависимости от ее вида. Растения состоят на 25% из лигнина и на 75% из углеводов. Углеводы построены из разных сахарных молекул, соединенных друг с другом в длинные цепи или полимеры. Существуют две большие группы углеводов, имеющих существенную ценность — это целлюлоза и гемицеллюлоза. Лигнин состоит из молекул, которые не содержат сахаров. Природа использует длинные полимеры целлюлозы для построения волокон, придающих

растениям их силу. Лигнин играет роль клея, который соединяет целлюлозные волокна.

Когда говорят об энергетическом потенциале биомассы, имеют в виду все материалы, полученные из растений: древесину, травы, отходы деревообработки и уборки зерновых, навоз и т.д. Так как биомасса сухое топливо, ее можно сравнить с углем.

Теплотворная способность сухой биомассы изменяется в диапазоне от 17,5 ГДж/тонну для различных трав, например, соломы, до почти 20 ГДж/тонну для древесины. Соответствующие значения для битумных углей и лигнина составляют 30 и 20 ГДж/тонну соответственно. При заготовлении биомасса содержит довольно много жидкости: от 8-20% для соломы, 30-60% для древесины до 75-90% для навоза и 95% для водного гиацинта. В отличие от биомассы, влажность большинства битумных углей находится в пределах 2-12%. Таким образом, плотность энергии в биомассе ниже, чем в угле. С другой стороны химические свойства делают ее лучшей по многим параметрам. Биомасса оставляет меньше золы, которая, кроме того, не так насыщена токсичными и радиоактивными металлами, и может быть использована для удобрения почвы.

#### *Основные данные о биомассе*

- Общая масса живой материи – 2 000 млрд тонн.
- Общая масса наземных растений 1 800 млрд тонн.
- На одного человека приходится 400 тонн биомассы.
- Энергия, связанная в земной биомассе, составляет 25000 ЭДж (экса- 2 в степени 60).
- Ежегодно на Земле появляется 400 000 млн. тонн биомассы.
- В биомассе, произрастающей на земле, связывается 3000 ЭДж ежегодно (95 ТВт).
- Каждый год человечество потребляет 400 ЭДж (12ТВт) энергии.
- Доля биомассы в этом потреблении – 55 ЭДж в год (1.7 ТВт). [13]

Растения – возобновляемый природный ресурс, элемент биосферы, преобразующий в процессе фотосинтеза углекислый газ, воду, минеральные и органические вещества в биомассу. Источником производства биомассы является продукция и отходы животноводства и пищевой промышленности [14-17].

В [18] представлены данные по потенциалу биомассы растительного происхождения на территории Российской Федерации, определен теоретический выход биогаза из различных биомасс при анаэробной технологии переработки. Приведена общая система уравнений, описывающая динамику всех стадий процесса и типичный график изменения выхода биогаза.

В статье [19] проанализирована возможность использования биомассы в качестве возобновляемого источника энергии в мире, некоторых странах и России со стороны охраны окружающей среды, энерго-ресурсоснабжения. На основании проведенного анализа данной проблемы определены основные энергетические направления конверсии биомассы в различные виды биотоплива, предложена классификация биотоплив по поколениям в зависимости от вида исходного сырья.

В [20] разработан комплекс лабораторных средств для аналитического обеспечения исследований процесса термодеструкции торфа. Были проведены физико-химические исследования закономерностей процесса пиролиза торфа методами газовой хроматографии, калориметрии. Принято активное участие в исследовании природных и искусственных алюмосиликатов, которые использовались в работе, современными физико-химическими методами: низкотемпературная адсорбция азота, РФА, диффузное отражение инфракрасного Фурье преобразования (Diffuse Reflectance Infra-red Fourier Transform).

В работе [21] проведен анализ и оптимизация параметров изготовления композиционного биотоплива. Численно определены оптимальные значения

параметров давления, влажности, дисперсного состава, содержания наполнителя и температуры для процессов брикетно- и гранулообразования.

В работе [22] показана возможность накопления биомассы микроводорослей *CHLORELLA VULGARIS*-1 для использования ее в качестве источника получения альтернативных топлив в результате культивирования при исходном введении инокулята в виде клеток, иммобилизованных в криогель поливинилового спирта, в среду, содержащую глицерин – отход производства биодизеля.

В [23] предложена однотемпературная математическая модель сушки слоя торфа. Торф считался многофазной средой, состоящей из сухого органического вещества, свободной и связанной воды, газовой фазы. Численное решение математической модели осуществлялось итерационно-интерполяционным методом.

В источнике [24] рассматриваются стратегия и ресурсы развития лесной биоэнергетики, технологии энергетического использования древесины, технологии производства древесного топлива и его сжигания, влияния энергетического использования древесины на окружающую среду, экономический и социальный эффект лесной биоэнергетики, использование механизмов Киотского протокола, перспективы развития лесной биоэнергетики в РФ, странах Европы и Северной Америки.

Источник [25] содержит материал по основам биотехнологических процессов. Рассматриваются основные понятия, определения и стадии процессов биотехнологии, их химизм и особенности. Особое внимание уделяется такой области биотехнологии, как биоэнергетика, которая связана с получением нетрадиционных источников энергии из промышленных и бытовых отходов, а также из легко доступных субстратов.

В [26] рассмотрены место и перспективы нетрадиционных источников в удовлетворении энергетических потребностей человека: энергия Солнца, ветроэнергетические установки, геотермальные энергетические установки, энергетические ресурсы океана, вторичные энергоресурсы промышленных

производств, отходы производства и сельскохозяйственные отходы в качестве источников для получения электрической и тепловой энергии.

В работе [27] представлены исследования распылительной сушки биосуспензии *Rhodotorula Rubra* с целью получения сухого дисперсного продукта, обогащенного каротиноидами. Экспериментальные исследования проводились на установке распылительной сушки Mini Spray Dryer B-290, ВÜСНІ в соответствии с ортогональным планом второго порядка. Проведен регрессионный анализ, найдены оптимальные параметры и даны рекомендации по проведению процесса сушки.

Рассмотрены в [28] некоторые особенности горения биотоплива, способы его сжигания и основные типы топочных устройств, методика определения составляющих теплового баланса котлоагрегатов, его КПД и расхода топлива.

Статья [29] информирует о том, что в ней рассмотрены ресурсы возобновляемых источников энергии, основные технологии и проблемы, связанные с их использованием. Основное внимание уделено альтернативному топливу в теплоэнергетике.

Из источника [30] можно сделать вывод о том, что активное использование биоэнергетических ресурсов может стать одним из главных решений укрепления энергетической безопасности Украины. Потенциал биомассы, который имеет Украина сегодня для производства энергии – около 30 млн т условного топлива в год.

Статья [31] на основе анализа мирового опыта использования различных видов биотоплива, а также потребности в сельскохозяйственном сырье для его производства.

### **1.3 Сушка биомассы, ее виды**

Сушка — процесс принудительного удаления жидкости из твёрдых, жидких веществ или их смесей при помощи испарения. Чаще всего в качестве удаляемой жидкости выступают влага или летучие органические растворители. Содержащаяся в материале влага переходит в



парообразное состояние и отводится в окружающую среду. Сушка древесины (включая пиломатериалы) может происходить двумя способами: естественным — на открытом воздухе (атмосферная) и искусственным — в специальных сушильных установках (камерная).

Всем известный факт, что в древесине в процессе ее роста, содержится вода и при помощи сушки в специальных камерах материал доводят до требуемого качества. Сразу заметим, что вода может находиться внутри древесины в следующих состояниях:

Свободная вода — так называемая вода, заполняющая капиллярные сосуды и межклеточные пустоты. Это большая часть воды, располагающаяся в древесине. Тем самым она первая удаляется из нее. Процесс сушки протекает быстро, требует не очень высоких температур и определенной осторожности в скорости сушки.

Связанная или конституционная вода — это остаточное количество воды, содержащееся внутри клеточных мембран. Ее удаление гораздо сложнее и требует более высоких температур. Также, высушивание связанной воды приводит к изменению геометрических размеров всего высушиваемого массива дерева.

Точка насыщения волокон — это та влажность, при которой вся свободная влага удалена из дерева, и в древесине находится только связанная вода.

Процесс сушки востребован практически во всех отраслях, например, в производствах химико-лесного комплекса, сельском хозяйстве, пищевой отрасли, строительной, кожевенной, легкой и многих других отраслях народного хозяйства, повышение качества материалов, подготовка их к переработке, использованию, транспортированию и хранению. Этот процесс зачастую является последней технологической стадией, предшествующей выпуску готового продукта. При этом жидкость предварительно удаляют более дешевыми механическими способами, в конечном итоге - тепловыми.

Атмосферная сушка.

Наиболее доступным способом обезвоживания древесины является атмосферная сушка. Известно, что атмосферно высушенная древесина может эксплуатироваться многие столетия, если ее повторно не увлажнять. Атмосферная сушка является наиболее дешевым способом, и раньше она была основной на лесопильных предприятиях. Она не требует таких капитальных затрат как камерная, но для нее нужны большие площади и большой запас материала. Главным недостатком атмосферной сушки является то, что процесс неуправляем: в регионах с высокой влажностью воздуха увеличивается вероятность поражения пиломатериалов грибами, а на юге от жары — растрескивания.

На предприятиях с химическим производством применяют, в основном, искусственную сушку, проводимую в специальных сушильных камерах, в состав которых входят: сушильный аппарат, или сушилка, где протекает процесс; вспомогательное оборудование-теплообменные аппараты (калориферы), тяго-дутьевое устройство (вентилятор, воздуходувка) и система пылеочистки (см. Пылеулавливание) соотв. для нагревания сушильного агента, пропускания его через сушилку и отделения от высушенного продукта.

Для того, чтобы снизить вероятность заражения древесины грибами и плесенью в начальный период ее нужно защищать специальными антисептиками.

#### Вакуумная сушка

Вакуумная пресс-сушилка (рис. 2) состоит из стальной нержавеющей камеры, которая внутри полностью герметична. Верх камеры закрыт эластичным резиновым покрытием в металлической рамке. Доски укладываются внутрь камеры слоями, чередуясь с алюминиевыми нагревательными пластинами. Водяная помпа обеспечивает циркуляцию горячей воды внутри этих пластин. Вода нагревается внешним бойлером. Жидкостная вакуумная помпа обеспечивает вакуум внутри камеры.

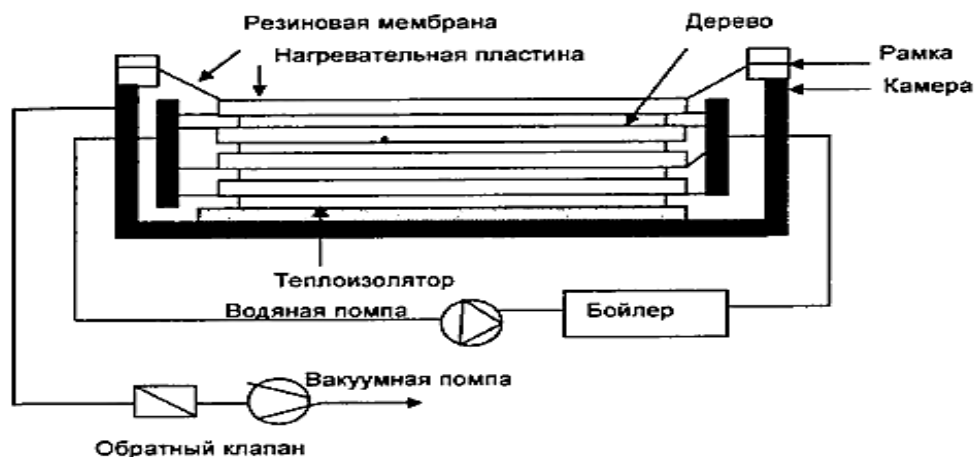


Рисунок 2 - Вакуумная пресс-сушилка

После того как древесина загружена в сушильную камеру, оператор устанавливает на панели управления параметры сушки: уровень вакуума (давление); температуру нагревательных пластин.

Практически каждая порода древесины требует своего уровня вакуума, который не изменяется на протяжении всей сушки. Изменяется только температура нагревательных пластин (параметры температур даны в таблицах производителя). Для программирования сушки и управления параметрами можно использовать микропроцессор.

#### Сушка в СВЧ

СВЧ-сушка аналогична диэлектрической сушке токами высокой частоты ( $\text{ВЧ} = 25 \text{ МГц}$ ). Проводится на более высоких частотах — 460; 915—2500 МГц. Поэтому энергия СВЧ-поля передается в древесину путем излучения свободных, не связанных линией передачи энергии (контуром) колебаний в пространство герметичной металлической камеры, где располагается штабель пиломатериалов. В этом случае взаимодействие электромагнитного поля с древесиной максимально и не зависит от характеристик древесины и нагрузочных способностей генераторов. Генераторы пространственно разнесены с высушиваемым материалом. Условия сушки близки к оптимальным.

Достоинства. Качество сушки близко к естественному, высокая скорость сушки, энергозатраты средние: 550 кВт/ч на 1 м<sup>3</sup> сосны, 2000 кВт/ч на 1 м<sup>3</sup> дуба. Не требует коммуникаций, мобильна, имеет малые размеры. Универсальна, способна высушивать любые диэлектрические материалы: лекарственные травы, ягоды, фрукты, овощи, керамику, удобрения и т. д.

Недостатки. Высокая стоимость магнетронных генераторов и малый ресурс их работы (около 600 ч). Большие энергетические затраты. Трудность контроля процесса (над температурой среды и древесины, в силу специфики микроволновой энергии). Частота случаев возгорания материала изнутри. Малый объем одновременно высушиваемых пиломатериалов: объем загрузки — до 7 м<sup>3</sup> для хвойных пород и до 4,5 м<sup>3</sup> для твердолиственных.[32]

В данных [33] рассмотрены известные устройства для сжигания отходов переработки древесной биомассы; предложена новая оригинальная конструкция циклонного предтопка аналогичного назначения.

В [34] приведены материалы о состоянии современной энергетики, проблемах и мерах по использованию возобновляемых источников, о влиянии различных видов топлива на экологию.

Приведены результаты исследований усыхания микросрезов из древесины дуба. Выявлен сложный характер зависимости величины усыхания от текущей влажности древесины, которое начинается при влажности близкой к пределу насыщения клеточных стенок, не зависит от температуры сушения и начальной влажности микросрезов.[35].

В учебнике Кречетова И. В. рассмотрены теория, технология, техника и организация сушки древесины. Описаны свойства и применение в сушильной технике водяного пара, воздуха и продуктов сгорания как сушильных агентов. Приведены сведения об эксплуатации лесосушильных установок, экономичности сушки, усовершенствования техники и технологии, улучшения качества сушки.[36]

Монография [37] посвящена вопросам формирования древесины дуба в различных условиях произрастания. Анализ экспериментального материала

позволил выявить связи между внешней средой и строением древесины и установить влияние строения древесины на ее физико-механические свойства.

В источнике [38] приведены сведения о частях растущего дерева и строении древесины. Рассмотрены основные химические, физические и механические свойства древесины. Описаны пороки древесины и ее стойкость. Дана характеристика основных коммерческих древесных пород. Изложены вопросы классификации и стандартизации лесных товаров. Приведены товароведческие сведения о лесоматериалах, пилопродукции, лущеных, строганых, колотых, композиционных древесных материалах. Может быть полезен работникам мебельного, паркетного, тарного и других деревообрабатывающих производств, строительства и лесного хозяйства.

Древесина, имея сложное строение клеточных стенок и разнообразие анатомических элементов, входящих в ее состав, является анизотропным телом. Условия произрастания и формирования дерева также отражаются на анизотропности. Свойства древесины зависят от количества содержащейся в ней влаги. Сухая древесина по сравнению с влажной обладает хорошей формоустойчивостью и более высокими прочностными показателями. Изделия из нее имеют больший срок службы, что подтверждает необходимость обязательной сушки древесины. Конвективная сушка древесины протекает при неравномерном распределении влажности по объему материала. Наличие неравномерного поля влажности, возникающего с самого начала процесса, приводит к созданию неоднородного деформированного состояния из-за неравномерной усушки и может быть первопричиной образования внутренних напряжений. Если бы древесина была абсолютно упругим телом и ее характеристики не зависели бы от влажности и температуры, то после выравнивания влажности и охлаждения внутренние напряжения в ней должны исчезать. Однако древесина не обладает идеальной упругостью, в ней (особенно при длительном воздействии нагрузок) развиваются остаточные деформации, сохраняющиеся и после устранения вызвавших их усилий. Кроме того, происходит процесс преобразования

упругих деформаций в остаточные вследствие изменения жесткости древесины при снижении ее влажности и повышении температуры.[39]

#### **1.4. Теория планирования инженерно – физического эксперимента**

В учебном пособии [40] представлены основные понятия и элементы теории инженерно – физического эксперимента. Физические явления и процессы, с которыми мы сталкиваемся в природе, а также в инженерной практике в различных отраслях техники и технологии, чрезвычайно разнообразны и характеризуются для каждого конкретного процесса своим набором физических параметров. Исследование физических явлений, собственно, и представляет предмет обширной области науки – физики, которая подразделяется на ряд более специализированных дисциплин – механику, атомную и ядерную физику, теплофизику, акустику и т.д. Исследование природных явлений связано с возможностью прогнозирования их последствий, с одной стороны, и с использованием их с пользой для человека – с другой.

В диссертации [41] представлены результаты экспериментального исследования массовой скорости испарения влаги из образцов лиственной биомассы, а также обработка полученных экспериментальных результатов. Получены зависимости массовой скорости испарения от времени сушки.

Представлены результаты экспериментального исследования массовой скорости испарения для питьевой, минерализованной, дистиллированной воды, а также обработка полученных экспериментальных результатов. 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. [42].

### **Выводы по обзору литературы**

1. Анализируя справочную литературу можно сказать, что энергетические характеристики биомассы позволяют использовать ее в качестве альтернативного топлива. Недостатком биомассы является то, что она нуждается в подготовке и требует больших энергетических затрат. Относительно невысокая насыпная плотность. В связи с этим она используется в местах ее произрастания.

2. Потенциальный запас биологических масс растительного и животного происхождения на территории РФ огромен.

3. Годовой объем роста биомассы сравним с потреблением традиционного топлива, что делает перспективным и весьма значительным разработку новых технологий ее использования.

4. Несмотря на большое количество исследуемой литературы, отсутствуют четкие рекомендации по подготовке и сушке растительного биотоплива.

5. Процесс испарения влаги из растительной биомассы до конца не изучен и требует дальнейших исследований.

## **2 Экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из лиственной древесины в сушильной камере**

Испарение – процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное, происходящее на поверхности вещества (пар). Процесс испарения является обратным процессу конденсации (переход из парообразного состояния в жидкое).

Испарение – эндотермический процесс, при котором поглощается теплота фазового перехода - теплота испарения, затрачиваемая на преодоление сил молекулярного сцепления в жидкой фазе и на работу расширения при превращении жидкости в пар. Удельную теплоту испарения относят к 1 молю жидкости (молярная теплота испарения, Дж/моль) или к единице её массы (массовая теплота испарения, Дж/кг). Скорость испарения определяется поверхностной плотностью потока пара, проникающего за единицу времени в газовую фазу с единицы поверхности жидкости (в моль/(с·м<sup>2</sup>) или кг/(с·м<sup>2</sup>)]. Наибольшее значение достигается в вакууме. При наличии над жидкостью относительно плотной газовой среды испарение замедляется вследствие того, что скорость удаления молекул пара от поверхности жидкости в газовую среду становится малой по сравнению со скоростью испускания их жидкостью. При этом у поверхности раздела фаз образуется слой парогазовой смеси, практически насыщенный паром. Парциальное давление и концентрация пара в данном слое выше, чем в основной массе парогазовой смеси.

Процесс испарения зависит от интенсивности теплового движения молекул: чем быстрее движутся молекулы, тем быстрее происходит испарение. Кроме того, немаловажными факторами, влияющими на процесс испарения, являются скорость внешней (по отношению к веществу) диффузии, а также свойства самого вещества. Проще говоря, при ветре испарение происходит гораздо быстрее. Что же касается свойств вещества, то, к примеру, спирт испаряется гораздо быстрее воды. Важным фактором является также



площадь поверхности тела, с поверхности которого происходит испарение.  
[42]

Цель работы: Экспериментальное исследование факторов, влияющих на процесс испарения жидкости из древесины лиственных пород в сушильной камере.

Задачи работы:

- 1) Подготовка образцов для сушки;
- 2) Измерение начальной массы образца с помощью лабораторных весов;
- 3) Установка и поддержание температуры в сушильной камере с помощью задания параметров сушки в программе «Real Lab 2.0»;
- 4) Измерение массы образца после сушки в сушильной камере;
- 5) Построение графиков зависимости массовой скорости испарения жидкости от температуры нагрева и от времени;
- 6) Построение графиков зависимости коэффициента аккомодации от массовой скорости испарения и температуры;
- 7) Анализ результатов исследований

### **2.1 Рекомендации для выполнения эксперимента**

1. Подготавливаем экспериментальную чашу из фольги определенной площадью испарения;
2. Подготовим образцы с одинаковой площадью поверхности испарения;
3. Определяем массу емкости, в которую будут помещаться образцы;
4. Размещаем исследуемый образец в емкость;
5. Фиксируем параметры атмосферного давления, при котором будет проводиться экспериментальное исследование процесса сушки;
6. С помощью компьютерной программы, связанной с термопарами в сушильной камере, «Real Lab 2.0» устанавливаем необходимую температуру в сушильной камере;
7. Включаем сушильную камеру;

8. После этого емкость с древесиной помещаем в сушильную камеру, и начинаем отсчёт времени. Временной интервал - 10 минут (600 секунд).

9. По окончании выбранного интервала времени извлекаем образец и измеряем изменившуюся массу;

10. Обработываем и анализируем полученные результаты.

*Примечание:* данный эксперимент проводится аналогично и не менее 3 раз для любых выбранных температур в печи в одном и том же выбранном интервале времени [40].

## 2.2 Описание экспериментальной установки



Рисунок 3 - Сушильный шкаф

Лабораторный сушильный шкаф с естественной циркуляцией имеет очень простую конструкцию, изготавливается, как правило, небольших размеров и предназначен для сушки и испытания разных материалов.

Нагрев рабочей камеры в сушильном шкафу обеспечивается проволочными нагревателями, которые размещены вокруг камеры нагрева. Такие нагревательные панели имеют хорошую теплопередачу и обеспечивают равномерный нагрев поверхности рабочей камеры. Сушка материалов производится на двух съёмных полках.

Вентиляция рабочей камеры – естественная. В нижней части рабочей камеры расположены вентиляционные каналы для подачи холодного воздуха внутрь рабочей камеры.

Интенсивность вентиляции регулируется нижней вентиляционной заслонкой. В верхней части рабочей камеры расположены отверстия для устройства измерения температуры и отверстие для сброса паров влаги.

Особенности сушильного шкафа:

- рабочая камера и полки из нержавеющей стали;
- естественная вентиляция рабочей камеры с регулирующей заслонкой;
- отверстия для сброса паров влаги;
- отверстия для установки термометра;
- тумблер включения нагрева.

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

### 2.3 Образцы для проведения эксперимента

В эксперименте участвует четыре образца лиственных пород древесины, наиболее распространенные на территории Сибири:

1. тополь;
2. липа;
3. береза;
4. осина.



Рисунок – 4 тополь. Рисунок – 5 липа. Рисунок – 6 береза. Рисунок – 7 осина.

Каждый образец для эксперимента укладывался в экспериментальную чашу из фольги, затем измеряется общий вес всей древесины вместе с чашей. Образец ставится в предварительно нагретую печь (сушильный шкаф) и после интервала времени в 10 минут достается для повторного взвешивания и определения общей массы. Все действия повторно проводилось для всех образцов. Результаты протоколировались и заносились в таблицу.

### **3 Результаты экспериментального исследования массовой скорости испарения жидкостей**

Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости приведены в Приложении А.

В процессе выполнения научной работы было проведено экспериментальное исследование массовой скорости испарения жидкости для четырех образцов из лиственной породы древесины: липа, береза, тополь, осина. Полученные результаты представлены ниже.

В таблице 2-4 представлены условия, при которых проводилось экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из лиственной биомассы и результаты расчёта массовой скорости испарения тополя. Каждая таблица соответствует одному проведенному эксперименту.

В таблице 5-7 представлены условия, при которых проводилось экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из лиственной биомассы и результаты расчёта массовой скорости испарения березы. Каждая таблица соответствует одному проведенному эксперименту.

В таблице 8-10 представлены условия, при которых проводилось экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из лиственной биомассы и результаты расчёта массовой скорости испарения осины. Каждая таблица соответствует одному проведенному эксперименту.

В таблице 11-13 представлены условия при которых проводилось экспериментальное исследование процесса испарения жидкости из лиственной биомассы и результаты расчёта массовой скорости испарения липы. Каждая таблица соответствует одному проведенному эксперименту.

### 3.1 Результаты расчёта погрешности измерений

1. Составим таблицу измерений для осины при температуре печи 60 °С :

Таблица – 2 Результаты расчетов погрешностей измерений для осины

Порядковый номер измерения	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Результаты измерения №1	0,3721	0,2912	0,2912	0,2427	0,2103
Результаты измерения №2	0,3236	0,3236	0,2912	0,2589	0,2427
Результаты измерения №3	0,3883	0,2912	0,3236	0,1941	0,2427
Порядковый номер измерения	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Результаты измерения №1	0,1941	0,1779	0,1456	0,1294	0,1294
Результаты измерения №2	0,1456	0,1618	0,1941	0,1294	0,1294
Результаты измерения №3	0,2103	0,1941	0,1941	0,1941	0,1618
Порядковый номер измерения	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	
Результаты измерения №1	0,0970	0,0647	0,0647	0,0323	
Результаты измерения №2	0,1294	0,0970	0,0647	0,0647	
Результаты измерения №3	0,1294	0,0970	0,0970	0,0323	

2. Находим среднее арифметическое значение результатов измерения:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3}{n}; \text{ где} \quad (1)$$

$x_1, x_2, x_3$  - значения измерений №1,2,3;

$n$  – количество измерений;

$$\bar{x}_1 = \frac{0,3721 + 0,3236 + 0,3883}{3} = 0,3613 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_2 = \frac{0,2912 + 0,3236 + 0,2912}{3} = 0,3021 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_3 = \frac{0,2912 + 0,2912 + 0,3236}{3} = 0,3020 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_4 = \frac{0,2427 + 0,2589 + 0,194}{3} = 0,2319 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_5 = \frac{0,2103 + 0,2427 + 0,2427}{3} = 0,2319 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

3. Находим среднюю квадратичную погрешность отдельного результата при 3-х измерениях (погрешность метода измерений):

$${}^nS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}} \quad (2)$$

$${}^nS_1 = \sqrt{\frac{(0,3613 - 0,3721)^2 + (0,3613 - 0,3236)^2 + (0,3613 - 0,3883)^2}{3-1}} = 0,0336 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^nS_2 = \sqrt{\frac{(0,3020 - 0,2912)^2 + (0,3020 - 0,3236)^2 + (0,3020 - 0,2912)^2}{3-1}} = 0,0186 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^nS_3 = \sqrt{\frac{(0,3020 - 0,2912)^2 + (0,3020 - 0,2912)^2 + (0,3020 - 0,3236)^2}{3-1}} = 0,0186 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^nS_4 = \sqrt{\frac{(0,2319 - 0,2427)^2 + (0,2319 - 0,2589)^2 + (0,2319 - 0,1941)^2}{3-1}} = 0,0336 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^nS_5 = \sqrt{\frac{(0,2319 - 0,2103)^2 + (0,2319 - 0,2427)^2 + (0,2319 - 0,2427)^2}{3-1}} = 0,0186 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

4. Находим подозрительное отклонение «подозрительного» измерения, выраженное в долях :

$$\mathcal{G}_k = \left| \frac{\bar{x} - x_k}{{}^nS} \right|; \quad (3)$$

$$\mathcal{G}_{k1} = \left| \frac{0,3613 - 0,3721}{0,0336} \right| = 0,32; \quad \mathcal{G}_{k6} = \left| \frac{0,3613 - 0,3236}{0,0336} \right| = 1,12; \quad \mathcal{G}_{k11} = \left| \frac{0,3613 - 0,3883}{0,0336} \right| = 0,8$$

$$\mathcal{G}_{k2} = \left| \frac{0,3020 - 0,2912}{0,0186} \right| = 0,57; \quad \mathcal{G}_{k7} = \left| \frac{0,3020 - 0,3236}{0,0186} \right| = 1,2; \quad \mathcal{G}_{k12} = \left| \frac{0,3020 - 0,2912}{0,0186} \right| = 0,57;$$

$$\mathcal{G}_{k3} = \left| \frac{0,3020 - 0,2912}{0,0186} \right| = 0,57; \quad \mathcal{G}_{k8} = \left| \frac{0,3020 - 0,2912}{0,0186} \right| = 0,57; \quad \mathcal{G}_{k13} = \left| \frac{0,3020 - 0,3236}{0,0186} \right| = 1,15;$$

$$\mathcal{G}_{k4} = \left| \frac{0,2319 - 0,2427}{0,0336} \right| = 0,32; \quad \mathcal{G}_{k9} = \left| \frac{0,2319 - 0,2427}{0,0336} \right| = 0,8; \quad \mathcal{G}_{k14} = \left| \frac{0,2319 - 0,1941}{0,0336} \right| = 1,12;$$

$$\mathcal{G}_{k5} = \left| \frac{0,2319 - 0,2103}{0,0186} \right| = 1,2; \quad \mathcal{G}_{k10} = \left| \frac{0,2319 - 0,2427}{0,0186} \right| = 0,6; \quad \mathcal{G}_{k15} = \left| \frac{0,231 - 0,242}{0,0186} \right| = 0,6.$$

5. Находим значения  $\mathcal{G}_{\min}$ ,  $\mathcal{G}_{\max}$  по известному количеству измерений используя приложение 4 в учебном пособии В.А. Архипов, А.П. Березиков «Основы теории инженерно-физического эксперимента»:

$$n = 3; \mathcal{G}_{\min} = 1,41; \mathcal{G}_{\max} = 1,41$$

6. Сравниваем  $\mathcal{G}_k$  с  $\mathcal{G}_{\min}$  и  $\mathcal{G}_{\max}$ :

если  $\mathcal{G}_k > \mathcal{G}_{\max}$  - измерение  $x_k$  отбраковать (промах);

если  $\mathcal{G}_k < \mathcal{G}_{\min}$  - измерение  $x_k$  оставить;

если  $\mathcal{G}_{\min} < \mathcal{G}_k < \mathcal{G}_{\max}$  - измерение  $x_k$  можно и оставить и отбраковать;

В нашем случае все измерения  $x_k$  остаются.

7. Находим уточненные значения  $\bar{x}$  и  ${}^n S$  для оставшихся после отбраковки результатов в соответствии с пунктом 2-3:

$$\bar{x}_1 = \frac{0,3721 + 0,3236 + 0,3883}{3} = 0,3613 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_2 = \frac{0,2912 + 0,3236 + 0,2912}{3} = 0,3021 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_3 = \frac{0,2912 + 0,2912 + 0,3236}{3} = 0,3020 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_4 = \frac{0,2427 + 0,2589 + 0,194}{3} = 0,2319 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\bar{x}_5 = \frac{0,2103 + 0,2427 + 0,2427}{3} = 0,2319 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$${}^n S_1 = \sqrt{\frac{(0,3613 - 0,3721)^2 + (0,3613 - 0,3236)^2 + (0,3613 - 0,3883)^2}{3 - 1}} = 0,0336 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^n S_2 = \sqrt{\frac{(0,3020 - 0,2912)^2 + (0,3020 - 0,3236)^2 + (0,3020 - 0,2912)^2}{3 - 1}} = 0,0186 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^n S_3 = \sqrt{\frac{(0,3020 - 0,2912)^2 + (0,3020 - 0,2912)^2 + (0,3020 - 0,3236)^2}{3 - 1}} = 0,0186 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^n S_4 = \sqrt{\frac{(0,2319 - 0,2427)^2 + (0,2319 - 0,2589)^2 + (0,2319 - 0,1941)^2}{3 - 1}} = 0,0336 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

$${}^n S_5 = \sqrt{\frac{(0,2319 - 0,2103)^2 + (0,2319 - 0,2427)^2 + (0,2319 - 0,2427)^2}{3 - 1}} = 0,0186 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$



8. Найдем среднее квадратичное отклонение среднего арифметического (погрешность результата серии измерений):

$${}^n S_x^- = \frac{{}^n S}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$${}^n S_{x1}^- = \frac{0,0336}{\sqrt{3}} = 0,0194 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$${}^n S_{x2}^- = \frac{0,0186}{\sqrt{3}} = 0,0107 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$${}^n S_{x3}^- = \frac{0,0186}{\sqrt{3}} = 0,0107 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$${}^n S_{x4}^- = \frac{0,0336}{\sqrt{3}} = 0,0194 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$${}^n S_{x5}^- = \frac{0,0186}{\sqrt{3}} = 0,0107 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

9. Задаём доверительную вероятность  $\alpha$  и находим табличное значение коэффициента Стьюдента  $t(\alpha, n)$  :

$$\alpha = 0,95 ;$$

$$t(\alpha, n) = 4,30.$$

10. Определяем  $\Delta x$  :

$$\Delta x = {}^n S_x^- \cdot t(\alpha, n)$$

$$\Delta x_1 = 4,3 \cdot 0,0194 = 0,0836 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\Delta x_2 = 4,3 \cdot 0,0107 = 0,0463 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\Delta x_3 = 4,3 \cdot 0,0107 = 0,0463 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\Delta x_4 = 4,3 \cdot 0,0194 = 0,0836 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

$$\Delta x_5 = 4,3 \cdot 0,0107 = 0,0463 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}.$$

11. Находим доверительный интервал:

Так как погрешность весов несоизмерима с погрешностью эксперимента, то за доверительный интервал принимается значение  $\Delta x$  .

**12.** Находим относительную погрешность результата серии измерений:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x}.$$

$$\delta_{x1} = \frac{0,0836}{0,3613} = 0,23;$$

$$\delta_{x2} = \frac{0,0463}{0,3020} = 0,15;$$

$$\delta_{x3} = \frac{0,0463}{0,3020} = 0,15;$$

$$\delta_{x4} = \frac{0,0836}{0,1219} = 0,36;$$

$$\delta_{x5} = \frac{0,0463}{0,2319} = 0,2.$$

**13.** Записываем результат в виде:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x.$$

$$x_1 = (0,3613 \pm 0,0836);$$

$$x_2 = (0,3020 \pm 0,0463);$$

$$x_3 = (0,3020 \pm 0,0463);$$

$$x_4 = (0,2319 \pm 0,0836).$$

$$x_5 = (0,2319 \pm 0,0463);$$

В результате были проведены расчёты погрешностей измерений для четырех образцов: березы, липы, осины и тополя от 40°С до 120°С. Результаты расчётов представлены в Приложении 2.

### 3.2 Расчет парциального давления

В ходе эксперимента для четырех образцов лиственной древесины при заданных температурах в диапазоне от 40 °С до 120 °С, была найдена масса испарившейся влаги, через каждые 10 минут после ее сушки в сушильной камере для всех исследуемых образцов по формуле:

$$m_i - m_{i+1} = \Delta m. \quad (3.2.1)$$

Массовая скорость испарения жидкости из древесины найдена по формуле

$$W_{исп.} = \frac{\Delta m}{S \cdot t}; \quad \left[ \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с.}} \right], \quad (3.2.2)$$

где  $W_{исп}$  – массовая скорость испарения, кг/м<sup>2</sup>·с;

$\Delta m$  – изменение массы образца, после 10 минут сушки, кг;

$S$  – площадь ёмкости,  $S = 0,00515 \text{ м}^2$ ;

$t$  – время сушки,  $t = 600 \text{ с.}$

Следующим этапом исследования является определение парциального давления и коэффициента аккомодации на поверхности исследуемых образцов, для этого воспользуемся уравнением Герца-Кнудсена:

$$W_{исп} = \frac{A \cdot (P^H - P^*)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}} \Rightarrow A = \frac{W_{исп} \cdot \sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}}{(P^H - P^*)} \quad (3.2.3)$$

где  $W_{исп}$  – массовая скорость испарения, кг/м<sup>2</sup>·с;

$P^H$  – давление насыщенного пара, Па;

$P^*$  – давление парциальное, Па;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8314 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{К}$ ;

$M$  – молекулярный вес;

$T$  – температура вещества, К;

$A$  – коэффициент аккомодации.

Подставив полученные значения скорости испарения, найденные экспериментальным путем в уравнение (3.1.3), находим парциальное давление и коэффициент аккомодации. Но так как в уравнении получается две неизвестных, воспользуемся уравнением состояния (3.1.4) для нахождения этих величин.

Уравнение состояния:

$$P \cdot V = (m_{с.в.} + m_{H_2O}) \cdot \frac{R}{M} \cdot T; \quad (3.2.4)$$

где  $P$  – давление насыщенного пара, Па;

$V$  – объем сушильной камеры,  $V=0,36 \text{ м}^3$ ;

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

$m_{H_2O}$  - масса водяного пара, кг;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R= 8314 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{К}$ ;

$M$  – молекулярный вес;

$T$  – температура вещества, К.

Примечание: давление насыщения находим по таблице термодинамических свойств воды и водяного пара, по температуре, установленной в сушильной камере в диапазоне от  $40^\circ \text{C}$  до  $120^\circ \text{C}$  для каждого образца древесины.

Из уравнения состояния (3.1.4) находим массу сухого воздуха:

$$m_{с.в.} = \left[ \frac{P \cdot V}{R \cdot T} - \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} \right] \cdot M_{с.в.}; \quad (3.2.5)$$

где  $P$  - давление насыщения, определяемое из таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара, по температуре влажного воздуха;

$V$  – объем сушильной камеры,  $V=0,36 \text{ м}^3$ ;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R= 8314 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{К}$ ;

$T$  – температура в сушильной камере, К;

$m_{H_2O}$  - масса испарившейся влаги из всего образца, кг;

$M_{H_2O}$  - молекулярная масса водяного пара,  $M_{H_2O} = 18 \text{ г/моль}$ ;

$M_{c.в.}$  - молекулярная масса сухого воздуха,  $M_{c.в.} = 29$  г/моль.

Для нахождения массы влаги, испарившейся из всего образца, необходимо найти массу испарившейся влаги в начальный момент времени, которая находится по формуле:

$$m_{H_2O}(0) = d \cdot M_{c.в.}; \quad (3.2.6)$$

где  $M_{c.в.}$  - молекулярная масса сухого воздуха в камере в начальный момент времени;

$d$  – влагосодержание влажного воздуха.

Влагосодержание влажного воздуха – это отношение массы пара к массе сухого воздуха:

$$d = \frac{M_n}{M_{c.в.}}; \quad (3.2.7)$$

Из уравнения состояния идеального газа и формулы для нахождения относительной влажности получим формулу для расчета влагосодержания влажного воздуха.

$$d = 0,622 \cdot \frac{(\varphi \cdot P_s)}{B - (\varphi \cdot P_s)}; \quad (3.2.8)$$

где  $B$  – атмосферное давление,  $B=101320$  Па;

$\varphi$  - относительная влажность воздуха, принимаем  $\varphi = 50$  %;

$P_s$  - давление насыщения, принимаемое по таблице термодинамических свойств воды и водяного пара;

Массу сухого воздуха в камере находим по формуле:

$$M_{c.в.} = V \cdot \rho_{c.в.} \quad (3.2.9)$$

где  $V$  - объем сушильной камеры,  $V=0,36$  м<sup>3</sup>;

$\rho_{c.в.}$  - плотность сухого воздуха.

Плотность сухого воздуха в помещении находится по формуле:

$$\rho_{c.в.} = \frac{B - \varphi \cdot P_s}{\frac{R}{M} \cdot T}; \quad (3.2.10)$$

где  $V$  - атмосферное давление,  $V=101320$  Па;

$\varphi$  - относительная влажность воздуха, принимаем  $\varphi =50$  %;

$P_s$  -давление насыщенного пара, Па;

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

$M$  - молекулярный вес воздуха,  $M=29$  г/моль;

$T$  – начальная температура в камере,  $T=298$  К.

Примечание: принимаем давление насыщенного пара по таблице термодинамических свойств воды и водяного пара, при начальной температуре в камере  $T=298$  К, получаем  $P_s = 3170$  Па.

Зная массу испарившейся влаги в начальный момент времени и массу испарившейся влаги через каждые 10 минут сушки, находим общую массу влаги, испарившейся из всего образца:

$$m_{H_2O} = \Delta m + m_{H_2O}(0). \quad (3.2.11)$$

где  $\Delta m$  - масса испарившейся влаги из образца в течение 10 минут;

$m_{H_2O}(0)$  - масса испарившейся влаги в начальный момент времени.

Находим молекулярную массу влажного воздуха из уравнения состояния (3.1.4):

$$M = \frac{m_{H_2O} + \left[ \frac{P \cdot V}{R \cdot T} - \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} \right] \cdot M_{c.в.}}{\left[ \frac{P \cdot V}{R \cdot T} \right]}; \quad (3.2.12)$$

Получив значения общей массы испарившейся влаги, массу сухого воздуха и молекулярный вес для каждого образца при заданной температуре, можем найти объемные и массовые доли испарившейся влаги по формулам (3.1.13-3.1.14).

Массовые доли водяного пара находятся по формуле:

$$g_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + \left[ \frac{P \cdot V}{R \cdot T} - \frac{m_{H_2O}}{M_{H_2O}} \right] \cdot M_{c.в.}}; \quad (3.2.13)$$

где  $m_{H_2O}$  - масса водяного пара, кг;

$P$  – давление насыщенного пара, Па;

$V$  – объем сушильной камеры,  $V=0,36 \text{ м}^3$ ;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R= 8314 \text{ Дж/кмоль} \cdot \text{К}$ ;

$T$  – температура вещества, К;

$M_{H_2O}$  - молекулярная масса водяного пара  $M_{H_2O} = 18 \text{ г/моль}$ ;

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

Объемные доли водяного пара находим по формуле:

$$r_{H_2O} = \frac{g_{H_2O} \cdot M}{M_{H_2O}}; \quad (3.2.14)$$

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

$M$  - молекулярная масса влажного воздуха;

$M_{H_2O}$  - молекулярная масса водяного пара,  $M_{H_2O} = 18 \text{ г/моль}$ .

Зная объемные доли испарившейся влаги и давление насыщенного пара находим парциальное давление для каждого образца:

$$P_{H_2O} = r_{H_2O} \cdot P_H; \quad (3.2.15)$$

где  $P_H$  - давление насыщения, определяемое из таблиц термодинамических свойств воды и водяного пара по температуре влажного воздуха;

$r_{H_2O}$  - объемные доли водяного пара в каждом образце.

Полученные значения парциального давления и массовой скорости испарения жидкости из древесины подставляем в формулу (3.1.3) и находим коэффициент аккомодации для всех исследуемых образцов биомассы.

Результаты расчётов парциального давления и коэффициента аккомодации сведены в таблицы и представлены ниже для 4-х образцов лиственной древесины в диапазоне температур в сушильной камере от  $40^\circ \text{C}$  до  $120^\circ \text{C}$ .

### 3.3 Результаты расчёта коэффициента аккомодации

Коэффициент аккомодации – физическая величина, характеризующая поведение молекул газа или пара при их соударении с поверхностью твёрдого или жидкого тела. Коэффициент аккомодации имеет два различных смысла:

1) Обозначает долю «конденсирующихся» молекул из общего числа молекул, ударяющихся о поверхность в  $1 \text{ м}^2$  в течение 1 секунды. Для чистых твёрдых металлических поверхностей почти каждый атом пара, ударившийся о поверхность, конденсируется, а потому для чистых металлов коэффициент аккомодации почти равен 1; для других тел коэффициент аккомодации зависит от температуры, массы молекул газа (пара), чистоты поверхности и может варьировать в весьма широких пределах от нескольких сотых до единицы [37];

2) Коэффициент аккомодации характеризует процесс обмена энергией между молекулами газа (пара) и твёрдым телом в том случае, когда молекулы газа (пара) не конденсируются на поверхности этого тела. В этом случае коэффициент аккомодации обозначает отношение энергии, действительно полученной молекулами газа от твёрдого тела, к тому количеству энергии, которое они получили бы, если бы при ударе устанавливалось тепловое равновесие между твёрдым телом и отскакивающими от него молекулами газа (пара). Коэффициент аккомодации равен 0, если все молекулы газа испытывают при ударе упругое зеркальное отражение, и равен 1, если все ударяющиеся о поверхность твёрдого тела молекулы временно адсорбируются этой поверхностью и лишь затем отрываются от неё. Величина коэффициента аккомодации зависит от природы и состояния поверхности, от природы газа (пара) и от температуры [37].

В ходе данной научной работы на основе полученных экспериментальных данных были рассчитаны коэффициенты аккомодации процесса испарения в диапазоне температур от  $40^\circ\text{C}$  до  $120^\circ\text{C}$ .



Результаты расчётов коэффициента аккомодации сведены в таблицы и представлены ниже для четырех образцов древесины.

В таблицах 3 – 6 приведены расчетные значения коэффициента аккомодации в диапазоне температур от 40 °С до 120 °С для тополя, березы, липы и осины.

Таблица 3. – Результаты расчёта коэффициента аккомодации для березы

$T, ^\circ\text{C}$	$W_{\text{исп}} \cdot 10^{-5}$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$P^{\text{н}}$ , Па	$P_{\text{п}}$ , Па	$M_{\text{воздуха}}$ , кг/моль	$m_{\text{H}_2\text{O}}$ , кг	$M_{\text{H}_2\text{O}}$ , г/моль	Коэффициент аккомодации $\cdot 10^{-6}$
40	19,186	7384	5387,4	29	0,00955	18	9,984
60	40,684	19945	6297,6	29	0,0189	18	8,541
80	63,453	47414	9773,1	29	0,02688	18	6,131
100	83,217	101418	1484,6	29	0,03075	18	4,034
120	114,424	198665	17840	29	0,04615	18	3,015

Таблица 4. – Результаты расчёта коэффициента аккомодации для тополя

$T, ^\circ\text{C}$	$W_{\text{исп}} \cdot 10^{-5}$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$P^{\text{н}}$ , Па	$P_{\text{п}}$ , Па	$M_{\text{воздуха}}$ , кг/моль	$m_{\text{H}_2\text{O}}$ , кг	$M_{\text{H}_2\text{O}}$ , г/моль	Коэффициент аккомодации $\cdot 10^{-6}$
40	11,095	7384	4511,6	29	0,00512	18	5,775
60	23,231	19945	5655,1	29	0,01098	18	4,877
80	39,644	47414	8538,6	29	0,01957	18	3,830
100	59,408	101418	12645,4	29	0,02517	18	2,880
120	85,413	198665	14886,1	29	0,03471	18	2,251

Таблица 5. – Результаты расчёта коэффициента аккомодации для осины

$T, ^\circ\text{C}$	$W_{\text{исп}} \cdot 10^{-5}$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$P^{\text{н}}$ , Па	$P_{\text{п}}$ , Па	$M_{\text{воздуха}}$ , кг/моль	$m_{\text{H}_2\text{O}}$ , кг	$M_{\text{H}_2\text{O}}$ , г/моль	Коэффициент аккомодации $\cdot 10^{-6}$
40	15,487	7384	4843,8	29	0,00628	18	8,062
60	28,548	19945	5843,6	29	0,01214	18	5,993
80	39,990	47414	8544,9	29	0,01964	18	3,864
100	55,016	101418	12312,7	29	0,02328	18	2,667
120	81,368	198665	14599,6	29	0,03213	18	2,144

Таблица 6. – Результаты расчёта коэффициента аккомодации для липы

$T, ^\circ\text{C}$	$W_{\text{исп}} \cdot 10^{-5}$ кг/(м <sup>2</sup> ·с)	$P^{\text{н}}$ , Па	$P_{\text{п}}$ , Па	$M_{\text{воздуха}}$ , кг/моль	$m_{\text{H}_2\text{O}}$ , кг	$M_{\text{H}_2\text{O}}$ , г/моль	Коэффициент аккомодации $\cdot 10^{-6}$
40	18,724	7384	5112,4	29	0,00714	18	9,746
60	31,900	19945	6028,9	29	0,01445	18	6,697
80	50,855	47414	8945,1	29	0,02125	18	4,913
100	73,740	101418	13774,7	29	0,02328	18	3,574
120	110,957	198665	16453,6	29	0,03213	18	2,924

#### **4 Анализ полученных результатов измерений**

Для более наглядного представления и анализа полученных результатов были построены зависимости массовой скорости испарения жидкости от времени, в интервале температур от 40°С до 120°С.

- 4.1 Зависимость массовой скорости испарения от температуры.
- 4.2 Зависимость массовой скорости от времени.

**4.1 Анализ зависимостей массовой скорости испарения от времени для тополя, березы, осины, липы.**

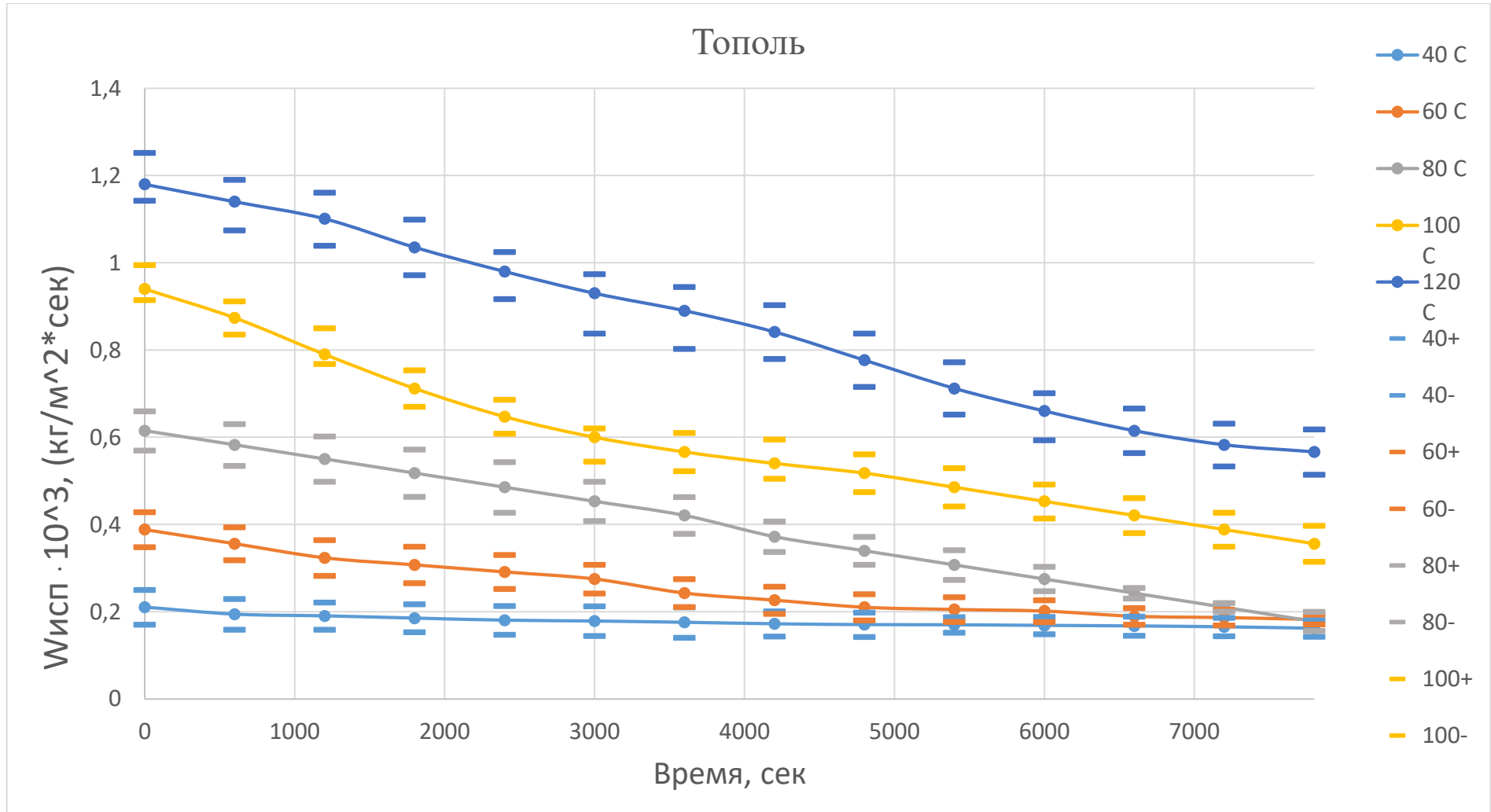


Рисунок 8 – Зависимость массовой скорости испарения от времени для тополя

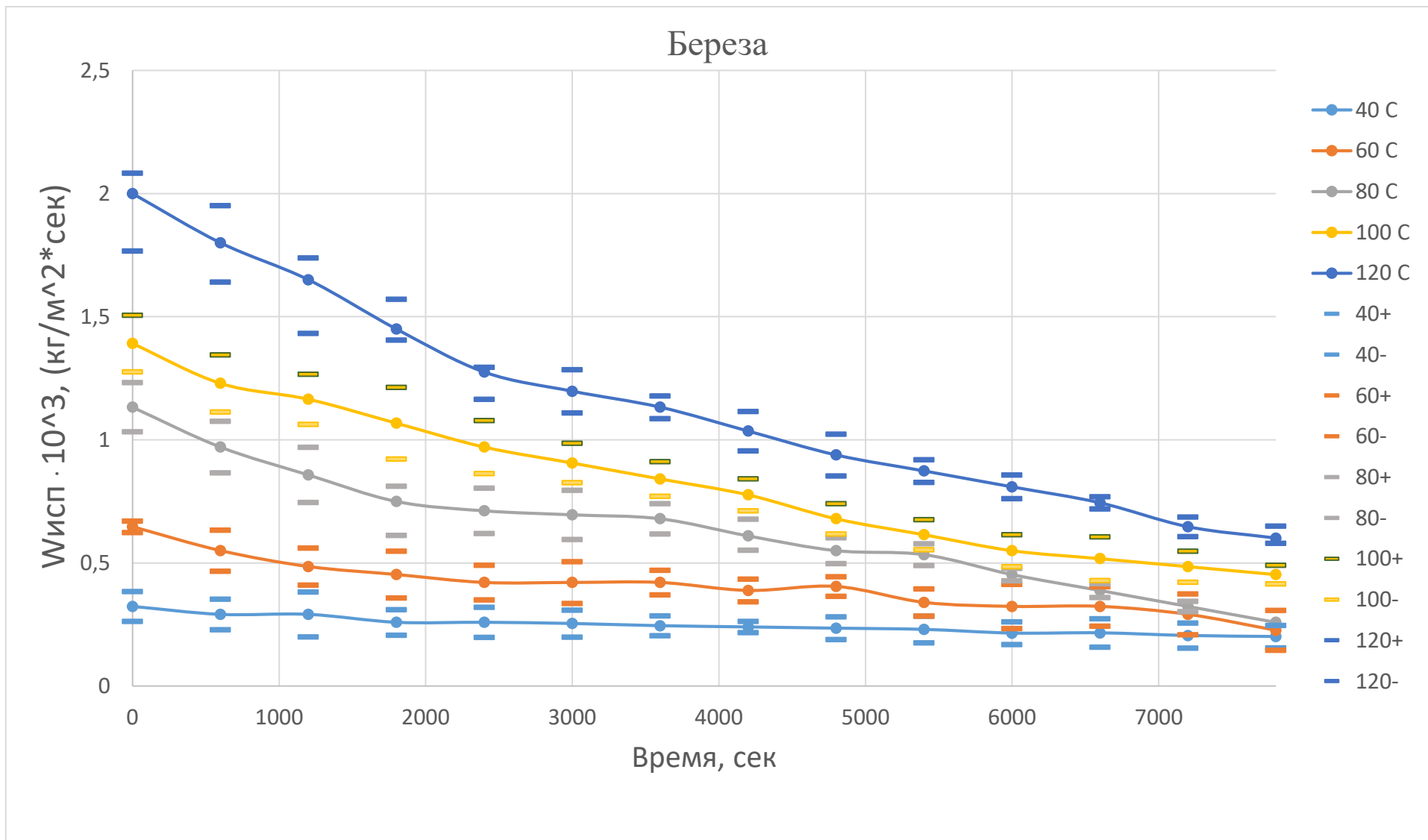


Рисунок 9 – Зависимость массовой скорости испарения от времени для березы

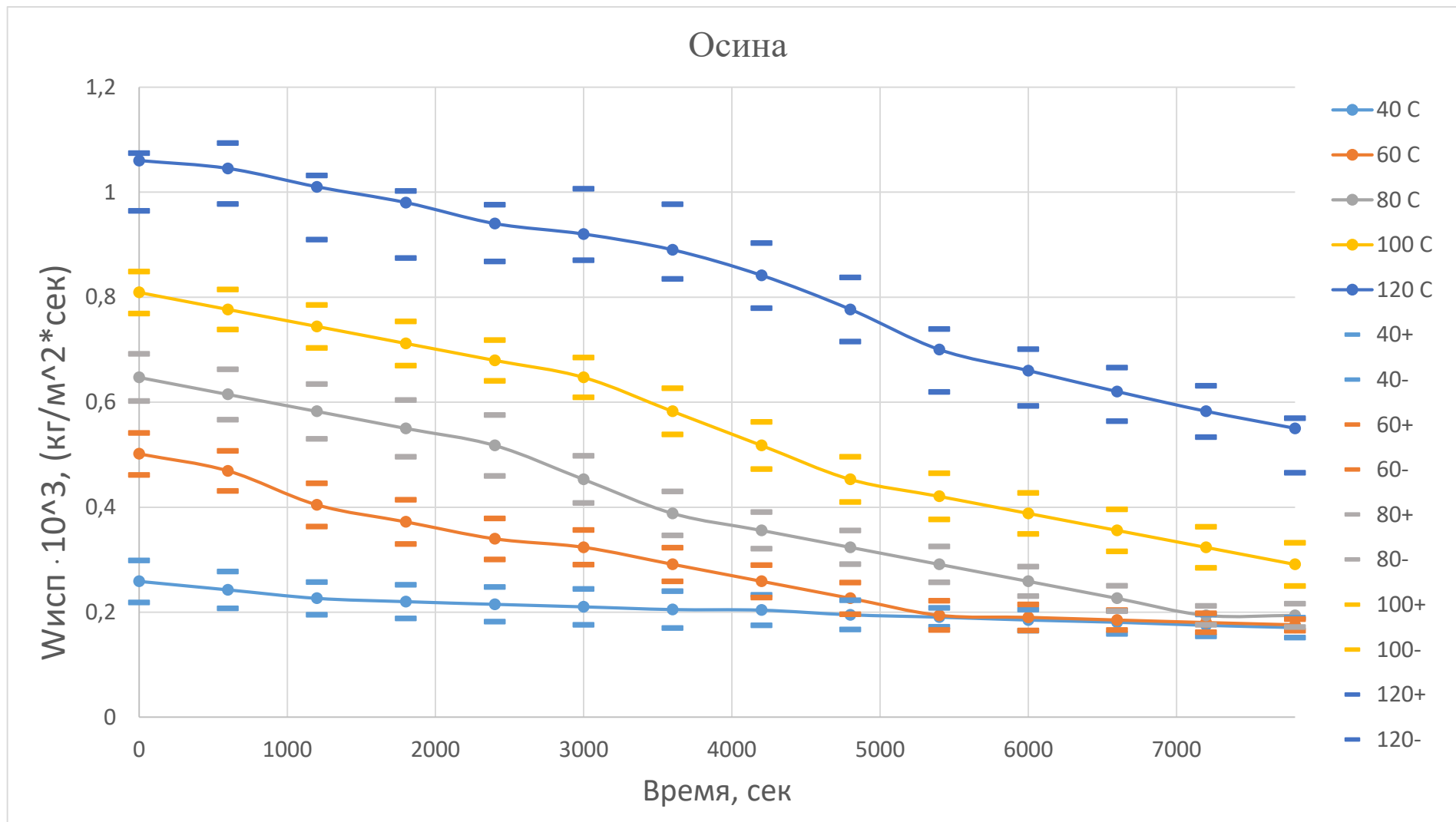


Рисунок 10 – Зависимость массовой скорости испарения от времени для осины

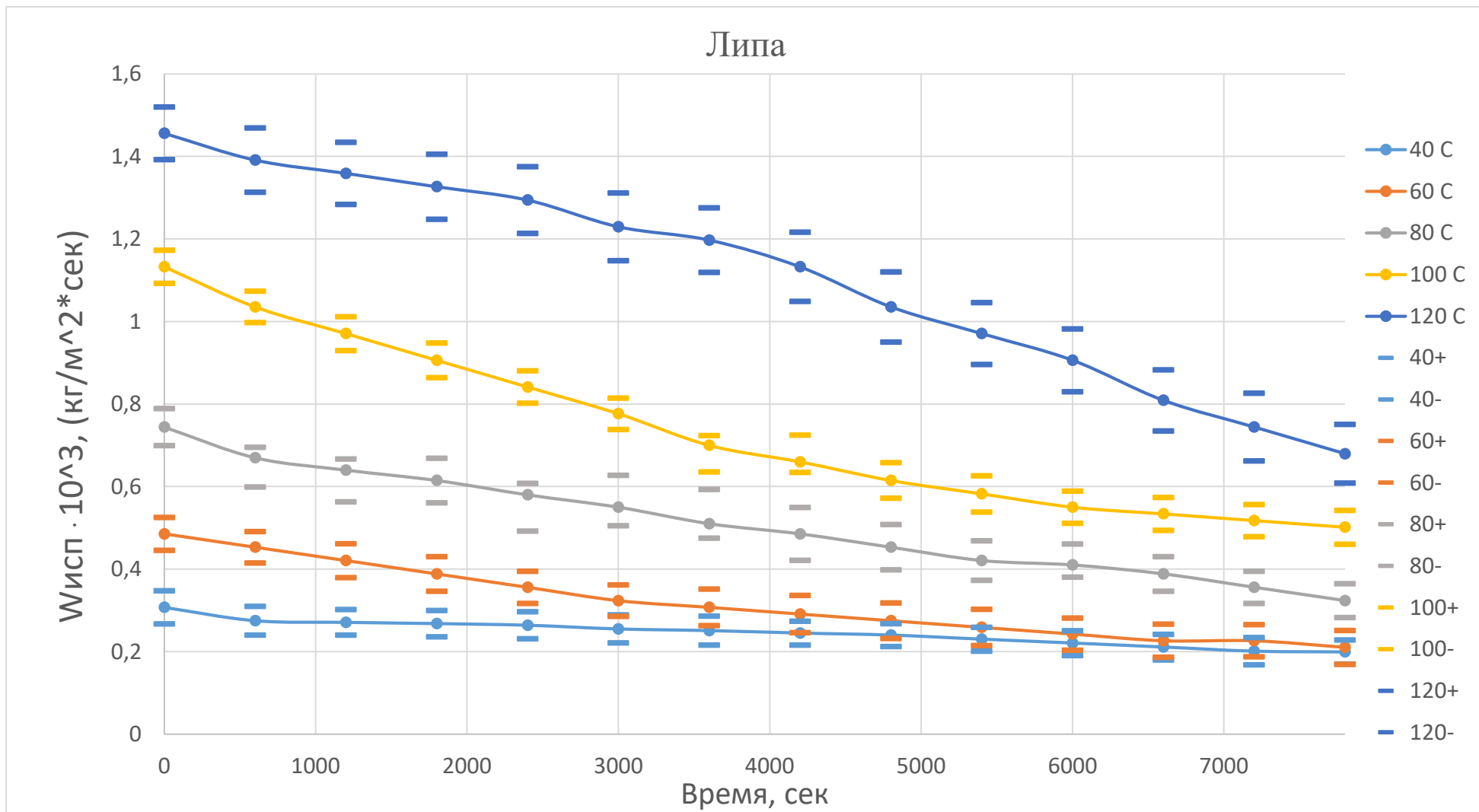


Рисунок 11 – Зависимость массовой скорости испарения от времени для липы

Чтобы иметь представление для массовой скорости испарения от времени на рисунках 8 – 11 были построены зависимости для четырех пород лиственной древесины в диапазоне температур от 40 °С до 120 °С.

Из полученных зависимостей мы можем наблюдать, что для всех представленных образцов при температуре 40 °С, характерна медленно убывающая скорость сушки в эксперименте на протяжении 7800 секунд. Таким же поведением испарения влаги обладают и образцы осины и тополя, при их сушке на 60 °С в интервале времени от 5400 до 7800 секунд – характер медленно убывающей скорости испарения влаги. Для высоких температур сушки, таких как 100 °С и 120 °С, характерна высокая скорость испарения жидкости, которая монотонно убывает на протяжении всего эксперимента. Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о том, что за выбранный интервал времени не произошло полного удаления свободной влаги из образцов древесины, о чем говорят убывающие кривые кинетики сушки на графиках 8 – 11.

## 4.2 Анализ зависимости массовой скорости испарения от температуры

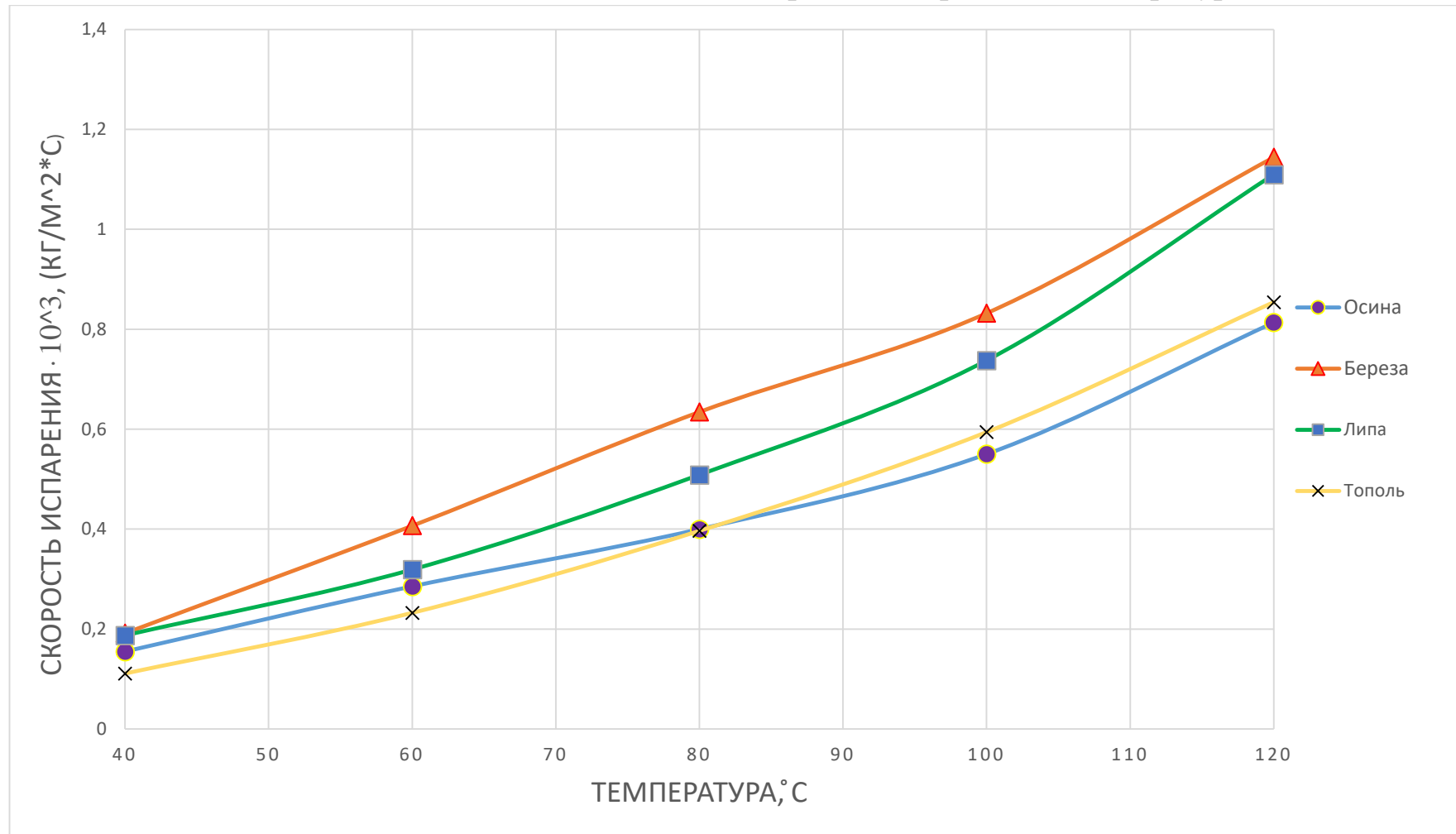


Рисунок 12 - Зависимость массовой скорости испарения от температуры для березы, липы, осины и тополя.



Выполнен анализ зависимости массовой скорости испарения от температуры для березы, липы, осины и тополя. Строя график мы получаем кривую экспоненциального характера.

Сравнивая полученные результаты всех четырех образцов, можно заметить, что наиболее высокая скорость испарения жидкости наблюдается у образцов березы и липы. Это объясняется высокой способностью данных образцов впитывать влагу в связи с низкой плотностью, равной  $\rho_{\text{береза}} = 475 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{липа}} = 510 \text{ кг/м}^3$ . Для остальных образцов осины и тополя значения плотности составляют  $\rho_{\text{осина}} = 650 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{тополь}} = 640 \text{ кг/м}^3$  соответственно – можно сказать, эти сорта деревьев устойчивы ко впитыванию влаги и обладают высокой прочностью.

Меньше всего временных затрат тратится на сушку березы и липы. Сравнивая такие теплофизические параметры как калорийность, можно сказать, что для березы и липы она выше (береза –  $2240 \text{ ккал/дм}^3$  и липа –  $1775 \text{ ккал/дм}^3$ ), чем для осины и тополя (осина –  $1529 \text{ ккал/дм}^3$  и тополь –  $1370 \text{ ккал/дм}^3$ ).

Учитывая все факторы в качестве рекомендаций можно сделать вывод о том, что выгоднее сушка древесной биомассы, состоящей из березы и липы.

## **5 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 процесса испарения жидкости из лиственной биомассы требует привлечения финансовых затрат и других ресурсов, которые должны быть экономически оправданы и целесообразны.

Для достижения поставленных целей данного раздела поставлены следующие задачи:

- Определение перечня работ и оценка времени на их выполнение
- Смета затрат на разработку проекта

### **5.1 Планирование работ и временная оценка их выполнения**

Планирование работ включает в себя: составление перечня работ; определение участников каждой отдельной работы; установление продолжительности работ.

Составим перечень работ, которые необходимо произвести для достижения цели. Сведения об этапах, их продолжительности и сотрудниках, работающих над выполнением проекта, представлены в таблице 4.1.

Над выполнением работы трудятся: НР – научный руководитель; И – инженер.

Таблица 7 – Определение перечня работ и оценка времени на их выполнение

№ п/п	Наименование работ	Исполн-ль	t, дн
1	Составление и выдача задания на ВКР	И НР	1
2	Распределение литературы по темам	И	3
3	Обзор литературы по использованию лиственной биомассы.	И	7
4	Разработка методики проведения экспериментальных исследований	И НР	3
5	Проверка работоспособности экспериментальной установки	И	1
6	Проведение серии предварительных экспериментов по сушке лиственной биомассы в сушильной камере	И	9
7	Обработка экспериментальных данных до сушки	И	15
8	Определение массовой скорости испарения	И	1
9	Проведение основных экспериментов	И	26
10	Обработка экспериментальных данных после сушки	И	14
11	Построение графических зависимостей массовой скорости испарения от температуры, массовой скорости от времени .	И	8
12	Анализ полученных результатов и сравнение их с существующими работами	И НР	4
13	Оформление расчетно-пояснительной записки	И	5
14	Проверка расчетно-пояснительной записки и исправление ошибок	И НР	1
Итого		И НР	98 9

## 5.2 Смета затрат на проектирование

Производится суммарный расчет затрачиваемых средств на выполняемый проект по следующей формуле:

$$K_{\text{ПР}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{со}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}} \quad (5.2.1)$$

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

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

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

$K_{\text{со}}$  – затраты на социальные нужды (отчисления);

$K_{\text{пр}}$  – прочие затраты;

$K_{\text{накл}}$  – накладные расходы;

### 5.2.1 Материальные затраты

Затраты, связанные с закупкой расходных материалов принимаются в размере 1285руб.

Итого:  $K_{\text{мат}} = 1285$  руб.

### 5.2.2 Амортизация компьютерной техники

Затраты, связанные с амортизацией компьютерной техники рассчитываются по следующей формуле:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп КТ}}}{T_{\text{год}}} * C_{\text{КТ}} * \frac{1}{T_{\text{служб}}}; \quad (5.2.2)$$

где  $T_{\text{исп КТ}}$  – время использование компьютерной техники;

$T_{\text{год}}$  – календарное время (1 год);

$C_{\text{КТ}}$  – цена компьютерной техники (принимается равной 25000 руб);

$T_{\text{служб}}$  – срок службы компьютерной техники (5 лет);

Тогда амортизация равна:

$$K_{\text{ам}} = \frac{98}{365} * 25000 * \frac{1}{5} = 1343 \text{ руб};$$

### 5.2.3 Заработная плата участников проекта

В данном пункте производится расчет заработной платы, для выплаты участникам проектной работы.

Месячный оклад доцента (научный руководитель) – 26300 руб.

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2; \quad (5.2.3)$$

$$ЗП_{\text{мес}} = 26300 \text{ р} \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609 \text{ руб};$$

Месячный оклад инженера – 15000 руб.

$$ЗП_{\text{мес}} = ЗП \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2; \quad (5.2.4)$$

$$ЗП_{\text{мес}} = 15000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 21450 \text{ руб};$$

где  $\kappa_1$  – коэффициент учитывающий отпуск (10 %);

$\kappa_2$  – районный коэффициент (30 %);

Рассчитаем заработную плату за количество отработанных дней по факту:

$$ЗП_{\text{НР}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{\text{Ч}} \cdot n_{\text{дн}}^{\text{факт}}; \quad (5.2.5)$$

$$ЗП_{\text{НР}} = \frac{37609}{22} \cdot 9 = 15386 \text{ руб.}$$

$$ЗП_{\text{инж}} = \frac{ЗП_{\text{мес}}}{\text{Ч}} \cdot n_{\text{дн}}^{\text{факт}}; \quad (5.2.6)$$

$$ЗП_{\text{инж}} = \frac{21450}{22} \cdot 98 = 95550 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы:

$$K_{з/пл} = ЗП_{\text{НР}} + ЗП_{\text{инж}} = 15386 + 95550 = 110936 \text{ руб.}$$

#### 5.2.4 Затраты на социальные нужды

Данный вид затрат принимается в размере 30% от фонда заработной платы.

$$K_{\text{со}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3; \quad (5.2.7)$$

$$K_{\text{со}} = 0,3 \cdot 110936 = 33281 \text{ руб.}$$

#### 5.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются в размере 10% от суммы материальных затрат, амортизации, фонда заработной платы и социальных отчислений.

$$K_{\text{пр}} = 0,1 \cdot (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{со}}); \quad (5.2.8)$$

$$K_{\text{пр}} = 0,1 \cdot (1285 + 1343 + 110936 + 32281) = 14585 \text{ руб.}$$

#### 5.2.6 Накладные расходы

Принимаются равными в размере 200% от фонда заработной платы.

$$K_{\text{накл}} = 2 \cdot K_{\text{з/пл}}; \quad (5.2.9)$$

$$K_{\text{накл}} = 110936 \cdot 2 = 221872 \text{ руб.}$$

Общая смета расходов на выполнение НИР сведена в таблицу 8.

Таблица 8 – Смета расходов на выполнение НИР

№	НАИМЕНОВАНИЕ СТАТЕЙ	ВЕЛИЧИНА, РУБ
1	Материальные затраты	1285
2	Затраты на амортизацию компьютерной техники	1343
3	Заработная плата	110936
4	Социальные отчисления	33281
5	Прочие затраты	14598
6	Накладные расходы	221872
Себестоимость (С)		383315

В России и за рубежом непрерывно возрастает интерес к использованию органических веществ растительного происхождения в качестве топлива. Связано это с их возобновляемостью и экологической чистотой. Каждый год на территории нашей страны производится до 14-15 млрд. тонн биомассы, которая сравнима с энергией примерно 8 млрд. тонн условного топлива. Однако биомасса нуждается в подготовке к сжиганию для более эффективного использования. Одним из этапов подготовки является ее сушка. Процесс сушки заключается в удалении влаги из материала испарением. Содержащаяся в нем влага переходит в парообразное состояние и удаляется в окружающую среду. Сушка древесины, в т. ч. пиломатериалов, может происходить двумя путями: естественным — на открытом воздухе (атмосферная) и искусственным — в специальных сушильных установках (камерная).

Поэтому задача сокращения времени и повышения объема и качества сушки древесины относится к числу важнейших проблем лесопильно-деревообрабатывающей промышленности. Одним из путей решения этой задачи является разработка принципиально новых способов удаления влаги из древесины, отличающихся малой энергоемкостью и высокой интенсивностью. Снижение энергоемкости процессов сушки приобретает большое значение в связи с напряженным балансом энергоресурсов.

Исходя из проведенных экспериментов, можно однозначно сказать, что скорость испарения влаги из древесной биомассы имеет наибольшее значение для березы и липы, по сравнению с образцами тополя и осины. Значения их теплофизических параметров, таких как калорийность, отличаются. Для березы и липы она составляет, соответственно 2240 ккал/дм<sup>3</sup> и 1775 ккал/дм<sup>3</sup>, это больше, чем у осины и тополя (осина – 1529 ккал/дм<sup>3</sup> и тополь – 1370 ккал/дм<sup>3</sup>).

Учитывая все факторы в качестве рекомендаций можно сделать вывод о том, что выгоднее сушка древесной биомассы, состоящей из березы и липы.

## **6 Социальная ответственность**

### **6.1 Введение**

Социальная ответственность и охрана труда являются важнейшими составляющими любой деятельности, в особенности производственной, т.к. непосредственно связаны со здоровьем и жизнью человека.

Социальная ответственность – сознательное отношение субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, гражданского долга, социальных задач, норм и ценностей, понимание осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Охрана труда – совокупность нормативных, технических и правовых актов, мероприятий и правил, целью которых является сохранение здоровья и жизни работника в процессе трудовой деятельности. Данные мероприятия могут быть организационно-технического, санитарно-гигиенического, социально–экономического, лечебно-профилактического, реабилитационного характера.

Индивидуальная ответственность может проявляться во внутренней и внешней среде. Она является основой дисциплины и своеобразным предохранителем от ошибочных решений. Она требует от индивида, семьи, малой группы нести ответственность за результат своей деятельности.

Корпоративная социальная ответственность (КСО) – реализация интересов компании (корпорации) посредством обеспечения социального развития ее коллектива и активного участия компании в развитии общества.

Понятие КСО включает:

- ответственность организации перед партнерами;
- социальные аспекты взаимодействия с поставщиками и покупателями продукции и услуг;
- здоровье и безопасность персонала на рабочем месте;
- ответственную политику в отношении работников, управление развитием персонала;



- экологическую ответственность, экологическую политику и использование природных ресурсов;
- ответственность организации перед обществом в целом.

В данном разделе рассмотрены вопросы социальной ответственности работников лаборатории. Рабочее место должно быть оснащено защитой от возможного воздействия опасных и вредных факторов. Их уровень не должен превышать предельного значения, указанного в правовых, технических и санитарно-технических нормах. При соблюдении указанных документов на рабочем месте для работника будут поддерживаться благоприятные условия труда.

Исследования, направленные на изучение процессов сушки древесной биомассы, в настоящее время весьма актуальны. Это связано с широким применением получаемых результатов в областях промышленности, связанных с подготовкой к дальнейшей переработке или сжиганию древесины.

При выполнении опытных экспериментов для выпускной бакалаврской работы преобладающую часть времени приходилось находиться в 18 – ой лаборатории 4 – го корпуса за выполнением расчетов и работой на компьютере.

По степени воздействия на организм человека отрицательные внешние факторы можно разделить на опасные и вредные. При работе в помещениях, в которых находятся вычислительная техника могут встречаться следующие опасные факторы: поражение электрическим током и возникновение пожара. Вредные факторы, окружающие человека в данной лаборатории: повышенная запылённость, повышенный уровень шума, повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенная или пониженная влажность воздуха, повышенная или пониженная подвижность воздуха, повышенная или пониженная температура рабочей зоны, отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны, повышенная яркость света, пониженная контрастность – согласно ГОСТ 12.0.003 – 74

«Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

## **6.2 Анализ вредных факторов проектируемой производственной среды.**

### **6.2.1 Недостаточная освещенность и электромагнитные поля.**

Вредными проявлениями факторов при работе в лаборатории являются недостаточная освещенность и электромагнитные поля.

По назначению искусственное освещение разделяется на следующие виды: а) рабочее; б) аварийное; в) специальное.

Основные требования к рабочему освещению:

- 1) создание достаточной освещённости на рабочих местах согласно нормам;
- 2) высокое качество освещения – спектральный состав, близкий к естественному, ограничение прямой и отражённой блёсткости, рациональное направление света, постоянство освещённости во времени;
- 3) бесперебойность и длительность работы установки в данных условиях среды;
- 4) пожарная и электрическая безопасность осветительных устройств;
- 5) экономичность осветительной установки.

По СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» [3] для лабораторий научно-исследовательских учреждений норма освещенности составляет 400лк.

Выбор источников света зависит от характера работы, условий среды, размеров помещения.

Лампы накаливания относятся к источникам света теплового излучения. Удобство в эксплуатации, т. е. включение в сеть без дополнительных устройств, отсутствие периода разгорания и простота изготовления ламп в широком диапазоне мощностей делает эти лампы пока

ещё очень распространёнными. Эти источники света рекомендуется применять в помещениях, где производятся относительно грубые работы (нормированная освещённость до 50 лк).

Люминесцентные лампы используются при необходимости создания особо благоприятных условий для зрительной работы (при выполнении точных работ, в учебных заведениях, при работах, требующих различения цветовых оттенков).

При использовании люминесцентного освещения вследствие пульсации светового потока восприятие движущегося объекта может искажаться. Это проявляется в том, что движущийся объект кажется неподвижным или множественным, состоящим из ряда мнимых изображений. Это явление получило название стробоскопического эффекта. Стробоскопический эффект представляет определённую опасность и может явиться причиной несчастного случая. Для устранения этого эффекта необходимо использовать светильники с несколькими люминесцентными лампами, включёнными в разные фазы трёхфазной сети, либо использовать схемы с искусственным смещением фазы.

В рассматриваемом помещении к установке приняты люминесцентные лампы.

Еще одним вредным фактором являются электромагнитные поля (ЭМП).

Крупнейшими источниками электромагнитных излучений являются радио- и телевизионные средства связи и обработки информации, радиолокационные и навигационные средства, лазерные системы, воздушные линии электропередач. Компьютер имеет сразу два источника электромагнитного излучения (монитор и системный блок).

В лаборатории, используемой для проведения экспериментов установлено 4 персональных компьютеров. Проблема электромагнитного излучения ПК, то есть воздействие компьютера на организм человека, встает достаточно остро ввиду нескольких причин:

- Пользователь ПК чаще всего лишен возможности работать на безопасном расстоянии.
- Длительное время влияния компьютера (для современных пользователей может составлять более 12 часов, при официальных нормах, запрещающих работать на компьютере более 6 часов в день).

Работа с компьютером характеризуется значительным умственным напряжением и нервно-эмоциональной нагрузкой, высокой напряженностью зрительной работы и достаточно большой нагрузкой на мышцы рук при работе с клавиатурой ЭВМ. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной работы.

Влияние электромагнитных излучений заключается не только в их тепловом воздействии. Микропроцессы, протекающие в организме под действием излучений, заключаются в поляризации макромолекул тканей и ориентации их параллельно электрическим силовым линиям, что может приводить к изменению свойств молекул; особенно для человеческого организма важна поляризация молекул воды.

Таким образом, степень воздействия ЭМП на организм человека зависит от интенсивности облучения, длительности воздействия и диапазона частот.

Защита от электромагнитного излучения компьютера:

1. Системный блок и монитор должен находиться как можно дальше от работника.

2. Не оставлять компьютер включённым на длительное время. Возможно использование "спящего режима" для монитора.

3. В связи с тем, что электромагнитное излучение от стенок монитора намного больше, необходимо поставить монитор в угол, так чтобы излучение поглощалось стенами. Особое внимание стоит обратить на расстановку мониторов в офисах.

4. По возможности сократить время работы за компьютером и почаще прерывать работу.

5. Компьютер должен быть заземлён. Если приобретены защитные экраны, то их тоже следует заземлить, для этого специально предусмотрен провод на конце которого находится металлическая прищепка.

Нормами регламентируется площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с видео дисплейным терминалом (ВДТ) на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные), которая составляет 4,5 м<sup>2</sup>.

Виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А - работа по считыванию информации с экрана ВДТ с предварительным запросом; группа Б - работа по вводу информации; группа В - творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ПЭВМ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которые определяются: для группы А - по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б - по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для

группы В - по суммарному времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 ч за смену.

### 6.2.2 Микроклимат помещения

Таблица 9 – Нормы метеоусловий

Холодный период года $t_{нар}^{возд}$ ниже +10, °С						Тёплый период года $t_{нар}^{возд}$ +10, °С					
Оптимальные			Допустимые			Оптимальные			Допустимые		
Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
22-24	40-60	0,1	19-26	15-75	0,1	23-25	40-60	0,1	20-29	15-75	0,1

Рассматривая вопросы охраны труда людей, работающих в компьютерной лаборатории, нельзя обойтись без рассмотрения вопроса вентиляции помещения. Вентиляция предназначена для создания на рабочем месте нормальных метеорологических и гигиенических условий за счёт организации правильного воздухообмена.

Проанализировав имеющуюся в помещении вентиляцию, можно сказать, что:

1. По способу перемещения воздуха она является естественной и неорганизованной.
2. По назначению она осуществляет удаление (вытяжку) воздуха из помещения.
3. По месту действия она является общеобменной.

Количество приточного воздуха при естественном проветривании должно быть не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на одного человека, при объёме помещения приходящегося на него менее 20 м<sup>3</sup>, что не выполняется. Следовательно, следует либо применить другой тип вентиляции, например, принудительную, либо устанавливать кондиционеры.

### 6.2.3 Источники шума

По характеру спектра в помещении присутствуют широкополосные шумы. Источник шумов – электродвигатели в системе охлаждения и центральная система вентиляции ЭВМ. Допустимый уровень шумов для помещений компьютерных залов 50 дБ определяется СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки» [7] по шкале А шумомера – согласно ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности» [7].

### 6.2.4 Термические и электрические факторы

В подразделе рассмотрены 2 опасных фактора: термического характера и электрической природы.

Для защиты от непосредственного контакта с нагретыми поверхностями применяются средства коллективной защиты (СКЗ) и средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Средства защиты от термического воздействия должны обеспечивать тепловую облучённость на рабочих местах не более 0,35 кВт/м<sup>2</sup>, температуру поверхности оборудования не более 35 °С при температуре внутри источника теплоты до 100 °С и 45 °С при температуре внутри источника теплоты более 100 °С.

Теплоизоляция горячих поверхностей (оборудования, сосудов, трубопроводов и т. д.) снижает температуру излучающей поверхности и

уменьшает общее выделение теплоты. Для теплоизоляции применяют материалы с низкой теплопроводностью.

Непрозрачные экраны. Экраны выполняются в виде каркаса с закрепленным на нем теплопоглощающим материалом или нанесенным на него теплоотражающим покрытием.

Полупрозрачные экраны применяют в тех случаях, когда экран не должен препятствовать наблюдению за технологическим процессом и вводу через него инструмента и материала. В качестве полупрозрачных теплопоглощающих экранов используют металлические сетки с размером ячейки 3...3,5 мм, завесы в виде подвешенных цепей

Прозрачные экраны изготавливают из бесцветных или окрашенных стекол – силикатных, кварцевых, органических. Обычно такими стеклами экранируют окна кабин и пультов управления. Теплоотводящие прозрачные экраны выполняют в виде двойного остекления с вентилируемой воздухом воздушной прослойкой, водяных и вододисперсных завес.

Средства индивидуальной защиты. Применяется теплозащитная одежда из хлопчатобумажных, льняных тканей, грубодисперсного сукна.

В рассматриваемой лаборатории используются средства индивидуальной защиты. Опасность термического воздействия представляет сушильный шкаф, во внутреннем пространстве которого расположены нагревательные элементы, нагревающие сушильный шкаф, до температуры 200°С. При работе с этим оборудованием используются защитные перчатки.

Еще одним опасным фактором рассматриваемой среды является электричество.

Безопасность при работе с электроустановками обеспечивается применением различных технических и организационных мер. Технические



средства защиты от поражения электрическим током делятся на коллективные и индивидуальные.

Основные коллективные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей (проводов) и ее непрерывный контроль; установка оградительных устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; применение малых напряжений; защитное заземление; зануление; защитное отключение. При необходимости производится расчет защитного заземления, зануления, выбор устройств автоматического отключения.

Статическое электричество также представляет опасность и для обслуживающего персонала. Лёгкие «уколы» при работе с сильно наэлектризованными материалами вредно влияют на психику рабочих и в определённых ситуациях могут способствовать травмам на технологическом оборудовании. Кроме того, при постоянном прохождении через тело человека малых токов электризации возможны неблагоприятные физиологические изменения в организме, приводящие к профзаболеваниям. Вследствие этого в нашей стране в соответствии с ГОСТ 12.1.045–84 [9] введены допустимые уровни напряжённости электростатических полей –  $E_{\text{пред}}$ . Так, для  $E_{\text{пред}} = 60$  кВ/м максимальное время пребывания  $t_{\text{чел}}$  без средств защиты составляет 1 ч. Для  $E = 20$  кВ/м время пребывания персонала в электростатических полях не регламентируется.

Методы и средства защиты от статического электричества делятся на:

- не влияющие на сам процесс электризации, но ликвидирующие или снижающие возможность возникновения искровых разрядов;
- уменьшающие электризацию веществ и материалов;
- обеспечивающие рассеяние или отвод возникающих электростатических зарядов.

В рассматриваемом помещении выполнено заземление всего электрического оборудования.

#### 6.2.5 Пожарная безопасность

Пожар – это неконтролируемое горение во времени и пространстве; пожар наносит материальный ущерб и создает угрозу жизни и здоровью человека.

Причины возникновения пожара в компьютерной аудитории могут быть:

- халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставление без присмотра нагревательных приборов);
- неправильное устройство и неисправность вентиляционной системы;
- самовоспламенение и возгорание веществ;
- короткое замыкание;
- статическое электричество.

В современных ЭВМ очень высока плотность размещения электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммуникационные кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, что может привести к повышению температуры отдельных узлов до 80 – 100°C. При этом возможно оплавления изоляции соединительных проводов, их оголение и, как следствие, короткое замыкание, сопровождаемое искрением, которое ведет к недопустимой перегрузки элементов электронных схем. Они, перегреваясь, сгорают, разбрызгивая искры.

Следовательно, допускается работа только на исправных установках и приборах. К работе могут допускаться лица, прошедшие инструктаж, по технике безопасности.

Сотрудники лаборатории должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной клетки (рисунок 4.1)



Рисунок 13 – План эвакуации при пожаре

### 6.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Специфика труда оператора заключается в больших зрительных нагрузках в сочетании с малой двигательной активностью, монотонностью выполняемых операций, вынужденной рабочей позой. Эти факторы отрицательно влияют на самочувствие работающего. Зрительные нагрузки связаны с воздействием на зрение дисплея. Чтобы условия труда оператора были благоприятными, снималась нагрузка на зрение, видеотерминал должен соответствовать следующим требованиям:

- экран должен иметь антибликовое покрытие;
- цвета знаков и фона должны быть согласованы между собой;

— необходимо тщательное регулярное обслуживание ПЭВМ.

Рабочий стол должен иметь пространство для постановки ног, которое составляет: высоту не менее 600 мм, ширину не менее 500 мм, глубину – на уровне колен, не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула должна быть полумягкой с нескользящим, не электризующимися и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

#### **6.4 Выводы**

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрена лаборатория, использовавшаяся для проведения экспериментальных опытов, на предмет возникновения вредных (освещенность, электромагнитные поля) и опасных факторов (термического характера, электрической природы). Описано действие факторов на организм человека, предложены средства коллективной и индивидуальной защиты. Также представлены правила безопасности при проведении экспериментальных исследований.

По СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение» для лабораторий научно-исследовательских учреждений норма освещенности составляет 400лк, что соответствует действительной освещенности рассматриваемого помещения (данные взяты из паспорта).

## 6.5 Заключение

В ходе экспериментальных исследований были проведены опыты с четырьмя породами древесины как: тополь, осина, липа, береза.

- ❖ Проведен анализ результатов погрешностей измерений;
- ❖ Построены зависимость массовой скорости испарения от температуры;
- ❖ Построена зависимость массовой скорости от времени;
- ❖ Проведенная оценка скорости испарения влаги говорит о том, что с увеличением температуры в сушильной камере скорость испарения увеличивается;
- ❖ Выявлено, что первоначально испаряется свободная влага, а затем связанная влага. Этот факт является общеизвестным и подтверждается проведенными исследованиями;

## 7 Заключение по работе

При проведении выпускной квалификационной работы были достигнуты следующие результаты:

- Произведен обзор литературы по выбранной теме за последние 5-7 лет
- Проведена серия экспериментов по сушке лиственной древесины
- Рассчитаны значения массовой скорости испарения жидкости для диапазона температур от 40 °C до 120 °C
- Произведен расчет парциального давления водяных паров и коэффициента аккомодации
- Произведен расчет разделов Экономической части и Социальной ответственности

На рисунках 8 – 11 были построены зависимости для четырех пород лиственной древесины в диапазоне температур от 40 °C до 120 °C.

Из полученных зависимостей мы можем наблюдать, что для всех представленных образцов при температуре 40 °C, характерна медленно убывающая скорость сушки в эксперименте на протяжении 7800 секунд. Таким же поведением испарения влаги обладают и образцы осины и тополя, при их сушке на 60 °C в интервале времени от 5400 до 7800 секунд – характер медленно убывающей скорости испарения влаги. Для высоких температур сушки, таких как 100 °C и 120 °C, характерна высокая скорость испарения жидкости, которая монотонно убывает на протяжении всего эксперимента. Опираясь на полученные данные, можно сделать вывод о том, что за выбранный интервал времени не произошло полного удаления свободной влаги из образцов древесины, о чем говорят убывающие кривые кинетики сушки на графиках 8 – 11.

Сравнивая полученные результаты зависимости массовой скорости испарения от температуры для всех четырех образцов, можно заметить, что

наиболее высокая скорость испарения жидкости наблюдается у образцов березы и липы. Это объясняется высокой способностью данных образцов впитывать влагу в связи с низкой плотностью, равной  $\rho_{\text{береза}} = 475 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{липа}} = 510 \text{ кг/м}^3$ . Для остальных образцов осины и тополя значения плотности составляют  $\rho_{\text{осина}} = 650 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_{\text{тополь}} = 640 \text{ кг/м}^3$  соответственно – можно сказать, эти сорта деревьев устойчивы ко впитыванию влаги и обладают высокой прочностью.

Меньше всего временных затрат тратится на сушку березы и липы. Сравнивая такие теплофизические параметры как калорийность, можно сказать, что для березы и липы она выше (береза –  $2240 \text{ ккал/дм}^3$  и липа –  $1775 \text{ ккал/дм}^3$ ), чем для осины и тополя (осина –  $1529 \text{ ккал/дм}^3$  и тополь –  $1370 \text{ ккал/дм}^3$ ).

Учитывая все факторы в качестве рекомендаций можно сделать вывод о том, что выгоднее сушка древесной биомассы, состоящей из березы и липы.

## 8 Список литературы

1. Захарова Н.С., Николаев А.Ю., Ржавцев А.А. Возможность получения энергии из древесных отходов с использованием технологии кипящего слоя в котлах "Универсал-6М" // Проблемы и перспективы лесного комплекса: материалы межвуз. науч.-практ. конф., Воронеж, 26-27 мая 2005. Т.1. - Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. акад. - 2005. - С.161-164.
2. Зысин Л.В., Кошкин Н.Л.,Финкер Ф.З. Вопросы энергетического использования биомассы отходов лесопроизводства // Теплоэнергетика. - 1994. - N 11. - С.30-35.
3. Биомасса древесины и биоэнергетика в 2 т. / Л. А. Занегин, И. В. Воскобойников, В. А. Кондратюк, В. М. Щелоков. - М. : Изд-во МГУЛ, 2008 Т. 2. - 2008. - 456 с. : ил. - Библиогр.: с. 450-456
4. Б.Н. Кузнецов Получение жидких топлив и их компонентов из древесной биомассы.// Журн. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева, 2003, t.XLVII, № 6, стр. 83-91.
5. Использование древесной биомассы в энергетических целях : научный И88 обзор / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : МГЭУ им А. Д. Сахарова, 2008. – 85 с.
6. Арбузова Е.В., Щеклеин С.Е., Хомаков А.А., Гладиков И.А., Шастин А.Г., Техноогические аспекты повышения эффективности использования энергетического потенциала биомасс России // Альтернативная энергетика и экология 2012, №3, с. 82-88.
7. С.Г. Горохов, Э.Н. Сабуров, В.К. Любов . ИВУЗ. «Лесной журнал». 2004. № 4
8. Прогноз развития лесного сектора Российской Федерации до 2030 г.
9. Биоэнергетика России в ххі веке москва, 2012
- 10.Использование древесной биомассы в энергетических целях : научный И88 обзор / С. П. Кундас [и др.]. – Минск : МГЭУ им А. Д. Сахарова, 2008. – 85 с.



11. Научный журнал КубГАУ, №73(09), 2011 года. Влияние тепла и влаги на выделение фурфурола и формальдегида из древесины бука и дуба.
12. Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 320. № 4 //Повышение энергоэффективности термической конверсии древесной массы// Г.В. Кузнецов, Р.Н. Кулеш, М. Полсонгкрам
13. Электронный ресурс : <http://greenevolution.ru/enc/wiki/energiya-biomassy/>
14. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д. и др. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / Под ред. Безруких П.П. СПб.: Наука, 2002.
15. Панцхава Е.С., Пожарнов В.А. Вклад биомассы в мировое производство Энергии. Коммерческая биотехнология.
16. Биомасса как источник энергии: пер. с англ. / под ред. Соуфера С., Заборски О.М.: Мир, 1985.
17. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научное издание. М.: ФГНУ, Росинформагротех, 2008.
18. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / В.И.Ляшков,С.Н.Кузьмин. - Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2003. - 95 с. : ил. - 100 экз. - ISBN 5-8265-0219-3 : Б. ц.
19. Шаимова А.М., Насырова Л.А., Фасхутдинов Р.Р., Шаимов М.М., Использование биомассы – радикальное решение проблем экологии и энергетики // Альтернативная энергетика и экология 2012, № 5-6, с. 175-181.
20. Сульман Э.М., Кислица О.В., Алферов В.В., Мисников О.С., Афанасьев А.Е., Сульман М.Г., Усанов А.Е. Катализ в энергосберегающих технологиях получения топлив на основе биомассы и органических отходов // Катализ в промышленности, № 5, 2004, с. 43-49.
21. Корінчук Д. М. Оптимізація параметрів виготовлення композиційного біопалива з використанням торфу як в'язучого / Д. М. Корінчук // Промышленная теплотехника. – 2012. – № 3. – С. 73-77.

22. Иммуобилизованные клетки *CHLORELLA VULGARIS* для решения задач альтернативной энергетики и экологии / А. Б. Никольская, А. В. Холстов, И. В. Лягин [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № 4. – С. 95-100.
23. Фильков А. И., Гладкий Д. А. Математическое моделирование низкотемпературной сушки слоя торфа // вестн. Том. Гос. Ун-та. Математика и механика. 2012. №3. С.93-106.
24. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии [Текст] : учеб. пособие / Г. Г. Орлов, А. Г. Орлов. - Иваново, 20 - . - В надзаг.: Иван. гос. энергет. ун-т им. В. И. Ленина Ч. 2. - 2006. - 197 с. : ил. - Библиогр.: с. 181-184. - 150 экз. - ISBN 5-89482-412-5 : Б. ц.
25. Лесная биоэнергетика : учеб. пособие / Ю. П. Семенов [и др.]; под ред. Ю. П. Семенова. - М. : Изд-во Моск гос. ун-та леса, 2008. - 348 с. : ил. - Библиогр.: с. 300-311.
26. Нетрадиционные энергоисточники Якутии / А. Ф. Константинов; отв. ред. Н. С. Бурянина. - Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006 (Якутск). - 212 с. : ил. - Библиогр.: с. 203-211 (157 назв.). - 500 экз. - ISBN 5-91138-035-8 : Б. ц.
27. Вестник Воронежского Государственного университета. № 1. 2013г. стр 98-104//Анализ влияния условий распылительной сушки на сохранность антиоксидантных свойств биомассы *rhodotorula rubra*
28. Н. А. Беккер. - М. : [б. и.], 2007. - 26 с. : ил. - Библиогр.: с. 26(4 назв.)
29. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / В.И.Ляшков,С.Н.Кузьмин. - Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2003. - 95 с. : ил. - 100 экз. - ISBN 5-8265-0219-3 : Б. ц.
30. Биоэнергетика как решение вопроса энергетической безопасности Украины / По материалам Европейско-украинского энергетического агентства // Мир Техники и Технологий. – 2012. – № 4. – С. 54-55.
31. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. Научное издание. М.: ФГНУ, Росинформагротех, 2008

32. Сушка древесины. Практическое руководство. Издательство «ПРОФИКС» Санкт - Петербург 2002г.
33. С.Г. Горохов, Э.Н. Сабуров, В.К. Любов . ИВУЗ. «Лесной журнал». 2004. № 4
34. Биомасса древесины и биоэнергетика в 2 т. / Л. А. Занегин, И. В. Воскобойников, В. А. Кондратюк, В. М. Щелоков. - М. : Изд-во МГУЛ, 2008 Т. 2. - 2008. - 456 с. : ил. - Библиогр.: с. 450-456
35. Биллей, П. В. Сушка древесины твердых лиственных пород Текст. : производственное изд. / П. В. Биллей. М.: Экология, 2002 - 224 с.
36. Сушка древесины. Кречетов И.В. – М. : изд-во Лесная промышленность, - 1980. – 454 с.
37. Строение и физико-механические свойства древесины дуба. Вихров В.Е.: Изд-во М.: Изд. АН СССР. – 265 с. 1954 г.
38. Древесиноведение и лесное товароведение. Уголев Б. Н. : Изд-во Академия, - 2006. – 272 с.
39. Курьянова, Т. К. Сушка древесины и ее качество после предварительной химической обработки Текст. / Т. К. Курьянова, А. Д. Платонов // Изв. вузов. Лесн. журн. 2004. - № 6. - С. 52-56.
40. Архипов В.А., Березиков А.П. Основы теории инженерно-физического эксперимента. – Томск: издательство Томского политехнического университета, 2008 г. –206 с.
41. Квалификационная работа по теме: Экспериментальное исследование сушки лиственной биомассы. Палагин А.А., Томск 2013
42. Разработка национального Плана развития ВИЭ в России., отчет Делегации Европейской Комиссии в России, март 2009, 42 стр., EuropeAid/1169551/C/SV/RU.
43. Панцхава Е.С., Ж, Аналитическая записка «Технические характеристики, международный опыт и целесообразные объемы

- создания электростанций на основе использования биомассы в РФ.», ЭНИН, Москва, 2009, 46 стр.
44. Parikka M. Global biomass fuel resource// J. Biomass and Bioeng. 2004.V.27. P. 613-620
45. Shmulsky, R. Effect of air velocity on surface EMC in the drying red oak lumber Text. / R. Shmulsky, K. Kosasi, E. Rosert // Forest Prod. 2002. - № 1.- P. 78-80.
46. Чмель В.Н., Использование биомассы в качестве альтернативного топлива // Альтернативная энергетика и экология 2012, №8, с. 60-63.
47. Платонов, А. Д. Исследование влагопроводности древесины после химической обработки Текст. / А. Д. Платонов // Вестник Московского государственного университета леса Лесной вестник. - 2005. - № 2. - С. 5663
48. Любов В.К., Дьячков В.А. Исследование теплотехнических характеристик древесных отходов и торфа//Проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов на предприятиях и ТЭС: межвузовский сборник научных трудов.– СПб: СПбГТУ, 2001 г. С.240–248.
49. Расев А.И. Технология сушки древесины //Россия.2008 г .№145.
50. Шубин, Г. С. Физические основы и расчет процессов сушки древесины Текст. / Г. С. Шубин. М.: Лесн. пром-сть, 1973. - 248 с.
51. ГОСТ 12.0.003 – 74 «Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
52. СанПиН 2.2.2/2.4.1340 – 03. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы».
53. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».

54. СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
55. ГОСТ 12.1.005 – 88 «Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
56. ГН 2.2.5.1313 – 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
57. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки».
58. ГОСТ 12.1.003 – 83. ССБТ «Шум. Общие требования безопасности».
59. ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
60. ППБ 101 – 89 «Правила пожарной безопасности для общеобразовательных школ, профессионально – технических училищ, школ – интернатов, детских домов, дошкольных, внешкольных и других учебно – воспитательных учреждений».
61. СанПиН 2.2.2.542 – 96 «Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно – вычислительным машинам и организации работы».
62. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
63. Электронный ресурс:  
[wikipedia.org/wiki/%C4%E8%E0%E3%F0%E0%EC%EC%E0\\_%C3%E0%ED%F2%E0](http://wikipedia.org/wiki/%C4%E8%E0%E3%F0%E0%EC%EC%E0_%C3%E0%ED%F2%E0)
64. Экономика труда: учебник / Ю.П. Кокин [и др.]. - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Магистр, 2010. - 686 с.
65. Электронный ресурс : прайс лист фирмы Канц Опт Торг  
<http://www.kancoptorg.ru/catalog>

66. Электронный ресурс: прайс лист фирмы Aport, режим доступа  
<http://tomsk.apor.ru/>

## Приложение А

Таблица 10 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Тополь»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	$\Delta m$ , кг	$W_{исп}$ , кг/с*м <sup>2</sup>
1	ТОПОЛЬ	110,5	109,75	600	40	742,5	0,00075	$0,242 \cdot 10^{-3}$
2		109,75	109				0,00075	$0,242 \cdot 10^{-3}$
3		109	108,3				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
4		108,3	107,65				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
5		107,65	107,05				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
6		107,05	106,5				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$
7		106,5	106				0,0005	$0,1618 \cdot 10^{-3}$
8		106	105,55				0,00045	$0,1456 \cdot 10^{-3}$
9		105,55	105,15				0,0004	$0,1294 \cdot 10^{-3}$
10		105,15	104,8				0,00035	$0,1132 \cdot 10^{-3}$
11		104,8	104,5				0,0003	$0,097 \cdot 10^{-3}$
12		104,5	104,3				0,0002	$0,0647 \cdot 10^{-3}$
13		104,3	104,15				0,00015	$0,0485 \cdot 10^{-3}$
14		104,15	104,05				0,0001	$0,0323 \cdot 10^{-3}$
1	ТОПОЛЬ	101,3	100,1	600	60	742,5	0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
2		100,1	99				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
3		99	98				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
4		98	97,05				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
5		97,05	96,15				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
6		96,15	95,3				0,00085	$0,2750 \cdot 10^{-3}$
7		95,3	94,55				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
8		94,55	93,85				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
9		93,85	93,25				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
10		93,25	92,7				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$
11		92,7	92,2				0,0005	$0,1618 \cdot 10^{-3}$
12		92,2	91,8				0,0004	$0,1294 \cdot 10^{-3}$
13		91,8	91,45				0,00035	$0,1132 \cdot 10^{-3}$
14		91,45	91,25				0,0002	$0,0647 \cdot 10^{-3}$

1	тополь	158	156,1	600	80	742,5	0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
2		156,1	154,3				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
3		154,3	152,6				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
4		152,6	151				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
5		151	149,5				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
6		149,5	148,1				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
7		148,1	146,8				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
8		146,8	145,65				0,00115	$0,3721 \cdot 10^{-3}$
9		145,65	144,6				0,00105	$0,3398 \cdot 10^{-3}$
10		144,6	143,65				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
11		143,65	142,8				0,00085	$302750 \cdot 10^{-3}$
12		142,8	142,05				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
13		142,05	141,4				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
14		141,4	140,85				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$
№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	$\Delta m$ , кг	$W_{исп}$ , кг/с*м <sup>2</sup>
1	тополь	166	163,05	600	100	742,5	0,00295	$0,9546 \cdot 10^{-3}$
2		163,05	160,35				0,0027	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
3		160,35	157,85				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
4		157,85	155,65				0,0022	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
5		155,65	153,65				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
6		153,65	151,85				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
7		151,85	150,25				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
8		150,25	148,85				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
9		148,85	147,65				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
10		147,65	146,65				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
11		146,65	145,85				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
12		145,85	145,15				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
13		145,15	144,55				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
14		144,55	144				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$



№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	тополь	139,2	135,5	600	120	742,5	0,0037	1,1974·10 <sup>-3</sup>
2		135,5	132				0,0035	1,1326·10 <sup>-3</sup>
3		132	128,6				0,0034	1,1003·10 <sup>-3</sup>
4		128,6	125,4				0,0032	1,0355·10 <sup>-3</sup>
5		125,4	122,4				0,003	0,9708·10 <sup>-3</sup>
6		122,4	119,6				0,0028	0,9061·10 <sup>-3</sup>
7		119,6	116,9				0,0027	0,8737·10 <sup>-3</sup>
8		116,9	114,3				0,0026	0,8414·10 <sup>-3</sup>
9		114,3	111,9				0,0024	0,7766·10 <sup>-3</sup>
10		111,9	109,7				0,0022	0,7119·10 <sup>-3</sup>
11		109,7	107,7				0,002	0,6472·10 <sup>-3</sup>
12		107,7	105,8				0,0019	0,6148·10 <sup>-3</sup>
13		105,8	104				0,0018	0,5825·10 <sup>-3</sup>
14		104	102,25				0,00175	0,5663·10 <sup>-3</sup>

Таблица 11 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Тополь»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	$\Delta m$ , кг	$W_{исп}$ , кг/с*м <sup>2</sup>
1	ТОПОЛЬ	113,1	112,3	600	40	764	0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
2		112,3	111,55				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
3		111,55	110,85				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
4		110,85	110,2				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
5		110,2	109,6				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
6		109,6	109,05				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$
7		109,05	108,55				0,0005	$0,1618 \cdot 10^{-3}$
8		108,55	108,1				0,00045	$0,1456 \cdot 10^{-3}$
9		108,1	107,7				0,0004	$0,1294 \cdot 10^{-3}$
10		107,7	107,35				0,00035	$0,1132 \cdot 10^{-3}$
11		107,35	107,05				0,0003	$0,0970 \cdot 10^{-3}$
12		107,05	106,8				0,00025	$0,0809 \cdot 10^{-3}$
13		106,8	106,6				0,0002	$0,0647 \cdot 10^{-3}$
14		106,6	106,4				0,0002	$0,0647 \cdot 10^{-3}$
1	ТОПОЛЬ	97,65	96,45	600	60	764	0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
2		96,45	95,35				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
3		95,35	94,3				0,00105	$0,3398 \cdot 10^{-3}$
4		94,3	93,3				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
5		93,3	92,35				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
6		92,35	91,45				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
7		91,45	90,6				0,00085	$0,2750 \cdot 10^{-3}$
8		90,6	89,8				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
9		89,8	89,05				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
10		89,05	88,4				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
11		88,4	87,8				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
12		87,8	87,3				0,0005	$0,1618 \cdot 10^{-3}$
13		87,3	86,85				0,00045	$0,1456 \cdot 10^{-3}$
14		86,85	86,65				0,0002	$0,0647 \cdot 10^{-3}$

1	тополь	167,3	165,3	600	80	764	0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
2		165,3	163,4				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
3		163,4	161,6				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
4		161,6	159,9				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
5		159,9	158,3				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
6		158,3	156,8				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
7		156,8	155,35				0,00145	$0,4692 \cdot 10^{-3}$
8		155,35	154				0,00135	$0,4368 \cdot 10^{-3}$
9		154	152,8				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
10		152,8	151,7				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
11		151,7	150,7				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
12		150,7	149,8				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
13		149,8	149				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
14		149	148,3				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	тополь	161	158,1	600	100	764	0,0029	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
2		158,1	155,45				0,00265	$0,8576 \cdot 10^{-3}$
3		155,45	153				0,00245	$0,7928 \cdot 10^{-3}$
4		153	150,85				0,00215	$0,6957 \cdot 10^{-3}$
5		150,85	148,9				0,00195	$0,6310 \cdot 10^{-3}$
6		148,9	147,15				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
7		147,15	145,6				0,00155	$0,5016 \cdot 10^{-3}$
8		145,6	144,25				0,00135	$0,4368 \cdot 10^{-3}$
9		144,25	143,1				0,00115	$0,3721 \cdot 10^{-3}$
10		143,1	142,15				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
11		142,15	141,4				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
12		141,4	140,75				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
13		140,75	140,2				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$
14		140,2	139,75				0,00045	$0,1456 \cdot 10^{-3}$

1	ТОПОЛЬ	138	134,2	600	120	756,8	0,0038	$1,2297 \cdot 10^{-3}$
2		134,2	130,6				0,0036	$1,1650 \cdot 10^{-3}$
3		130,6	127,1				0,0035	$1,1326 \cdot 10^{-3}$
4		127,1	123,8				0,0033	$1,0679 \cdot 10^{-3}$
5		123,8	120,75				0,00305	$0,9870 \cdot 10^{-3}$
6		120,75	117,9				0,00285	$0,9223 \cdot 10^{-3}$
7		117,9	115,35				0,00255	$0,8252 \cdot 10^{-3}$
8		115,35	113				0,00235	$0,7605 \cdot 10^{-3}$
9		113	110,95				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
10		110,95	109,1				0,00185	$0,5987 \cdot 10^{-3}$
11		109,1	107,35				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
12		107,35	105,7				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
13		105,7	104,15				0,00155	$0,5016 \cdot 10^{-3}$
14		104,15	102,65				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$

Таблица 12 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Тополь»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с·м <sup>2</sup>
1	тополь	112,55	111,7	600	40	764	0,00085	0,2750·10 <sup>-3</sup>
2		111,7	110,9				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
3		110,9	110,15				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
4		110,15	109,45				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
5		109,45	108,8				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
6		108,8	108,2				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
7		108,2	107,65				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
8		107,65	107,15				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
9		107,15	106,7				0,00045	0,1456·10 <sup>-3</sup>
10		106,7	106,3				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
11		106,3	105,95				0,00035	0,1132·10 <sup>-3</sup>
12		105,95	105,65				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
13		105,65	105,4				0,00025	0,0809·10 <sup>-3</sup>
14		105,4	105,2				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
1	тополь	101,9	100,75	600	60	764	0,00115	0,3721·10 <sup>-3</sup>
2		100,75	99,65				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
3		99,65	98,65				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
4		98,65	97,75				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
5		97,75	96,9				0,00085	0,2750·10 <sup>-3</sup>
6		96,9	96,1				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
7		96,1	95,35				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
8		95,35	94,65				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
9		94,65	94				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
10		94	93,35				0,00065	0,2106·10 <sup>-3</sup>
11		93,35	92,8				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
12		92,8	92,3				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
13		92,3	91,8				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
14		91,8	91,55				0,00025	0,0809·10 <sup>-3</sup>

1	тополь	150	147,9	600	80	764	0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
2		147,9	145,9				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
3		145,9	143,95				0,00195	$0,6310 \cdot 10^{-3}$
4		143,95	142,1				0,00185	$0,5987 \cdot 10^{-3}$
5		142,1	140,4				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
6		140,4	138,8				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
7		138,8	137,3				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
8		137,3	135,9				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
9		135,9	134,6				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
10		134,6	133,6				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
11		133,6	132,7				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
12		132,7	131,85				0,00085	$0,2750 \cdot 10^{-3}$
13		131,85	131,05				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
14		131,05	130,3				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
<b>№ опыта</b>	<b>Тип биомассы</b>	<b>Нач. масса, г</b>	<b>Масса после испарения, г</b>	<b>Время, сек</b>	<b>Температура в печи, °С</b>	<b>Атмосферное давление, мм рт. ст.</b>	<b>Δm, кг</b>	<b>W<sub>исп</sub>, кг/с*м<sup>2</sup></b>
1	тополь	158	155	600	100	764	0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
2		155	152,25				0,00275	$0,8899 \cdot 10^{-3}$
3		152,25	149,7				0,00255	$0,8252 \cdot 10^{-3}$
4		149,7	147,45				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
5		147,45	145,4				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
6		145,4	143,55				0,00185	$0,5987 \cdot 10^{-3}$
7		143,55	141,9				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
8		141,9	140,45				0,00145	$0,4692 \cdot 10^{-3}$
9		140,45	139,2				0,00125	$0,4045 \cdot 10^{-3}$
10		139,2	138,15				0,00105	$0,3398 \cdot 10^{-3}$
11		138,15	137,3				0,00085	$0,2750 \cdot 10^{-3}$
12		137,3	136,55				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
13		136,55	135,9				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
14		135,9	135,35				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$

1	ТОПОЛЬ	135	131,35	600	120	756,8	0,00365	$1,1812 \cdot 10^{-3}$
2		131,35	127,8				0,00355	$1,1488 \cdot 10^{-3}$
3		127,8	124,35				0,00345	$1,1165 \cdot 10^{-3}$
4		124,35	121,1				0,00325	$1,0517 \cdot 10^{-3}$
5		121,1	117,85				0,00325	$1,0517 \cdot 10^{-3}$
6		117,85	114,95				0,0029	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
7		114,95	112,45				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
8		112,45	110,05				0,0024	$0,7766 \cdot 10^{-3}$
9		110,05	108,05				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
10		108,05	106,15				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
11		106,15	104,35				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
12		104,35	102,65				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
13		102,65	101,05				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
14		101,05	99,5				0,00155	$0,5016 \cdot 10^{-3}$

Таблица 13 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Береза»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	береза	207,5	206,35	600	40	742,5	0,00115	0,3721·10 <sup>-3</sup>
2		206,35	205,3				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
3		205,3	204,25				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
4		204,25	203,35				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
5		203,35	202,5				0,00085	0,2750·10 <sup>-3</sup>
6		202,5	201,7				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
7		201,7	201				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
8		201	200,4				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
9		200,4	199,8				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
10		199,8	199,2				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
11		199,2	198,7				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
12		198,7	198,2				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
13		198,2	197,8				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
14		197,8	197,5				0,0003	0,0907·10 <sup>-3</sup>
1	береза	215	213	600	60	742,5	0,002	0,6472·10 <sup>-3</sup>
2		213	211,3				0,0017	0,5501·10 <sup>-3</sup>
3		211,3	209,8				0,0015	0,4854·10 <sup>-3</sup>
4		209,8	208,4				0,0014	0,4207·10 <sup>-3</sup>
5		208,4	207,1				0,0013	0,4207·10 <sup>-3</sup>
6		207,1	205,8				0,0013	0,3883·10 <sup>-3</sup>
7		205,8	204,5				0,0013	0,4045·10 <sup>-3</sup>
8		204,5	203,3				0,0012	0,3398·10 <sup>-3</sup>
9		203,3	202,05				0,00125	0,3236·10 <sup>-3</sup>
10		202,05	201				0,00105	0,3236·10 <sup>-3</sup>
11		201	200				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
12		200	199				0,001	0,2912·10 <sup>-3</sup>
13		199	198,1				0,0009	0,2265·10 <sup>-3</sup>
14		198,1	197,4				0,0007	0,2260·10 <sup>-3</sup>



1	береза	211,5	208,5	600	80	742,5	0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
2		208,5	205,9				0,0026	$0,8414 \cdot 10^{-3}$
3		205,9	203,45				0,00245	$0,7928 \cdot 10^{-3}$
4		203,45	201,2				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
5		201,2	199				0,0022	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
6		199	196,7				0,0023	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
7		196,7	194,5				0,0022	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
8		194,5	192,5				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
9		192,5	190,7				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
10		190,7	189,1				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
11		189,1	187,7				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
12		187,7	186,4				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
13		186,4	185,3				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
14		185,3	184,1				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
<b>№ опыта</b>	<b>Тип биомассы</b>	<b>Нач. масса, г</b>	<b>Масса после испарения, г</b>	<b>Время, сек</b>	<b>Температура в печи, °С</b>	<b>Атмосферное давление, мм рт. ст.</b>	<b>Δm, кг</b>	<b>W<sub>исп</sub>, кг/с*м<sup>2</sup></b>
1	береза	183	179	600	100	755	0,004	$1,2944 \cdot 10^{-3}$
2		179	175,9				0,0031	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
3		175,9	172,95				0,00295	$0,9546 \cdot 10^{-3}$
4		172,95	170,3				0,00265	$0,8576 \cdot 10^{-3}$
5		170,3	168,05				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
6		168,05	165,8				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
7		165,8	163,7				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
8		163,7	161,8				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
9		161,8	159,8				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
10		159,8	157,85				0,00195	$0,6310 \cdot 10^{-3}$
11		157,85	156,1				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
12		156,1	154,3				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
13		154,3	152,55				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
14		152,55	151,05				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$

<b>1</b>	<b>береза</b>	<b>200</b>	<b>194,5</b>	<b>600</b>	<b>120</b>	<b>755</b>	<b>0,0055</b>	<b>1,7799·10<sup>-3</sup></b>
<b>2</b>		<b>194,5</b>	<b>189,9</b>				<b>0,0046</b>	<b>1,4886·10<sup>-3</sup></b>
<b>3</b>		<b>189,9</b>	<b>185,8</b>				<b>0,0041</b>	<b>1,3268·10<sup>-3</sup></b>
<b>4</b>		<b>185,8</b>	<b>181,75</b>				<b>0,00405</b>	<b>1,3106·10<sup>-3</sup></b>
<b>5</b>		<b>181,75</b>	<b>178</b>				<b>0,00375</b>	<b>1,2135·10<sup>-3</sup></b>
<b>6</b>		<b>178</b>	<b>174,65</b>				<b>0,00335</b>	<b>1,0841·10<sup>-3</sup></b>
<b>7</b>		<b>174,65</b>	<b>171,15</b>				<b>0,0035</b>	<b>1,1326·10<sup>-3</sup></b>
<b>8</b>		<b>171,15</b>	<b>167,85</b>				<b>0,0033</b>	<b>1,0679·10<sup>-3</sup></b>
<b>9</b>		<b>167,85</b>	<b>165,2</b>				<b>0,00265</b>	<b>0,8576·10<sup>-3</sup></b>
<b>10</b>		<b>165,2</b>	<b>162,5</b>				<b>0,0027</b>	<b>0,8737·10<sup>-3</sup></b>
<b>11</b>		<b>162,5</b>	<b>160</b>				<b>0,0025</b>	<b>0,8090·10<sup>-3</sup></b>
<b>12</b>		<b>160</b>	<b>157,5</b>				<b>0,0025</b>	<b>0,8090·10<sup>-3</sup></b>
<b>13</b>		<b>157,5</b>	<b>155</b>				<b>0,0025</b>	<b>0,8090·10<sup>-3</sup></b>
<b>14</b>		<b>155</b>	<b>153</b>				<b>0,002</b>	<b>0,6472·10<sup>-3</sup></b>

Таблица 14 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Береза»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	береза	210,3	209,3	600	40	756,8	0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
2		209,3	208,4				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
3		208,4	207,5				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
4		207,5	206,7				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
5		206,7	205,9				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
6		205,9	205,2				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
7		205,2	204,55				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
8		204,55	204				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
9		204	203,5				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
10		203,5	203,1				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
11		203,1	202,7				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
12		202,7	202,4				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
13		202,4	202,2				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
14		202,2	202				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
1	береза	231,3	229,25	600	60	756,8	0,00205	0,6634·10 <sup>-3</sup>
2		229,25	227,5				0,00175	0,5663·10 <sup>-3</sup>
3		227,5	225,8				0,0017	0,5501·10 <sup>-3</sup>
4		225,8	224,2				0,0016	0,5177·10 <sup>-3</sup>
5		224,2	222,8				0,0014	0,4530·10 <sup>-3</sup>
6		222,8	221,5				0,0013	0,4207·10 <sup>-3</sup>
7		221,5	220,2				0,0013	0,4207·10 <sup>-3</sup>
8		220,2	219				0,0012	0,3883·10 <sup>-3</sup>
9		219	217,8				0,0012	0,3883·10 <sup>-3</sup>
10		217,8	216,8				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
11		216,8	216				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
12		216	215,25				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
13		215,25	214,5				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
14		214,5	214				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>

1	береза	199,5	196	600	80	756,8	0,0035	$1,1326 \cdot 10^{-3}$
2		196	193				0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
3		193	190,35				0,00265	$0,8576 \cdot 10^{-3}$
4		190,35	188,15				0,0022	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
5		188,15	185,95				0,0022	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
6		185,95	183,8				0,00215	$0,6957 \cdot 10^{-3}$
7		183,8	181,7				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
8		181,7	179,8				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
9		179,8	178,1				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
10		178,1	176,45				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
11		176,45	175,05				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
12		175,05	173,85				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
13		173,85	172,85				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
14		172,85	172,05				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
<b>№ опыта</b>	<b>Тип биомассы</b>	<b>Нач. масса, г</b>	<b>Масса после испарения, г</b>	<b>Время, сек</b>	<b>Температура в печи, °С</b>	<b>Атмосферное давление, мм рт. ст.</b>	<b>Δm, кг</b>	<b>W<sub>исп</sub>, кг/с*м<sup>2</sup></b>
1	береза	149,4	146,5	600	100	759	0,0029	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
2		146,5	144,25				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
3		144,25	141,9				0,00235	$0,7605 \cdot 10^{-3}$
4		141,9	139,6				0,0023	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
5		139,6	137,6				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
6		137,6	135,5				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
7		135,5	133,8				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
8		133,8	132,2				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
9		132,2	130,55				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
10		130,55	128,95				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
11		128,95	127,6				0,00135	$0,4368 \cdot 10^{-3}$
12		127,6	126,2				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
13		126,2	124,85				0,00135	$0,4368 \cdot 10^{-3}$
14		124,85	123,75				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$

1	береза	222	216,05	600	120	759	0,00595	$1,9255 \cdot 10^{-3}$
2		216,05	210,5				0,00555	$1,7961 \cdot 10^{-3}$
3		210,5	205,6				0,0049	$1,5857 \cdot 10^{-3}$
4		205,6	201				0,0046	$1,4886 \cdot 10^{-3}$
5		201	197				0,004	$1,2944 \cdot 10^{-3}$
6		197	193,5				0,0035	$1,1326 \cdot 10^{-3}$
7		193,5	190,6				0,0029	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
8		190,6	188				0,0026	$0,8414 \cdot 10^{-3}$
9		188	185,5				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
10		185,5	183				0,002	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
11		183	181				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
12		181	179				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
13		179	177				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
14		177	176				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$

Таблица 15 - Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Береза»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	береза	215	213,9	600	40	756,8	0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
2		213,9	213,2				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
3		213,2	212,4				0,0008	0,2588·10 <sup>-3</sup>
4		212,4	211,6				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
5		211,6	210,9				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
6		210,9	210,3				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
7		210,3	209,7				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
8		209,7	209,1				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
9		209,1	208,5				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
10		208,5	208				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
11		208	207,5				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
12		207,5	207,1				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
13		207,1	206,8				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
14		206,8	206,6				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
1	береза	211	209	600	60	756,8	0,002	0,6472·10 <sup>-3</sup>
2		209	207,1				0,0019	0,6148·10 <sup>-3</sup>
3		207,1	205,3				0,0018	0,5825·10 <sup>-3</sup>
4		205,3	203,6				0,0017	0,5501·10 <sup>-3</sup>
5		203,6	202				0,0016	0,5177·10 <sup>-3</sup>
6		202	200,5				0,0015	0,4854·10 <sup>-3</sup>
7		200,5	199,1				0,0014	0,4530·10 <sup>-3</sup>
8		199,1	197,8				0,0013	0,4207·10 <sup>-3</sup>
9		197,8	196,5				0,0013	0,4207·10 <sup>-3</sup>
10		196,5	195,3				0,0012	0,3883·10 <sup>-3</sup>
11		195,3	194,2				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
12		194,2	193,2				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
13		193,2	192,5				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
14		192,5	191,8				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>

1	береза	200	197,5	600	80	756,8	0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
2		197,5	195				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
3		195	192,65				0,00235	$0,7605 \cdot 10^{-3}$
4		192,65	190,4				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
5		190,4	188,3				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
6		188,3	186,3				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
7		186,3	184,2				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
8		184,2	182,4				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
9		182,4	180,7				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
10		180,7	179,05				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
11		179,05	177,65				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
12		177,65	176,35				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
13		176,35	175,25				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
14		175,25	174,45				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
<b>№ опыта</b>	<b>Тип биомассы</b>	<b>Нач. масса, г</b>	<b>Масса после испарения, г</b>	<b>Время, сек</b>	<b>Температура в печи, °С</b>	<b>Атмосферное давление, мм рт. ст.</b>	<b>Δm, кг</b>	<b>W<sub>исп</sub>, кг/с*м<sup>2</sup></b>
1	береза	162,5	159	600	100	759	0,0035	$1,1326 \cdot 10^{-3}$
2		159	155,8				0,0032	$1,0355 \cdot 10^{-3}$
3		155,8	153				0,0028	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
4		153	150,3				0,0027	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
5		150,3	147,65				0,00265	$0,8576 \cdot 10^{-3}$
6		147,65	145,15				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
7		145,15	143				0,00215	$0,6957 \cdot 10^{-3}$
8		143	141,25				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
9		141,25	139,55				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
10		139,55	137,75				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
11		137,75	136,15				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
12		136,15	134,65				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
13		134,65	133,05				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
14		133,05	131,65				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$

1	береза	212	207,2	600	120	759	0,0048	$1,5533 \cdot 10^{-3}$
2		207,2	202,6				0,0046	$1,4886 \cdot 10^{-3}$
3		202,6	197,9				0,0047	$1,5210 \cdot 10^{-3}$
4		197,9	193,5				0,0044	$1,4239 \cdot 10^{-3}$
5		193,5	189,9				0,0036	$1,1650 \cdot 10^{-3}$
6		189,9	186,5				0,0034	$1,1003 \cdot 10^{-3}$
7		186,5	183,1				0,0034	$1,1003 \cdot 10^{-3}$
8		183,1	179,7				0,0034	$1,1003 \cdot 10^{-3}$
9		179,7	176,6				0,0031	$1,0003 \cdot 10^{-3}$
10		176,6	173,8				0,0028	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
11		173,8	171				0,0028	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
12		171	168,5				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
13		168,5	166				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
14		166	165				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$



Таблица 16 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Осина»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с·м <sup>2</sup>
1	осина	113,1	112,3	600	40	761	0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
2		112,3	111,55				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
3		111,55	110,85				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
4		110,85	110,2				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
5		110,2	109,6				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
6		109,6	109,05				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
7		109,05	108,55				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
8		108,55	108,1				0,00045	0,1456·10 <sup>-3</sup>
9		108,1	107,7				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
10		107,7	107,35				0,00035	0,1132·10 <sup>-3</sup>
11		107,35	107,05				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
12		107,05	106,8				0,00025	0,0809·10 <sup>-3</sup>
13		106,8	106,6				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
14		106,6	106,4				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
1	осина	98,75	97,6	600	60	761	0,00115	0,3721·10 <sup>-3</sup>
2		97,6	95,8				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
3		95,8	95,05				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
4		95,05	94,4				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
5		94,4	93,8				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
6		93,8	93,25				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
7		93,25	92,8				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
8		92,5	92,4				0,00045	0,1456·10 <sup>-3</sup>
9		92,4	92				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
10		92	91,7				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
11		91,7	91,5				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
12		91,5	91,3				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
13		91,3	91,2				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
14		91,2	91,1				0,00015	0,0323·10 <sup>-3</sup>

1	осина	108,1	106	600	80	743	0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
2		106	104,4				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
3		104,4	102,9				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
4		102,9	101,5				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
5		101,5	100,2				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
6		100,2	99				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
7		99	97,85				0,00115	$0,3721 \cdot 10^{-3}$
8		97,85	96,7				0,00115	$0,3721 \cdot 10^{-3}$
9		96,7	95,7				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
10		95,7	94,75				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
11		94,75	93,85				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
12		93,85	93,25				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
13		93,25	92,6				0,00065	$0,2103 \cdot 10^{-3}$
14		92,6	92,05				0,00055	$0,1779 \cdot 10^{-3}$
<b>№ опыта</b>	<b>Тип биомассы</b>	<b>Нач. масса, г</b>	<b>Масса после испарения, г</b>	<b>Время, сек</b>	<b>Температура в печи, °С</b>	<b>Атмосферное давление, мм рт. ст.</b>	<b>Δm, кг</b>	<b>W<sub>исп</sub>, кг/с*м<sup>2</sup></b>
1	осина	172,8	170,25	600	100	755	0,00255	$0,8252 \cdot 10^{-3}$
2		170,25	167,9				0,00235	$0,7605 \cdot 10^{-3}$
3		167,9	165,5				0,0024	$0,7766 \cdot 10^{-3}$
4		165,5	163,3				0,0022	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
5		163,3	161,3				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
6		161,3	159,5				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
7		159,5	158				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
8		158	156,5				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
9		156,5	155,2				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
10		155,2	154				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
11		154	153				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
12		153	152,1				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
13		152,1	151,5				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
14		151,5	151				0,0005	$0,1618 \cdot 10^{-3}$

1	осина	138,5	135,2	600	120	755	0,0033	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
2		135,2	131,9				0,0033	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
3		131,9	128,8				0,0031	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
4		128,8	125,8				0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
5		125,8	122,8				0,003	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
6		122,8	120				0,0028	$0,9223 \cdot 10^{-3}$
7		120	117,2				0,0028	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
8		117,2	114,4				0,0028	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
9		114,4	112				0,0024	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
10		112	109,5				0,0025	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
11		109,5	107,5				0,002	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
12		107,5	105,7				0,0018	$0,5987 \cdot 10^{-3}$
13		105,7	104,1				0,0016	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
14		104,1	103				0,0011	$0,3883 \cdot 10^{-3}$

Таблица 17 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Осина»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	осина	112,55	111,7	600	40	759	0,00085	0,2750·10 <sup>-3</sup>
2		111,7	110,9				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
3		110,9	110,15				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
4		110,15	109,45				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
5		109,45	108,8				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
6		108,8	108,2				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
7		108,2	107,65				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
8		107,65	106,7				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
9		106,7	106,3				0,00045	0,1456·10 <sup>-3</sup>
10		106,3	105,95				0,0004	0,12994·10 <sup>-3</sup>
11		105,95	105,65				0,00035	0,1132·10 <sup>-3</sup>
12		105,65	105,4				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
13		105,4	105,2				0,00025	0,0809·10 <sup>-3</sup>
14		105,2	105				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
1	осина	101,9	100,9	600	60	759	0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
2		100,9	99,9				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
3		99,9	99				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
4		99	98,2				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
5		98,2	97,45				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
6		97,45	97				0,00045	0,1456·10 <sup>-3</sup>
7		97	96,5				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
8		96,5	95,9				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
9		95,9	95,5				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
10		95,5	95,1				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
11		95,1	94,8				0,0003	0,0971·10 <sup>-3</sup>
12		94,8	94,6				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
13		94,6	94,4				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
14		94,4	94,2				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>

1	осина	148,7	147,3	600	80	757,5	0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
2		147,6	145,7				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
3		145,7	144,6				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
4		144,6	143,6				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
5		143,6	142,6				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
6		142,6	141,65				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
7		141,65	140,75				0,00095	$0,3074 \cdot 10^{-3}$
8		140,75	139,85				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
9		139,85	138,95				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
10		138,95	138,2				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
11		138,2	137,6				0,00075	$0,2427 \cdot 10^{-3}$
12		137,6	137,2				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
13		137,2	137,1				0,0004	$0,1294 \cdot 10^{-3}$
14		137,1	136,9				0,0003	$0,0323 \cdot 10^{-3}$
№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	осина	113,8	111	600	100	759	0,0028	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
2		111	108,3				0,0027	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
3		108,3	105,8				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
4		105,8	103,4				0,0024	$0,7766 \cdot 10^{-3}$
5		103,4	101,1				0,0023	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
6		101,1	99,2				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
7		99,2	97,6				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
8		97,6	96,1				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
9		96,1	94,8				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
10		94,8	93,7				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
11		93,7	92,7				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
12		92,7	91,8				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
13		91,8	91,1				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
14		91,1	90,5				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$

1	осина	140	136,85	600	120	759	0,00315	$1,0194 \cdot 10^{-3}$
2		136,85	133,65				0,0032	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
3		133,65	130,65				0,003	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
4		130,65	127,75				0,0029	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
5		127,75	124,9				0,00285	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
6		124,9	122				0,0029	$0,9223 \cdot 10^{-3}$
7		122	119,2				0,0028	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
8		119,2	116,6				0,0026	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
9		116,6	114,2				0,0024	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
10		114,2	112,1				0,0021	$0,7119 \cdot 10^{-3}$
11		112,1	110,1				0,002	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
12		110,1	108,2				0,0019	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
13		108,2	106,4				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
14		106,4	105,2				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$

Таблица 18 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Осина»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	осина	110,5	109,75	600	40	759	0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
2		109,75	109				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
3		109	108,3				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
4		108,3	107,65				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
5		107,65	107,05				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
6		107,05	106,5				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
7		106,5	106				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
8		106	105,55				0,00045	0,1456·10 <sup>-3</sup>
9		105,55	105,15				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
10		105,15	104,8				0,00035	0,1136·10 <sup>-3</sup>
11		104,8	104,5				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
12		104,5	104,3				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
13		104,3	104,15				0,00015	0,0485·10 <sup>-3</sup>
14		104,15	104,05				0,0001	0,0323·10 <sup>-3</sup>
1	осина	106,8	105,6	600	60	759	0,0012	0,3883·10 <sup>-3</sup>
2		105,6	104,7				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
3		104,7	103,7				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
4		103,7	103,1				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
5		103,1	102,35				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
6		102,35	101,7				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
7		101,7	101,1				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
8		101,1	100,5				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
9		100,5	99,9				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
10		99,9	99,4				0,0002	0,1618·10 <sup>-3</sup>
11		99,4	99				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
12		99	98,7				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
13		98,7	98,4				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
14		98,4	98,3				0,0001	0,0332·10 <sup>-3</sup>

1	осина	121	119,5	600	80	757,5	0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
2		119,5	118,1				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
3		118,1	116,8				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
4		116,8	115,7				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
5		115,7	114,6				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
6		114,6	113,6				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
7		113,6	112,6				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
8		112,6	111,7				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
9		111,7	110,8				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
10		110,8	110				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
11		110	109,4				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$
12		109,4	108,9				0,0005	$0,1618 \cdot 10^{-3}$
13		108,9	108,6				0,0003	$0,0970 \cdot 10^{-3}$
14		108,6	108,4				0,0002	$0,0647 \cdot 10^{-3}$
№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δt, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	осина	158,5	156	600	100	759	0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
2		156	153,5				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
3		153,5	151,2				0,0023	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
4		151,2	149,1				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
5		149,1	147,2				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
6		147,2	145,5				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
7		145,5	144,1				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
8		144,1	142,8				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
9		142,8	141,8				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
10		141,8	140,5				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
11		140,5	139,5				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
12		139,5	138,7				0,0008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
13		138,7	138				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
14		138	137,4				0,0006	$0,1941 \cdot 10^{-3}$



1	осина	138,1	135	600	120	759	0,0031	$1,0679 \cdot 10^{-3}$
2		135	131,9				0,0031	$1,0679 \cdot 10^{-3}$
3		131,9	128,8				0,0031	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
4		128,8	125,8				0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
5		125,8	122,9				0,0029	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
6		122,9	120,05				0,00285	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
7		120,05	117,35				0,0027	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
8		117,35	114,65				0,0027	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
9		114,65	112,35				0,0023	$0,7766 \cdot 10^{-3}$
10		112,35	110,15				0,0022	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
11		110,15	108,05				0,0021	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
12		108,05	106,2				0,00185	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
13		106,2	104,5				0,0017	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
14		104,5	103,3				0,0012	$0,3559 \cdot 10^{-3}$

Таблица 19 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Липы»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	липа	101	99,8	600	40	774	0,0012	0,3883·10 <sup>-3</sup>
2		99,8	98,7				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
3		98,7	97,7				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
4		97,7	96,75				0,00095	0,3074·10 <sup>-3</sup>
5		96,75	95,85				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
6		95,85	95,05				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
7		95,05	94,3				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
8		94,3	93,6				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
9		93,6	92,95				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
10		92,95	92,4				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
11		92,4	92				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
12		92	91,6				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
13		91,6	91,25				0,00035	0,1132·10 <sup>-3</sup>
14		91,25	90,95				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>
1	липа	97,65	96,45	600	60	774	0,0012	0,3883·10 <sup>-3</sup>
2		96,45	95,4				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
3		95,4	94,3				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
4		94,3	93,25				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
5		93,25	92,2				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
6		92,2	91,1				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
7		91,1	90,1				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
8		90,1	89,05				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
9		89,05	88,15				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
10		88,15	87,25				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
11		87,25	86,45				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
12		86,45	85,65				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
13		85,65	85				0,00065	0,2103·10 <sup>-3</sup>
14		85	84,5				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>

1	липа	113,5	111	600	80	774	0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
2		111	108,75				0,00225	$0,7281 \cdot 10^{-3}$
3		108,75	106,95				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
4		106,95	105				0,00195	$0,6310 \cdot 10^{-3}$
5		105	103,1				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
6		103,1	101,3				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
7		101,3	99,55				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
8		99,55	98,1				0,00145	$0,4692 \cdot 10^{-3}$
9		98,1	96,5				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
10		96,5	94				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
11		94	92,9				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
12		92,9	91,9				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
13		91,9	90,9				0,001	$0,3336 \cdot 10^{-3}$
14		90,9	90,7				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп.</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	липа	108,5	105	600	100	754	0,0035	$1,1326 \cdot 10^{-3}$
2		105	101,65				0,00335	$1,0841 \cdot 10^{-3}$
3		101,65	98,9				0,00275	$0,8899 \cdot 10^{-3}$
4		98,9	96,4				0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
5		96,4	94,35				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
6		94,35	92,3				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
7		92,3	90,3				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
8		90,3	88,25				0,00205	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
9		88,25	86,55				0,0017	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
10		86,55	84,9				0,00165	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
11		84,9	83,3				0,0016	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
12		83,3	81,9				0,0014	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
13		81,9	80,7				0,0012	$0,2265 \cdot 10^{-3}$
14		80,7	80				0,0007	$0,1944 \cdot 10^{-3}$

1	липа	140	135,5	600	120	754	0,0045	$1,4563 \cdot 10^{-3}$
2		135,5	131,2				0,0043	$1,3915 \cdot 10^{-3}$
3		131,2	127				0,0042	$1,3592 \cdot 10^{-3}$
4		127	122,9				0,0041	$1,3268 \cdot 10^{-3}$
5		122,9	118,9				0,004	$1,2944 \cdot 10^{-3}$
6		118,9	115,1				0,0038	$1,1974 \cdot 10^{-3}$
7		115,1	111,4				0,0037	$1,1326 \cdot 10^{-3}$
8		111,4	107,9				0,0035	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
9		107,9	104,8				0,0031	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
10		104,8	102,5				0,0023	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
11		102,5	100,6				0,0019	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
12		100,6	99,1				0,0015	$0,383 \cdot 10^{-3}$
13		99,1	97,9				0,0012	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
14		97,9	97,1				0,0008	$0,2159 \cdot 10^{-3}$

Таблица 20 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Липы»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	липа	100	99,05	600	40	758,3	0,00095	0,3074·10 <sup>-3</sup>
2		99,05	98,15				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
3		98,15	97,3				0,00085	0,2750·10 <sup>-3</sup>
4		97,3	96,5				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
5		96,5	95,7				0,0008	0,2427·10 <sup>-3</sup>
6		95,7	95				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
7		95	94,35				0,00065	0,1941·10 <sup>-3</sup>
8		94,35	93,75				0,0006	0,1779·10 <sup>-3</sup>
9		93,75	93,2				0,00055	0,1618·10 <sup>-3</sup>
10		93,2	92,7				0,0005	0,1294·10 <sup>-3</sup>
11		92,7	92,3				0,0004	0,1132·10 <sup>-3</sup>
12		92,3	92				0,0003	0,0809·10 <sup>-3</sup>
13		92	91,8				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
14		91,8	91,65				0,00015	0,0485·10 <sup>-3</sup>
1	липа	101,4	100,1	600	60	758,3	0,0013	0,4209·10 <sup>-3</sup>
2		100,1	98,95				0,00115	0,3721·10 <sup>-3</sup>
3		98,95	97,8				0,00115	0,3721·10 <sup>-3</sup>
4		97,8	96,7				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
5		96,7	95,65				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
6		95,65	94,6				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
7		94,6	93,55				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
8		93,55	92,5				0,00105	0,3074·10 <sup>-3</sup>
9		92,5	91,55				0,00095	0,3074·10 <sup>-3</sup>
10		91,55	90,6				0,00095	0,2912·10 <sup>-3</sup>
11		90,6	89,7				0,0009	0,2427·10 <sup>-3</sup>
12		89,7	88,95				0,00075	0,1456·10 <sup>-3</sup>
13		88,95	88,5				0,00045	0,1294·10 <sup>-3</sup>
14		88,5	88,1				0,0004	0,1125·10 <sup>-3</sup>

1	липа	111,9	109,4	600	80	759	0,0025	$0,8090 \cdot 10^{-3}$
2		109,4	107,25				0,00215	$0,6957 \cdot 10^{-3}$
3		107,25	105,4				0,00185	$0,5987 \cdot 10^{-3}$
4		105,4	103,55				0,00185	$0,5987 \cdot 10^{-3}$
5		103,55	101,75				0,0018	$0,5825 \cdot 10^{-3}$
6		101,75	100				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
7		100	98,3				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
8		98,3	96,85				0,00145	$0,4692 \cdot 10^{-3}$
9		96,85	95,25				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
10		95,25	93,95				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
11		93,95	92,85				0,0011	$0,3559 \cdot 10^{-3}$
12		92,85	91,8				0,00105	$0,3398 \cdot 10^{-3}$
13		91,8	90,9				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
14		90,9	89,9				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
<b>№ опыта</b>	<b>Тип биомассы</b>	<b>Нач. масса, г</b>	<b>Масса после испарения, г</b>	<b>Время, сек</b>	<b>Температура в печи, °С</b>	<b>Атмосферное давление, мм рт. ст.</b>	<b>Δm, кг</b>	<b>W<sub>исп.</sub>, кг/с*м<sup>2</sup></b>
1	липа	106,8	103,5	600	100	759	0,0033	$1,0679 \cdot 10^{-3}$
2		103,5	100,4				0,0031	$1,0032 \cdot 10^{-3}$
3		100,4	97,6				0,0028	$0,9061 \cdot 10^{-3}$
4		97,6	95,15				0,00245	$0,7928 \cdot 10^{-3}$
5		95,15	93,15				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
6		93,15	91,1				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
7		91,1	89,1				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
8		89,1	87,05				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
9		87,05	85,35				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
10		85,35	83,6				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
11		83,6	82				0,0016	$0,5177 \cdot 10^{-3}$
12		82	80,7				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
13		80,7	79,5				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
14		79,5	78,5				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$

1	липа	138	133,55	600	120	759	0,00445	$1,4401 \cdot 10^{-3}$
2		133,55	129,2				0,00435	$1,4077 \cdot 10^{-3}$
3		129,2	125,1				0,0041	$1,3268 \cdot 10^{-3}$
4		125,1	121,1				0,004	$1,2944 \cdot 10^{-3}$
5		121,1	117,2				0,0039	$1,2621 \cdot 10^{-3}$
6		117,2	113,5				0,0037	$1,1974 \cdot 10^{-3}$
7		113,5	110,2				0,0033	$1,0679 \cdot 10^{-3}$
8		110,2	107,2				0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
9		107,2	104,6				0,0026	$0,8414 \cdot 10^{-3}$
10		104,6	102,5				0,0021	$0,6796 \cdot 10^{-3}$
11		102,5	100,8				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
12		100,8	99,6				0,0012	$0,3883 \cdot 10^{-3}$
13		99,6	98,7				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
14		98,7	98				0,0007	$0,2265 \cdot 10^{-3}$

Таблица 21 – Результаты расчёта массовой скорости испарения жидкости из образца «Липы»

№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	липа	103	102	600	40	758,3	0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
2		102	101,05				0,00095	0,3074·10 <sup>-3</sup>
3		101,05	100,15				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
4		100,15	99,35				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
5		99,35	98,6				0,00075	0,2427·10 <sup>-3</sup>
6		98,6	97,9				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
7		97,9	97,3				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
8		97,3	96,75				0,00055	0,1779·10 <sup>-3</sup>
9		96,75	96,25				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
10		96,25	95,85				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
11		95,85	95,5				0,00035	0,1132·10 <sup>-3</sup>
12		95,5	95,25				0,00025	0,0809·10 <sup>-3</sup>
13		95,25	95,05				0,0002	0,0647·10 <sup>-3</sup>
14		95,05	94,9				0,00015	0,0485·10 <sup>-3</sup>
1	липа	102	100,75	600	60	758,3	0,00125	0,4045·10 <sup>-3</sup>
2		100,75	99,65				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
3		99,65	98,55				0,0011	0,3559·10 <sup>-3</sup>
4		98,55	97,5				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
5		97,5	96,45				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
6		96,45	95,4				0,00105	0,3398·10 <sup>-3</sup>
7		95,4	94,4				0,001	0,3236·10 <sup>-3</sup>
8		94,4	93,5				0,0009	0,2912·10 <sup>-3</sup>
9		93,5	92,7				0,0008	0,2589·10 <sup>-3</sup>
10		92,7	92				0,0007	0,2265·10 <sup>-3</sup>
11		92	91,4				0,0006	0,1941·10 <sup>-3</sup>
12		91,4	90,9				0,0005	0,1618·10 <sup>-3</sup>
13		90,9	90,5				0,0004	0,1294·10 <sup>-3</sup>
14		90,5	90,2				0,0003	0,0970·10 <sup>-3</sup>



1	липа	114,8	112,5	600	80	759	0,0023	$0,7443 \cdot 10^{-3}$
2		112,5	110,5				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
3		110,5	108,6				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
4		108,6	106,7				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
5		106,7	105				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
6		105	103,25				0,00175	$0,5663 \cdot 10^{-3}$
7		103,25	101,1				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
8		101,6	100,1				0,0015	$0,4854 \cdot 10^{-3}$
9		100,1	98,7				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
10		98,7	97,4				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
11		97,4	96,4				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
12		96,4	95,4				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
13		95,4	94,5				0,0009	$0,2912 \cdot 10^{-3}$
14		94,4	93,7				0,008	$0,2589 \cdot 10^{-3}$
№ опыта	Тип биомассы	Нач. масса, г	Масса после испарения, г	Время, сек	Температура в печи, °С	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Δm, кг	W <sub>исп.</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>
1	липа	113,5	110,5	600	100	759	0,003	$0,9708 \cdot 10^{-3}$
2		110,5	107,6				0,0029	$0,9385 \cdot 10^{-3}$
3		107,6	104,9				0,0027	$0,8737 \cdot 10^{-3}$
4		104,9	102,5				0,0024	$0,7766 \cdot 10^{-3}$
5		102,5	100,5				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
6		100,5	98,45				0,00205	$0,6634 \cdot 10^{-3}$
7		98,45	96,55				0,0019	$0,6148 \cdot 10^{-3}$
8		96,55	94,55				0,002	$0,6472 \cdot 10^{-3}$
9		94,55	92,85				0,0017	$0,5501 \cdot 10^{-3}$
10		92,85	91,2				0,00165	$0,5339 \cdot 10^{-3}$
11		91,2	89,8				0,0014	$0,4530 \cdot 10^{-3}$
12		89,8	88,5				0,0013	$0,4207 \cdot 10^{-3}$
13		88,5	87,5				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$
14		87,5	86,5				0,001	$0,3236 \cdot 10^{-3}$

<b>1</b>	<b>липа</b>	<b>135</b>	<b>130,4</b>	<b>600</b>	<b>120</b>	<b>759</b>	<b>0,0046</b>	<b>1,4886·10<sup>-3</sup></b>
<b>2</b>		<b>130,4</b>	<b>126</b>				<b>0,0044</b>	<b>1,4239·10<sup>-3</sup></b>
<b>3</b>		<b>126</b>	<b>121,75</b>				<b>0,00425</b>	<b>1,3754·10<sup>-3</sup></b>
<b>4</b>		<b>121,75</b>	<b>117,55</b>				<b>0,0042</b>	<b>1,3592·10<sup>-3</sup></b>
<b>5</b>		<b>117,55</b>	<b>113,75</b>				<b>0,0038</b>	<b>1,2297·10<sup>-3</sup></b>
<b>6</b>		<b>113,75</b>	<b>110,15</b>				<b>0,0036</b>	<b>1,1650·10<sup>-3</sup></b>
<b>7</b>		<b>110,15</b>	<b>106,95</b>				<b>0,0032</b>	<b>1,0355·10<sup>-3</sup></b>
<b>8</b>		<b>106,95</b>	<b>101,15</b>				<b>0,003</b>	<b>0,9708·10<sup>-3</sup></b>
<b>9</b>		<b>101,15</b>	<b>98,75</b>				<b>0,0028</b>	<b>0,9061·10<sup>-3</sup></b>
<b>10</b>		<b>98,75</b>	<b>96,95</b>				<b>0,0024</b>	<b>0,7766·10<sup>-3</sup></b>
<b>11</b>		<b>96,95</b>	<b>95,85</b>				<b>0,0018</b>	<b>0,5825·10<sup>-3</sup></b>
<b>12</b>		<b>95,85</b>	<b>94,85</b>				<b>0,0011</b>	<b>0,3559·10<sup>-3</sup></b>
<b>13</b>		<b>94,85</b>	<b>94,25</b>				<b>0,001</b>	<b>0,3236·10<sup>-3</sup></b>
<b>14</b>		<b>94,25</b>	<b>94</b>				<b>0,0006</b>	<b>0,1941·10<sup>-3</sup></b>

## Приложение Б

*Таблица 22. – Результаты расчёта погрешности измерений для тополя*

T, °C	№ опыта	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>			$\bar{x}$ , кг	$^n S$ , кг	$g_1$	$g_2$	$g_3$	$^n S_{\bar{x}}$ , кг	$\alpha$	t(α,n)	Δx, кг	δ <sub>x</sub>
		1	2	3										
40	1	<b>0,242·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2589·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2750·10<sup>-3</sup></b>	0,2589	0,0161	1	1	1	0,0093	0,95	4,3	0,0401	0,176
	2	<b>0,242·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2427·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2589·10<sup>-3</sup></b>	0,2471	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,035	0,162
	3	<b>0,2265·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2265·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2427·10<sup>-3</sup></b>	0,2319	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,031	0,148
	4	<b>0,2103·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2103·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2265·10<sup>-3</sup></b>	0,5157	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,032	0,162
	5	<b>0,1941·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1941·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,2103·10<sup>-3</sup></b>	0,1995	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,033	0,174
	6	<b>0,1779·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1779·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1941·10<sup>-3</sup></b>	0,1833	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,034	0,185
	7	<b>0,1618·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1618·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1779·10<sup>-3</sup></b>	0,1672	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,035	0,197
	8	<b>0,1456·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1456·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1618·10<sup>-3</sup></b>	0,1510	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,029	0,169
	9	<b>0,1294·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1294·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1456·10<sup>-3</sup></b>	0,1348	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,028	0,164
	10	<b>0,1132·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1132·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1294·10<sup>-3</sup></b>	0,1186	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,018	0,109
	11	<b>0,097·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0970·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,1132·10<sup>-3</sup></b>	0,1024	0,0093	0,57	1,15	0,57	0,0053		4,3	0,020	0,118
	12	<b>0,0647·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0809·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0970·10<sup>-3</sup></b>	0,0809	0,0161	1	1	1	0,0093		4,3	0,022	0,139
	13	<b>0,0485·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0647·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0809·10<sup>-3</sup></b>	0,0647	0,0161	0,43	1	1	0,0093		4,3	0,021	0,133
	14	<b>0,0323·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0647·10<sup>-3</sup></b>	<b>0,0647·10<sup>-3</sup></b>	0,0539	0,0186	0,57	0,57	1,15	0,0107		4,3	0,019	0,125

Таблица 22. Продолжение

60	1	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,3721 \cdot 10^{-3}$	0,3829	0,0093	0,577	0,577	1,154	0,0053	0,95	4,3	0,04	0,104
	2	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	0,3559	0,0093	1,147	0,584	0,584	0,0053		4,3	0,038	0,106
	3	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	0,3290	0,0093	1,154	0,577	0,577	0,0053		4,3	0,041	0,124
	4	$0,3074 \cdot 10^{-3}$	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	0,3074	0,0161	1	0,584	1	0,0093		4,3	0,042	0,136
	5	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,3074 \cdot 10^{-3}$	$0,2750 \cdot 10^{-3}$	0,2912	0,0161	1	0,577	1	0,0093		4,3	0,039	0,133
	6	$0,2750 \cdot 10^{-3}$	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,2589 \cdot 10^{-3}$	0,2750	0,0161	1	0,577	1	0,0107		4,3	0,033	0,1199
	7	$0,2427 \cdot 10^{-3}$	$0,2750 \cdot 10^{-3}$	$0,2427 \cdot 10^{-3}$	0,2535	0,0186	1,154	0,577	0,577	0,0107		4,3	0,032	0,126
	8	$0,2265 \cdot 10^{-3}$	$0,2589 \cdot 10^{-3}$	$0,2265 \cdot 10^{-3}$	0,2373	0,0186	1,154	0,577	0,577	0,0142		4,3	0,031	0,130
	9	$0,1941 \cdot 10^{-3}$	$0,2427 \cdot 10^{-3}$	$0,2103 \cdot 10^{-3}$	0,2157	0,0247	1,091	0,872	0,218	0,0107		4,3	0,03	0,135
	10	$0,1779 \cdot 10^{-3}$	$0,2103 \cdot 10^{-3}$	$0,2106 \cdot 10^{-3}$	0,1995	0,0186	0,577	1,154	0,577	0,0093		4,3	0,028	0,134
	11	$0,1618 \cdot 10^{-3}$	$0,1941 \cdot 10^{-3}$	$0,1779 \cdot 10^{-3}$	0,1779	0,0161	1	1	0,584	0,0707		4,3	0,025	0,130
	12	$0,1294 \cdot 10^{-3}$	$0,1618 \cdot 10^{-3}$	$0,1618 \cdot 10^{-3}$	0,1510	0,0186	0,577	1,154	0,577	0,00707		4,3	0,019	0,107
	13	$0,1132 \cdot 10^{-3}$	$0,1456 \cdot 10^{-3}$	$0,1618 \cdot 10^{-3}$	0,1402	0,0247	0,218	1,091	0,872	0,0742		4,3	0,018	0,102
	14	$0,0647 \cdot 10^{-3}$	$0,0647 \cdot 10^{-3}$	$0,0809 \cdot 10^{-3}$	0,0701	0,0093	0,577	0,577	1,154	0,0053		4,3	0,011	0,067
80	1	$0,6148 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	0,6472	0,0323	0,133	1	1	0,018	0,95	4,3	0,045	0,069
	2	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,618 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,6148	0,0323	0,134	1	1	0,018		4,3	0,048	0,087
	3	$0,5501 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	$0,631 \cdot 10^{-3}$	0,5879	0,0407	0,132	1,05	0,92	0,023		4,3	0,052	0,088
	4	$0,5177 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,598 \cdot 10^{-3}$	0,5555	0,0407	0,135	1,05	0,92	0,023		4,3	0,058	0,097
	5	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,5177	0,0323	0,138	1	1	0,018		4,3	0,045	0,122
	6	$0,4530 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	0,4854	0,0323	0,32	1	1	0,018		4,3	0,042	0,092
	7	$0,4207 \cdot 10^{-3}$	$0,469 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	0,4584	0,0336	0,37	0,8	1,12	0,19		4,3	0,035	0,091
	8	$0,3721 \cdot 10^{-3}$	$0,436 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,4207	0,0428	0,13	0,75	1,13	0,024		4,3	0,032	0,083
	9	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,3829	0,0407	1,09	0,92	1,05	0,023		4,3	0,034	0,083
	10	$0,3074 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,3290	0,0247	1,09	0,21	0,87	0,014		4,3	0,028	0,103
	11	$302750 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	0,2966	0,0247	0,87	0,21	0,87	0,014		4,3	0,012	0,094
	12	$0,2427 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,275 \cdot 10^{-3}$	0,2696	0,0247	0,57	0,21	1,09	0,014		4,3	0,01	0,044
	13	$0,2103 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	0,2427	0,0280	0,32	0,57	1,15	0,016		4,3	0,022	0,041
	14	$0,1779 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	0,2157	0,0336	0,32	0,8	1,12	0,019		4,3	0,021	0,101

Таблица 22. Продолжение

100	1	$0,9546 \cdot 10^{-3}$	$0,938 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	0,954	0,016	1	1	1	0,009	0,95	4,3	0,04	0,041
	2	$0,8737 \cdot 10^{-3}$	$0,857 \cdot 10^{-3}$	$0,889 \cdot 10^{-3}$	0,873	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,038	0,043
	3	$0,8090 \cdot 10^{-3}$	$0,792 \cdot 10^{-3}$	$0,825 \cdot 10^{-3}$	0,809	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,041	0,05
	4	$0,7119 \cdot 10^{-3}$	$0,695 \cdot 10^{-3}$	$0,728 \cdot 10^{-3}$	0,711	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,042	0,059
	5	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,631 \cdot 10^{-3}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$	0,6472	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,039	0,06
	6	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	$0,598 \cdot 10^{-3}$	0,5825	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,038	0,065
	7	$0,5177 \cdot 10^{-3}$	$0,501 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	0,5177	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,044	0,079
	8	$0,4530 \cdot 10^{-3}$	$0,436 \cdot 10^{-3}$	$0,469 \cdot 10^{-3}$	0,453	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,045	0,085
	9	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,372 \cdot 10^{-3}$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	0,388	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,043	0,086
	10	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,307 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	0,323	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,044	0,094
	11	$0,2589 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,275 \cdot 10^{-3}$	0,258	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,039	0,090
	12	$0,2265 \cdot 10^{-3}$	$0,210 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	0,226	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,04	0,100
	13	$0,1941 \cdot 10^{-3}$	$0,177 \cdot 10^{-3}$	$0,210 \cdot 10^{-3}$	0,194	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,039	0,106
	14	$0,1779 \cdot 10^{-3}$	$0,145 \cdot 10^{-3}$	$0,177 \cdot 10^{-3}$	0,167	0,018	0,577	1,15	0,57	0,010		4,3	0,041	0,122
120	1	$1,1974 \cdot 10^{-3}$	$1,229 \cdot 10^{-3}$	$1,181 \cdot 10^{-3}$	1,202	0,024	0,218	1,09	0,87	0,014	0,95	4,3	0,055	0,045
	2	$1,1326 \cdot 10^{-3}$	$1,165 \cdot 10^{-3}$	$1,148 \cdot 10^{-3}$	1,148	0,016	1	1	0	0,009		4,3	0,058	0,05
	3	$1,1003 \cdot 10^{-3}$	$1,132 \cdot 10^{-3}$	$1,116 \cdot 10^{-3}$	1,116	0,016	1	1	0,49	0,009		4,3	0,061	0,054
	4	$1,0355 \cdot 10^{-3}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$	$1,051 \cdot 10^{-3}$	1,051	0,016	1	1	1,37	0,009		4,3	0,064	0,06
	5	$0,9708 \cdot 10^{-3}$	$0,987 \cdot 10^{-3}$	$1,051 \cdot 10^{-3}$	1,003	0,042	0,755	0,37	0,91	0,024		4,3	0,054	0,053
	6	$0,9061 \cdot 10^{-3}$	$0,922 \cdot 10^{-3}$	$0,938 \cdot 10^{-3}$	0,922	0,016	1	0,48	1,13	0,009		4,3	0,068	0,073
	7	$0,8737 \cdot 10^{-3}$	$0,825 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,836	0,033	1,12	0,32	1	0,019		4,3	0,071	0,084
	8	$0,8414 \cdot 10^{-3}$	$0,760 \cdot 10^{-3}$	$0,776 \cdot 10^{-3}$	0,792	0,042	1,13	0,75	0,8	0,024		4,3	0,062	0,078
	9	$0,7766 \cdot 10^{-3}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,695	0,070	1,14	0,45	0,37	0,40		4,3	0,061	0,087
	10	$0,7119 \cdot 10^{-3}$	$0,598 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	0,641	0,061	1,44	0,70	0,68	0,035		4,3	0,06	0,093
	11	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	0,598	0,042	1,13	0,75	0,44	0,024		4,3	0,054	0,09
	12	$0,6148 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,566	0,042	1,13	0,75	0,37	0,024		4,3	0,051	0,09
	13	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,501 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	0,533	0,042	1,13	0,75	0,37	0,024		4,3	0,049	0,091
	14	$0,5663 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	$0,501 \cdot 10^{-3}$	0,517	0,042	1,13	0,75	0,37	0,024		4,3	0,052	0,100

Площадь поверхности испарения - 0,00515 м<sup>2</sup>

Таблица 23. – Результаты расчёта погрешности измерений для березы

T, °C	№ опыта	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>			$\bar{x}$ , кг	$^n S$ , кг	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	$^n S_{\bar{x}}$ , кг	α	t(α,n)	Δx, кг	δ <sub>x</sub>
		1	2	3										
40	1	0,372·10 <sup>-3</sup>	0,323·10 <sup>-3</sup>	0,355·10 <sup>-3</sup>	0,350	0,024	0,872	1,09	0,22	0,014	0,95	4,3	0,061	0,179
	2	0,339·10 <sup>-3</sup>	0,291·10 <sup>-3</sup>	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,323	0,032	0,999	1,0	0,0006	0,018		4,3	0,062	0,191
	3	0,339·10 <sup>-3</sup>	0,291·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,323	0,032	0,999	1,0	0,0006	0,018		4,3	0,091	0,281
	4	0,291·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,296	0,033	0,800	1,12	0,32	0,019		4,3	0,052	0,175
	5	0,275·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,285	0,024	0,218	1,09	0,87	0,014		4,3	0,061	0,213
	6	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,278	0,021	0,577	1,15	0,57	0,012		4,3	0,055	0,197
	7	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,210·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,259	0,015	0,050	0,97	1,02	0,008		4,3	0,04	0,154
	8	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,177·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,252	0,010	0,577	1,15	0,577	0,006		4,3	0,023	0,091
	9	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,240	0,004	0,577	1,15	0,577	0,002		4,3	0,046	0,191
	10	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,227	0,001	0,577	1,15	0,577	0,001		4,3	0,054	0,237
	11	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,211	0,002	0,577	1,15	0,577	0,001		4,3	0,046	0,217
	12	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,097·10 <sup>-3</sup>	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,206	0,011	0,310	0,80	1,11	0,0065		4,3	0,058	0,28
	13	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,064·10 <sup>-3</sup>	0,097·10 <sup>-3</sup>	0,203	0,008	0,865	0,22	1,09	0,0047		4,3	0,051	0,25
	14	0,090·10 <sup>-3</sup>	0,064·10 <sup>-3</sup>	0,064·10 <sup>-3</sup>	0,191	0,011	0,263	0,84	1,105	0,0068		4,3	0,046	0,240

Таблица 23. Продолжение

60	1	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,652	0,009	0,57	1,15	0,57	0,005	0,95	4,3	0,023	0,035
	2	$0,5501 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	0,577	0,033	0,8	0,32	1,12	0,019		4,3	0,083	0,143
	3	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	0,539	0,049	1,09	0,21	0,87	0,028		4,3	0,075	0,139
	4	$0,4207 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,507	0,049	1,09	0,21	0,87	0,028		4,3	0,095	0,187
	5	$0,4207 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	0,463	0,049	0,87	0,21	1,09	0,028		4,3	0,07	0,15
	6	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	0,442	0,037	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,085	0,192
	7	$0,4045 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,431	0,018	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,05	0,115
	8	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,399	0,018	0,57	0,57	1,15	0,009		4,3	0,046	0,115
	9	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,404	0,016	0,01	1	1	0,019		4,3	0,04	0,098
	10	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	0,350	0,033	0,32	0,8	1,12	0,028		4,3	0,055	0,156
	11	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,312	0,049	0,21	1,09	0,87	0,026		4,3	0,09	0,289
	12	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,296	0,046	0,57	1,15	0,57	0,027		4,3	0,08	0,269
	13	$0,2265 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	0,253	0,033	1,12	0,32	0,8	0,019		4,3	0,083	0,327
	14	$0,2260 \cdot 10^{-3}$	$0,161 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	0,204	0,037	0,57	1,15	0,57	0,021		4,3	0,081	0,395
80	1	$0,9708 \cdot 10^{-3}$	$1,132 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,97	0,161	0,01	1	1	0,093	0,95	4,3	0,1	0,103
	2	$0,8414 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,873	0,085	0,37	1,13	0,75	0,049		4,3	0,105	0,120
	3	$0,7928 \cdot 10^{-3}$	$0,857 \cdot 10^{-3}$	$0,760 \cdot 10^{-3}$	0,803	0,049	0,21	1,09	0,87	0,28		4,3	0,112	0,139
	4	$0,7281 \cdot 10^{-3}$	$0,711 \cdot 10^{-3}$	$0,728 \cdot 10^{-3}$	0,722	0,009	0,57	1,15	0,57	0,005		4,3	0,1	0,138
	5	$0,7119 \cdot 10^{-3}$	$0,711 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	0,701	0,018	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,092	0,131
	6	$0,7443 \cdot 10^{-3}$	$0,695 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,695	0,048	1	0,57	1	0,028		4,3	0,1	0,143
	7	$0,7119 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	0,96	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,062	0,089
	8	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	0,614	0,032	1	0,18	1	0,018		4,3	0,063	0,102
	9	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,560	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,052	0,092
	10	$0,5177 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	0,528	0,009	1,15	0,57	0,57	0,005		4,3	0,044	0,083
	11	$0,4530 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,453	0,032	0,57	1,15	0,57	0,004		4,3	0,025	0,055
	12	$0,4207 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,409	0,018	0,57	1,15	0,57	0,101		4,3	0,028	0,068
	13	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,356	0,018	0,57	1,15	0,57	0,010		4,3	0,021	0,061
	14	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	0,269	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,018	0,066

Таблица 23. Продолжение

100	1	$1,2944 \cdot 10^{-3}$	$0,938 \cdot 10^{-3}$	$1,132 \cdot 10^{-3}$	1,154	0,227	1,04	0,94	0,09	0,131	0,95	4,3	0,115	0,099
	2	$1,0032 \cdot 10^{-3}$	$0,728 \cdot 10^{-3}$	$1,035 \cdot 10^{-3}$	0,997	0,252	0,91	1,06	0,14	0,146		4,3	0,116	0,116
	3	$0,9546 \cdot 10^{-3}$	$0,760 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,943	0,204	1,07	0,89	0,18	0,118		4,3	0,102	0,108
	4	$0,8576 \cdot 10^{-3}$	$0,744 \cdot 10^{-3}$	$0,873 \cdot 10^{-3}$	0,895	0,162	1,05	0,92	0,13	0,094		4,3	0,145	0,161
	5	$0,7281 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,857 \cdot 10^{-3}$	0,825	0,164	0,88	1,08	0,19	0,094		4,3	0,108	0,130
	6	$0,7281 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,798	0,113	0,94	1,04	0,09	0,065		4,3	0,08	0,100
	7	$0,6796 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,695 \cdot 10^{-3}$	0,695	0,145	1	1	0,08	0,084		4,3	0,07	0,100
	8	$0,6148 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	0,620	0,137	1,13	0,74	0,39	0,079		4,3	0,065	0,104
	9	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,587	0,079	1,14	0,67	0,47	0,046		4,3	0,062	0,105
	10	$0,6310 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	0,571	0,049	0,87	1,09	0,22	0,028		4,3	0,061	0,106
	11	$0,5663 \cdot 10^{-3}$	$0,436 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	0,501	0,058	0,83	1,10	0,27	0,033		4,3	0,065	0,129
	12	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	0,485	0,032	1	1	0,29	0,018		4,3	0,089	0,183
	13	$0,5663 \cdot 10^{-3}$	$0,436 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	0,480	0,040	0,13	1,05	0,92	0,023		4,3	0,063	0,131
	14	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,420	0,056	0,57	1,15	0,57	0,032		4,3	0,038	0,09
120	1	$1,7799 \cdot 10^{-3}$	$1,925 \cdot 10^{-3}$	$1,553 \cdot 10^{-3}$	1,752	0,187	0,14	0,92	1,06	0,108	0,95	4,3	0,158	0,090
	2	$1,4886 \cdot 10^{-3}$	$1,796 \cdot 10^{-3}$	$1,488 \cdot 10^{-3}$	1,591	0,177	0,57	1,15	0,57	0,102		4,3	0,155	0,097
	3	$1,3268 \cdot 10^{-3}$	$1,585 \cdot 10^{-3}$	$1,521 \cdot 10^{-3}$	1,499	0,134	1,12	0,8	0,32	0,077		4,3	0,153	0,103
	4	$1,3106 \cdot 10^{-3}$	$1,488 \cdot 10^{-3}$	$1,423 \cdot 10^{-3}$	1,407	0,090	1,07	0,89	0,17	0,052		4,3	0,083	0,058
	5	$1,2135 \cdot 10^{-3}$	$1,294 \cdot 10^{-3}$	$1,165 \cdot 10^{-3}$	1,202	0,033	0,32	0,8	1,12	0,019		4,3	0,065	0,054
	6	$1,0841 \cdot 10^{-3}$	$1,132 \cdot 10^{-3}$	$1,100 \cdot 10^{-3}$	1,127	0,061	0,70	1,14	0,44	0,035		4,3	0,088	0,079
	7	$1,1326 \cdot 10^{-3}$	$0,938 \cdot 10^{-3}$	$1,100 \cdot 10^{-3}$	1,121	0,018	0,57	0,57	1,54	0,010		4,3	0,046	0,041
	8	$1,0679 \cdot 10^{-3}$	$0,841 \cdot 10^{-3}$	$1,100 \cdot 10^{-3}$	1,067	0,032	0,57	1	1	0,018		4,3	0,08	0,074
	9	$0,8576 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	$1,000 \cdot 10^{-3}$	0,933	0,072	1,03	0,07	0,96	0,042		4,3	0,085	0,091
	10	$0,8737 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,884	0,018	0,57	1,14	1,15	0,010		4,3	0,046	0,052
	11	$0,8090 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,841	0,056	0,57	1,15	1,15	0,032		4,3	0,048	0,057
	12	$0,8090 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,787	0,037	0,57	0,57	0,57	0,021		4,3	0,025	0,031
	13	$0,8090 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,755	0,093	0,57	0,57	0,57	0,053		4,3	0,04	0,052
	14	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,528	0,178	0,66	1,14	1,14	0,102		4,3	0,035	0,066

Площадь поверхности испарения - 0,00515 м<sup>2</sup>



Таблица 24. – Результаты расчёта погрешности измерений для осины

T, °C	№ опыта	W <sub>исп</sub> , кг/с*М <sup>2</sup>			$\bar{x}$ , кг	"S, кг	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	"S <sub>x</sub> , кг	α	t(α,n)	Δx, кг	δ <sub>x</sub>
		1	2	3										
40	1	0,2589·10 <sup>-3</sup>	0,275·10 <sup>-3</sup>	0,2427·10 <sup>-3</sup>	0,231	0,024	1,09	0,87	0,21	0,014	0,95	4,3	0,04	0,172
	2	0,2427·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,2427·10 <sup>-3</sup>	0,221	0,024	0,87	1,09	0,21	0,014		4,3	0,035	0,158
	3	0,2265·10 <sup>-3</sup>	0,242·10 <sup>-3</sup>	0,2265·10 <sup>-3</sup>	0,210	0,016	0,99	1	0,01	0,009		4,3	0,031	0,147
	4	0,2103·10 <sup>-3</sup>	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,2103·10 <sup>-3</sup>	0,202	0,022	0,78	1,12	0,33	0,012		4,3	0,032	0,157
	5	0,1941·10 <sup>-3</sup>	0,210·10 <sup>-3</sup>	0,1941·10 <sup>-3</sup>	0,195	0,018	1,03	95	0,08	0,010		4,3	0,033	0,168
	6	0,1779·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,1779·10 <sup>-3</sup>	0,183	0,024	1,09	0,87	0,21	0,014		4,3	0,034	0,185
	7	0,1618·10 <sup>-3</sup>	0,177·10 <sup>-3</sup>	0,1618·10 <sup>-3</sup>	0,181	0,021	1,07	0,90	0,16	0,012		4,3	0,035	0,192
	8	0,1456·10 <sup>-3</sup>	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,1456·10 <sup>-3</sup>	0,170	0,030	1,11	0,82	0,28	0,017		4,3	0,029	0,170
	9	0,1294·10 <sup>-3</sup>	0,145·10 <sup>-3</sup>	0,1294·10 <sup>-3</sup>	0,162	0,028	1,15	0,57	0,57	0,016		4,3	0,028	0,172
	10	0,1132·10 <sup>-3</sup>	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,1136·10 <sup>-3</sup>	0,149	0,035	1,15	0,57	0,57	0,02		4,3	0,018	0,120
	11	0,0970·10 <sup>-3</sup>	0,113·10 <sup>-3</sup>	0,0970·10 <sup>-3</sup>	0,148	0,032	1,15	0,57	0,57	0,018		4,3	0,02	0,135
	12	0,0809·10 <sup>-3</sup>	0,097·10 <sup>-3</sup>	0,0647·10 <sup>-3</sup>	0,135	0,039	1,15	0,57	0,57	0,022		4,3	0,022	0,161
	13	0,0647·10 <sup>-3</sup>	0,080·10 <sup>-3</sup>	0,0485·10 <sup>-3</sup>	0,133	0,035	1,15	0,57	0,57	0,020		4,3	0,021	0,156
	14	0,0647·10 <sup>-3</sup>	0,064·10 <sup>-3</sup>	0,0323·10 <sup>-3</sup>	0,121	0,042	1,15	0,57	0,57	0,024		4,3	0,019	0,156

Таблица 24. Продолжение

60	1	$0,3721 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	0,501	0,016	0,01	1	0,99	0,009	0,95	4,3	0,04	0,079
	2	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	0,469	0,016	0,02	1	0,99	0,009		4,3	0,038	0,080
	3	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,426	0,024	0,87	1,09	0,21	0,014		4,3	0,041	0,096
	4	$0,2427 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,393	0,024	0,87	1,09	0,21	0,014		4,3	0,042	0,106
	5	$0,2103 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	0,361	0,024	0,87	1,09	0,21	0,014		4,3	0,039	0,107
	6	$0,1941 \cdot 10^{-3}$	$0,145 \cdot 10^{-3}$	$0,210 \cdot 10^{-3}$	0,334	0,018	0,57	1,15	0,57	0,010		4,3	0,033	0,098
	7	$0,1779 \cdot 10^{-3}$	$0,161 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,291	0,032	0,01	1	0,99	0,018		4,3	0,032	0,109
	8	$0,1456 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,248	0,032	0,57	0,57	1,15	0,011		4,3	0,031	0,124
	9	$0,1294 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,215	0,018	0,57	0,57	1,15	0,009		4,3	0,03	0,139
	10	$0,1294 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	$0,161 \cdot 10^{-3}$	0,183	0,018	0,57	0,57	1,15	0,013		4,3	0,028	0,152
	11	$0,0970 \cdot 10^{-3}$	$0,097 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	0,171	0,018	1,15	0,57	0,57	0,013		4,3	0,025	0,145
	12	$0,0647 \cdot 10^{-3}$	$0,064 \cdot 10^{-3}$	$0,097 \cdot 10^{-3}$	0,158	0,016	1,15	0,57	0,57	0,016		4,3	0,019	0,119
	13	$0,0647 \cdot 10^{-3}$	$0,064 \cdot 10^{-3}$	$0,097 \cdot 10^{-3}$	0,146	0,022	1,15	0,57	0,57	0,018		4,3	0,018	0,122
	14	$0,0323 \cdot 10^{-3}$	$0,064 \cdot 10^{-3}$	$0,033 \cdot 10^{-3}$	0,139	0,029	1,11	0,31	0,80	0,017		4,3	0,011	0,078
80	1	$0,6796 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	0,631	0,016	0,01	1	1	0,009	0,95	4,3	0,045	0,071
	2	$0,5177 \cdot 10^{-3}$	$0,307 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,598	0,016	0,07	1	1	0,009		4,3	0,048	0,080
	3	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,307 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,566	0,016	0,05	1	1	0,009		4,3	0,052	0,091
	4	$0,4530 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,533	0,016	0,06	1	1	0,009		4,3	0,054	0,101
	5	$0,4207 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,501	0,016	0,04	1	1	0,009		4,3	0,058	0,115
	6	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,458	0,009	1,15	0,57	0,57	0,005		4,3	0,045	0,098
	7	$0,3721 \cdot 10^{-3}$	$0,307 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,415	0,024	0,87	0,22	1,09	0,014		4,3	0,042	0,101
	8	$0,3721 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	0,382	0,024	0,87	0,22	1,09	0,014		4,3	0,035	0,091
	9	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	0,350	0,018	0,87	0,22	1,09	0,014		4,3	0,032	0,091
	10	$0,3074 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	0,302	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,034	0,112
	11	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,296	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,028	0,103
	12	$0,1941 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	$0,161 \cdot 10^{-3}$	0,237	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,024	0,101
	13	$0,2103 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	$0,097 \cdot 10^{-3}$	0,204	0,018	1,15	0,57	0,57	0,010		4,3	0,018	0,087
	14	$0,1779 \cdot 10^{-3}$	$0,032 \cdot 10^{-3}$	$0,064 \cdot 10^{-3}$	0,183	0,018	1,15	1,15	0,57	0,010		4,3	0,022	0,119

Таблица 24. Продолжение

100	1	$0,8252 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,846	0,052	0,41	1,14	0,72	0,03	0,95	4,3	0,04	0,047
	2	$0,7605 \cdot 10^{-3}$	$0,873 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,803	0,061	0,70	1,14	0,44	0,035		4,3	0,0380	0,047
	3	$0,7766 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	$0,744 \cdot 10^{-3}$	0,776	0,032	0,9	1	1	0,018		4,3	0,041	0,052
	4	$0,7119 \cdot 10^{-3}$	$0,776 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	0,733	0,037	0,57	1,15	0,57	0,022		4,3	0,042	0,057
	5	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,744 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	0,690	0,049	0,87	1,09	0,22	0,028		4,3	0,039	0,056
	6	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,614	0,032	1	0,01	1	0,018		4,3	0,038	0,062
	7	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,528	0,049	0,87	0,57	1,09	0,028		4,3	0,044	0,083
	8	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,496	0,018	0,57	0,57	1,15	0,01		4,3	0,045	0,090
	9	$0,4207 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	0,431	0,018	0,57	1	1,15	0,01		4,3	0,043	0,099
	10	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,388	0,032	0,01	0,57	1	0,018		4,3	0,039	0,113
	11	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,345	0,037	0,57	0,57	1,15	0,022		4,3	0,04	0,112
	12	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	0,312	0,037	0,57	0,32	1,15	0,022		4,3	0,039	0,0127
	13	$0,1941 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	0,248	0,067	0,8	0,32	1,12	0,038		4,3	0,041	0,157
	14	$0,1618 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,215	0,067	0,8	0,32	1,12	0,038		4,3	0,042	0,190
120	1	$1,0032 \cdot 10^{-3}$	$1,019 \cdot 10^{-3}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$	1,03	0,033	1,12	0,32	0,8	0,019	0,95	4,3	0,055	0,053
	2	$1,0032 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-3}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$	1,035	0,032	1	0,01	1	0,018		4,3	0,058	0,056
	3	$1,0032 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-3}$	0,992	0,018	0,57	1,15	0,57	0,011		4,3	0,061	0,061
	4	$0,9708 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	0,96	0,018	0,57	1,15	0,57	0,011		4,3	0,064	0,066
	5	$0,9385 \cdot 10^{-3}$	$0,938 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	0,943	0,024	1,09	0,87	0,22	0,014		4,3	0,054	0,057
	6	$0,9223 \cdot 10^{-3}$	$0,922 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,922	0,016	1	1	0,01	0,009		4,3	0,068	0,073
	7	$0,8737 \cdot 10^{-3}$	$0,873 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,895	0,018	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,071	0,079
	8	$0,8737 \cdot 10^{-3}$	$0,873 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,873	0,032	1	1	0,07	0,018		4,3	0,062	0,070
	9	$0,7443 \cdot 10^{-3}$	$0,744 \cdot 10^{-3}$	$0,776 \cdot 10^{-3}$	0,765	0,018	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,061	0,079
	10	$0,7119 \cdot 10^{-3}$	$0,711 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	0,733	0,0677	1,12	0,8	0,32	0,03		4,3	0,06	0,081
	11	$0,6796 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,658	0,018	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,054	0,082
	12	$0,5987 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	0,598	0,016	1	1	0,01	0,009		4,3	0,051	0,085
	13	$0,5501 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	0,55	0,032	1	1	0,08	0,018		4,3	0,049	0,089
	14	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,420	0,085	0,75	1,13	0,37	0,049		4,3	0,052	0,123

Площадь поверхности испарения – 0,00515м<sup>2</sup>

Таблица 25. – Результаты расчёта погрешности измерений для липы

T, °C	№ опыта	W <sub>исп</sub> , кг/с*м <sup>2</sup>			$\bar{x}$ , кг	$^n S$ , кг	g <sub>1</sub>	g <sub>2</sub>	g <sub>3</sub>	$^n S_{\bar{x}}$ , кг	α	t(α,n)	Δx, кг	δ <sub>x</sub>
		1	2	3										
40	1	0,3883·10 <sup>-3</sup>	0,307·10 <sup>-3</sup>	0,323·10 <sup>-3</sup>	0,312	0,009	1,15	0,57	0,57	0,005	0,95	4,3	0,04	0,127
	2	0,3559·10 <sup>-3</sup>	0,291·10 <sup>-3</sup>	0,307·10 <sup>-3</sup>	0,291	0,016	0,99	0,01	1	0,009		4,3	0,035	0,12
	3	0,3236·10 <sup>-3</sup>	0,275·10 <sup>-3</sup>	0,291·10 <sup>-3</sup>	0,279	0,010	1,13	0,37	0,75	0,006		4,3	0,031	0,111
	4	0,3074·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,258·10 <sup>-3</sup>	0,267	0,008	0,95	1,03	0,08	0,004		4,3	0,032	0,119
	5	0,2912·10 <sup>-3</sup>	0,242·10 <sup>-3</sup>	0,242·10 <sup>-3</sup>	0,260	0,002	0,57	0,57	1,15	0,0017		4,3	0,033	0,126
	6	0,2589·10 <sup>-3</sup>	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,226·10 <sup>-3</sup>	0,252	0,008	0,79	1,15	0,33	0,004		4,3	0,034	0,134
	7	0,2427·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,194·10 <sup>-3</sup>	0,240	0,012	0,21	0,08	0,87	0,007		4,3	0,035	0,145
	8	0,2265·10 <sup>-3</sup>	0,177·10 <sup>-3</sup>	0,177·10 <sup>-3</sup>	0,232	0,010	0,57	0,57	1,15	0,006		4,3	0,029	0,124
	9	0,2103·10 <sup>-3</sup>	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,161·10 <sup>-3</sup>	0,220	0,017	0,57	0,57	1,15	0,009		4,3	0,028	0,127
	10	0,1779·10 <sup>-3</sup>	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,129·10 <sup>-3</sup>	0,206	0,020	0,57	0,57	1,15	0,012		4,3	0,029	0,140
	11	0,1294·10 <sup>-3</sup>	0,113·10 <sup>-3</sup>	0,113·10 <sup>-3</sup>	0,203	0,015	0,57	0,57	1,15	0,008		4,3	0,03	0,147
	12	0,1294·10 <sup>-3</sup>	0,080·10 <sup>-3</sup>	0,080·10 <sup>-3</sup>	0,189	0,019	0,57	0,57	1,15	0,011		4,3	0,031	0,149
	13	0,1132·10 <sup>-3</sup>	0,064·10 <sup>-3</sup>	0,064·10 <sup>-3</sup>	0,180	0,019	0,11	0,93	1,05	0,011		4,3	0,033	0,183
	14	0,0970·10 <sup>-3</sup>	0,048·10 <sup>-3</sup>	0,048·10 <sup>-3</sup>	0,179	0,018	0,08	0,95	1,04	0,010		4,3	0,029	0,161

Таблица 25. Продолжение

60	1	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,048 \cdot 10^{-3}$	$0,404 \cdot 10^{-3}$	0,469	0,016	1	1	0,01	0,009	0,95	4,3	0,04	0,085
	2	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,436	0,016	1	1	0,57	0,009		4,3	0,038	0,086
	3	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,372 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,409	0,009	0,57	1,15	0,57	0,005		4,3	0,041	0,1
	4	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,372 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	0,382	0,009	1	0,57	1,15	0,005		4,3	0,042	0,109
	5	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	0,355	0,016	1	0,57	1	0,009		4,3	0,039	0,109
	6	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	0,323	0,016	0,57	0,57	1	0,009		4,3	0,038	0,117
	7	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,302	0,009	0,57	0,57	1,15	0,005		4,3	0,044	0,145
	8	$0,3398 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	0,285	0,009	0,57	0,57	1,15	0,005		4,3	0,045	0,157
	9	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,307 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	0,269	0,009	0,57	0,57	1,15	0,005		4,3	0,043	0,159
	10	$0,2912 \cdot 10^{-3}$	$0,307 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	0,253	0,009	0,57	0,57	1,15	0,005		4,3	0,044	0,173
	11	$0,2589 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,237	0,009	0,57	0,57	1,15	0,005		4,3	0,039	0,164
	12	$0,2589 \cdot 10^{-3}$	$0,242 \cdot 10^{-3}$	$0,161 \cdot 10^{-3}$	0,221	0,009	0,57	0,57	1,15	0,005		4,3	0,04	0,180
	13	$0,2103 \cdot 10^{-3}$	$0,145 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	0,210	0,015	0,57	1	1	0,009		4,3	0,039	0,185
	14	$0,1618 \cdot 10^{-3}$	$0,129 \cdot 10^{-3}$	$0,097 \cdot 10^{-3}$	0,194	0,016	0,57	1	1	0,009		4,3	0,041	0,211
80	1	$0,8090 \cdot 10^{-3}$	$0,809 \cdot 10^{-3}$	$0,744 \cdot 10^{-3}$	0,787	0,037	0,57	0,57	1,15	0,021	0,95	4,3	0,045	0,057
	2	$0,7281 \cdot 10^{-3}$	$0,695 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,690	0,040	0,92	0,13	1,05	0,023		4,3	0,048	0,069
	3	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,598 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	0,598	0,016	1	0,01	1	0,009		4,3	0,052	0,086
	4	$0,6310 \cdot 10^{-3}$	$0,598 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	0,614	0,016	1	1	0,03	0,018		4,3	0,054	0,087
	5	$0,6148 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,582	0,032	1	0,02	1	0,05		4,3	0,058	0,099
	6	$0,5825 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	0,571	0,009	1,15	0,57	0,57	0,009		4,3	0,061	0,106
	7	$0,5663 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	0,550	0,016	1	0,01	1	0,005		4,3	0,059	0,107
	8	$0,4692 \cdot 10^{-3}$	$0,469 \cdot 10^{-3}$	$0,485 \cdot 10^{-3}$	0,471	0,009	0,57	0,57	1,15	0,021		4,3	0,064	0,134
	9	$0,5177 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,496	0,037	0,57	0,57	1,15	0,010		4,3	0,055	0,110
	10	$0,4530 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,431	0,018	1,15	0,57	0,57	0,021		4,3	0,048	0,111
	11	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,377	0,037	0,57	0,87	1,15	0,014		4,3	0,04	0,105
	12	$0,3559 \cdot 10^{-3}$	$0,339 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,361	0,024	0,22	1	1,09	0,018		4,3	0,042	0,116
	13	$0,3336 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	0,323	0,032	0,01	0,01	0,05	0,017		4,3	0,039	0,120
	14	$0,3236 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,258 \cdot 10^{-3}$	0,323	0,031	0,03	0,04	1	0,015		4,3	0,041	0,126

Таблица 25. Продолжение

100	1	$1,1326 \cdot 10^{-3}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	1,1	0,032	1	1	0,03	0,018	0,95	4,3	0,04	0,036
	2	$1,0841 \cdot 10^{-3}$	$1,003 \cdot 10^{-3}$	$0,938 \cdot 10^{-3}$	1,05	0,018	1,15	0,57	0,57	0,011		4,3	0,038	0,037
	3	$0,8899 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	$0,873 \cdot 10^{-3}$	0,949	0,018	1,15	0,57	0,57	0,011		4,3	0,041	0,043
	4	$0,8090 \cdot 10^{-3}$	$0,792 \cdot 10^{-3}$	$0,776 \cdot 10^{-3}$	0,884	0,018	1,15	0,57	0,57	0,01		4,3	0,042	0,047
	5	$0,6634 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,819	0,018	1,15	0,57	0,57	0,01		4,3	0,039	0,047
	6	$0,6634 \cdot 10^{-3}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$	0,755	0,018	1,15	0,57	0,81	0,001		4,3	0,038	0,050
	7	$0,6472 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	$0,614 \cdot 10^{-3}$	0,679	0,018	1,15	0,81	0,04	0,01		4,3	0,044	0,064
	8	$0,5501 \cdot 10^{-3}$	$0,663 \cdot 10^{-3}$	$0,647 \cdot 10^{-3}$	0,649	0,018	0,81	1	0,57	0,01		4,3	0,045	0,069
	9	$0,5339 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	0,604	0,018	1	1,15	0,57	0,01		4,3	0,043	0,071
	10	$0,5177 \cdot 10^{-3}$	$0,566 \cdot 10^{-3}$	$0,533 \cdot 10^{-3}$	0,571	0,018	0,57	1,15	0,57	0,11		4,3	0,044	0,076
	11	$0,4530 \cdot 10^{-3}$	$0,517 \cdot 10^{-3}$	$0,453 \cdot 10^{-3}$	0,539	0,024	0,57	1,15	0,21	0,01		4,3	0,039	0,072
	12	$0,3883 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	$0,420 \cdot 10^{-3}$	0,512	0,032	0,57	1,09	0,03	0,11		4,3	0,04	0,078
	13	$0,2265 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,485	0,018	0,87	1	0,094	0,18		4,3	0,039	0,080
	14	$0,1944 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,447	0,056	1	1,04	0,05	0,03		4,3	0,041	0,091
120	1	$1,4563 \cdot 10^{-3}$	$1,440 \cdot 10^{-3}$	$1,488 \cdot 10^{-3}$	1,461	0,024	0,22	0,87	1,09	0,014	0,95	4,3	0,064	0,043
	2	$1,3915 \cdot 10^{-3}$	$1,407 \cdot 10^{-3}$	$1,423 \cdot 10^{-3}$	1,407	0,016	1	1	1	0,009		4,3	0,078	0,055
	3	$1,3592 \cdot 10^{-3}$	$1,326 \cdot 10^{-3}$	$1,375 \cdot 10^{-3}$	1,353	0,024	0,22	1,09	0,87	0,014		4,3	0,075	0,055
	4	$1,3268 \cdot 10^{-3}$	$1,294 \cdot 10^{-3}$	$1,359 \cdot 10^{-3}$	1,326	0,032	1	1	1	0,018		4,3	0,079	0,059
	5	$1,2944 \cdot 10^{-3}$	$1,262 \cdot 10^{-3}$	$1,229 \cdot 10^{-3}$	1,262	0,032	1	1	1	0,018		4,3	0,081	0,064
	6	$1,1974 \cdot 10^{-3}$	$1,197 \cdot 10^{-3}$	$1,165 \cdot 10^{-3}$	1,197	0,032	1	1	1	0,018		4,3	0,082	0,068
	7	$1,1326 \cdot 10^{-3}$	$1,067 \cdot 10^{-3}$	$1,035 \cdot 10^{-3}$	1,143	0,049	1,09	0,22	0,87	0,028		4,3	0,078	0,068
	8	$1,0032 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	$0,970 \cdot 10^{-3}$	1,078	0,037	1,09	0,22	0,57	0,028		4,3	0,084	0,077
	9	$0,7443 \cdot 10^{-3}$	$0,841 \cdot 10^{-3}$	$0,906 \cdot 10^{-3}$	0,992	0,037	1,15	0,57	0,57	0,022		4,3	0,085	0,085
	10	$0,6148 \cdot 10^{-3}$	$0,679 \cdot 10^{-3}$	$0,776 \cdot 10^{-3}$	0,927	0,037	1,15	0,57	0,57	0,022		4,3	0,075	0,080
	11	$0,4854 \cdot 10^{-3}$	$0,550 \cdot 10^{-3}$	$0,582 \cdot 10^{-3}$	0,862	0,037	1,	0,57	0,57	0,022		4,3	0,076	0,088
	12	$0,383 \cdot 10^{-3}$	$0,388 \cdot 10^{-3}$	$0,355 \cdot 10^{-3}$	0,809	0,018	15	1	1	1		4,3	0,074	0,091
	13	$0,2589 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-3}$	$0,323 \cdot 10^{-3}$	0,755	0,037	1	0,57	1,15	0,010		4,3	0,082	0,108
	14	$0,2159 \cdot 10^{-3}$	$0,226 \cdot 10^{-3}$	$0,194 \cdot 10^{-3}$	0,690	0,049	0,57	0,87	1,09	0,028		4,3	0,071	0,102

Площадь поверхности испарения – 0,00515 м<sup>2</sup>

