

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ С.М. КИРОВА»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ И ЗАЩИТЕ  
ВЫПУСКНЫХ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ (ВКР)**

для студентов дневного и заочного отделений по специальности 35.02.04  
Технология комплексной переработки древесины

Методические указания рекомендованы цикловой комиссией специальности 35.02.04  
Технология комплексной переработки древесины  
Утверждены 24 июня 2016 г., протокол №10

Методические указания рассмотрены и одобрены учебно-методическим советом  
факультета СПО  
Протокол №10 от 24 июня 2016 г.

Составитель:

Т.Г. Безбородова, преподаватель высшей категории

Рецензент:

В.Л. Макаров, к.т.н., главный технолог ЗАО Научно-производственное предприятие  
«Биотехпрогресс»

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение.....	4
2. Основные этапы подготовки ВКР.....	5
3. Требования к структуре ВКР.....	6
4. Содержание основных этапов выполнения ВКР.....	6
5. Подготовка к защите и процедура защиты ВКР .....	8
6. Оформление ВКР.....	14
<i>Приложения.....</i>	<i>16</i>

## 1. Введение

В соответствии с Федеральным законом от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» итоговая аттестация завершающая освоение основных профессиональных программ является обязательной и проводится в порядке и форме, которые установлены образовательной организацией, если иное не установлено Федеральным законом.

Положение о порядке проведения государственной итоговой аттестации по образовательным программам среднего профессионального образования в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» (далее СПбГЛТУ, университет), устанавливает правила организации и проведения государственной итоговой аттестации студентов (далее - студенты, выпускники), завершающих освоение имеющих государственную аккредитацию основных профессиональных образовательных программ среднего профессионального образования – программ подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ).

Программа государственной итоговой аттестации выпускников является частью ППССЗ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова» по специальности 35.02.04 Технология комплексной переработки древесины.

Выпускная квалификационная работа (далее – ВКР) является основным видом аттестационных испытаний выпускников, завершающих обучение по программе подготовки специалистов среднего звена.

Выполнение ВКР призвано способствовать систематизации и закреплению полученных обучающимися знаний, умений, практического опыта.

Защита ВКР проводится с целью выявления соответствия уровня и качества подготовки выпускников федеральным государственным стандартам в части требований к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы по специальности и готовности выпускника к профессиональной деятельности.

По своему существу ВКР представляет собой наиболее активную форму обучения, сочетающую самостоятельный всесторонний теоретический анализ отечественной и зарубежной литературы с изучением современной практики работы профильных предприятий, различных форм деятельности, и разработкой рекомендаций по практическому решению, поставленных в работе задач.

Методические указания разработаны с целью информирования студентов о единых требованиях, предъявляемых к написанию и защите ВКР, а также оказания помощи в выборе темы, оформлении ВКР и сопроводительных документов. Кроме того, данные рекомендации предназначены для оказания методической помощи преподавателям, осуществляющим руководство подготовкой к ВКР.

## 2. Основные этапы подготовки ВКР

Выполнение ВКР складывается из следующих основных этапов:

1. Выбор темы ВКР
2. Согласование с руководителем темы ВКР
3. Утверждение темы, руководителя и рецензентов приказом ректора СПбГЛТУ (за месяц до начала преддипломной практики)
4. Составление графика выполнения ВКР
5. Оформление задания на ВКР и утверждение задания председателем ПЦК (за две недели до начала преддипломной практики).
6. Подбор, а также изучение и анализ технической литературы, Интернет-ресурсов по теме работы
7. Подбор материалов по месту прохождения практики (или другой организации), их анализ и обобщение на основе действующих и разрабатываемых методик
8. Обработка собранных данных, в т.ч. компьютерная, и выполнение расчетов
9. Консультации и обсуждение с руководителем возникающих вопросов и материалов по каждому этапу работы
10. Обработка материала ВКР и представление завершенных разделов руководителю для проверки (в сроки, установленные календарным графиком);
11. Последующая доработка разделов, подготовка дополнительных материалов с учетом замечаний руководителя
12. Завершение и техническое оформление ВКР, представление ее руководителю в окончательном варианте не позднее установленного в графике срока
13. Составление отзыва руководителя и передача ВКР рецензенту, утвержденному приказом ректора
14. Подготовка студентом выступления и ответов на замечания рецензента, а также чертежей, таблиц, схем и т.д. к защите ВКР;
15. Представление ВКР со всеми приложениями, а также отзыв и рецензия на подпись руководителю
16. Представление ВКР на подпись председателю ПЦК и заведующему учебной частью
17. Предварительная защита дипломного проекта перед преподавателями ЦК
18. Публичная защита ВКР студентом перед государственной экзаменационной комиссией и ее оценка членами комиссии.

### 3. Требования к структуре выпускной квалификационной работы

3.1 Выпускная квалификационная работа в соответствии с ФГОС СПО выполняется в форме дипломного проекта. Структура выпускной квалификационной работы, а также критерии оценки знаний утверждаются СПбГЛТУ после их обсуждения на заседании ЦК.

По структуре **дипломный проект** состоит из пояснительной записки и графической части. В пояснительной записке дается теоретическое и расчетное обоснование принятых в проекте решений. В графической части принятое решение представлено в виде чертежей, схем, графиков, диаграмм. Структура и содержание пояснительной записки определяются в зависимости от профиля специальности, темы дипломного проекта.

Структурно ВКР должна состоять из следующих составных частей:

- введение;
- теоретическая часть;
- технологическая часть;
- мероприятия по технике безопасности и противопожарной технике;
- охрана окружающей среды;
- экономическая часть;
- заключение, выводы и рекомендации относительно возможностей применения полученных результатов;
- список используемой литературы;
- приложения.

### 4. Содержание основных этапов выполнения ВКР

4.1 **Введение и теоретическая часть** содержат анализ состояния комплексной переработки древесины в Российской Федерации. Дается обоснование выбранной темы и основные экономические предпосылки необходимости выпуска конкретной продукции, реконструкции цеха, модернизации бумагоделательной машины и т.п. Формулируются цели, которые должны быть достигнуты в результате проектирования, ставятся задачи.

Актуальность темы объясняет интерес к ней студента, современность и значимость.

Практическая значимость показывает прикладной характер работы, возможность применения ее результатов на практике.

Задачи исследования в ВКР – это теоретические и практические задачи, которые должны быть конкретизированы, исходя из выбранного предмета исследования.

4.2 **Технологическая** часть содержит требования ГОСТ или ТУ к выпускаемой продукции, исходному сырью и химикатам. Кроме этого предусмотрен расчет основных и вспомогательных материалов.

В технологическом разделе предусматривается описание технологического процесса производства на базе современного

оборудования, расчет производительности и потребного количества оборудования. Разработка технологического процесса включает составление технологической схемы, выбор режимов и организацию технического контроля на всех этапах производства.

Наряду с вышеуказанным производятся расчеты силовой электроэнергии, воды и пара на технологические нужды.

**4.3 Мероприятия по технике безопасности и противопожарной технике** содержат общие мероприятия по производственной санитарии промышленных зданий, а также мероприятия по обеспечению безопасных условий труда на данном участке предприятия. Кроме того на предприятиях по комплексной переработке древесины большое внимание уделяется противопожарной защите и мерам предотвращения возгараний.

**4.4 Охрана окружающей среды.** Предприятия представляют собой источник загрязнения атмосферного воздуха и образования загрязненных сточных вод. Для устранения вредных факторов должны быть разработаны мероприятия для очистки и нейтрализации сточных вод и выбросов в окружающую среду.

**4.5 Экономическая часть** включает разделы, связанные с расчетом капиталовложений, расчет себестоимости продукции, а также определение экономической эффективности и срок окупаемости строительства данного производства и расчеты зарплат основного состава смены.

**4.6 Заключение, выводы и рекомендации.** В *Заключении* в сжатой форме отражаются основные выводы и предложения как теоретического, так и практического характера, полученные в результате написания дипломного проекта. Наиболее ценные выводы и рекомендации должны излагаться кратко без подробного обоснования. Основным показателем эффективности дипломного проекта может служить срок окупаемости реконструируемого объекта или строительство нового предприятия.

**4.7 Информационными источниками** для написания ВКР служат: отечественная и зарубежная литература (книги, брошюры, журнальные и газетные статьи), ведомственные нормативно-правовые акты (законы, указы, постановления, инструкции, положения и т.д.), периодические статистические отчеты и сборники, материалы производственной и преддипломной практик, материалы internet.

**Список литературы** помещается после основного текста работы. В список литературы включаются только те источники, которые реально использовались при подготовке ВКР. Рекомендуется в работе использовать от 8-10 литературных источников, не считая материалов internet.

Целесообразно располагать используемые источники в следующей последовательности: законы, указы, постановления, ведомственные документы, ГОСТы (инструкции, положения, письма, приказы, методические указания и т.п.), книги и статьи из периодики на русском языке, книги и статьи на иностранном языке, интернет-источники (с указанием даты

обращения). Все указанные материалы располагают по алфавиту фамилий авторов и заглавий с учетом последующих вторых, третьих и т.д. букв, адреса интернет-источников указываются последними. Нумерация документов в списке литературы должна быть сплошной - от первого до последнего названия. Библиографическое описание каждого источника составляется по определенной схеме и состоит из ряда обязательных элементов в соответствии с существующим ГОСТом. В тексте ВКР должны присутствовать ссылки на литературные источники, указанные в списке литературы.

**Приложения** включают в себя в основном крупные таблицы, графики, схемы, чертежи, диаграммы, ценные выписки из методических документов, применяемых в организациях – базах практики, а также другие интересные вспомогательные материалы по теме исследования. Особую ценность представляют таблицы, схемы и т.д., являющиеся результатом самостоятельной разработки дипломника. При этом, если таблица достаточно невелика, ее лучше поместить в основной текст дипломной работы.

## **5. Подготовка к защите и процедура защиты ВКР**

Государственная итоговая аттестация по специальности **35.02.04 Технология комплексной переработки древесины** включает подготовку и защиту выпускной квалификационной работы. Обязательное требование - соответствие тематики выпускной квалификационной работы содержанию одного или нескольких профессиональных модулей.

Форма государственной итоговой аттестации: защита выпускной квалификационной работы в виде дипломного проекта (ДП).

Объем времени на подготовку и проведение:

- выполнение дипломного проекта – 4 недели
- защита дипломного проекта – 2 недели

Сроки проведения – по утвержденному графику, в соответствии с учебным планом специальности 35.02.04 Технология комплексной переработки древесины.

Дипломный проект представляет собой законченную квалификационную работу, содержащую результаты самостоятельной деятельности студента в период преддипломной практики и дипломного проектирования в соответствии с утвержденной темой.

Требования к дипломному проекту в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования ППССЗ:

- дипломный проект представляет собой квалификационную работу, содержащую совокупность результатов, выдвигаемых

автором для защиты, имеющую внутреннее единство, свидетельствующее о способности автора находить технические решения, используя теоретические знания и практические навыки;

- дипломный проект должен содержать обоснование выбора темы, её актуальность, обзор опубликованной литературы по выбранной теме, изложение полученных результатов, их анализ и обсуждение, выводы, список использованной литературы и содержание;
- дипломный проект должен показать умение автора кратко, лаконично и аргументированно излагать материал, его оформление должно соответствовать правилам оформления, принятым в СПбГЛТУ на основе требований ЕСКД.

Требования к содержанию, объему и оформлению дипломного проекта по каждой специальности определяются предметными (цикловыми) комиссиями и утверждаются методическим советом факультета СПО.

Тематика дипломных проектов по специальностям среднего профессионального образования базового уровня определяется содержанием образования, обеспечивающим основную квалификацию на основании федерального государственного образовательного стандарта базового уровня.

Примерная тематика дипломных проектов определяется ведущими преподавателями по профилю специальности факультета СПО СПбГЛТУ совместно со специалистами предприятий и организаций, заинтересованных в сотрудничестве, и рассматривается на заседании выпускающей предметной (цикловой) комиссии. Темы дипломных проектов должны отвечать современным требованиям развития науки, техники, производства, экономики, культуры и образования.

Для подготовки выпускной квалификационной работы каждому студенту назначается руководитель от факультета или от предприятия (организации), на котором студент проходил преддипломную практику.

Основными функциями руководителя дипломного проекта являются:

- руководство разработкой индивидуальных заданий по подготовке и выполнению дипломного проекта;
- консультирование по вопросам содержания и последовательности выполнения дипломного проекта (назначение и задачи, структура и объем работы, принципы разработки и оформления, примерное распределение времени на выполнение отдельных частей выпускной квалификационной работы);
- оказание помощи студенту в подборе необходимой литературы;
- контроль за ходом выполнения дипломного проекта;
- подготовка письменного отзыва на дипломный проект.

По утвержденным темам руководители ДП (дипломных проектов) разрабатывают индивидуальные задания для каждого студента. Задания на ДП рассматриваются на выпускающей предметной (цикловой) комиссии, подписываются руководителем ДП и утверждаются руководителем образовательной программы. Задания на ДП выдаются студенту не позднее, чем за две недели до начала преддипломной практики.

Закрепление за студентом темы дипломного проекта, руководителя и рецензента оформляется приказом ректора СПбГЛТУ не позднее, чем за месяц до начала преддипломной практики.

В отдельных случаях допускается выполнение ДП группой студентов. При этом индивидуальные задания выдаются каждому студенту.

Курсовой проект может быть использован в качестве составной части (раздела, главы) выпускной квалификационной работы.

Общее руководство и контроль за ходом выполнения дипломного проектирования осуществляют декан факультета и председатель соответствующей выпускающей предметной (цикловой) комиссии.

ДП могут выполняться обучающимися как в образовательном учреждении, так и на предприятии (организации).

Дипломные проекты, выполненные по завершении ППСЗ, подлежат рецензированию.

В организации дипломного проектирования можно выделить следующие основные этапы:

- выбор темы дипломного проекта и ее согласование с руководителем дипломного проекта;
- составление задания по дипломному проекту, согласование с руководителем ДП и председателем цикловой комиссии по специальности, утверждение руководителем образовательной программы;
- разработка и оформление материалов дипломного проекта;
- получение отзыва от руководителя дипломного проекта и рецензии от рецензента;
- предварительная защита дипломного проекта;
- защита дипломного проекта перед членами ГЭК.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, графических материалов, установленных заданием на дипломное проектирование. Состав, объем и структурное построение проекта зависят от специфики темы. Для обеспечения единства требований к квалификационной работе, студенты пользуются методическими указаниями по дипломному проектированию и методическими рекомендациями «Требования к оформлению студенческих работ».

Выпускные квалификационные работы должны быть выполнены в строгом соответствии с требованиями к выполнению текстовых документов, подписаны в соответствии с требованиями, установленными в СПбГЛТУ, на факультете СПО, содержать приложения, раскрывающие и дополняющие тему дипломного проекта.

Защита дипломного проекта является обязательным испытанием, включаемым в Государственную итоговую аттестацию всех выпускников, завершающих обучение по ППССЗ.

Защита дипломного проекта проводится с целью выявления готовности выпускника к профессиональной деятельности и самостоятельной работе, соответствия уровня и качества подготовки выпускников федеральному государственному образовательному стандарту среднего профессионального образования в части государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников.

### **Порядок проведения защиты дипломного проекта**

1. Форма и условия проведения аттестационных испытаний, входящих в государственную итоговую аттестацию, доводятся до сведения обучающихся не позднее, чем за пять месяцев до начала итоговой аттестации. Студентам создаются необходимые условия для подготовки, включая консультации.

2. Расписание проведения государственной итоговой аттестации выпускников утверждается деканом факультета СПО и доводится до сведения студентов не позднее, чем за 2 недели до начала работы государственной экзаменационной комиссии.

3. Решение о допуске дипломного проекта к защите в ГЭК принимается на заседании ПЦК при наличии положительного отзыва руководителя дипломного проекта и рецензии, на титульном листе ДП проставляется виза председателя выпускающей ПЦК. В случае если ДП серьезно нарушает требования, предъявляемые к его оформлению и содержанию, не имеет отзыв и (или) рецензию, то на заседании ПЦК может быть принято отрицательное решение о допуске ВКР к защите.

К защите выпускной квалификационной работы (проекта) допускаются лица, завершившие полный курс обучения по ППССЗ и успешно прошедшие все предшествующие аттестационные испытания, предусмотренные учебным планом или индивидуальным учебным планом, и выполнившие ДП. Приказ о допуске обучающихся к защите ДП утверждается ректором университета.

До начала работы комиссии технический секретарь ГЭК проверяет наличие следующих документов, необходимых для работы комиссии:

- приказ о допуске к защите ВКР;
- пояснительная записка к ДП в сброшюрованном виде с визой заведующего отделением деканата ФСПО;
- графические материалы, установленные заданием на дипломное проектирование;
- отзыв руководителя ДП;
- рецензия на ДП.

В случае отсутствия каких-либо документов из указанного перечня студент может быть не допущен к защите ДП в ГЭК, что оформляется соответствующим протоколом заседания комиссии.

На защите ДП студент может дополнительно предоставить отчеты о предшествующих достижениях, дополнительные сертификаты, свидетельства (дипломы) олимпиад, конкурсов, творческие работы по специальности, характеристики с мест прохождения преддипломной практики.

4. Устанавливается следующая процедура защиты ДП:

- устное сообщение автора ДП (не более 10-15 минут);
- вопросы членов ГЭК и присутствующих на защите;
- зачитывается отзыв руководителя ДП;
- зачитывается отзыв рецензента ДП;
- ответы автора ДП на вопросы и замечания.

5. Оценка за ДП выставляется ГЭК с учетом предложений рецензента и мнения руководителя ДП. При оценке ДП учитываются:

- содержание работы;
- ее оформление;
- характер защиты.

6. В отзыве руководителя ДП необходимо:

- определить степень самостоятельности студента в поиске и систематизации материала, методике его анализа;
- оценить полноту раскрытия темы студентом;
- установить уровень профессиональной подготовки выпускника, освоение им комплекса теоретических знаний и практических навыков по избранной специальности;
- сделать вывод о возможной защите данной ДП в ГЭК.

Отзыв завершает вывод о соответствии работы основным требованиям, предъявляемым к ДП.

7. Рецензирование дипломных проектов.

Выполненные дипломные проекты рецензируются специалистами из числа работников образовательных учреждений, организаций, предприятий, владеющих вопросами, связанными с тематикой дипломных проектов.

Рецензия должна включать:

- заключение о соответствии содержания дипломного проекта заявленной теме;
- оценку качества выполнения каждого раздела дипломного проекта;
- оценку степени разработки поставленных вопросов, теоретической и практической значимости проекта;
- общую оценку дипломного проекта.

Рецензия предоставляется на факультет СПО не позднее, чем за неделю до защиты дипломного проекта.

Внесение изменений в дипломный проект после получения рецензии не допускается.

**Подготовка студента к защите состоит из следующих этапов:**

Провести предварительную защиту перед преподавателями ЦК и учесть их замечания при подготовке к основной защите

Составить короткий (на 7-10 минут) доклад, в котором отразить актуальность и практическое значение выбранной темы, самостоятельно выполненные работы, соответствующие им основные результаты (выводы и предложения) исследования, их краткое обоснование, теоретическое и практическое значение. Доклад должен быть логичным и последовательным по содержанию. В него целесообразно для доказательности основных положений проведенного исследования включить наиболее важные цифры, формулы, примеры из практики.

Продумать ответы на замечания руководителя и рецензента. Возможны различные варианты ответов:

- согласие с замечаниями,
- возражение с обоснованием, обещание учесть в дальнейшей работе, извинение за допущенную небрежность,
- отклонение замечания (например, данный вопрос не был рассмотрен, поскольку не входит в поставленные в данной дипломной работе задачи исследования; текст неверно понят руководителем, рецензентом),
- разъяснение (ограниченный объем работы не позволяет рассмотреть данный вопрос и т.д.).

Защита ВКР проводится на открытом заседании государственной экзаменационной комиссии (ГЭК). Заседания ГЭК протоколируются.

На защиту одной ВКР отводится не более 30 минут. Процедура защиты устанавливается председателем ГЭК по согласованию с членами комиссии и, как правило, включает доклад обучающегося (не более 10 – 15 минут), чтение отзыва и рецензии, вопросы членов комиссии, ответы обучающегося. Может быть предусмотрено выступление руководителя ВКР, а также рецензента.

При защите выпускной квалификационной работы выпускник должен показать:

- уровень освоения теоретического материала, предусмотренного учебными программами дисциплин и профессиональных модулей;
- уровень освоения общих и профессиональных компетенций;
- уровень знаний по теме дипломного проекта;
- обоснованность, четкость и грамотность выступления.

При определении окончательной оценки по защите ВКР учитываются:

- доклад выпускника по каждому разделу выпускной квалификационной работы;
- ответы на вопросы;
- оценка рецензента;
- отзыв руководителя.

## 6. Оформление ВКР

ВКР выполняется на компьютере в одном экземпляре и оформляется только на лицевой стороне белой бумаги. Объем ВКР не менее 40 страниц машинописного текста при соблюдении следующих требований по оформлению:

- **размер бумаги** стандартного формата А4 (210 x 297 мм )
- **поля:** левое – 30 мм , верхнее – 20 мм, правое – 10 мм, нижнее – 20 мм.
- **ориентация:** книжная
- **шрифт:** TimesNewRoman.
- **кегель:** - 14 пт (пунктов) в основном тексте, 12 пт в сносках
- **междустрочный интервал:** полуторный в основном тексте, одинарный в подстрочных ссылках
- **расстановка переносов** – автоматическая
- **форматирование основного текста и ссылок** – в параметре «по ширине»
- **цвет шрифта** – черный
- **красная строка** – 1,5 см

Задание и график выполнения ВКР – в *Приложении №1*.

Титульные листы дипломной работы и пояснительной записки к дипломному проекту представлены в *Приложении №2*.

Руководитель контролирует ход выполнения ВКР в соответствии с планом-графиком; рекомендует студенту необходимую литературу, а также справочные материалы; интернет-ресурсы по теме дипломного проекта; принимает решение о готовности ВКР к предварительной и окончательной защите дипломного проекта и пишет отзыв на утвержденном бланке с заключением о соответствии ВКР заданию на дипломное проектирование (*Приложение №3*).

Дипломные проекты подлежат обязательному рецензированию высококвалифицированными специалистами университета или сторонних организаций, предприятий, учебных заведений. Рецензия оформляется на утвержденном бланке (*Приложение №4*).

В рецензии отражаются вопросы: соответствия содержания ВКР заданию, актуальность темы дипломного проекта, технические решения и расчеты, а также практическая ценность представленных в ВКР решений и разработок.

Все ВКР подлежат нормоконтролю, который выявляет наличие необходимых подписей, наличие структурных элементов ВКР в соответствии с заданием, наличие графического материала и соответствие оформления текстовой части ВКР стандартам. Обязательно наличие подписи нормоконтролера на титульном листе и в строках основных надписей пояснительной записки и чертежей.

Руководитель ВКР и рецензент оценивают ВКР по четырехбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» и дают рекомендацию о присуждении дипломнику квалификации техник-технолог по специальности «Технология комплексной переработки древесины».

Выпускная квалификационная работа должна быть сшита в специальной папке. При этом отзыв и рецензия вкладываются в пояснительную записку, но не вшиваются.

Пример расчета сушильной части бумагоделательной машины приведен в *Приложение №5*.

**Пример листа задания  
на выпускную квалификационную работу**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени С.М. КИРОВА»  
факультет среднего профессионального образования  
«Колледж автоматизации лесопромышленного производства»

**УТВЕРЖДЕНО**

на заседании Цикловой комиссии  
35.02.04. Технология комплексной  
переработки древесины

Руководитель образовательной программы

\_\_\_\_\_ А.Б. Шишилянникова  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ НА ДИПЛОМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Студенту группы Т – 311

Специальность: 35.02.04 Технология комплексной переработки древесины

ФИО: \_\_\_\_\_

Санкт-Петербург

201\_\_\_\_

Тема дипломного проекта:

--

## Перечень вопросов, подлежащих разработке

### А. Содержание пояснительной записки

1. Введение  
Обоснование и актуальность выбранной темы
2. Теоретическая часть
3. Технологическая часть
4. Экономическая часть
5. Охрана труда на предприятии
6. Список используемой литературы
7. Приложения

### Б. Графическая часть

Наименование чертежа	Формат	Количество листов
1. Схема	A1	
2. Чертеж	A2	

### Дополнительные указания

При прохождении преддипломной практики на предприятии

---

---

Необходимо собрать материал:

---

---

---

Срок окончания дипломного проекта « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.

Руководитель проекта:

\_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /

Дата выдачи задания на дипломное проектирование

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201 \_\_\_\_ г.

**Пример титульного листа пояснительной записки дипломного проекта**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова»  
Факультет среднего профессионального образования  
«Колледж автоматизации лесопромышленного производства»*

## ***Дипломный проект***

**Тема:**

*Пояснительная записка*

*ДП00.00000.000.00 ПЗ*

*Дипломник*

*Руководитель  
дипломного проекта*

*Консультант  
экономической части*

*Нормоконтроль*

*Рецензент*

*Председатель цикловой комиссии*

*К защите допущен  
зав. отделением деканата*

20\_\_

**Пример бланка отзыва**

*титульная сторона*

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М.Кирова»  
факультет среднего профессионального образования  
«Колледж автоматизации лесопромышленного производства»

**ОТЗЫВ**

На дипломный проект студента

\_\_\_\_\_ (Ф.И.О. студента)

Специальность 35.02.04 Технология комплексной переработки древесины

Наименование темы дипломного проекта

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Отзыв должен содержать: а) заключение о степени соответствия выполненного дипломного проекта дипломному заданию; б) характеристику студента выполненного проект, уровень его квалификации и самостоятельности; в) оценку качества выполнения графической части проекта и пояснительной записки; г) перечень положительных качеств проекта и его основных недостатков. Общая оценка проекта дается по пятибалльной системе.

*оборотная сторона*

Проект заслуживает оценки « \_\_\_\_\_ »

Место работы и должность руководителя проекта:

\_\_\_\_\_

Ф.И.О. руководителя проекта \_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Пример бланка рецензии**

*титульная сторона*

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова»  
факультет среднего профессионального образования  
«Колледж автоматизации лесопромышленного производства»

**РЕЦЕНЗИЯ**

На дипломный проект студента

---

(Ф.И.О. студента)

Специальность 35.02.04 Технология комплексной переработки древесины

Наименование темы дипломного проекта

---

---

Отзыв должен содержать: а) заключение о степени соответствия выполненного дипломного проекта дипломному заданию; б) характеристику студента выполненного проект, уровень его квалификации и самостоятельности; в) оценку качества выполнения графической части проекта и пояснительной записки; г) перечень положительных качеств проекта и его основных недостатков. Общая оценка проекта дается по пятибалльной системе.

*оборотная сторона*

Проект заслуживает оценки « \_\_\_\_\_ »

Место работы и должность рецензента:

---

Ф.И.О. рецензента \_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

## Расчет сушильной части бумагоделательной машины

Определение числа сушильных цилиндров и сушильной поверхности

Для определения необходимой поверхности сушильных цилиндров пользуются методом удельных съёмов воды  $W_1$  в сушильной части (кг/ч), испаренной с  $1 \text{ м}^2$  поверхности контакта бумаги с сушильными цилиндрами (рабочей поверхности сушильной части).

$$W_1 = RP_1 = \frac{T_k - T_n}{T_n} \cdot \frac{60 \cdot v \cdot q}{l_1} = \frac{T_k - T_n}{T_n} \cdot \frac{60 \cdot v \cdot q}{\pi d n \alpha} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

где  $R$  – количество воды, испаряемой на сушильной части, приходящееся на 1 кг высушенной бумаги, кг;

$P_1$  – съём бумаги с  $1 \text{ м}^2$  греющей поверхности, кг/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ );

$l_1$  – длина бумажного полотна, находящегося на сушильных цилиндрах, то есть сумма длин дуг сушильных цилиндров, обхваченных бумагой (определяется аналитическим методом подсчета), м.

Число бумагосушильных цилиндров

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot q (T_k - T_n)}{\pi d \alpha T_n W_1} = 19,1 \cdot \frac{v \cdot q (T_k - T_n)}{d \alpha T_n W_1},$$

где  $v$  – скорость бумаги на накате, м/мин;

$q$  – масса  $1 \text{ м}^2$  вырабатываемой бумаги, кг;

$T_k$  – конечная сухость бумаги (после сушильной части), %;

$T_n$  – начальная сухость бумаги (перед сушильной частью), %;

$d$  – диаметр бумагосушильных цилиндров, м;

$\alpha$  – коэффициент обхвата сушильных цилиндров бумагой (обычно  $\alpha = 0,60 \div 0,67$  [1]).

В табл. 1 приведены нормы удельного съема воды с рабочей сушильной поверхности.

Рабочая  $F_p$  и боковая поверхности  $F_0$  бумагосушильных цилиндров определяются по формулам

$$F_p = b l_1 = b \pi d n \alpha \text{ м}^2, \quad F_0 = \pi d n L = \frac{F_p}{K} \text{ м}^2,$$

где  $b$  – необрезная ширина бумаги на накате, м;

$L$  – длина бумагосушильного цилиндра, м;

$K$  – соотношение между общей рабочей и боковой поверхностью сушильных цилиндров ( $K = 0,57 \div 0,64$ ).

Число сукносушильных цилиндров  $n_1$  (при одинаковом диаметре с бумагосушильными цилиндрами) определяется из выражения:

$$n_1 = \frac{\varphi}{100} \cdot n,$$

где  $\varphi$  – отношение боковой поверхности сукносушильных цилиндров к боковой поверхности бумагосушильных цилиндров, %.

Этот коэффициент берется из справочных материалов [1] и для быстроходных машин, вырабатывающих массовые виды бумаги, составляет 25–30%. Количество сукносушильных цилиндров должно быть кратным числу сушильных групп по сукнам.

Разбивка сушильных цилиндров по группам производится в зависимости от вида вырабатываемой бумаги и степени ее усадки [2], причем количество групп по приводу обычно бывает вдвое меньше количества групп по сушильным сукнам, так как одна приводная группа включает обычно два сушильных сукна – верхнее и нижнее.

### Расход тепла и пара на сушку бумаги

Расчет расхода тепла на сушку бумаги ведут на 1 ч или на 1 т вырабатываемой продукции. Общий расход тепла на сушку складывается из полезного расхода тепла  $Q_{\text{пол}}$  и тепловых потерь в окружающее пространство  $Q_{\text{пот}}$ .

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} \text{ кДж/ч.}$$

Полезный расход тепла на сушку бумаги можно определить по формуле

$$Q_{\text{пол}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = GC(t_k - t_n) + W_n C_v(t_k - t_n) + W(i - C_v \cdot t_c) \text{ кДж/ч,}$$

где  $Q_1$  – количество тепла для нагрева абсолютно сухого волокна, находящегося в воздушносухой бумаге, кДж/ч;

$Q_2$  – количество тепла для нагрева воды, в мокром полотне, поступающем на сушку, кДж/ч;

$Q_3$  – количество тепла, необходимое для испарения воды из воздушносухой бумаги, кДж/ч;

$G$  – масса абсолютно сухой бумаги, кг/ч;

$C$  – теплоемкость абсолютно сухой бумаги, кДж/(кг·град) (для бумаги  $C=1,22 \div 1,30$  кДж/ кг·град);

$t_n, t_k$  – температура бумаги перед и после сушильной части;

$W_n$  – масса воды в мокром полотне бумаги, поступающей на сушку, кг/ч;

$C_v$  – теплоемкость воды, кДж/(кг·град) (для воды  $C_v = 4,19$  кДж/(кг·град));

$t_c$  – средняя температура сушки (практически можно принять  $t_k \approx t_c$ );

$W$  – количество воды, испаряемой из бумаги, кг/ч;

$i$  – теплосодержание пара, удаляемого из бумаги, при средней температуре сушки, кДж/кг.

Тепловые потери  $Q_{\text{пот}}$  определяют по формуле

$$Q_{\text{пот}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} \text{ кДж/ч,}$$

где  $q_1, q_2$  – потери тепла свободными участками бумажного полотна и сушильных волокон;

$q_3, q_4$  – потери тепла днищами бумагосушильных и сукносушильных цилиндров;

$q_5, q_6$  – потери тепла открытой боковой поверхностью бумагосушильных и сукносушильных;

$q_7$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых бумагой и сукном;

$q_8$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых бумагой, но не покрытых сукном;

$q_9$  – потери тепла боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров, покрытых сукном, но не покрытых бумагой;

$q_{10}$  – потери тепла боковой поверхностью сукносушильных цилиндров, покрытых сукном.

Все эти потери определяются по известным формулам тепловых расчетов с учетом величины излучающей тепло поверхности, разности температур и коэффициентов теплопередачи или теплоотдачи, которые подсчитывают для каждого случая отдельно.

Для примера определим количество необходимого тепла и пара для сушки газетной бумаги ( $q = 0,051$  кг/м<sup>2</sup>), вырабатываемой на бумагоделательной машине с обрезной шириной бумаги 6720 мм (машина имеет закрытый вентиляционный колпак).

Для расчета примем следующие показатели работы машины.

Часовая выработка бумаги брутто  $P = 60 \cdot b \cdot v \cdot q = 60 \cdot 6,77 \cdot 800 \cdot 0,051 = 16573$  кг или  $16573 \cdot 0,92 = 15247$  кг абсолютно сухого вещества.

Начальная сухость бумаги перед сушкой  $T_n = 40\%$ .

Конечная сухость бумаги после сушки  $T_k = 92\%$ .

Поступает на сушку влаги с бумагой

$$W_n = 15247 \cdot \frac{100-40}{40} = 22870 \text{ кг/ч.}$$

Уходит влаги с воздушносухой бумагой

$$W_k = 15247 \cdot \frac{100-92}{92} = 1326 \text{ кг/ч.}$$

Испаряется воды при сушке

$$W = 22870 - 1326 = 21544 \text{ кг/ч.}$$

Количество бумагосушильных цилиндров на машине 60, количество сукносушильных цилиндров 12.

Подсчитаем полезный расход тепла на сушку бумаги

$$\begin{aligned}
Q_{\text{пол}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\
&= 15247 \cdot 1,26(85 - 40) + 22870 \cdot 4,19(85 - 40) \\
&+ 21544(2648,5 - 4,19 \cdot 80) \\
&= 864\,505 + 4\,312\,138 + 49\,837\,735 = 55014378 \text{ кДж/ч},
\end{aligned}$$

$$\text{или } \frac{55\,014\,378}{16\,573} = 3320 \text{ кДж/кг}$$

### Потери тепла

#### 1. Свободными участками бумажного полотна

$$q_1 = F_6 \cdot \alpha \cdot (t_6 - t_B) \text{ кДж/ч},$$

где  $F_6$  – поверхность свободных участков бумажного полотна с двух сторон,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи бумаги воздуху  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ;

$t_6$  – средняя температура полотна бумаги на свободных участках, равная средней температуре сушки;

$t_B$  – температура окружающего воздуха.

Площадь свободных участков бумаги равна

$$F_6 = 2lbn,$$

где  $l$  – длина свободного участка бумаги между цилиндрами (составляет 1,1–1,2 м для сушильного цилиндра диаметром 1,5 м);

$b$  – ширина бумажного полотна (условно принимается равной необрезной ширине бумаги на накате);

$n$  – количество свободных участков (принимается равным количеству сушильных цилиндров).

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  может быть определен по эмпирической формуле

$$\alpha = 5,58 + 3,95v \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $v$  – скорость машины,  $\text{м/с}$ .

$$\alpha = 5,58 + 3,95 \frac{800}{60} = 5,58 + 52,67 = 58,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_1 = 2 \cdot 1,2 \cdot 6,77 \cdot 60 \cdot 58,25(80 - 70) = 974,88 \cdot 58,25 \cdot 10 = 567868 \text{ Вт}$$

$$\text{или } 567868 \cdot 3,6 = 2044325 \text{ кДж/ч}$$

#### 2. Свободными участками сушильных сукон

$$q_2 = F_c \cdot \alpha \cdot (t_c - t_B) \text{ кДж/ч},$$

Общая площадь сушильных сукон  $F_{\text{общ}}$  равна

$$F_{\text{общ}} = L_c \cdot B = dnKB \text{ м}^2,$$

где  $L_c$  – суммарная длина сукон,  $\text{м}$ ;

$B$  – ширина сукна,  $\text{м}$ ;

$d$  – диаметр сушильных цилиндров, м;

$n$  – общее количество бумагосушильных и сукноосушильных цилиндров;

$K$  – опытный коэффициент, равный при большом количестве сушильных цилиндров в группе 5–6, а при малом количестве цилиндров в одном сукне – 7–8;

$$F_{\text{общ}} = L_c \cdot B = 1,5 \cdot 72 \cdot 5 \cdot 7,1 = 540 \cdot 7,1 = 3854 \text{ м}^2.$$

Площадь свободных участков сушильных сукон с двух сторон  $F_c$  можно определить из выражения

$$F_c = 2 \cdot B [L_c - (\pi d n_6 \beta_6 + \pi d n_c \beta_c)] \text{ м}^2,$$

где  $n_6$  – количество бумагосушильных цилиндров;

$n_c$  – количество сукноосушильных цилиндров;

$\beta_6$  – средний коэффициент обхвата бумагосушильных цилиндров сукном;

$\beta_c$  – средний коэффициент обхвата сукноосушильных цилиндров сукном;

$$F_c = 2 \cdot 7,1 [540 - (3,14 \cdot 1,5 \cdot 60 \cdot 0,63 + 3,14 \cdot 1,5 \cdot 12 \cdot 0,75)] \\ = 14,2 (540 - 178,04 - 42,39) = 14,2 \cdot 319,57 = 4538 \text{ м}^2,$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  определяем по эмпирической формуле для шероховатой поверхности [5].

$$\alpha = 6,16 + 4,187 \cdot v = 6,16 + 4,187 \frac{800}{60} = 6,16 + 55,83 \\ = 61,99 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_2 = 4538 \cdot 61,99 \cdot (80 - 70) = 2813106 \text{ Вт} = 10127182 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

### 3. Днищами бумагосушильных цилиндров

$$q_3 = 2F \cdot K [(t_{п1} - t_{в})n_1 + (t_{п2} - t_{в})n_2 + (t_{п3} - t_{в})n_3] \text{ кДж}/\text{ч},$$

где  $F$  – торцевая поверхность одного цилиндра,  $\text{м}^2$ ;

$K$  – коэффициент теплопередачи пара воздуху через торцевую стенку цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$ ;

$n_1, n_2, n_3$  – число сушильных цилиндров по группам (сушильная часть условно разбита на три сушильных группы);

$t_{п1}, t_{п2}, t_{п3}$  – температура пара в сушильных группах.

Коэффициент теплопередачи вычисляем по известной формуле из курса тепловых процессов [6]

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}),$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от пара стенке сушильного цилиндра,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$  (его значение принимаем равным  $\alpha_1 = 5815$ );

$\delta$  – толщина торцевой крышки цилиндра, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·град)  
(для чугуна  $\lambda = 62,8$ );

$\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от торцевой стенки цилиндра воздуху.

Значение коэффициента  $\alpha$  может быть определен по эмпирической формуле

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95v,$$

где  $v$  – средняя окружная скорость воздуха по поверхности днищ, которую можно принять приблизительно равной половине максимальной, то есть в нашем случае

$$v = \frac{800}{60 \cdot 2} = 6,67 \text{ м/с. Тогда}$$

$$\alpha_2 = 5,58 + 3,95 \cdot 6,67 = 31,93 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град).}$$

Определяем коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,0375}{62,8} + \frac{1}{31,93}} = \frac{1}{0,000172 + 0,00597 + 0,0313} = \frac{1}{0,03207} = 31,18 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}.$$

$$q_3 = 2 \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 31,18 [(98 - 70) \cdot 7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] \\ = 2 \cdot 1,766 \cdot 31,18 \cdot (196 + 1007 + 1360) = 3,532 \cdot 31,18 \cdot 2563 \\ = 282257 \text{ Вт} = 1016125 \text{ кДж/ч.}$$

#### 4. Днищами сукносушильных цилиндров

Давление пара в сукносушителях следует принять максимальным, то есть  $2,16 \cdot 10^5$  Па, чему соответствует температура  $t_n = 123^\circ\text{C}$ .

$$q_4 = 2F \cdot K [(t_n - t_b)n_c] = 2 \cdot 1,766 \cdot 31,18 (123 - 70) \cdot 12 \\ = 3,532 \cdot 31,18 \cdot 53 = 58\,368 \text{ Вт} = 210\,125 \text{ кДж/ч.}$$

#### 5. Открытой боковой поверхностью бумагосушильных цилиндров

$$q_5 = K\pi d [(1 - \beta_c)b + (1 - \beta_0)(B - b) + (B_{\text{ц}} - B)] \\ \times [(t_{\text{п1}} - t_b)n_1 + (t_{\text{п2}} - t_b)n_2 + (t_{\text{п3}} - t_b)n_3],$$

где  $\beta_0$  – коэффициент обхвата бумагосушильных цилиндров сукном;

$b$  – средняя ширина бумажного полотна (условно принимается равной необрезной ширине бумаги на накате);

$B_{\text{ц}}$  – ширина цилиндра, м;

$B$  – ширина сукна, м (для хлопчатобумажных сукон принимается равным  $B = B_{\text{ц}}$ );

$t_b$  – температура окружающего воздуха.

Вычислим коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{1}{31,93}} = \frac{1}{0,000172 + 0,000398 + 0,0313} = \frac{1}{0,03187} = 31,38 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

$$q_5 = 31,38 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot [(1 - 0,63) \cdot 6,77 + (1 - 0,60)(7,1 - 6,77)] \times [(98 - 70) \cdot 7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] = 147,80 \cdot (2,50 + 0,132) \cdot (196 + 1007 + 1360) = 147,80 \cdot 2,632 \cdot 2563 = 997032 \text{ Вт} = 3589315 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

6. Открытой боковой поверхностью сукносушильных цилиндров

$$q_6 = K\pi d[(1 - \beta_c)V + (B_{\text{ц}} - B)]n_c(t_{\text{п}} - t_{\text{в}}) = 31,38 \cdot 3,14 \cdot 1,5 (1 - 0,75) \cdot 7,1 \cdot 12 \cdot (123 - 70) = 147,80 \cdot 21,3 \cdot 53 = 166851 \text{ Вт} = 600 664 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

7. Боковой поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытой бумагой и сукном

$$q_7 = K\pi db\beta_0[(t_{\text{п1}} - t_{\text{в}})n_1 + (t_{\text{п2}} - t_{\text{в}})n_2 + (t_{\text{п3}} - t_{\text{в}})n_3].$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

где  $\delta_1$  – толщина бумаги, м;

$\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности бумаги, Вт/(м·град);

$\delta_2$  – толщина сукна, м;

$\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности сукна, Вт/(м·град) (для хлопчатобумажного сукна  $\lambda_2 = 0,058$ , а для шерстяного сукна  $\lambda_2 = 0,038$ ).

$$K = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,5} + \frac{0,00010}{0,0465} + \frac{0,005}{0,058} + \frac{1}{61,93}} = \frac{1}{0,000172 + 0,000398 + 0,00215 + 0,0862 + 0,0161} = \frac{1}{0,10502} = 9,52 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

$$q_7 = 9,52 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 6,77 \cdot 0,60 \cdot [(98 - 70) \cdot 7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34] = 9,52 \cdot 19,13 \cdot 2563 = 466767 \text{ Вт} = 1680361 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

8. Боковой поверхность сушильных цилиндров, покрытой бумагой, но не покрытой сукном

$$q_8 = K\pi db(\beta_6 - \beta_0)[(t_{\text{п1}} - t_{\text{в}})n_1 + (t_{\text{п2}} - t_{\text{в}})n_2 + (t_{\text{п3}} - t_{\text{в}})n_3].$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,00010}{0,0465} + \frac{1}{58,25}}$$

$$= \frac{1}{0,000172 + 0,000398 + 0,00215 + 0,01717}$$

$$= \frac{1}{0,01989} = 50,28 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

$$q_8 = 50,28 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 6,77 \cdot (0,63 - 0,60) [(98 - 70) \cdot 7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34]$$

$$= 50,28 \cdot 0,957 \cdot 2563 = 123326 = 443974 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

9. Боковой поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытой сукном, но не покрытой бумагой

$$q_9 = K \pi d (B - b) \beta_c [(t_{п1} - t_{в})n_1 + (t_{п2} - t_{в})n_2 + (t_{п3} - t_{в})n_3].$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{5815} + \frac{0,025}{62,8} + \frac{0,005}{0,058} + \frac{1}{61,99}}$$

$$= \frac{1}{0,000172 + 0,000398 + 0,0862 + 0,0161} = \frac{1}{0,10287}$$

$$= 9,72 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$$

$$q_9 = 9,72 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot (7,1 - 6,77) \cdot 0,75 \cdot [(98 - 70) \cdot 7 + (123 - 70) \cdot 19 + (110 - 70) \cdot 34]$$

$$= 9,72 \cdot 1,1657 \cdot 2563 = 29040 \text{ Вт} = 104544 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

10. Боковой поверхность сукносушильных цилиндров, покрытой сукном

$$q_{10} = \pi K d \cdot \beta_c \cdot B \cdot (t_{п} - t_{в})n_c = 3,14 \cdot 9,72 \cdot 1,5 \cdot 0,75 \cdot 7,1 \cdot (123 - 70) \cdot 12$$

$$= 155048 \text{ Вт} = 558173 \text{ кДж}/\text{ч}.$$

Общие потери тепла при сушке бумаги составят:

$$Q_{\text{пот}} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10}$$

$$= 2044325 + 10127182 + 1016125 + 210125 + 3589315$$

$$+ 600664 + 1680361 + 443974 + 104544 + 558173$$

$$= 20374788 \text{ кДж}/\text{ч} \text{ или } \frac{20374788}{16573} = 1229 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

В табл. 3 приведены результаты расчета тепловых потерь при сушке газетной бумаги на бумагоделательной машине, из которой видно, что на долю сукон и сукносушителей приходится 61,35% потерь, то есть более половины всех потерь на сушильной части.

Общий расход тепла на сушку бумаги равен

$$Q_{\text{общ}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{пот}} = 55014378 + 20374788$$

$$= 75389166 \text{ кДж}/\text{ч} \text{ или } \frac{75389166}{16578} = 4549 \text{ кДж}/\text{кг}.$$

Термический коэффициент полезного действия сушильной части машины  $\eta$  равен

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{общ}}} \cdot 100\% = \frac{55014378}{75389166} \cdot 100\% = 73,0\%$$

Таблица 3

№ п/п	Источники потери тепла	Потери тепла	
		кДж/ч	%
$q_1$	Свободные участки бумажного полотна	2044325	10,03
$q_2$	Свободные участки сушильных сукон	10127182	49,85
$q_3$	Днища бумагосушильных цилиндров	1016125	4,88
$q_4$	Днища сукносушильных цилиндров	210125	1,02
$q_5$	Открытая боковая поверхность бумагосушильных цилиндров	3589315	17,61
$q_6$	Открытая боковая поверхность сукносушильных цилиндров	600664	2,94
$q_7$	Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытая бумагой и сукном	1680361	8,25
$q_8$	Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытая бумагой	443974	2,17
$q_9$	Боковая поверхность бумагосушильных цилиндров, покрытая сукном	104544	0,51
$q_{10}$	Боковая поверхность сукносушильных цилиндров, покрытая сукном	558173	2,74
	Всего:	20374788	100,00

При давлении свежего пара  $2,45 \cdot 10^5$  Па (теплосодержание  $i = 2720,6$  кДж/кг) удельный расход пара на 1 кг бумаги составляет

$$D = \frac{Q_{\text{общ}}}{i - c \cdot t} = \frac{4549}{2720,6 - 4,19 \cdot 126,7} = \frac{4549}{2189,7} = 2,08 \text{ кг/кг.}$$

Удельный расход пара на 1 кг испаряемой влаги равен

$$D_1 = \frac{75389166}{21544 \cdot 2189,7} = 1,60 \text{ кг/кг.}$$

Принимая потери в паропроводе 5%, фактический расход пара на 1 кг бумаги составит

$$D_1 = 4549 \cdot 1,05 = 4776 \text{ кДж/кг или } 2,18 \text{ кг/кг.}$$

Для сушки большинства видов бумаги обычно применяется насыщенный пар низкого давления  $2,452 \cdot 10^5 - 3,432 \cdot 10^5$  Па. Основные свойства насыщенного пара приведены в табл. 4.

Для сушки бумаги обычно применяется схема парораспределения с последовательным, ступенчатым подводом пара по группам сушильных цилиндров (рис. 1) по принципу противотока к направлению движения бумаги, но могут также применяться и другие схемы парораспределения [2].

Расчет расхода тепла на сушку бумаги можно проводить также и по уравнения теплового баланса [6], предполагая, что весь процесс сушки, также как и при конвективном подводе тепла, разделяется на три периода: прогрева материала, периода постоянной скорости сушки (первый период) и периода падающей скорости (второй период).

Таблица 4

Свойства насыщенного водяного пара

Давление $1 \cdot 10^5$ Па	Температура насыщения, °С	Удельный объем сухого насыщенного пара, м <sup>3</sup> /кг	Теплосодержание, кДж/кг		Скрытая теплота парообразования, кДж/кг
			жидкости	сухого насыщенного пара	
0,0981	45,50	14,950	190,3	2585,2	2394,9
0,294	68,70	5,328	287,5	2626,3	2338,8
0,490	80,90	3,301	338,6	2646,4	2307,8
0,686	89,50	2,409	374,7	2660,2	2285,5
0,981	99,09	1,725	415,2	2675,3	2260,1
1,177	104,25	1,455	437,4	2682,9	2245,5
1,373	108,74	1,259	456,4	2690,0	2233,6
1,569	112,73	1,111	473,3	2696,3	2223,0
1,765	116,33	0,9952	488,6	2701,3	2212,7
1,961	119,62	0,9016	502,5	2705,9	2203,4
2,157	122,65	0,8246	515,4	2710,1	2194,7
2,452	126,70	0,7326	533,0	2716,0	2183,0
2,942	132,88	0,6166	559,0	2724,8	2165,8
3,432	138,19	0,5335	581,6	2731,5	2149,9
3,923	142,92	0,4706	601,7	2737,7	2136,0
4,413	147,20	0,4213	620,1	2743,2	2123,1
4,903	151,11	0,3861	637,3	2747,8	2110,5

5,884	158,08	0,3213	667,5	2758,3	2090,8
6,865	164,17	0,2778	694,3	2765,0	2070,7
7,845	169,61	0,2448	718,2	2770,4	2052,2
8,826	174,53	0,2189	739,5	2775,0	2035,5
9,807	179,04	0,1981	760,1	2775,9	2015,8