

Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы: (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Организация отпуска теплоты из нерегулируемых отборов К-830-240

УДК 621.165:621.184.4

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б91	Ойношева Алтынай Николаевна		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Зайцев А.С.	К.Ф-М.Н., доцент		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент отделения общетехнических дисциплин	Мезенцева И.Л.	-		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Вагнер М.А.	-		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Теплоэнергетика и теплотехника, доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	Антонова А.М.	К.Т.Н., доцент		

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП**  
**Тепловые электрические станции**  
**по направлению 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

<b>Код компетенции</b>	<b>Наименование компетенции</b>
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном (-ых) языке (-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач
ОПК(У)-3	Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
ОПК(У)-4	Способен учитывать свойства конструкционных материалов в теплотехнических расчетах с учетом динамических и тепловых нагрузок
ОПК(У)-5	Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин, определяющих условия работы объектов теплоэнергетики и теплотехники
<b>Профессиональные компетенции</b>	

ПК(У)-1	Способен применять знания теоретических основ теплотехники и гидрогазодинамики при решении научных и практических профессиональных задач
ПК(У)-2	Способен анализировать эффективность современных технологий преобразования энергии в энергетических установках
ПК(У)-3	Способен разрабатывать природоохранные, энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на ТЭС
ПК(У)-4	Способен разрабатывать инструкции по эксплуатации тепломеханического оборудования ТЭС
ПК(У)-5	Способен проектировать объекты теплоэнергетики и тепломеханическое оборудование тепловых электростанций
ПК(У)-6	Способен участвовать в управлении процессом эксплуатации оборудования и трубопроводов ТЭС, контролировать параметры технологических процессов и показатели качества рабочего тела

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа энергетика

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Отделение школы: (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ А.М. Антонова  
 (Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б91	Ойношевой Алтынай Николаевне

Тема работы:

Организация отпуска теплоты из нерегулируемых отборов К-830-240	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№122-63/С от 02.05.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования в работе является совокупность способов организации отпуска теплоты из нерегулируемых отборов турбины. Предметом исследования выступают факторы, определяющие возможность широкого применения технологий отпуска теплоты из нерегулируемых отборов турбины.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести обзор научно-технической литературы по теме ВКР.</li> <li>2. Описание турбины К-830-240.</li> <li>3. Выбор и расчет паротурбиной установки.</li> <li>4. Анализ показателей тепловой экономичности.</li> <li>5. Заключение. Обобщение результатов анализа.</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>–</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p><b>Финансовый менеджмент</b></p>	<p>Якимова Т.Б., доцент ОСГН, к.э.н.</p>
<p><b>Социальная ответственность</b></p>	<p>Мезенцева И.Л., ассистент отделения общетехнических дисциплин</p>

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

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н. Бугакова ИШЭ</p>	<p>Зайцев А.С.</p>	<p>к.ф-м.н., доцент</p>	<p> </p>	<p> </p>

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б91</p>	<p>Ойношева Алтынай Николаевна</p>	<p> </p>	<p> </p>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа: Инженерная школа энергетики

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Уровень образования: бакалавриат

Отделение школы: (НОЦ) Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Период выполнения: весенний семестр 2022/2023 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
31.05.2023	Основная часть	60
5.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
10.05.2023	Социальная ответственность	20

**Составил преподаватель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ	Зайцев А.С.	к.ф-м.н., доцент		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова	Антонова А. М.	к.т.н., доцент		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5Б91	Ойношевой Алтынай Николаевне

<b>Инженерная школа энергетики</b>		<b>Научно-образовательный центр И. Н. Бутакова</b>	
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>Премимальный коэффициент 30% Доплаты и надбавки 30% Накладные расходы 25 % Районный коэффициент 1,3</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30 %</i>

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

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии</i>
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	<i>Определение структуры работ. Подсчет бюджета исследования. Смета затрат на проект.</i>
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	<i>Определение финансовой эффективности и ресурсоэффективности</i>

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

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б91	Ойношева Алтынай Николаевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
5Б91		Ойношева Алтынай Николаевна	
<b>Школа</b>	<b>ИШЭ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>НОЦ И. Н.Бутакова</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	<b>13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника</b>

Тема ВКР:

<b>Организация отпуска теплоты из нерегулируемых отборов К-830-240</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p>Объект исследования: варианты изменения оборудования энергоблока турбины К-830-240. Область применения энергетика, тепловая электростанция. Рабочая зона: производственное помещение Размеры помещения (климатическая зона*):20x30 м. Количество и наименование оборудования рабочей зоны: энергоблок с турбиной К-830-240. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: превращение тепловой энергии в механическую работу путем использования топлива. *для работы в полевых условиях</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</b></p> <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>	<p>Законодательные и нормативные документы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. РД 34.40.509-903. Типовая инструкция по эксплуатации систем регенерации высокого давления энергоблоков мощностью 100-800 МВт;</li> <li>2. ТК РФ Статья 351.6. Особенности регулирования труда работников в сфере электроэнергетики, сфере теплоснабжения, в области промышленной безопасности, области безопасности гидротехнических сооружений;</li> <li>3. Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда;</li> </ol>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации</b></p> <p>Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</p>	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Струи жидкости, воздействующие на организм работающего при соприкосновении с ним;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;</li> <li>3. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов;</li> </ol>

	<p>4. Ударные волны воздушной среды;</p> <p>5. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем излучений;</p> <p>6. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий.</p> <p><b>Вредные факторы:</b></p> <p>1. Повышенный уровень шума;</p> <p>2. Повышенный уровень общей вибрации;</p> <p>3. Повышенный уровень локальной вибрации;</p> <p>4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</p> <p>5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</p> <p>6. Монотонность труда, вызывающие монотонию;</p> <p>7. Длительная сосредоточенное наблюдение.</p> <p><b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> тепловая изоляция трубопроводов, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, защитные ограждения. Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b>	<p>Воздействие на селитебную зону: искажение электромагнитных полей.</p> <p>Воздействие на литосферу: выбросы золы и шлака.</p> <p>Воздействие на гидросферу: выброс теплоты.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выброс углекислого газа и других токсичных веществ.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</b>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураганы и т.д.).</p> <p>Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.).</p> <p>Техногенные аварии (неисправность оборудования систем безопасности, отказ автоматики).</p> <p>Наиболее типичная ЧС: взрыв, пожар.</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б91	Ойношева Алтынай Николаевна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 100 страниц, 11 рисунков, 35 таблиц, 18 источника, 3 приложение.

*Ключевые слова* – паротурбинная установка, тепловая схема, отпуск тепла, сетевая установка, нерегулируемый отбор, регенеративный подогрев, экономичность, коэффициент полезного действия, потребители, безопасность.

*Объектом исследования* являются схемы паротурбинных установок тепловых электростанций с отпуском тепла из нерегулируемых отборов.

*Цель работы* – сравнение эффективности тепловых схем паротурбинных установок с отбором тепла и без него, а также выбор оптимального количества ступеней подогрева для сетевой установки.

*Область применения:* теплоэнергетика, разработка тепловых схем электрических станций.

В процессе исследования проводились инженерные расчёты тепловой схемы, анализ эффективности тепловой схемы с одной ПС и без ПС, а также двухступенчатой и трехступенчатой сетевыми установками.

## Список используемых сокращений

Д – деаэратор  
К – конденсатор  
КН – конденсатный насос  
ОК – основной конденсат  
ОУ – охладитель уплотнений  
ОЭ – охладитель эжекторов  
П – подогреватель  
ПВ – питательная вода  
ПВД – подогреватель высокого давления  
ПН – питательный насос  
ПНД – подогреватель низкого давления  
ППУ – паропроизводящая установка  
ПС – подогреватель сетевой воды  
ПТУ – паротурбинная установка  
РК – регулирующий клапан  
с.у. – сетевая установка  
СВ – сетевая вода  
СУ – сетевая установка  
ТУ – турбоустановка  
ТЭ – тепловая энергия  
ТЭС – тепловая электрическая станция  
ТЭЦ – теплоэлектроцентраль  
ЦВД – цилиндр высокого давления  
ЦНД – цилиндр низкого давления  
ЦСД – цилиндр среднего давления  
ЭГ – электрогенератор  
ЭЭ – электрическая энергия

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	15
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ .....	17
1.1 Описание турбины К-830-240 .....	17
1.2 Способы отпуска теплоты.....	20
2. РАСЧЕТ СХЕМ ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ К–830-240 .....	23
2.1 Расчёт тепловой схемы турбоустановки К-830-240 без сетевой установки.....	23
2.1.1 Расчет принципиальной тепловой схемы блока.....	24
2.1.2 Процесс расширения пара в турбине.....	27
2.1.3 Составление сводной таблицы параметров пара и воды.....	33
2.1.4 Предварительная оценка расхода пара на турбину. Расчет вспомогательных элементов тепловой схемы. ....	37
2.1.5 Составление общих уравнений материального баланса.....	37
2.1.6 Расчёт турбопривода питательного насоса .....	38
2.1.7 Уравнения теплового баланса для группы ПВД.....	40
2.1.8 Уравнения теплового и материального баланса для деаэратаора .....	41
2.1.9 Уравнения теплового и материального баланса для группы ПНД.....	42
2.1.10 Проверка материального баланса рабочего тела в схеме. Определение расхода пара на турбину. Проверка мощности .....	43
2.1.11 Расчёт показателей тепловой экономичности .....	46
2.2 Расчет тепловой схемы с двухступенчатой сетевой установкой .....	47
2.2.1 Пересчет давлений с учетом изменившегося расхода на отсеки.....	49
2.2.1 Пересчет давлений с учетом изменившегося расхода на отсеки.....	49
2.2.2 Определение действительных расходов на сетевую установку.....	53
2.2.3 Составление общих уравнений материального баланса.....	54
2.2.4 Расчёт показателей тепловой экономичности .....	56
2.2.5 Выбор оборудования для двухступенчатой сетевой установки .....	57
2.3 Расчет тепловой схемы с одноступенчатой сетевой установкой.....	58
2.3.1 Выбор оборудования для одноступенчатой сетевой установки .....	61
2.4 Расчет тепловой схемы с трехступенчатой сетевой установкой .....	62
2.4.1 Выбор оборудования для трехступенчатой сетевой установки.....	64
3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ.....	66
4. ВОПРОСЫ МЕНЕДЖМЕНТА.....	67
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	67
4.2 Анализ конкурентных технических решений.....	67
4.3 SWOT-анализ .....	68

4.4	Планирование работ по научно-техническому исследованию .....	71
4.4.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	71
4.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	72
4.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	75
4.5.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	75
4.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ .....	75
4.5.3	Затраты на заработную плату .....	76
4.5.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	77
4.5.5	Расчет затрат на специальное оборудование .....	78
4.5.6	Накладные расходы .....	78
4.5.7	Формирование бюджета затрат на проектирование .....	78
4.5.8	Определение экономической эффективности проекта .....	79
5.	<b>ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....</b>	<b>81</b>
5.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	81
5.1.1	Специальные трудовые нормы правового законодательства .....	81
5.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	82
5.2	Производственная безопасность .....	83
5.3	Анализ выявленных вредных и опасных факторов .....	84
5.3.1	Струи жидкости, воздействующие на организм работающего при соприкосновении с ним .....	84
5.3.2	Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека .....	85
5.3.3	Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов .....	85
5.3.4	Ударные волны воздушной среды .....	86
5.3.5	Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем излучений .....	86
5.3.6	Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий .....	86
5.3.7	Повышенный уровень шума .....	87
5.3.8	Повышенный уровень общей и локальной вибрации .....	87
5.3.9	Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения .....	88

5.3.10 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего .....	89
5.3.11 Монотонность труда, вызывающие монотонию .....	90
5.3.12 Длительное сосредоточенное наблюдение .....	90
5.4 Экологическая безопасность .....	90
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	91
Вывод по разделу безопасности жизнедеятельности.....	92
<b>ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>94</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>96</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>98</b>
Приложение А (с одним ПС) .....	98
Приложение Б (с двумя ПС) .....	99
Приложение В (с тремя ПС) .....	100

## ВВЕДЕНИЕ

В России из-за важных аспектов, таких как экономические, социальные, географические и экологические, большое внимание отдаётся отпуску теплоты на отопление, другими словами теплофикации. В следствие чего, она является приоритетной для развития в России.

Теплофикация — централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла от ТЭЦ. Самым главным преимуществом одновременного производства тепла и электроэнергии является снижение тепловых затрат на электроэнергию, происходит это из-за уменьшения потерь тепла в конденсаторе [1].

Спрос на строительство новых тепловых мощностей имеет тенденцию к снижению в последнее время [2,3]. Это обусловлено многими факторами, в том числе: износ оборудования, тепловых сетей, снижение на производства потребления тепла и неспособность оплачивать свои потребности предприятиями из-за удорожания стоимости отпуски теплоты и др [1]. Из-за большого количества тепловых станций ент необходимости строить новые, однако, из-за вышеперечисленных факторов необходимо улучшать уже имеющиеся, для увеличения и удешевления отпуски теплоты потребителям

Данная работа посвящена анализу и сравнению эффективности тепловых схем паротурбинной установки с отбором тепла в зависимости от количества сетевых подогревателей и без него у турбоустановки К-830-240.

Объектом исследования этой ВКР является отпуск тепловой энергии от конденсационных турбоустановок электростанций для отопления.

В качестве предмета исследования в данной работе выступает совокупность схем и параметров теплоснабжения, которые определяют экономическую целесообразность применения технологии отпуски теплоты.

В ходе выполнения производились расчеты тепловой схемы турбоустановки К-830-240, разрабатывались схемы отпуски тепла из нерегулируемых отборов на отопление при различном количестве сетевых подогревателей, на основе

которых были определены наиболее экономичные варианты схем теплоснабжения на базе тепловых электростанций.

# 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1 Описание турбины К-830-240

Паровая конденсационная турбина К-830-240 производится на Ленинградском металлическом заводе (ЛМЗ). Данная турбина проектируется номинальной мощностью 830 МВт с начальным абсолютным давлением пара 25 МПа. Турбина создана для привода генератора ТВВ-830-240 и для работы в блоке с прямоточным котлом [4].

Турбина К-830-240 соответствует ГОСТ 3618-85, ГОСТ 24278-85 и ГОСТ 26948-86 [4].

Подогрев питательной воды и основного конденсата осуществляется восемью нерегулируемыми отборами, отходящими из турбины. Температура воды перед паровым котлом составляет 260 °С [4].

Турбина является одновальным агрегатом с пятью цилиндрами, выполненным на схеме: ЦВД + 1 ЦСД + 3 ЦНД (рис 1) [4].

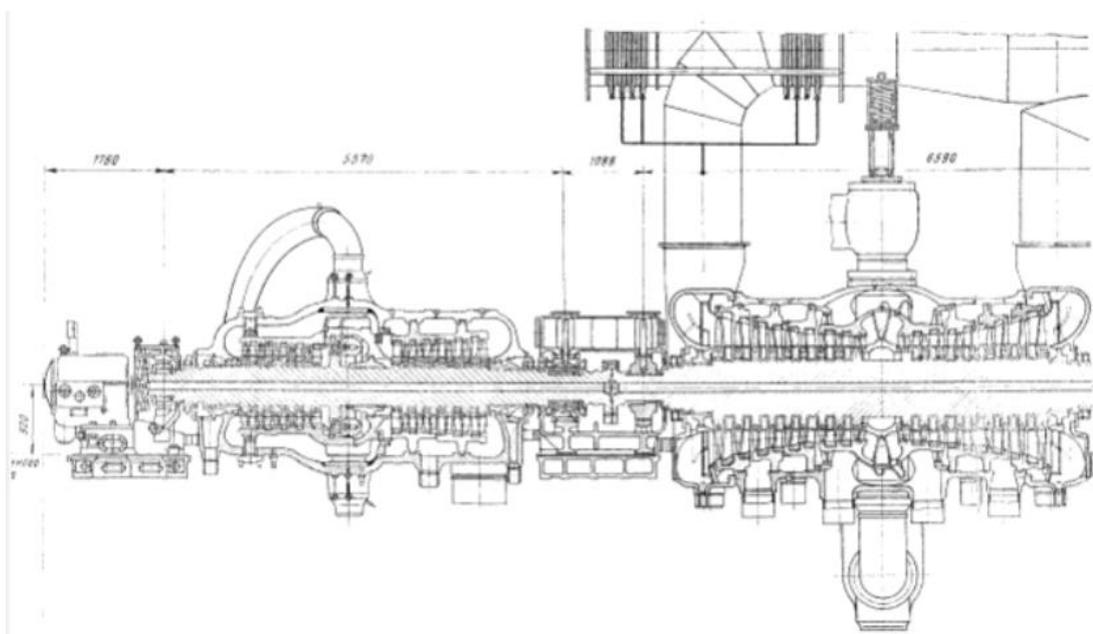


Рисунок 1 – Продольный разрез турбины К-830-240 (начало)

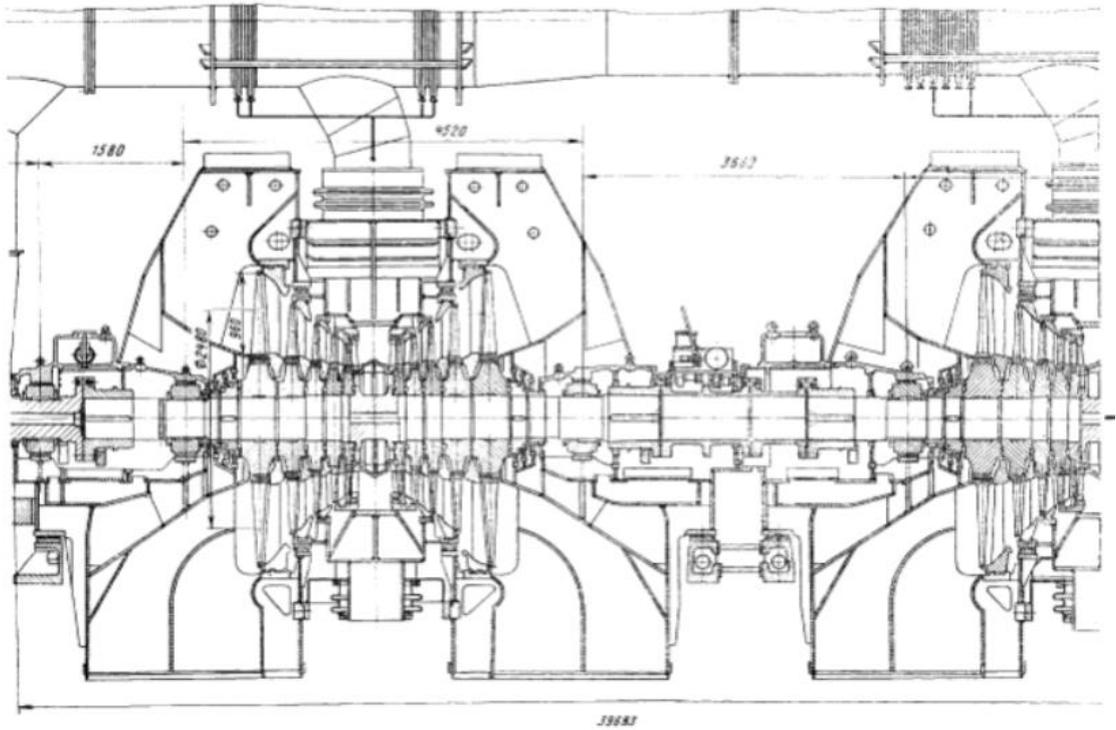


Рисунок 2 – Продольный разрез турбины К-830-240 (продолжение)

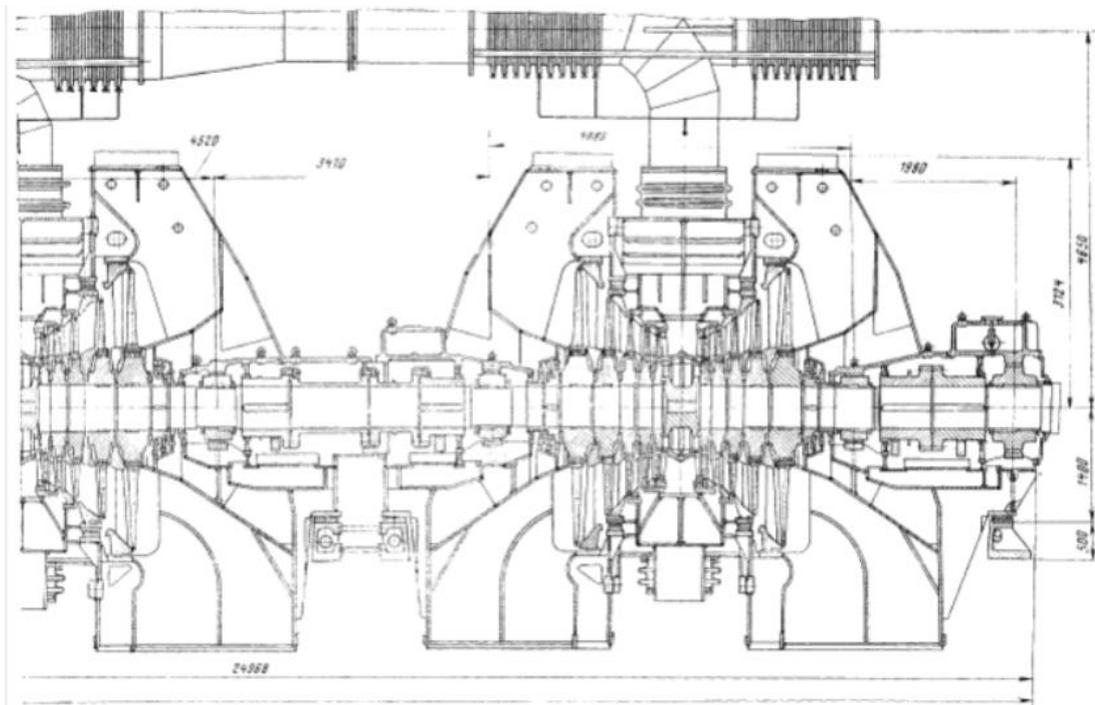


Рисунок 3 – Продольный разрез турбины К-830-240 (продолжение)

Свежий пар из котла подводится к двум коробкам стопорных клапанов. В ЦВД подводится пар по четырем трубопроводам, каждый из которых имеет стопорный клапан и сопловую коробку [4]. У ЦВД присутствует внутренний

корпус, который через патрубки связан с сопловыми коробками. Проточная часть выполнена петлевой, после сопловой коробки пар поступает в левую сторону (см рисунок один), после чего поворачивается в противоположную сторону и проходит между внутренним и внешним корпусом, это сделано так же для того, чтобы избежать чрезмерных тепловых расширений в турбине. После ЦВД пар идет на промперегрев и подаётся на двухпоточный ЦСД, после прохождения пара проточной части ЦСД пар по четырём выхлопным патрубкам идёт к трём двухпоточным ЦНД, после которых пар поступает в конденсатор. [4]

Таблица 1 – Комплектуемое теплообменное оборудование

Наименование	Обозначение	
	в тепловой схеме	типразмера
Конденсатор	К	800 КЦС-2
Подогреватели низкого давления	ПНД-1	ПНСВ-2000-1
	ПНД-2	ПН-1600-32-7-V
	ПНД-3	ПН-1600-32-7-V
	ПНД-4	ПН-1600-32-7-V
Деаэратор	Д	ДП-1600М-1
Подогреватели высокого давления	ПВД-1	ПВ-1600-380-17
	ПВД-2	ПВ-1600-380-17
	ПВД-3	ПВ-1600-380-17

## 1.2 Способы отпуска теплоты

В конденсационной паровой турбине отработавший пар поступает в конденсатор, где он конденсируется и отдает скрытую теплоту парообразования охлаждающей воде. Эта теплота, составляющая 55—65% подведенной в котле теплоты, бесполезно теряется, так как температура охлаждающей воды на выходе из конденсатора лишь незначительно (на 10—15 °С) превышает атмосферную. В то же время для бытовых и технологических нужд требуется сравнительно невысокая температура теплоносителя (100—150 °С), которым может служить пар, отработавший в турбине до давления, необходимого тепловому потребителю. В этом случае может быть полностью использована теплота конденсации отработавшего пара в технологических аппаратах для нагрева воды или сушки материалов, а конденсат возвращен в цикл турбинной установки [1].

Теплофикация — централизованное теплоснабжение на базе комбинированного производства электроэнергии и тепла от ТЭЦ [1]. В то же время на ТЭЦ это тепло получают за счет конденсации пара, отбираемого от паровой турбины после прохождения части турбины и выработки электроэнергии. Теплофикация является одним из важнейших методов снижения удельного расхода топлива на тепловых электростанциях. Поэтому в настоящее время в России около 50 % электроэнергии производится на ТЭЦ, т.е. на станциях, где осуществляется комбинированная выработка электроэнергии и теплоты.

Теплофикационные паровые турбины нужны для отбора пара в отборах с низкими давлениями, после того, как он прошел часть ступеней турбины, а неотобранный пар направляется в конденсатор. Такой отбор пара вызывает потери мощности на нижних ступенях турбины. Но и при дальнейшем использовании теплофикационного отбора могут возникнуть издержки, например, потери во время транспортировки, ТЭЦ эффективна только на малые расстояния. Чтобы снизить потери необходимы трубы с высокой изоляцией, которые дороги и не всегда эффективны в нужной степени.

Теплоснабжение осуществляется с помощью тепловой сети [8], которая служит для передачи тепла от ТЭЦ к потребителю тепла с помощью теплоносителя. Горячая вода подается в населенные пункты по магистральным тепловым трубопроводам от прямых сетевых коллекторов ТЭЦ. Магистральный теплопровод имеет ответвления, в которых разводка в ответвлении соединяется с центральным тепловым пунктом (ЦТП). В ЦТП находится теплообменное оборудование с регуляторами, то позволяет подавать горячую воду в квартиры и дома.

Тепловая нагрузка потребителя тепла обычно непостоянна. Возможны изменения в зависимости от климатических условий. К нагрузкам, зависящим от климатических условий, относятся тепловые нагрузки на отопление и тепловые нагрузки на вентиляцию. Эти нагрузки носят сезонный характер [8].

Кроме того, тепловая нагрузка может варьироваться в зависимости от количества включенных водоразборных приборов, степени их открытия и закрытия и количества пользователей. К таким нагрузкам относится тепловая нагрузка на горячее водоснабжение, которая не зависит от климатических условий и носит круглогодичный характер.

Все потребители тепловой энергии должны получать именно то количество тепла, которое им необходимо для обеспечения качественного теплоснабжения. Поэтому тепловую нагрузку необходимо регулировать, чтобы постоянно удовлетворять потребительский спрос.

Однако не на всех ТЭС есть регулирующие блоки, а новые ТЭС в последнее время имеют спад необходимости построек новых ТЭЦ [2,3].

Нерегулируемый отбор пара, также называемый регенеративным, предназначен для нагрева подаваемой в парогенератор воды [8]. Название «нерегулируемые» они получили от того, что давление пара не поддерживается постоянным, а самопроизвольно изменяется, в зависимости от расхода пара на турбоагрегат.

Регулируемыми называются отборы, в которых давление отбираемого пара автоматически поддерживается постоянным или регулируется в заданных

пределах [8]. Турбины типа «К», то есть конденсационные с регулируемым отбором способны удовлетворять потребности внешних потребителей в электрической тепловой энергиях, в следствие этого такой тип турбин получил широкое распространение.

Особенности турбин с регулируемым отбором:

- 1) Такая турбина может эксплуатироваться в разных режимах работы. В зависимости от тепловой нагрузки различают: конденсационный и теплофикационный режимы.
- 2) Давление теплофикационного отбора постоянное и не зависит от расхода пара и мощности турбины.
- 3) В турбинах такого типа применяется сопловое парораспределение, так как из-за разнообразных режимах работы может меняться расход пара на ЧВД.
- 4) Регулироваться так же могут потоки пара проходящие в ЧВД и ЧНД.
- 5) Тепловая нагрузка не влияет на выработку электроэнергии

Существует два вида тепловых потребителей: промышленные и отопительные. Когда пар требуется как для промышленных, так и для отопительных целей, одна турбина может осуществлять два регулируемых отбора, промышленный и отопительный.

Для более качественного снабжения теплом новых потребителей без строительства новых электростанций необходимо увеличить отпуск тепла от уже действующих тепловых электростанций, в нашем случае мы рассмотрим турбину К-830-240 с нерегулируемыми отборами.

## 2. РАСЧЕТ СХЕМ ПАРОТУРБИНОЙ УСТАНОВКИ К-830-240

Будет выполнен расчёт тепловой схемы при различном количестве сетевых подогревателей, от 0 до 3. Схемы представлены на рисунках 4, 9, 10, 11.

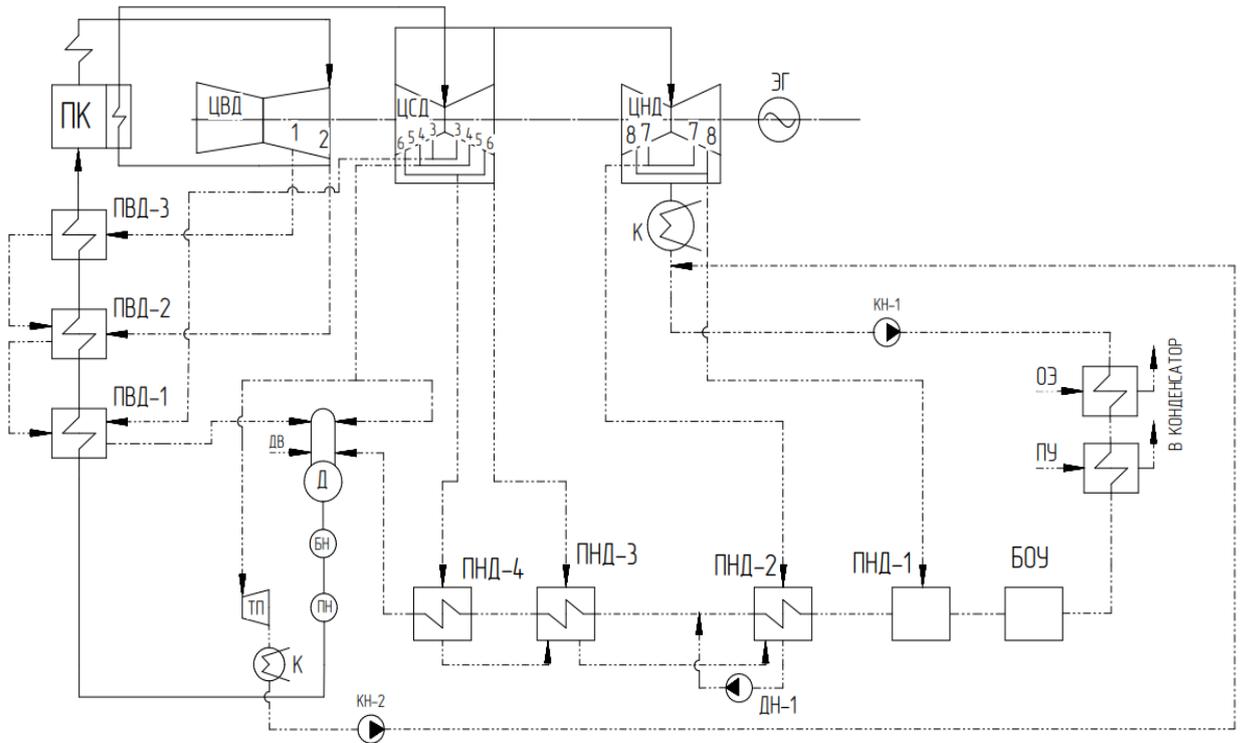


Рисунок 4 – Принципиальная тепловая схема турбоустановки К-830-240 без сетевого подогревателя

### 2.1 Расчёт тепловой схемы турбоустановки К-830-240 без сетевой установки

Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Номинальные значения основных параметров турбоустановки

Характеристика ТУ	Единица измерения	Значение
Давление острого пара	МПа	25
Давление пара после промежуточного перегрева	МПа	5
Температура острого пара	°С	560
Температура пара после промежуточного перегрева	°С	560

Продолжение таблицы 2

Давление пара в конденсаторе	кПа	0,004
Электрическая мощность в конденсационном режиме	МВт	830
Тепловая нагрузка потребителей	МВт	120

### 2.1.1 Расчет принципиальной тепловой схемы блока

Нам известно давление отбора №2:

$$P_0 = 25 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{ПП}} = P_2 = 0,2 \cdot P_0 = 5 \text{ МПа}.$$

Зная это, мы можем определить давлению подогревателя, к которому подключен данный отбор:

$$P_{\text{ПВД-2}} = (0,93 \div 0,95) \cdot P_2 = 0,95 \cdot 5 = 4,75 \text{ Мпа}.$$

Используя программу  $H_2O$  можем найти температуру дренажа этого подогревателя:

$$t_{S2}^{\text{ПВД}} = f(P_{\text{ПВД-2}}) = f(4,75) = 260,76 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Находим энтальпию греющего дренажа (далее после каждого подогревателя находим температуру и энтальпию греющего дренажа):

$$h_{S2}^{\text{ПВД}} = f(t_{S2}^{\text{ПВД}}) = f(260,76) = 1138,59 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Далее находим температуру после ПВД-2:

$$t_{\text{ПВ2}} = t_{S2}^{\text{ПВД}} - \theta = 260,76 - 5 = 255,76 \text{ }^\circ\text{C},$$

Где  $\theta = 2 \div 5$ .

Нам известно  $t_{\text{ПВ3}} = 265 \text{ }^\circ\text{C}$ . Зная это находим температуру дренажа ПВД-3:

$$t_{S3}^{\text{ПВД}} = t_{\text{ПВ3}} + \theta = 265 + 5 = 270 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$h_{S3}^{\text{ПВД}} = f(t_{S3}^{\text{ПВД}}) = f(270) = 1185,09 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

используя программу  $H_2O$  находим давлению ПВД-3:

$$P_{\text{ПВД-3}} = f(t_{S3}^{\text{ПВД}}) = f(270) = 5,5028 \text{ МПа}.$$

По соотношению найдём давлению отбора №1:

$$P_1 = \frac{P_{\text{ПВД-3}}}{0,95} = \frac{5,5028}{0,95} = 5,7925 \text{ МПа.}$$

По давлению деаэрата  $P_d = 0,65$  МПа находим температуру после деаэрата:

$$t_{S_d} = f(P_d) = f(0,65) = 161,99 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$h_{S_d} = f(t_{S_d}) = f(161,99) = 684,22 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

$$P_4 = P_d \cdot 1,3 = 0,65 \cdot 1,3 = 0,845 \text{ МПа.}$$

Находим подогрев ПВД-1 и ПВД-2. По заданию они равномерны.

$$\Delta t_{\text{ПВД1-2}} = \frac{t_{\text{ПВ2}} - t_{S_d}}{2} = \frac{255,76 - 161,99}{2} = 46,89 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\text{ПВД1-2}} = \Delta t_{d-\text{ПВД1}}.$$

Зная подогрев можем найти температуру питательной воды после ПВД-1:

$$t_{\text{ПВ1}} = t_{S_d} + \Delta t_{d-\text{ПВД1}} = 161,99 + 46,89 = 208,87^\circ\text{C}.$$

По аналогии найдем температуру дренажа ПДВ:

$$t_{S_1}^{\text{ПВД}} = t_{\text{ПВ1}} + \theta = 208,87 + 5 = 213,87 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$h_{S_1}^{\text{ПВД}} = f(t_{S_1}^{\text{ПВД}}) = f(213,87) = 915,43 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Далее с помощью программы  $H_2O$  находим давлению в ПВД-1:

$$P_{\text{ПВД-1}} = f(t_{S_1}^{\text{ПВД}}) = f(213,87) = 2,0595 \text{ МПа.}$$

Находим давлению отбора №3:

$$P_3 = \frac{P_{\text{ПВД-1}}}{0,95} = \frac{2,0595}{0,95} = 2,1679 \text{ МПа};$$

Находим температуру после ПВД-4:

$$t_{\text{ок4}} = t_{S_d} - (12 \div 15) = 161,99 - 11,99 = 150 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Зная давлению после конденсатора  $P_k = 0,004$  МПа определим по программе  $H_2O$  температуру основного конденсата после конденсатора:

$$t_k = f(P_k) = 28,96 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Находим подогрев на линии основного конденсата:

$$\Delta t = t_{\text{ок4}} - t_k = 150 - 28,96 = 121,04 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Так как подогрев в каждом ПНД одинаков, разделяем  $\Delta t$  равномерно:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta t}{4} = \frac{121,04}{4} = 30,26 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Далее находим температуры основного конденсата и дренажей после каждого подогревателя:

$$t_{\text{ок1}} = t_k + \Delta t_1 = 28,96 + 30,26 = 59,22^\circ\text{C}.$$

Подогреватель ПНД-1 смешивающего типа, значит:

$$h_{S1}^{\text{ПНД}} = f(t_{\text{ок1}}) = 247,90 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$t_{\text{ок2}} = t_{\text{ок1}} + \Delta t_1 = 89,48 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{S2}^{\text{ПНД}} = t_{\text{ок2}} + \theta = 94,48 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$h_{S2}^{\text{ПНД}} = f(t_{S2}^{\text{ПНД}}) = 395,83 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

Где  $\theta = 5 \div 20$ ;

$$t_{\text{ок3}} = t_{\text{ок2}} + \Delta t_1 = 89,48 + 30,26 = 119,74 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{S3}^{\text{ПНД}} = t_{\text{ок3}} + \theta = 119,74 + 5 = 124,74 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$h_{S3}^{\text{ПНД}} = f(t_{S3}^{\text{ПНД}}) = 523,96 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$t_{\text{ок4}} = t_{\text{ок3}} + \Delta t_1 = 119,74 + 30,26 = 150 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{S4}^{\text{ПНД}} = t_{\text{ок4}} + \theta = 150 + 5 = 155^\circ\text{C};$$

$$h_{S4}^{\text{ПНД}} = f(t_{S4}^{\text{ПНД}}) = 653,88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Далее находим давления подогревателей и подключенных к ним отборов:

$$P_{\text{ПНД-4}} = f(t_{S4}^{\text{ПНД}}) = 0,5434 \text{ МПа};$$

$$P_5 = \frac{P_{\text{ПНД-4}}}{0,95} = \frac{0,5434}{0,95} = 0,5720 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{ПНД-3}} = f(t_{S3}^{\text{ПНД}}) = 0,2304 \text{ МПа};$$

$$P_6 = \frac{P_{\text{ПНД-3}}}{0,95} = \frac{0,2304}{0,95} = 0,2425 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{ПНД-2}} = f(t_{S2}^{\text{ПНД}}) = 0,083 \text{ МПа};$$

$$P_7 = \frac{P_{\text{ПНД-2}}}{0,95} = \frac{0,083}{0,95} = 0,0874 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{ПНД-1}} = f(t_{\text{ок1}}) = 0,0192 \text{ МПа};$$

$$P_8 = \frac{P_{\text{ПНД-1}}}{0,95} = \frac{0,0192}{0,95} = 0,0203 \text{ МПа}.$$

### 2.1.2 Процесс расширения пара в турбине

По условию задания, заданы начальные параметры пара (точка 0):

$$P_0 = 25,0 \text{ МПа};$$

$$t_0 = 560,0 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Зная начальные параметры пара, с помощью программы H2O определим энтальпию пара в точке 0:

$$h_0 = f(P_0, t_0) = 3371,29 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим параметры на входе в цилиндр высокого давления (ЦВД). Потери давления в стопорно-регулирующем клапане (СРК)  $\delta P_0$  примем 5% (точка 0')

$$P'_0 = 25,0 \cdot 0,95 = 23,75 \text{ МПа};$$

$$h'_0 = h_0 = 3371,29 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$S'_0 = f(P'_0, h'_0) = 6,2404 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на первом отборе:

$$P_{1t} = P_1 = 5,7925 \text{ МПа};$$

$$S_{1t} = S'_0 = 6,2404 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{1t} = f(P_{1t}, S_{1t}) = 2977,10 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на первом отборе (ПВД-3):

$$h_1 = h_0 - (h_0 - h_{1t}) \cdot \eta_{oi}^B = 3371,29 - (3371,29 - 2977,10) \cdot 0,876 = 3025,98 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

где:  $\eta_{oi} = 0,876$  – относительный внутренний КПД турбины для ЦВД, соответствующий типу турбины К-830-240 [5, табл.1]. Параметры  $h_{0'}$  и  $h_{2t}$  были рассчитаны ранее.

$$S_1 = f(P_1, h_1) = f(5,7925; 3025,98) = 6,3210 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на втором отборе (ПВД-2):

$$P_{2t} = P_2 = 5 \text{ МПа};$$

$$S_{2t} = S'_0 = 6,2404 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{2t} = f(P_{2t}, S_{2t}) = f(5; 6,2404) = 2942,61 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на первом отборе (ПВД-2):

$$P_{\text{ПП}} = P_2 = 0,2 \cdot P_0 = 5 \text{ МПа};$$

$$\begin{aligned} h_2 &= h_0 - (h_0 - h_{2t}) \cdot \eta_{oi}^B = 3371,29 - (3371,29 - 2942,61) \cdot 0,876 \\ &= 2995,77 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_2 = f(P_2, h_2) = f(5; 2995,77) = 6,3309 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определяем параметры после промежуточного перегрева:

$$P'_{\text{ПП}} = P_2 \cdot 0,9 = 5 \cdot 0,9 = 4,5 \text{ МПа};$$

$$t_{\text{ПП}} = 560 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$h'_{\text{ПП}} = f(P'_{\text{ПП}}, t_{\text{ПП}}) = f(4,5; 560) = 3578,55 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$S'_{\text{ПП}} = f(P'_{\text{ПП}}, t_{\text{ПП}}) = f(4,5; 560) = 7,2044 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определяем параметры после отсечного клапана:

$$P''_{\text{ПП}} = P'_{\text{ПП}} \cdot 0,96 = 4,5 \cdot 0,96 = 4,32 \text{ МПа};$$

$$h''_{\text{ПП}} = h'_{\text{ПП}} = 3578,55 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$S''_{\text{ПП}} = f(P''_{\text{ПП}}, h''_{\text{ПП}}) = f(4,32; 3578,55) = 7,2228 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры в третьем отборе (ПВД-1):

$$P_{3t} = P_3 = 2,1679 \text{ МПа};$$

$$S_{3t} = S''_{\text{ПП}} = 7,2228 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{3t} = f(P_{3t}, S_{3t}) = f(2,1679; 7,2228) = 3338,50 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры в третьем отборе (ПВД-1):

$$\begin{aligned} h_3 &= h''_{\text{ПП}} - (h''_{\text{ПП}} - h_{3t}) \cdot \eta_{oi}^B = 3578,55 - (3578,55 - 3338,50) \cdot 0,892 \\ &= 3364,42 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_3 = f(P_3, h_3) = f(2,1679; 3364,42) = 7,2587 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на четвертом отборе (Д):

$$P_{4t} = P_4 = P_d \cdot 1,3 = 0,65 \cdot 1,3 = 0,845 \text{ МПа};$$

$$S_{4t} = S''_{\text{ПП}} = 7,2228 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{4t} = f(P_{4t}, S_{4t}) = f(0,845; 7,2228) = 3064,39 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на четвертом отборе (Д):

$$\begin{aligned} h_4 &= h''_{\text{ПП}} - (h''_{\text{ПП}} - h_{4t}) \cdot \eta_{oi}^B = 3578,55 - (3578,55 - 3064,39) \cdot 0,892 \\ &= 3119,92 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_4 = (P_4, h_4) = f(0,845; 3119,92) = 7,3168 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на пятом отборе (ПНД-4):

$$P_{5t} = P_5 = 0,572 \text{ МПа};$$

$$S_{5t} = S''_{\text{ПП}} = 7,2228 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{5t} = f(P_{5t}, S_{5t}) = f(0,572; 7,2228) = 2967,00 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на пятом отборе (ПНД-4):

$$\begin{aligned} h_5 &= h''_{\text{ПП}} - (h''_{\text{ПП}} - h_{5t}) \cdot \eta_{oi}^B = 3578,55 - (3578,55 - 2967,00) \cdot 0,892 \\ &= 3033,04 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_5 = f(P_5, h_5) = f(0,572; 3033,04) = 7,3444 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на шестом отборе (ПНД-3):

$$P_{6t} = P_6 = 0,2425 \text{ МПа};$$

$$S_{6t} = S''_{\text{ПП}} = 7,2228 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{6t} = f(P_{6t}, S_{6t}) = f(0,2425; 7,2228) = 2781,55 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на шестом отборе (ПНД-3):

$$\begin{aligned} h_6 &= h''_{\text{ПП}} - (h''_{\text{ПП}} - h_{6t}) \cdot \eta_{oi}^B = 3578,55 - (3578,55 - 2781,55) \cdot 0,892 \\ &= 2867,62 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_6 = f(P_6, h_6) = f(0,2425; 2867,62) = 7,4135 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определяем параметры на входе в ЦНД:

$$P'_6 = P_6 \cdot 0,96 = 0,2328 \text{ МПа};$$

$$h'_6 = h_6 = 2867,62 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$S'_6 = f(P'_6, h'_6) = f(0,2328; 2867,62) = 7,4321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

Определим теоретические параметры на седьмом отборе (ПНД-2):

$$P_{7t} = P_7 = 0,0874 \text{ МПа};$$

$$S_{7t} = S'_6 = 7,4321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{7t} = f(P_{7t}, S_{7t}) = f(0,0874; 7,4321) = 2679,37 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на седьмом отборе (ПНД-2):

$$\begin{aligned} h_7 &= h'_6 - (h'_6 - h_{7t}) \cdot \eta_{oi}^B = 2867,62 - (2867,62 - 2679,37) \cdot 0,842 \\ &= 2709,12 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_7 = f(P_7, h_7) = f(0,0874; 2709,12) = 7,5101 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на восьмом отборе (ПНД-1):

$$P_{8t} = P_8 = 0,0203 \text{ МПа};$$

$$S_{8t} = S'_6 = 7,4321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{8t} = f(P_{8t}, S_{8t}) = f(0,0203; 7,4321) = 2452,40 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на восьмом отборе (ПНД-1):

$$\begin{aligned} h_8 &= h'_6 - (h'_6 - h_{8t}) \cdot \eta_{oi}^B = 2867,62 - (2867,62 - 2452,40) \cdot 0,842 \\ &= 2518,00 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S_8 = f(P_8, h_8) = f(0,0203; 2518,00) = 7,6288 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим теоретические параметры на входе в конденсатор:

$$P_{kt} = P'_K = 1,05 \cdot P_k = 1,05 \cdot 0,004 = 0,0042 \text{ МПа};$$

$$S_{kt} = S'_6 = 7,4321 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}};$$

$$h_{kt} = f(P_{kt}, S_{kt}) = f(0,0042; 7,4321) = 2245,01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Определим действительные параметры на входе в конденсатор:

$$\begin{aligned} h'_K &= h'_6 - (h'_6 - h_{kt}) \cdot \eta_{oi}^B = 2867,62 - (2867,62 - 2245,01) \cdot 0,842 \\ &= 2343,39 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}; \end{aligned}$$

$$S'_K = f(P'_K, h'_K) = f(0,0042; 2343,39) = 7,7568 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Определим параметры после конденсатора:

$$P_k = 0,004 \text{ МПа};$$

$$h_k = h'_K = 2343,39 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$S_k = f(P_k, h_k) = f(0,004; 2343,39) = 7,7773 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Давление питательной воды  $P_{пв}$  приближенно определяются как давления за питательным насосом:

$$P_{пв} = (1,3 \div 1,5) \cdot P_0.$$

Давление питательной воды:

$$P_{пв} = 1,4 \cdot P_0 = 1,4 \cdot 25,0 = 35 \text{ МПа}.$$

Давление основного конденсата:

$$P_{\text{ок}} = (1,4 \div 1,7) \cdot P_{\text{д}};$$

$$P_{\text{ок}} = 1,4 \cdot P_{\text{д}} = 1,4 \cdot 0,65 = 0,91 \text{ МПа.}$$

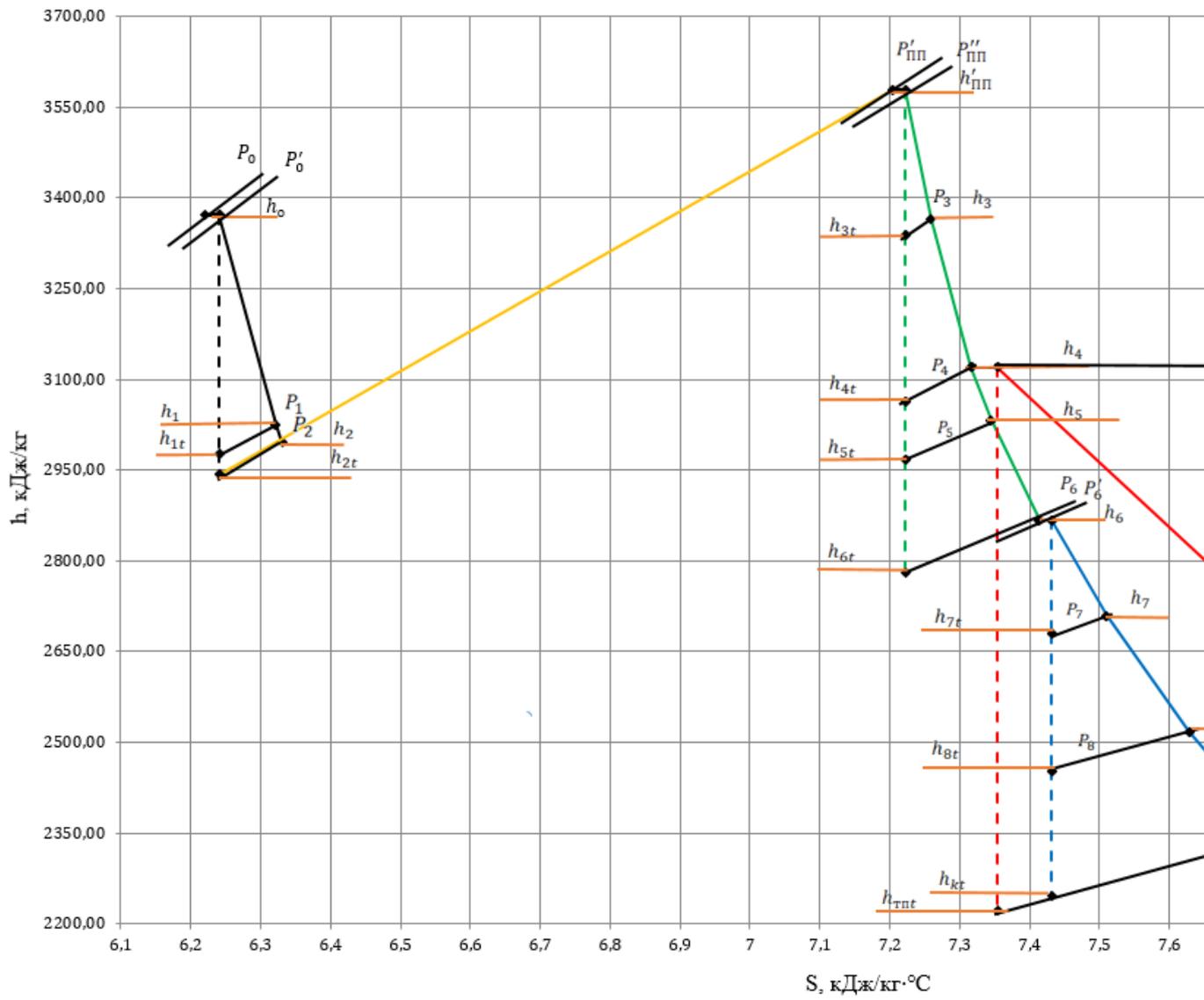


Рисунок 5 – h-s диаграмма процесса расширения пара в турбине

### 2.1.3 Составление сводной таблицы параметров пара и воды

Значения удельной работы пара:

Удельная работа отбора №1:

$$H_1 = h_0 - h_1 = 3371,29 - 3025,98 = 345,32 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №2:

$$H_2 = h_0 - h_2 = 3371,29 - 2995,77 = 375,53 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа в пароперегревателе (ПП):

$$\Delta h_{\text{пп}} = h_{\text{пп}} - h_2 = 3578,55 - 2995,77 = 582,78 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №3:

$$H_3 = h_0 - h_3 + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 3364,42 + 582,78 = 589,65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №4:

$$H_4 = h_0 - h_4 + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 3119,92 + 582,78 = 834,15 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №5:

$$H_5 = h_0 - h_5 + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 3033,04 + 582,78 = 921,03 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №6:

$$H_6 = h_0 - h_6 + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 2867,62 + 582,78 = 1086,45 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №7:

$$H_7 = h_0 - h_7 + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 2509,15 + 582,78 = 1244,96 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора №8:

$$H_8 = h_0 - h_8 + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 2518,00 + 582,78 = 1436,07 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Удельная работа отбора для конденсатора:

$$H_{\text{к}} = h_0 - h_{\text{к}} + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 2343,39 + 582,78 = 1610,69 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Рассчитаем действительный теплоперепад турбины:

$$H_i = h_0 - h'_k + \Delta h_{\text{пп}} = 3371,29 - 2343,39 + 582,78 = 1610,69 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Можем воспользоваться другой формулой, в которой действительный теплоперепад турбины складывается из отдельных ступеней турбины:

$$H_i = H_i^{\text{цвд}} + H_i^{\text{цсд}} + H_i^{\text{цнд}}, \text{ где:}$$

$$H_i^{\text{цвд}} = h_0 - h_2 = 3371,29 - 2995,77 = 375,53 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$H_i^{\text{цсд}} = h_{\text{пп}} - h_6 = 3578,55 - 2867,62 = 710,92 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

$$H_i^{\text{цнд}} = h_6 - h_k = 2867,62 - 2343,39 = 524,24 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Рассчитаем действительный теплоперепад и убедимся, что расчёт выполнен верно:

$$H_i = H_i^{\text{цвд}} + H_i^{\text{цсд}} + H_i^{\text{цнд}} = 375,53 + 710,92 + 524,24 = 1610,69 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Значения коэффициента недовыработки:

Рассчитаем коэффициент выработки для первого отбора:

$$y_1 = \frac{H_i - H_1}{H_i} = \frac{1610,69 - 345,32}{1610,69} = 0,7856.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для второго отбора:

$$y_2 = \frac{H_i - H_2}{H_i} = \frac{1610,69 - 375,53}{1610,69} = 0,7669.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для третьего отбора:

$$y_3 = \frac{H_i - H_3}{H_i} = \frac{1610,69 - 589,65}{1610,69} = 0,6339.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для четвертого отбора:

$$y_4 = \frac{H_i - H_4}{H_i} = \frac{1610,69 - 834,15}{1610,69} = 0,4821.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для пятого отбора:

$$y_5 = \frac{H_i - H_5}{H_i} = \frac{1610,69 - 921,03}{1610,69} = 0,4282.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для шестого отбора:

$$y_6 = \frac{H_i - H_6}{H_i} = \frac{1610,69 - 1086,45}{1610,69} = 0,3255;$$

Рассчитаем коэффициент выработки для седьмого отбора:

$$y_7 = \frac{H_i - H_7}{H_i} = \frac{1610,69 - 1244,96}{1610,69} = 0,2271.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для восьмого отбора:

$$y_8 = \frac{H_i - H_8}{H_i} = \frac{1610,69 - 1436,07}{1610,69} = 0,1084.$$

Рассчитаем коэффициент выработки для отбора конденсатора:

$$y_k = \frac{H_i - H_k}{H_i} = \frac{1610,69 - 1610,69}{1610,69} = 0.$$

Таблица 3 – Параметры воды и пара в схеме без теплофикации

Точка	Элемент	Пар в турбине		Пар в подогревателях	Дренаж греющего пара		Питание Основной Сети	
		$P_{отб}$	$h_{отб}$	$P_{п}$	$t_{н}$	$h'$	$t_{пв}, t_{ок}, t_{св}$	
0	-	25	3371,29					
0'	-	23,75	3371,29					
1	ПВД-3	5,7925	3025,98	5,5028	270	1185,09	265	
2	ПВД-2	5	2995,77	4,75	260,76	1138,59	255,76	
ПП'	ПП	4,5	3578,55					
3	ПВД-1	2,1679	3364,42	2,0595	213,87	915,43	208,87	
4	Д	0,8450	3119,92	0,65	161,99	684,22	161,99	
5	ПНД-4	0,5720	3033,04	0,5434	155,00	653,88	150,00	
6	ПНД-3	0,2425	2867,62	0,2304	124,74	523,96	119,74	
7	ПНД-2	0,0874	2709,12	0,0830	94,48	395,83	89,48	
8	ПНД-1	0,0203	2518,00	0,0192	59,22	247,90	59,22	
Кт	-	0,0042	2245,01					
К'	-	0,004	2343,39					

## 2.1.4 Предварительная оценка расхода пара на турбину. Расчет вспомогательных элементов тепловой схемы.

### 2.1.4.1 Предварительная оценка расхода пара на турбину

Для вычисления расхода относительных единицах нужны все расходы в абсолютных единицах, которые получили при расчете схемы. Расход пара на турбину в первом приближении:

$$G'_0 = k_p \cdot \left[ N_{\text{э}} \cdot \frac{10^3}{H_i \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{Г}}} \right] \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Где  $N_{\text{э}} = 830$  МВт электрическая мощность (по заданию);  $H_i = 1610,69$  кДж/кг – действительный теплоперепад турбины;  $\eta_m = 0,99$  – КПД механический,  $\eta_{\text{Г}} = 0,995$  – КПД электрогенератора;  $k_p = 1,3$  – коэффициент регенерации.

$$G'_0 = 1,30224 \cdot \left[ 830 \cdot \frac{10^3}{1610,69 \cdot 0,99 \cdot 0,995} \right] = 681,24 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

### 2.1.4.2 Расчёт вспомогательных элементов тепловой схемы

Проходя через охладитель эжекторов и охладитель уплотнений, основной конденсат подогревается. Подогрев в ОЭ и ОУ учитывается приближенно. В ходе решения подогрев был уточнён, и составит 4°C в ОЭ и 2°C в ОУ – суммарный подогрев  $\theta' = 6^\circ\text{C}$ .

Температура ОК на входе в ПНД-1:

$$t_{\text{ок}}^* = t_{\text{ок}}^{\text{н}} + \theta' = 28,96 + 6 = 34,96^\circ\text{C}.$$

Энтальпия основного конденсата при этой температуре:

$$h_{\text{ок}}^* = f(t_{\text{ок}}^*) = 146,56 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

## 2.1.5 Составление общих уравнений материального баланса

### 2.1.5.1 Материальные балансы по пару

Относительный расход пара на турбину  $a_0 = 1$ .

Относительный расход пара на турбоустановку ТЭС:

$$\alpha_{\text{ту}} = \alpha_0 + \alpha_{\text{роу}}^0.$$

Так как редуционно-охладительная установка (РОУ) отсутствует, то

$$\alpha_{\text{роу}}^0 = 0;$$

Следовательно,

$$\alpha_{\text{ту}} = \alpha_0 = 1.$$

Относительный расход пара из парогенерирующей установки:

$$\alpha_{\text{пг}} = \alpha_{\text{ту}} + \alpha_{\text{ут}} + \alpha_{\text{упл}} + \alpha_{\text{э}},$$

Где:  $\alpha_{\text{ут}} = 0,01$  – относительный расход утечек;

$\alpha_{\text{упл}} = 0,02$  – относительный расход пара из уплотнений турбины;

$\alpha_{\text{э}} = 0,003$  – относительный расход пара на эжекторы.

Произведем расчёт:

$$\alpha_{\text{пг}} = 1 + 0,02 + 0,01 + 0,003 = 1,033.$$

### 2.1.5.2 Материальные балансы по воде

Расход питательной воды в относительных единицах:  $a_{\text{пв}} = a_{\text{пг}} + a_{\text{пр}}$ ,

В прямоточном котле нет продувки, следовательно:  $a_{\text{пв}} = a_{\text{пг}} = 1,033$ .

### 2.1.5.3 Материальный баланс добавочной воды

Добавочная вода необходима для компенсации потерь рабочего тела на электростанции, найдём её в относительных единицах:

$$a_{\text{дв}} = a_{\text{вн}} + a_{\text{внеш}};$$

Где:  $a_{\text{вн}} = a_{\text{ут}} + a_{\text{в}} + a_{\text{пи}}$  – внутренние потери рабочего тела;  $a_{\text{в}} = 0$  – т.к. расширитель и продувка отсутствуют;  $a_{\text{пи}} = 0$  – т.к. испарителя нет;  $a_{\text{внеш}} = 0$ , т.к. внешние утечки рабочего тела отсутствуют.

Следовательно:

$$a_{\text{дв}} = a_{\text{вн}} = a_{\text{ут}} = 0,01.$$

### 2.1.6 Расчёт турбопривода питательного насоса

Относительный расход пара на турбопривод определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{тп}} = \frac{\alpha_{\text{пв}} \cdot h_{\text{н}}^{\text{а}}}{H_i^{\text{тп}} \cdot \eta_{\text{м}}^{\text{тп}} \cdot \eta_{\text{н}}};$$

Где:  $\eta_M^{ТП} = 0,98$  – механический КПД турбопривода;  $\eta_H = 0,8$  – КПД насоса.

Турбопривод подключен к отбору пара №4. Следовательно:

$$h_A = h_{отб4} = 3119,92 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$P_{ТП} = 0,92 \cdot P_{отб4} = 0,92 \cdot 0,845 = 0,7774 \text{ МПа.}$$

Используя программу H2O, найдём энтропию в ТП:

$$S_{ТП} = f(h_A, P_{ТП}) = f(3119,92; 0,7774) = 7,3547 \text{ кДж/кг}^\circ\text{С.}$$

Используя программу H2O, найдём энтальпию теоретического процесса в ТП:

$$h_{ТПt} = f(S_{ТП}, P_{kt}) = f(7,3547; 0,0042) = 2221,57 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Найдём располагаемый теплоперепад в ТП:

$$H_0^{ТП} = h_A - h_{ТПt} = 3119,92 - 2221,57 = 898,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Найдём действительный теплоперепад в ТП:

$$H_i^{ТП} = H_0^{ТП} \cdot \eta_{oi}^{ТП} = 898,36 \cdot 0,78 = 700,72 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}};$$

Где:  $\eta_{oi}^{ТП} = 0,78$  – внутренний относительный КПД турбопривода;

Найдём энтальпию пара на выходе из ТП:

$$h_{ТП} = h_A - H_i^{ТП} = 3119,92 - 700,72 = 2419,20 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Найдём адиабатную работу сжатия 1 кг воды в питательном насосе:

$$h_H^a = v' \cdot (P_{пв} - P_D) = 0,0011177 \cdot (35 - 0,65) \cdot 10^3 = 37,93 \text{ кДж/кг};$$

Где:  $v' = f(P_D) = f(0,845) = 0,001138 \text{ м}^3/\text{кг}$  – удельный объём воды в состоянии насыщения при давлении в деаэраторе.

Следовательно, относительный расход пара на турбопривод:

$$\alpha_{ТП} = \frac{\alpha_{пв} \cdot h_H^a}{H_i^{ТП} \cdot \eta_M^{ТП} \cdot \eta_H} = \frac{1,033 \cdot 37,93}{700,72 \cdot 0,98 \cdot 0,81} = 0,07045.$$

### 2.1.7 Уравнения теплового баланса для группы ПВД

Запишем уравнение теплового баланса для ПВД-3:

$$\alpha_{отб1} \cdot (h_{отб1} - h_1') \cdot \eta_{п} = \alpha_{пв} \cdot (h_{пвд3} - h_{пвд2}).$$

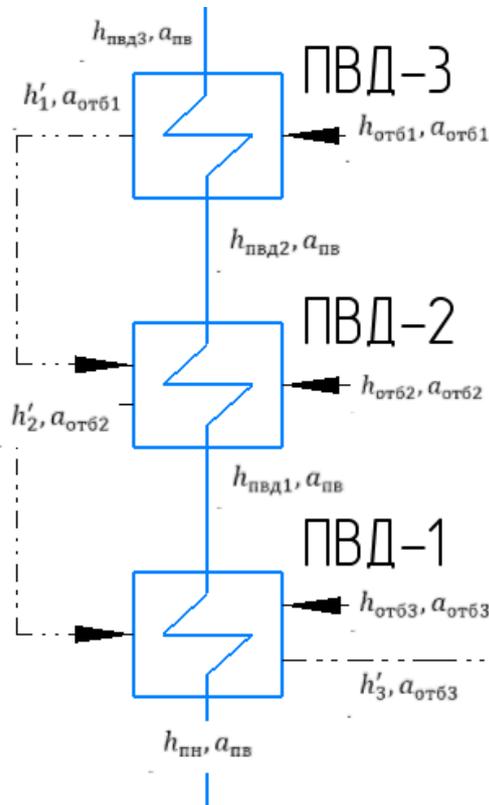


Рисунок 6 – Расчётная схема ПВД

Подставим все известные значения в это уравнение (КПД для ПВД  $\eta_{п} = 0,98$ ):

$$\alpha_{отб1} \cdot (3025,98 - 1185,09) \cdot 0,98 = 1,033 \cdot (1158,45 - 1115,71).$$

Выразим и найдём  $\alpha_{отб1}$ :

$$\alpha_{отб1} = 0,02448.$$

Запишем уравнение теплового баланса для ПВД-2:

$$[\alpha_{отб2} \cdot (h_{отб2} - h_2') + \alpha_{отб1} \cdot (h_1' - h_2')] \cdot \eta_{п} = \alpha_{пв} \cdot (h_{пвд2} - h_{пвд1});$$

Подставим все известные значения в это уравнение (КПД для ПВД  $\eta_{п} = 0,98$ ):

$$\begin{aligned} & [\alpha_{отб2} \cdot (2995,77 - 1138,59) + 0,02448 \cdot (1185,09 - 1138,59)] \cdot 0,98 \\ & = 1,033 \cdot (1115,69 - 906,19); \end{aligned}$$

$$\alpha_{отб2} = 0,11829.$$

Запишем уравнение теплового баланса для ПВД-1:

$$[\alpha_{отб3} \cdot (h_{отб3} - h_3') + (\alpha_{отб1} + \alpha_{отб2}) \cdot (h_2' - h_3')] \cdot \eta_{п} = \alpha_{пв} \cdot (h_{пвд1} - h_{пн});$$

Где энтальпия питательного насоса:

$$h_{пн} = h'_д + h_n^a = 684,37 + 37,93 = 722,30 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Подставим все известные значения в это уравнение (КПД для ПВД  $\eta_{п} = 0,98$ ):

$$[\alpha_{отб3} \cdot (3364,42 - 915,43) + (0,025 + 0,1187) \cdot (1138,59 - 915,43)] \cdot 0,98 = 1,033 \cdot (906,19 - 722,30).$$

Выразим и найдём  $\alpha_{отб3}$ :

$$\alpha_{отб3} = 0,06614.$$

### 2.1.8 Уравнения теплового и материального баланса для деаэрата

Уравнения материального и теплового баланса для деаэрата:

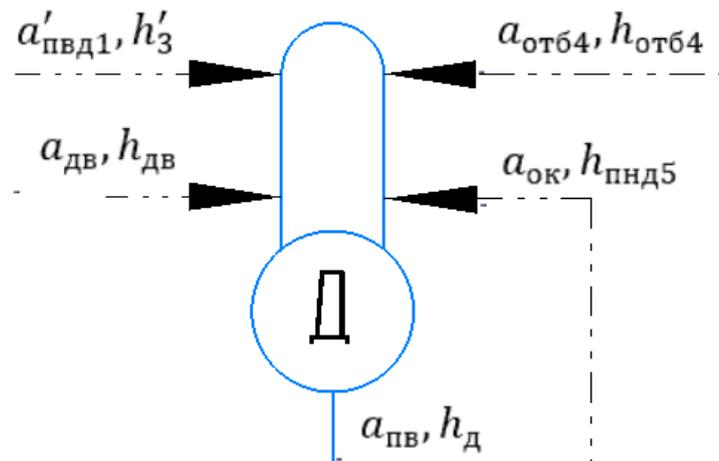


Рисунок 7 – Расчётная схема деаэрата

$$\begin{cases} \alpha_{дв} + \alpha_{ок} + \alpha_{отб4} + \alpha_{пвд1}' = \alpha_{пв} \\ [\alpha_{дв} \cdot h_{дв} + \alpha_{ок} \cdot h_{пнд4} + \alpha_{пвд1}' \cdot h_3' + \alpha_{отб4} \cdot h_{отб4}] \cdot \eta_{см} = \alpha_{пв} \cdot h_{д} \end{cases}$$

Подставим все известные значения в систему уравнений (КПД для деаэрата  $\eta_{см} = 0,99$ ):

$$\alpha_{пвд1}' = \alpha_{отб1} + \alpha_{отб2} + \alpha_{отб3} = 0,02448 + 0,11829 + 0,06614 = 0,20892;$$

$$\begin{cases} \alpha_{ок} + 0,20892 + 0,01 + \alpha_{д} = 1,033 \\ [\alpha_{ок} \cdot 632,52 + 0,20892 \cdot 915,43 + \alpha_{д} \cdot 3119,92 + 0,01 \cdot 126,6] \cdot 0,99 = 1,033 \cdot 684,22 \end{cases}$$

Решим данную систему с помощью программы MathCad:

$$\alpha_{OK} = 0,80848;$$

$$\alpha_D = 0,00560.$$

$$\alpha_{OT64} = \alpha_D + \alpha_{TP} = 0,00560 + 0,07045 = 0,07605$$

## 2.1.9 Уравнения теплового и материального баланса для группы ПНД

Запишем систему уравнений:

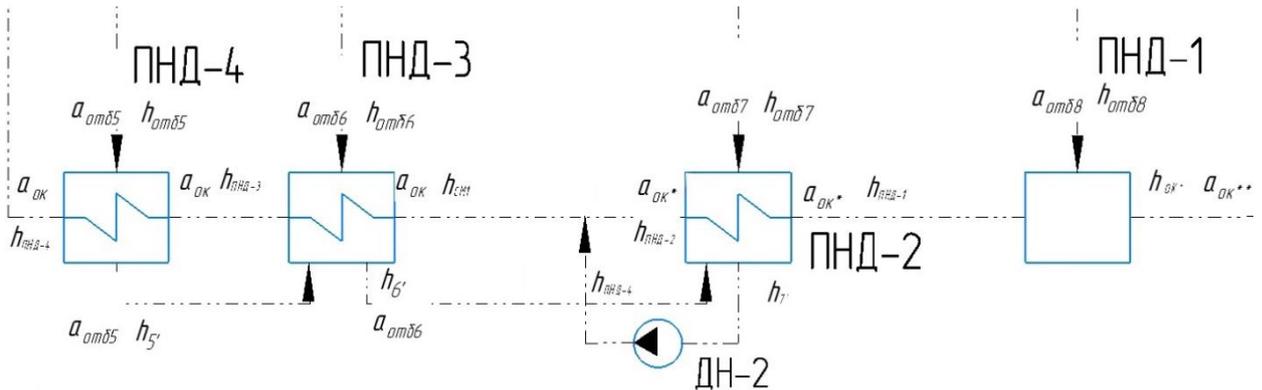


Рисунок 8 – Расчётная схема группы ПНД

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{OT65} \cdot (h_{OT65} - h'_5) \cdot \eta_{\Pi} = \alpha_{OK} \cdot (h_{\text{ПНД}4} - h_{\text{ПНД}3}); \\ [\alpha_{OT66} \cdot (h_{OT66} - h'_6) + \alpha_{OT65} \cdot (h'_5 - h'_6)] \cdot \eta_{\Pi} = \alpha_{OK} \cdot (h_{\text{ПНД}3} - h_{\text{CM}1}); \\ [\alpha_{OT67} \cdot (h_{OT67} - h'_7) + (\alpha_{OT65} + \alpha_{OT66}) \cdot (h'_6 - h'_7)] \cdot \eta_{\Pi} = \alpha_{OK} \cdot (h_{\text{ПНД}2} - h_{\text{ПНД}1}); \\ \alpha_{OK} = \alpha_{OK}^* + (\alpha_{OT65} + \alpha_{OT66} + \alpha_{OT67}); \\ \alpha_{OK} \cdot h_{\text{CM}} = \alpha_{OK}^* \cdot h_{\text{ПНД}2} + (\alpha_{OT65} + \alpha_{OT66} + \alpha_{OT67}) \cdot h'_7; \\ \alpha_{OK}^* = \alpha_{OT68} + \alpha_{OK}^{**}; \\ \alpha_{OK}^* \cdot h_{\text{ПНД}1} = \alpha_{OT68} \cdot h_{OT68} + \alpha_{OK}^{**} \cdot h_{OK}^{**}. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_{OT65} \cdot (3033,04 - 653,88) \cdot 0,98 = 0,80848(632,52 - 503,18); \\ [\alpha_{OT66} \cdot (2867,62 - 523,96) + \alpha_{OT65} \cdot (653,88 - 523,96)] \cdot 0,98 = \\ = 0,80848 \cdot (503,18 - h_{\text{CM}1}); \\ [(\alpha_{OT67} + 0,07045) \cdot (2709,12 - 395,83) + (\alpha_{OT65} + \alpha_{OT66}) \cdot (523,96 - 395,83)] \cdot \\ \cdot 0,98 = \alpha_{OK} \cdot (375,43 - 248,64); \\ \alpha_{OK} = \alpha_{OK}^* + (\alpha_{OT65} + \alpha_{OT66} + (\alpha_{OT67} + 0,07045)); \\ \alpha_{OK} \cdot h_{\text{CM}} = \alpha_{OK}^* \cdot 375,43 + (\alpha_{OT65} + \alpha_{OT66} + (\alpha_{OT67} + 0,07045)) \cdot 395,83; \\ \alpha_{OK}^* = \alpha_{OT68} + \alpha_{OK}^{**}; \\ \alpha_{OK}^* \cdot 248,64 = \alpha_{OT68} \cdot 2518,00 + \alpha_{OK}^{**} \cdot 146,56. \end{array} \right.$$

$$\alpha_{OT65} = 0,04485;$$

$$\alpha_{от66} = 0,04142;$$

$$\alpha_{от67} = 0,03373;$$

$$\alpha_{от68} = 0,02964;$$

$$\alpha_{ок}^* = 0,68849;$$

$$\alpha_{ок}^{**} = 0,65885;$$

$$h_{см} = 378,46;$$

## 2.1.10 Проверка материального баланса рабочего тела в схеме. Определение расхода пара на турбину. Проверка мощности

### 2.1.10.1 Проверка материального баланса рабочего тела в схеме

Определяются относительные расходы пара из отборов турбины на каждый элемент схемы.

После можно из материального баланса турбины определить относительный расход пара в конденсатор:

$$a_k = 1 - \sum a_j;$$

Где  $\sum a_j$  – сумма расходов во все отборы турбины.

Подставим все известные значения в формулу и найдём относительный расход пара в конденсатор:

$$\begin{aligned} \alpha_k &= 1 - \sum (\alpha_{от61} + \alpha_{от62} + \alpha_{от63} + \alpha_{от64} + \alpha_{от65} + \alpha_{от66} + \alpha_{от67} + \alpha_{от68}) = \\ &= 1 - (0,02448 + 0,11829 + 0,0661 + 0,7605 + 0,04485 + 0,04142 + \\ &0,03373 + 0,02964) = 0,56540. \end{aligned}$$

Этот же расход можно определить, по-другому, из материального баланса конденсатора и точки смешения перед конденсатным насосом:

$$\alpha_k' = \alpha_{ок}^{**} - \sum a_{слива};$$

Где  $\alpha_{ок}^{**}$  – относительный расход основного конденсата на входе в группу ПНД;  $\sum a_{слива}$  – сумма относительных расходов, сливаемых в конденсатор и в точку смешения перед конденсатным насосом ( $\alpha_э, \alpha_{упл}, \alpha_{тп}$ ).

$$\alpha_k' = \alpha_{ок}^{**} - (\alpha_э + \alpha_{упл} + \alpha_{тп}) =$$

$$= 0,65885 - (0,003 + 0,02 + 0,07045) = 0,56540.$$

Относительная ошибка расходов пара:

$$\delta\alpha_k = 100 \cdot \frac{|\alpha_k - \alpha_k'|}{\alpha_k} = 100 \cdot \frac{|0,56540 - 0,56540|}{0,56540} = 0 < 0,5\%.$$

Относительная ошибка расходов составила 0%. Следовательно, расчёт верен.

### 2.1.10.2 Определение расхода пара на турбину

Расход пара на турбину определяется по формуле:

$$G_0 = \frac{N_9 \cdot 10^3}{[H_i \cdot \eta_m \cdot \eta_r \cdot (1 - \sum a_j \cdot y_j)]} =$$

$$\begin{aligned} \sum a_j \cdot y_j &= (a_{отб1} \cdot y_1 + a_{отб2} \cdot y_2 + a_{отб3} \cdot y_3 + a_{отб4} \cdot y_4 + a_{отб5} \cdot y_5 + a_{отб6} \cdot y_6 \\ &\quad + a_{отб7} \cdot y_7 + a_{отб8} \cdot y_8 + \alpha_{тп} \cdot y_4) = \\ &= (0,02448 \cdot 0,7856 + 0,11829 \cdot 0,7669 + 0,0661 \cdot 0,6339 + 0,07605 \cdot \\ &0,4821 + 0,04485 \cdot 0,4282 + 0,04142 \cdot 0,3255 + 0,03373 \cdot 0,2271 + 0,02964 \cdot \\ &0,1084) = 0,2321; \end{aligned}$$

Подставим все полученные значения в формулу и определим расход пара на турбину:

$$G_0 = \frac{830 \cdot 1000}{1610,69 \cdot 0,995 \cdot 0,99 \cdot (1 - 0,2321)} = 681,24 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Вычислим ошибку между полученным расходом  $G_0$  и  $G_0'$ :

$$\delta G = 100 \cdot \frac{|G_0 - G_0'|}{G_0} = 100 \cdot \frac{|681,24 - 681,24|}{681,24} = 0\% < 2\%.$$

Исходя из расчёта, относительная ошибка составила 0%, что является допустимым.

Все рассчитанные относительные расходы переведём в абсолютные:

Для первого отбора:

$$G_{отб1} = a_{отб1} \cdot G_0 = 0,02448 \cdot 681,24 = 16,68 \text{ кг/с};$$

Для второго отбора:

$$G_{отб2} = a_{отб2} \cdot G_0 = 0,11829 \cdot 681,24 = 80,59 \text{ кг/с};$$

Для третьего отбора:

$$G_{отб3} = a_{отб3} \cdot G_0 = 0,06614 \cdot 681,24 = 45,06 \text{ кг/с};$$

Для четвёртого отбора:

$$G_{отб4} = a_{отб4} \cdot G_0 = 0,07605 \cdot 681,24 = 51,81 \text{ кг/с};$$

Для пятого отбора:

$$G_{отб5} = a_{отб5} \cdot G_0 = 0,04485 \cdot 681,24 = 30,55 \text{ кг/с};$$

Для шестого отбора:

$$G_{отб6} = a_{отб6} \cdot G_0 = 0,04142 \cdot 681,24 = 28,21 \text{ кг/с};$$

Для седьмого отбора:

$$G_{отб7} = a_{отб7} \cdot G_0 = 0,03373 \cdot 681,24 = 22,98 \text{ кг/с};$$

Для восьмого отбора:

$$G_{отб8} = a_{отб8} \cdot G_0 = 0,02964 \cdot 681,24 = 20,19 \text{ кг/с};$$

Для относительного расхода пара в конденсатор:

$$G_k = \alpha_k \cdot G_0 = 0,56540 \cdot 681,24 = 385,17 \text{ кг/с};$$

Для турбопривода питательного насоса (НСП):

$$G_{тп} = a_{тп} \cdot G_0 = 0,07045 \cdot 681,24 = 47,99 \text{ кг/с};$$

Выполним проверку проведенных расчётов:

$$\begin{aligned} G_0 &= G_{отб1} + G_{отб2} + G_{отб3} + G_{отб4} + G_{отб5} + G_{отб6} + G_{отб7} + G_{отб8} + G_k = \\ &= 16,68 + 80,59 + 45,06 + 51,81 + 30,55 + 28,21 + 22,98 + 20,19 + 385,17 \\ &= 681,24 \frac{\text{кг}}{\text{с}}; \end{aligned}$$

Следовательно, расчёт произведён верно.

### 2.1.10.3 Проверка мощности

Правильность расчёта расходов можно определить по расчётной электрической мощности:

$$\begin{aligned} N'_э &= G_0 \cdot [H_i \cdot a_k + \Sigma a_{отбj} \cdot H_j] \cdot \eta_m \cdot \eta_r; \\ \Sigma a_{отбj} \cdot H_j &= (a_{отб1} \cdot H_1 + a_{отб2} \cdot H_2 + a_{отб3} \cdot H_3 + a_{отб4} \cdot H_4 + a_{отб5} \cdot H_5 + a_{отб6} \\ &\cdot H_6 + a_{отб7} \cdot H_7 + a_{отб8} \cdot H_8 + \alpha_{др}^{ПС-1} \cdot H_6 + \alpha_{тп} \cdot H_4) = \end{aligned}$$

$$= (0,02448 \cdot 345,32 + 0,11829 \cdot 375,53 + 0,06614 \cdot 589,65 + 0,07605 \cdot 834,15 + 0,04485 \cdot 921,03 + 0,04142 \cdot 1086,45 + 0,03373 \cdot 1244,96 + 0,02964 \cdot 1436,07) = 326,17;$$

$$N'_3 = 681,24 \cdot [1610,69 \cdot 0,56540 + 326,17] \cdot 0,995 \cdot 0,99 = 830 \text{ МВт.}$$

Определим расхождение в расчётной и заданной мощностях:

$$\delta N_3 = 100 \cdot \frac{|N_3 - N'_3|}{N_3} = 100 \cdot \frac{|830 - 830|}{830} = 0\% < 1\%.$$

Расхождение в мощностях составляет 0%. Следовательно, расчёт верен.

### 2.1.11 Расчёт показателей тепловой экономичности

Тепловая нагрузка парогенерирующей установки, кВт:

$$Q_{\text{ПГ}} = G_0 \cdot [a_{\text{ПГ}} \cdot (h_0 - h_{\text{ПВ1}}) + a_{\text{ПП}} \cdot \Delta h_{\text{ПП}}],$$

Где  $a_{\text{ПП}} = a_0 - \alpha_{\text{отб1}} - \alpha_{\text{отб2}} = 1 - 0,02448 - 0,11829 = 0,85722$ ;

$$Q_{\text{ПГ}} = 681,24 \cdot [1,033 \cdot (3371,29 - 1158,45) + 0,85722 \cdot 582,78] = 1897,56 \text{ МВт.}$$

Полная тепловая нагрузка турбоустановки, кВт:

$$Q_{\text{ТУ}} = G_0 \cdot [(a_{\text{ТУ}} + a_{\text{УПЛ}}) \cdot (h_0 - h_{\text{ПВ}}) + a_{\text{ДВ}} \cdot (h_{\text{ДВ}} - h_{\text{ПВ}}) + a_{\text{ПП}} \cdot \Delta h_{\text{ПП}}] = 681,24 \cdot [(1 + 0,02) \cdot (3371,29 - 1158,45) + 0,01 \cdot (126,6 - 1158,45) + 0,85722 \cdot 582,78] = 1870,93 \text{ МВт.}$$

Тепловая нагрузка турбоустановки по производству электроэнергии, кВт:

$$Q_{\text{ТУ}}^{\text{э}} = Q_{\text{ТУ}} - Q_{\text{Т}} = 1870,93 - 0 = 1870,93 \text{ МВт.}$$

КПД турбоустановки по производству электроэнергии:

$$\eta_{\text{ТУ}}^{\text{э}} = \frac{N_3 + N_{\text{ТП}}}{Q_{\text{ТУ}}^{\text{э}}}.$$

Мощность турбопривода:

$$N_{\text{ТП}} = \frac{a_{\text{ПВ}} \cdot G_0 \cdot h_{\text{Н}}^{\text{а}}}{\eta_{\text{Н}}} = \frac{1,033 \cdot 681,24 \cdot 37,93}{0,78} = 34,26 \text{ МВт;}$$

$$\eta_{\text{ТУ}}^{\text{э}} = \frac{830 + 34,26}{1870,93} = 0,4619.$$

КПД трубопроводов, связывающих парогенерирующую установку с турбиной:

$$\eta_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{ту}}}{Q_{\text{ПГ}}} = \frac{1870,93}{1897,56} = 0,98597.$$

КПД блока по отпуску электроэнергии:

$$\eta_{\text{с}}^{\text{э}} = \eta_{\text{ту}}^{\text{э}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{ПГУ}} \cdot (1 - k_{\text{с.н.}}).$$

Топливом станции является уголь, поэтому уд. расход на собственные нужды  $k_{\text{с.н.}} = 0,04$ .

КПД ПГУ  $\eta_{\text{ПГУ}} = 0,92$  [5, табл. 3].

Следовательно:

$$\eta_{\text{с}}^{\text{э}} = 0,4619 \cdot 0,98597 \cdot 0,92 \cdot (1 - 0,04) = 0,4023.$$

Удельный расход условного топлива по отпуску электроэнергии:

$$b_{\text{э}}^{\text{отп}} = \frac{123}{\eta_{\text{с}}^{\text{э}}} = \frac{123}{0,4023} = 305,78 \frac{\text{г у. т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

Таблица 4 – Показатели тепловой экономичности станции

$N_{\text{э}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ПГ}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ту}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ту}}^{\text{э}}, \text{МВт}$	$\eta_{\text{ту}}^{\text{э}}$	$\eta_{\text{тр}}$	$\eta_{\text{с}}^{\text{э}}$
830	1897,56	1870,93	1870,93	0,4619	0,98597	0,4023
$b_{\text{э}}^{\text{отп}}, \frac{\text{г у. т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$				$b_{\text{т}}^{\text{отп}}, \frac{\text{кг у. т.}}{\text{ГДж}}$		
305,78				—		

## 2.2 Расчет тепловой схемы с двухступенчатой сетевой установкой

Расходы и давления с индексом «0» на верху принадлежат к режиму без сетевой установки.

Нагрев в СП будет равномерный, значит::

$$\Delta t_{\text{СП}} = \frac{t_{\text{пс}} - t_{\text{ос}}}{z} = \frac{160 - 70}{2} = 45 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_{\text{пс}}$  и  $t_{\text{ос}}$  – температуры прямой и обратной сети.

Температуры воды после прохождения сетевых подогревателей:

$$t_{\text{пс-1}} = t_{\text{ос}} + \Delta t_{\text{СП}} = 70 + 45 = 115 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{пс-2}} = t_{\text{пс-1}} + \Delta t_{\text{СП}} = 115 + 45 = 160 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Недогрев составит  $\theta_{\text{СП}} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ , с помощью этого найдем давления насыщения:

$$t_{s \text{ пс-1}} = t_{\text{пс-1}} + \theta_{\text{СП}} = 115 + 5 = 115 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$P_{s \text{ пс-1}} = f(t_{s \text{ пс-1}}) = 0,1987 \text{ МПа.}$$

$$t_{s \text{ пс-2}} = t_{\text{пс-2}} + \theta_{\text{СП}} = 160 + 5 = 145 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$P_{s \text{ пс-2}} = f(t_{s \text{ пс-2}}) = 0,7008 \text{ МПа.}$$

С учетом потерь давление в отборах турбины:

$$P_{\text{отб. ПС-1}} = 1,05 \cdot P_{s \text{ пс-1}} = 1,05 \cdot 0,1987 = 0,2086 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{отб. ПС-2}} = 1,05 \cdot P_{s \text{ пс-2}} = 1,05 \cdot 0,7008 = 0,7359 \text{ МПа};$$

С помощью таблицы 3 выберем отборы, пар из которых пойдет на подогреватели. ПС-1 будет питаться от 6 отбора, ПС-2 – от 4 отбора. Тепловая схема с двухступенчатым сетевым подогревателем, представлена в приложении Б. Так как подогреватели подключаются к ранее посчитанным отборам, то необходимо уточнить давления в сетевых подогревателях:

$$P_{s \text{ пс-1}} = P_6^0 \cdot 0,95 = 0,2425 \cdot 0,95 = 0,2304 \text{ МПа};$$

$$t_{s \text{ пс-1}} = f(P_{s \text{ пс-1}}) = 124,74 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{пс-1}} = t_{s \text{ пс-1}} - \theta_{\text{СП}} = 124,74 - 5 = 119,74 \text{ }^\circ\text{C}.$$

$$P_{s \text{ пс-2}} = P_5^0 \cdot 0,95 = 0,8450 \cdot 0,95 = 0,8028 \text{ МПа};$$

$$t_{s \text{ пс-2}} = f(P_{s \text{ пс-2}}) = 170,56 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{пс-2}} = t_{s \text{ пс-2}} - \theta_{\text{СП}} = 170,56 - 5 = 165,56 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Необходим обвод сетевых подогревателей, так как после подключения к отбору температура за ним не соответствует температуре заданной сетью.

$$G_{\text{обв}} = \frac{G_{\text{св}} \cdot (t_{\text{пс-2}} - t_{\text{пс}})}{t_{\text{пс-2}} - t_{\text{пс}}},$$

где  $G_{\text{св}}$  – расход сетевой воды. Найдем из уравнения:

$$\frac{Q_{\text{от}}}{t_{\text{пс}} - t_{\text{ос}}} = \frac{Q_{\text{ПС-1}}}{t_{\text{пс-1}} - t_{\text{ос}}} = \frac{Q_{\text{ПС-2}}}{t_{\text{пс}} - t_{\text{пс-1}}} = G_{\text{св}} \cdot c_p,$$

где  $Q_{\text{от}}$  – тепловая нагрузка, задана в условии  $Q_{\text{от}} = 120 \text{ МВт}$ .

$$G_{\text{св}} = \frac{Q_{\text{от}}}{(t_{\text{пс}} - t_{\text{ос}}) \cdot c_p} = \frac{120 \cdot 10^3}{(160 - 70) \cdot 4,19} = 318,22 \text{ кг/с.}$$

$$G_{\text{обв}} = \frac{G_{\text{св}} \cdot (t_{\text{пс-2}} - t_{\text{пс}})}{t_{\text{пс-2}} - t_{\text{пс-1}}} = \frac{318,22 \cdot (165,56 - 160)}{165,56 - 119,74} = 38,59 \text{ кг/с.}$$

Тепловую нагрузку каждого подогревателя:

$$Q_{\text{ПС-1}} = G_{\text{св}} c_p (t_{\text{ПС-1}} - t_{\text{ос}}) = 318,22 \cdot 4,19 \cdot (119,74 - 70) = 66,32 \text{ МВт};$$

$$Q_{\text{ПС-2}} = G_{\text{св}} c_p (t_{\text{ПС}} - t_{\text{ПС-1}}) = 318,22 \cdot 4,19 \cdot (160 - 119,74) = 55,68 \text{ МВт}.$$

Составим уравнения теплового и баланса и найдем абсолютный расход греющего пара:

$$Q_{\text{ПС-2}} = G_{\text{ПС-2}} (h_4 - h_4') \cdot \eta_{\text{п}};$$

$$Q_{\text{ПС-1}} = [G_{\text{ПС-2}} (h_4' - h_6') + G_{\text{ПС-1}} (h_6 - h_6')] \cdot \eta_{\text{п}};$$

$$G_{\text{ПС-2}} = \frac{Q_{\text{ПС-2}}}{(h_4 - h_4') \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{55680}{(3119,92 - 684,22) \cdot 0,98} = 22,49 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{ПС-1}} = \frac{\frac{Q_{\text{ПС-1}}}{\eta_{\text{п}}} - G_{\text{ПС-2}} (h_4' - h_6')}{h_6 - h_6'} = \frac{\frac{66320}{0,98} - 22,49 \cdot (684,22 - 523,96)}{2867,62 - 523,96} =$$

$$= 28,25 \text{ кг/с};$$

$$G_{\text{ПС}}^{\text{ДР}} = G_{\text{ПС-1}} + G_{\text{ПС-2}} = 22,49 + 28,25 = 50,74 \text{ кг/с}.$$

Абсолютный расход пара на 4 и 6 отборы:

$$G_4 = G_4^0 + G_{\text{ПС-2}} = 51,81 + 22,49 = 74,30 \text{ кг/с}.$$

$$G_6 = G_6^0 + G_{\text{ПС-1}} = 28,21 + 28,25 = 56,46 \text{ кг/с}.$$

Новый расход пара в конденсатор в первом приближении:

$$G_{\text{к}} = G_0 - G_1 - G_2 - G_3 - G_4 - G_5 - G_6 - G_7 - G_8 = 681,24 - 16,68 - 80,59 -$$

$$- 45,06 - 74,30 - 30,55 - 56,46 - 22,98 - 20,19 = 334,43 \text{ кг/с}.$$

### 2.2.1 Пересчет давлений с учетом изменившегося расхода на отсеки

Запишем расходы пара через отсеки турбины в исходном режиме и найдем новые расходы пара с учетом изменения расхода на отборах.

$$G_{0-1}^0 = G_0^0 = 681,24 \text{ кг/с};$$

$$G_{1-2}^0 = G_0^0 - G_1^0 = 681,24 - 16,68 = 667,56 \text{ кг/с};$$

$$G_{2-3}^0 = G_{1-2}^0 - G_2^0 = 667,56 - 80,59 = 583,97 \text{ кг/с};$$

$$G_{3-4}^0 = G_{2-3}^0 - G_3^0 = 583,97 - 45,06 = 538,92 \text{ кг/с};$$

$$G_{4-5}^0 = G_{3-4}^0 - G_4^0 = 538,92 - 74,30 = 464,62 \text{ кг/с};$$

$$G_{5-6}^0 = G_{4-5}^0 - G_5^0 = 464,62 - 30,55 = 434,07 \text{ кг/с};$$

$$G_{6-7}^0 = G_{5-6}^0 - G_6^0 = 456,55 - 28,21 = 428,34 \text{ кг/с};$$

$$G_{7-8}^0 = G_{6-7}^0 - G_7^0 = 428,34 - 22,98 = 405,36 \text{ кг/с};$$

$$G_{8-к}^0 = G_{7-8}^0 - G_8^0 = 405,36 - 20,19 = 385,17 \text{ кг/с}.$$

Найдем расходы в отсеках турбины с учетом новых расходов на сетевую установку.

$$G_{4-5} = G_{3-4} - G_4 = 538,92 - 74,30 = 464,62 \text{ кг/с};$$

$$G_{5-6} = G_{4-5} - G_5 = 464,62 - 30,55 = 434,07 \text{ кг/с};$$

$$G_{6-7} = G_{5-6} - G_6 = 434,07 - 56,46 = 377,60 \text{ кг/с};$$

$$G_{7-8} = G_{6-7} - G_7 = 377,60 - 22,98 = 354,63 \text{ кг/с};$$

$$G_{8-к} = G_{7-8} - G_8 = 354,63 - 20,19 = 334,43 \text{ кг/с}.$$

Из-за того что расход в конденсатор изменится, изменится и давление в конденсаторе:

$$t_{кс} = t_{цв} + \frac{G_{к}}{G_{к}^0} (t_{кс}^0 - t_{цв}^0) = 12 + \frac{334,43}{385,17} (28,96 - 12) = 26,73 \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $t_{цв} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$  – температура циркуляционной воды.

$$P_{к} = f_s(t_{кс}) = 0,00351 \text{ МПа}.$$

Давление в выхлопе турбины:

$$P_{к}' = 1,05 \cdot P_{к} = 1,05 \cdot 0,00351 = 0,00369 \text{ МПа}.$$

Перед ПНД основной конденсат нагревается в ОЭ и ОУ, найдём температура основного конденсата после подогрева:

$$t_{ок}^* = t_{к} + \Delta t_{ОЭ} + \Delta t_{ОУ},$$

$$t_{ок}^* = t_{к} + \Delta t_{ОЭ} + \Delta t_{ОУ} = 26,73 + 4 + 2 = 32,73 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Пересчитаем давления в отборах с помощью зависимости Стодолы-Флюгеля:

$$P_i = \sqrt{(P_{i+1})^2 + \left(\frac{G_{i \text{ отсек}+1}}{G_{i \text{ отсек}+1}^0}\right)^2 \cdot ((P_i^0)^2 - (P_{i+1}^0)^2)};$$

$$P_8 = \sqrt{(P_{к}')^2 + \left(\frac{G_{8-к}}{G_{8-к}^0}\right)^2 \cdot ((P_8^0)^2 - (P_{к}^0)^2)} =$$

$$= \sqrt{0,00369^2 + \left(\frac{334,43}{385,17}\right)^2 \cdot (0,0203^2 - 0,0042^2)} = 0,0176 \text{ МПа}$$

$$P_7 = \sqrt{(P_8)^2 + \left(\frac{G_{7-8}}{G_{7-8}^0}\right)^2 \cdot ((P_7^0)^2 - (P_8^0)^2)} =$$

$$= \sqrt{0,00176^2 + \left(\frac{354,63}{405,36}\right)^2 \cdot (0,0874^2 - 0,0203^2)} = 0,0764 \text{ МПа};$$

$$P_6' = 0,2136 \text{ МПа};$$

$$P_6 = \frac{P_6'}{0,95} = \frac{0,2136}{0,95} = 0,2225 \text{ МПа};$$

$$P_5 = 0,5405 \text{ МПа};$$

$$P_4 = 0,8025 \text{ МПа};$$

$$P_3 = 2,1517 \text{ МПа};$$

$$P_{\text{III}} = 4,3119 \text{ МПа};$$

$$P_2 = \frac{P_{\text{III}}}{0,88} = \frac{4,3119}{0,88} = 4,9906 \text{ МПа};$$

$$P_1 = 5,7844 \text{ МПа};$$

$$P_0' = 23,7480 \text{ МПа}.$$

Таблица 5 – Сводная таблица параметров пара и воды с двухступенчатой сетевой установкой

Точка	Элемент	Пар в турбине		Пар в подогревателе	Дренаж греющего пара		Питательная Основная Сеть	
		$P_{отб}$	$h_{отб}$	$P_{п}$	$t_{н}$	$h'$	$t_{пв}, t_{ок}, t_{св}$	
0	-	25	3371,29	-	-	-	-	
0'	-	23,7480	3371,29	-	-	-	-	
1	ПВД-3	5,7844	3025,70	5,4951	269,91	1184,64	264,91	
2	ПВД-2	4,9906	2995,40	4,7411	260,64	1138,01	255,64	
ПП'	ПП	4,4916	3578,62	-	-	-	-	
3	ПВД-1	2,1517	3362,88	2,0492	213,62	914,27	208,62	
4	Д	0,8025	3108,47	0,6173	159,95	675,35	159,95	0,
5	ПНД-4	0,5405	3021,49	0,5134	152,84	644,52	147,84	0,
6	ПНД-3	0,2225	2853,13	0,2113	121,96	512,13	116,96	0,
7	ПНД-2	0,0764	2690,48	0,0726	90,89	380,71	85,89	0,
8	ПНД-1	0,0176	2501,26	0,0168	56,28	235,59	56,28	0,
Кт	-	0,00369	2231,79	-	-	-	-	
К'	-	0,00351	2329,96	-	-	-	-	

### 2.2.2 Определение действительных расходов на сетевую установку

$$\Delta t_{св} = \frac{160 - 70}{2} = 45^{\circ}\text{C}.$$

Давление сетевой воды:

$$P_{св} = 1,5 \text{ МПа}.$$

Температура воды после прохождения через СП:

$$t_{св}^{ПС-1} = 70 + 45 = 115^{\circ}\text{C},$$

$$t_s^{ПС-1} = t_{св}^{ПС-1} + \theta = 115 + 5 = 120^{\circ}\text{C},$$

$$P^{ПС-1} = f(t_s^{ПС-1}) = 0,1987 \text{ МПа}$$

$$t_{св}^{ПС-2} = 115 + 45 = 160^{\circ}\text{C},$$

$$t_s^{ПС-2} = t_{св}^{ПС-2} + \theta = 160 + 5 = 165^{\circ}\text{C},$$

$$P^{ПС-2} = f(t_s^{ПС-2}) = 0,7008 \text{ Мпа}$$

По давлениям из Таблица 5 подключаем СП-1 к отбору 6, а СП-2 к отбору 4:

$$P_0^{\text{ПС-1}} = \frac{0,2225}{0,95} = 0,2113 \text{ МПа,}$$

$$P_0^{\text{ПС-2}} = \frac{0,8025}{0,95} = 0,7624 \text{ МПа.}$$

Пересчитаем температуру воды после прохождения через СП:

$$t_s^{\text{ПС-1}} = f(P_0^{\text{ПС-1}}) = 121,96^\circ\text{C,}$$

$$t_s^{\text{ПС-2}} = f(P_0^{\text{ПС-2}}) = 168,43^\circ\text{C,}$$

$$t_{\text{св}}^{\text{ПС-1}} = t_s^{\text{ПС-1}} - \theta = 121,96 - 5 = 116,96$$

$$t_{\text{св}}^{\text{ПС-2}} = t_s^{\text{ПС-1}} - \theta = 168,43 - 5 = 163,43$$

Расход сетевой воды на обвод:

$$G_{\text{обв}} = \frac{G_{\text{св}} \cdot (t_{\text{ПС-2}} - t_{\text{ПС}})}{t_{\text{ПС-2}} - t_{\text{ос}}} = \frac{318,22 \cdot (163,43 - 140)}{163,43 - 70} = 11,67 \text{ кг/с.}$$

Теплова нагрузка каждого подогревателя:

$$Q_{\text{ПС-1}} = G_{\text{св}} c_p (t_{\text{ПС-1}} - t_{\text{ос}}) = 318,22 \cdot 4,19 \cdot (116,96 - 70) = 62,62 \text{ МВт.}$$

$$Q_{\text{ПС-2}} = G_{\text{св}} c_p (t_{\text{ПС}} - t_{\text{ПС-1}}) = 318,22 \cdot 4,19 \cdot (160 - 116,96) = 57,38 \text{ МВт.}$$

Составим уравнения теплового и баланса и найдем абсолютный расход греющего пара:

$$Q_{\text{ПС-2}} = G_{\text{ПС-2}} (h_5 - h_5') \cdot \eta_{\text{п}};$$

$$Q_{\text{ПС-1}} = [G_{\text{ПС-2}} (h_5' - h_6') + G_{\text{ПС-1}} (h_6 - h_6')] \cdot \eta_{\text{п}};$$

$$G_{\text{ПС-2}} = \frac{Q_{\text{ПС-2}}}{(h_4 - h_4') \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{62620}{(3108,47 - 675,35) \cdot 0,95} = 24,83 \text{ кг/с;}$$

$$G_{\text{др}}^{\text{ПС-2}} = G_{\text{ПС-2}} = 24,83 \text{ кг/с;}$$

$$G_{\text{ПС-1}} = \frac{\frac{Q_{\text{ПС-1}}}{\eta_{\text{п}}} - G_{\text{ПС-2}} (h_4' - h_6')}{h_6 - h_6'} = \frac{\frac{57380}{0,95} - 24,83 \cdot (675,35 - 512,13)}{2853,13 - 512,13} =$$

$$= 26,43 \text{ кг/с;}$$

$$G_{\text{др}}^{\text{ПС-1}} = G_{\text{ПС-1}} + G_{\text{ПС-2}} = 26,43 + 24,83 = 51,25 \text{ кг/с.}$$

### 2.2.3 Составление общих уравнений материального баланса

Определим относительные расходы пара на сетевые подогреватели:

$$\alpha_{СП-2} = \frac{G_{СП2}}{G_0} = \frac{24,83}{681,24} = 0,03644.$$

$$\alpha_{СП-1} = \frac{G_{СП1}}{G_0} = \frac{26,43}{681,24} = 0,03879;$$

$$\alpha_{др СП-1} = \frac{51,25}{681,24} = 0,07523$$

Дренаж сетевых подогревателей сливает после ПНД-2.

Расчёт расходов будет выполнен с учетом новых расходов пара н сетевую установку, а в остальном так же как в пунктах 2.1.5 – 2.1.10. Результаты расходов будут занесены в таблицу 6.

Таблица 6 – Относительные и абсолютные расходы на отборы с двухступенчатой сетевой установкой

Номер отбора	Давление в камерах отбора, $P_i$	Относительный расход, $\alpha_i$	Абсолютный расход, $G_i$
	МПа	–	кг/с
1	5,7844	0,02455	16,721
2	4,9906	0,11861	80,798
3	2,1517	0,06944	47,308
4	0,8025	0,11115	75,722
5	0,5405	0,04560	31,064
6	0,2225	0,07627	51,956
7	0,0764	0,02915	19,858
8	0,0176	0,02592	17,658
К	0,00351	0,49932	340,155

Таблица 7 – Параметры двухступенчатой сетевой установки

Номер п-ля	Тепловая нагрузка на подогреватель, $Q_{\text{ПС-}i}$	Температура за подогревателем, $t_{\text{ПС-}i}$	Абсолютный расход, $G_i$	Относительный расход, $\alpha_{\text{ПС-}i}$
	МВт	°С	кг/с	–
ПС-1	62,62	116,96	26,43	0,03879
ПС-2	57,38	163,43	24,83	0,03644
Расход сетевой воды, $G_{\text{СВ}}$			Расход на обвод, $G_{\text{ОбВ}}$	
кг/с			кг/с	
318,22			11,67	

## 2.2.4 Расчёт показателей тепловой экономичности

Расчет электрической мощности:

$$\begin{aligned} N_{\text{э}} &= G_0 \left[ H_i \cdot \alpha_{\text{к}} + \sum (\alpha_j \cdot H_j) \right] \eta_{\text{м}} \eta_{\text{г}} = \\ &= 681,24 \cdot [1624,55 \cdot 0,49932 + 389,25] \cdot 10^3 \cdot 0,99 \cdot 0,995 = \\ &= 805546 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Тепловая нагрузка парогенерирующей установки, кВт:

$$Q_{\text{ПГ}} = G_0 \cdot [a_{\text{ПГ}} \cdot (h_0 - h_{\text{ПВ1}}) + a_{\text{ПП}} \cdot \Delta h_{\text{ПП}}],$$

Где  $a_{\text{ПП}} = a_0 - \alpha_{\text{отб1}} - \alpha_{\text{отб2}} = 1 - 0,02455 - 0,11861 = 0,85685$ ;

$$\begin{aligned} Q_{\text{ПГ}} &= 681,24 \cdot [1,033 \cdot (3371,29 - 1158,03) + 0,85722 \cdot 582,78] = \\ &= 1897,95 \text{ МВт}. \end{aligned}$$

Полная тепловая нагрузка турбоустановки, кВт:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ТУ}} &= G_0 \cdot [(a_{\text{ТУ}} + a_{\text{УПЛ}}) \cdot (h_0 - h_{\text{ПВ}}) + a_{\text{ДВ}} \cdot (h_{\text{ДВ}} - h_{\text{ПВ}}) + a_{\text{ПП}} \cdot \Delta h_{\text{ПП}}] = \\ &= 681,24 \cdot [(1 + 0,02) \cdot (3371,29 - 1158,03) + 0,01 \cdot (126,6 - \\ &1158,03) + 0,85685 \cdot 582,22] = 1871,32 \text{ МВт}. \end{aligned}$$

Тепловая нагрузка турбоустановки на отопление, кВт:

$$Q_{\text{Т}} = \frac{Q_{\text{от}}^{\text{сп}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{Q_{\text{от}}}{\eta_{\text{п}}} = \frac{120}{0,95} = 126,32 \text{ МВт}.$$

Тепловая нагрузка турбоустановки по производству электроэнергии, кВт:

$$Q_{\text{ТУ}}^{\text{э}} = Q_{\text{ТУ}} - Q_{\text{Т}} = 1871,32 - 126,32 = 1745,01 \text{ МВт}.$$

КПД турбоустановки по производству электроэнергии:

$$\eta_{\text{ТУ}}^{\text{э}} = \frac{N_{\text{э}} + N_{\text{ТП}}}{Q_{\text{ТУ}}^{\text{э}}}.$$

Где мощность турбопривода:

$$N_{\text{ТП}} = \frac{a_{\text{ПВ}} \cdot G_0 \cdot h_{\text{Н}}^{\text{а}}}{\eta_{\text{Н}}} = \frac{1,033 \cdot 681,24 \cdot 37,89}{0,78} = 34,18 \text{ МВт};$$

$$\eta_{\text{ТУ}}^{\text{э}} = \frac{830 + 34,26}{1745,01} = 0,4812.$$

КПД трубопроводов:

$$\eta_{\text{ТР}} = \frac{Q_{\text{ТУ}}}{Q_{\text{ПГ}}} = \frac{1871,32}{1897,95} = 0,98597.$$

КПД блока по отпуску электроэнергии:

$$\begin{aligned}\eta_c^э &= \eta_{ту}^э \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{пгу} \cdot (1 - k_{с.н.}) = \\ &= 0,4812 \cdot 0,98597 \cdot 0,92 \cdot (1 - 0,04) = 0,4191.\end{aligned}$$

Удельный расход условного топлива по отпуску электроэнергии:

$$b_э^{отп} = \frac{123}{\eta_c^э} = \frac{123}{0,4191} = 293,52 \frac{\text{г у. т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}.$$

КПД блока по отпуску теплоты:

$$\eta_c^т = \eta_{пгу} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_{п} = 0,92 \cdot 0,98597 \cdot 0,95 = 0,8617.$$

Удельный расход условного топлива по отпуску теплоты на ТЭС, кг у.т./ГДж:

$$b_т^{отп} = \frac{34,1}{\eta_c^т} = \frac{34,1}{0,8617} = 39,57 \frac{\text{кг у. т.}}{\text{ГДж}}$$

Таблица 8 – Показатели тепловой экономичности станции с двухступенчатой сетевой установкой

$N_э$ , МВт	$Q_{пг}$ , МВт	$Q_{ту}$ , МВт	$Q_{ту}^э$ , МВт	$\eta_{ту}^э$	$\eta_{тр}$	$\eta_c^э$
805,546	1897,95	1871,32	1745,01	0,4812	0,98597	0,4191
$b_э^{отп}, \frac{\text{г у. т.}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$			$b_т^{отп}, \frac{\text{кг у. т.}}{\text{ГДж}}$			
293,52			39,57			

### 2.2.5 Выбор оборудования для двухступенчатой сетевой установки

Рассчитаем ПС-1. Найдем среднелогарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{ср.л.ПС-1} = \frac{t_{пс-1} - t_{ос}}{\ln \frac{t_{спс-1} - t_{ос}}{t_{спс-1} - t_{пс-1}}} = \frac{116,96 - 70}{\ln \frac{121,96 - 70}{121,96 - 116,96}} = 20,06 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тепловой поток в подогревателе равен его тепловой нагрузке:

$$Q_{ПС-1} = 62,62 \text{ МВт.}$$

Площадь теплообмена сетевого подогревателя:

$$F_{ПС-1} = \frac{Q_{ПС-1}}{k \cdot \Delta t_{ср.л.2}} = \frac{62,62 \cdot 10^3}{3 \cdot 18,47} = 1040,5 \text{ м}^2.$$

По таблице 3.27 [7] выбираем два подогревателя типа ПСВ-500-14-23-1. Площадь поверхности теплопередачи которого 500 м<sup>2</sup>.

Рассчитаем ПС-2. Найдем среднелогарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{\text{ср.л.ПС-2}} = \frac{t_{\text{ПС-2}} - t_{\text{ПС-1}}}{\ln \frac{t_{\text{СПС-2}} - t_{\text{ПС-1}}}{t_{\text{СПС-2}} - t_{\text{ПС-2}}}} = \frac{163,43 - 116,96}{\ln \frac{168,43 - 116,96}{168,43 - 163,437}} = 19,93 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Тепловой поток в подогревателе равен его тепловой нагрузке:

$$Q_{\text{ПС-2}} = 57,38 \text{ МВт.}$$

Площадь теплообмена сетевого подогревателя:

$$F_{\text{ПС-2}} = \frac{Q_{\text{ПС-1}}}{k \cdot \Delta t_{\text{ср.л.2}}} = \frac{57,38 \cdot 10^3}{3 \cdot 19,93} = 959,8 \text{ м}^2.$$

По таблице 3.27 [7] выбираем два подогревателя типа ПСВ-500-14-23-1. Площадь поверхности теплопередачи которого 500 м<sup>2</sup>.

Выбор сетевого насоса:

Расход сетевой воды:

$$G_{\text{св}} = 381,24 \text{ кг/с.}$$

Подача сетевого насоса:

$$V_{\text{СН}} = 1,05 \cdot G_{\text{св}} \cdot \nu' \cdot 3600,$$

где  $\nu'$  – удельный объем воды,  $\nu' = f(P_{\text{св}}, t_{\text{ос}}) = 0,0010285 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

$$V_{\text{СН}} = 1,05 \cdot 381,24 \cdot 0,0010285 \cdot 3600 = 1229,43 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для сетевого насоса выберем СЭ2000-100 по таблице 5,6 [7]. Резервный насос выберем точно такой же. Подача 2000 л/ч; напор 100 м; частота вращения – 50 об/сек; КПД – 0,85.

### 2.3 Расчет тепловой схемы с одноступенчатой сетевой установкой

Расчет тепловой схемы с одноступенчатой сетевой установкой (Приложение А) будет выполнен так же как расчет тепловой схемы с двухступенчатым подогревателем. Результаты будут представлены в виде таблиц.

В ходе расчета выяснили что ПС-1 будет подключен к 6 отбору.

Таблица 9 – Параметры одноступенчатой сетевой установки

Номер п-ля	Тепловая нагрузка на подогреватель, $Q_{\text{ПС-}i}$	Температура за подогревателем, $t_{\text{ПС-}i}$	Абсолютный расход, $G_i$	Относительный расход, $\alpha_{\text{ПС-}i}$
	МВт	°С	кг/с	–
ПС-1	120	160,7	51,99	0,07631
Расход сетевой воды, $G_{\text{СВ}}$			Расход на обвод, $G_{\text{обв}}$	
кг/с			кг/с	
318,22			2,45	

Таблица 10 – Сводная таблица параметров пара и воды с одноступенчатой сетевой установкой

Точка	Элемент	Пар в турбине		Пар в подогревателе	Дренаж греющего пара		Питательная вода Основной конденсат Сетевая вода			Удельная работа	Коэф. Недовыработки
		$P_{\text{отб}}$	$h_{\text{отб}}$	$P_{\text{п}}$	$t_{\text{н}}$	$h'$	$t_{\text{пв}}, t_{\text{ок}}, t_{\text{св}}$	$P_{\text{пв}}$	$h_{\text{пв}}$	$H_j$	$y_j$
0	-	25	3371,29	-	-	-	-	-	-	-	-
0'	-	23,7458	3371,29	-	-	-	-	-	-	-	-
1	ПВД-3	5,7750	3025,38	5,4863	269,81	1184,11	264,81	35	1157,55	345,91	0,7872
2	ПВД-2	4,9798	2994,98	4,7308	260,51	1137,34	255,51	35	1114,55	376,31	0,7685
ПП'	ПП	4,4818	3578,71	-	-	-	-	-	-	-	-
3	ПВД-1	2,1329	3361,06	2,0313	213,17	912,22	208,17	35	903,13	593,96	0,6346
4	Д	0,7506	3093,74	0,5774	157,34	664,00	157,34	0,8083	664,14	861,28	0,4702
5	ПНД-4	0,5074	3008,82	0,4820	150,46	634,24	145,46	0,8083	612,92	946,20	0,4180
6	ПНД-3	0,2206	2852,10	0,2095	121,69	510,98	116,69	0,8083	490,18	1102,92	0,3215
7	ПНД-2	0,0757	2689,57	0,0719	90,65	379,71	85,65	0,8083	359,27	1265,45	0,2216
8	ПНД-1	0,0174	2500,44	0,0166	56,08	234,76	56,08	0,8083	235,43	1454,59	0,1052
Кт	-	0,00366	2231,30	-	-	-	-	-	-	-	-
К'	-	0,00348	2329,39	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 11 – Относительные и абсолютные расходы на отборы с одноступенчатой сетевой установкой

Номер отбора	Давление в камерах отбора, $P_i$	Относительный расход, $\alpha_i$	Абсолютный расход, $G_i$
--------------	----------------------------------	----------------------------------	--------------------------

	МПа	–	кг/с
1	5,7750	0,02462	16,77
2	4,9798	0,11934	81,30
3	2,1329	0,07336	49,97
4	0,7506	0,15027	102,37
5	0,5074	0,04235	28,85
6	0,2206	0,03252	22,15
7	0,0757	0,02977	20,28
8	0,0174	0,02600	17,71
К	0,00348	0,50177	341,82

Таблица 12 – Показатели тепловой экономичности станции с одноступенчатой

$N_{э}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ПГ}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ту}}, \text{МВт}$	$Q_{\text{ту}}^э, \text{МВт}$	$\eta_{\text{ту}}^э$	$\eta_{\text{тр}}$	$\eta_c^э$
800,934	1898,27	1871,64	1745,32	0,4785	0,98597	0,4167
$b_{э}^{\text{отп}}, \frac{\text{Г У.Т.}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$				$b_{\text{Г}}^{\text{отп}}, \frac{\text{кг У.Т.}}{\text{ГДж}}$		
295,22				39,57		

### 2.3.1 Выбор оборудования для одноступенчатой сетевой установки

Для ПС-1 по таблице 3.27 [7] выбираем три подогреватель типа ПСВ-500-14-23-І. Площадь поверхности теплопередачи которого 500 м<sup>2</sup>.

Для сетевого насоса выберем СЭ2000-100 по таблице 5,6 [7]. Резервный насос выберем точно такой же. Подача 2000 л/ч; напор 100 м; частота вращения – 50 об/сек; КПД – 0,85.

### 2.4 Расчет тепловой схемы с трехступенчатой сетевой установкой

Расчет тепловой схемы с трехступенчатой сетевой установкой (Приложение В) будет выполнен так же как расчет тепловой схемы с двухступенчатым подогревателем. Результаты будут представлены в виде таблиц.

В ходе расчета выяснили что ПС-3 будет подключен к 4 отбору, ПС-2 будет подключен к 5 отбору, ПС-1 будет подключен к 6 отбору, (см. Приложение В).

Таблица 13 – Параметры трёхступенчатой сетевой установки

Номер п-ля	Тепловая нагрузка на подогреватель, $Q_{ПС-i}$	Температура за подогревателем, $t_{ПС-i}$	Абсолютный расход, $G_i$	Относительный расход, $\alpha_{ПС-i}$
	МВт	°С	кг/с	–
ПС-1	62,49	116,86	26,68	0,03916
ПС-2	41,18	147,76	18,14	0,02663
ПС-3	16,33	164,20	7,06	0,01036
Расход сетевой воды, $G_{СВ}$			Расход на обвод, $G_{обв}$	
кг/с			кг/с	
318,22			14,2	

Таблица 14 – Сводная таблица параметров пара и воды с трёхступенчатой сетевой установкой

Точка	Элемент	Пар в турбине		Пар в подогревателя теле	Дренаж греющего пара		Питательной Основной Сетевой	
		$P_{отб}$	$h_{отб}$	$P_{п}$	$t_{н}$	$h'$	$t_{пв}, t_{ок}, t_{св}$	$P_{п}$
0	-	25	3371,29	-	-	-	-	-
0'	-	23,7487	3371,29	-	-	-	-	-
1	ПВД-3	5,7872	3025,80	5,4979	269,94	1184,80	264,94	3,0
2	ПВД-2	4,9939	2995,53	4,7442	260,68	1138,22	255,68	3,0
ПП'	ПП	4,4945	3578,60	-	-	-	-	-
3	ПВД-1	2,1574	3363,43	2,0547	213,75	914,89	208,75	3,0
4	Д	0,8178	3112,65	0,6291	160,69	678,58	160,69	0,88
5	ПНД-4	0,5393	3020,88	0,5123	152,76	644,16	147,76	0,88
6	ПНД-3	0,2218	2852,49	0,2107	121,87	511,72	116,87	0,88
7	ПНД-2	0,0762	2689,93	0,0724	90,81	380,36	85,81	0,88
8	ПНД-1	0,0175	2500,76	0,0167	56,21	235,30	56,21	0,88
Kt	-	0,00368	2231,44	-	-	-	-	-
K'	-	0,00350	2329,56	-	-	-	-	-

Таблица 15 – Относительные и абсолютные расходы на отборы с трёхступенчатой сетевой установкой

Номер отбора	Давление в камерах отбора, $P_i$	Относительный расход, $\alpha_i$	Абсолютный расход, $G_i$
	МПа		
1	5,7872	0,02452	16,71
2	4,9939	0,11838	80,65
3	2,1574	0,06835	46,56
4	0,8178	0,08630	58,79
5	0,5393	0,07223	49,21
6	0,2218	0,07655	52,15
7	0,0762	0,02909	19,81

8	0,0175	0,02586	17,62
К	0,00350	0,49872	339,75

Таблица 16 – Показатели тепловой экономичности станции с трёхступенчатой сетевой установкой

$N_э$ , МВт	$Q_{ПГ}$ , МВт	$Q_{ту}$ , МВт	$Q_{ту}^э$ , МВт	$\eta_{ту}^э$	$\eta_{тр}$	$\eta_c^э$
806,906	1897,85	1871,23	1744,91	0,4820	0,98597	0,4198
$b_э^{отп}, \frac{\text{Г у.т.}}{\text{кВт}\cdot\text{ч}}$				$b_т^{отп}, \frac{\text{кг у.т.}}{\text{ГДж}}$		
293,03				39,57		

#### 2.4.1 Выбор оборудования для трехступенчатой сетевой установки

Для ПС-1 по таблице 3.27 [7] выбираем два подогреватель типа ПСВ-500-14-23-І. Площадь поверхности теплопередачи которого 500 м<sup>2</sup>.

Для ПС-2 по таблице 3.27 [7] выбираем два подогреватель типа ПСВ-500-14-23-І. Площадь поверхности теплопередачи которого 500 м<sup>2</sup>.

Для ПС-3 по таблице 3.27 [7] выбираем один подогреватель типа ПСВ-500-14-23-І. Площадь поверхности теплопередачи которого 500 м<sup>2</sup>.

Для сетевого насоса выберем СЭ2000-100 по таблице 5,6 [7]. Резервный насос выберем точно такой же. Подача 2000 л/ч; напор 100 м; частота вращения – 50 об/сек; КПД – 0,85.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ТЕПЛОВЫХ СХЕМ

Для анализа представим сравнительную таблицу тепловой эффективности блока К-830-240 с исходной схемой и разными её модификациями.

Таблица 17 – Сравнительная таблица тепловой эффективности

	Исходная схема	Схема	Схема с двумя СП.	Схема

		с одной СП.		с тремя СП
КПД турбоустановки по производству электроэнергии	0,4619	0,4785	0,4812	0,4820
КПД турбоустановки по отпуску электроэнергии	0,4022	0,4166	0,4190	0,4198
Относительный прирост КПД по сравнению конд. режимом, %	–	3,46	4,01	4,17

Таблица 18 – Сводная таблица показателей тепловой экономичности

Величины	Исходная схема	Схема с одной СП.	Схема с двумя СП.	Схема с тремя СП
$N_э$ , МВт	830	800,934	805,546	806,906
$Q_{ПГ}$ , МВт	1897,56	1898,27	1897,95	1897,85
$Q_{ту}$ , МВт	1870,93	1871,64	1871,32	1871,23
$Q_{ту}^э$ , МВт	1870,93	1745,32	1745,01	1744,91
$\eta_{ту}^э$ ,	0,4619	0,4785	0,4812	0,4820
$\eta_c^э$	0,4022	0,4166	0,4190	0,4198
$b_э^{отп}$ , $\frac{\text{Г У.Т.}}{\text{кВт.ч}}$	305,78	295,22	293,52	293,03



## **4. ОПРОСЫ МЕНЕДЖМЕНТА**

### **Введение к разделу**

Разработка исследования производится группой работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в организации отпуска теплоты из нерегулируемых отборов К-830-240.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности исследования, оценка его эффективности, уровня возможных рисков, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявление потенциальных потребителей результатов исследования;
2. Анализ конкурентных технических решений;
3. Планирование работ в рамках проводимого исследования;
4. Произвести расчет бюджета исследования.

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Данное исследование представляет особый интерес для рынка электрической энергии, а именно для сегмента промышленных и бытовых потребителей.

### **4.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Анализ будет проводиться для тепловой схемы ТУ К-830-240 на теплофикационный и конденсационный режим.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в Таблица 19.

Таблица 19 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерий оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Схема без СП	Схема с тремя СП	Схема без СП	Схема с тремя СП
Надёжность	0,2	5	4	1	0,8
Ремонтопригодность	0,1	4	3	0,4	0,3
Долговечность	0,1	4	3	0,4	0,3
Электрическая мощность	0,2	1	5	0,2	1
КПД	0,1	2	5	0,2	0,5
Эффективность	0,2	1	5	0,1	1
Простота эксплуатации	0,1	5	4	0,5	0,4
Итого	1	22	29	2,8	4,3

В таблице выше представлены основные конкуренты и критерии оценки конкурентоспособности. Каждый показатель конкурентов оценивается по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Вес показателя определяется в соответствии с его значимостью для системы энергоблока, сумма всех показателей составляет 1.

#### 4.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ

применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Это заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 20 – Первый этап SWOT-анализа

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
С1. Повышение производительности; С2. Снижение выбросов электростанцией; С3. Надежность.	В1. Повышение производительности и эффективности; В2. Возможность модернизации электростанции; В3. Небольшой срок ввода в эксплуатацию.
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
Сл1. Трудности во внедрении и в эксплуатации; Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров и возможные проблемы монтажа оборудования; Сл3. Большие конструктивные затраты.	У1. Отсутствие спроса на данную тепловую схему; У2. Неблагоприятная экономическая ситуация в стране; У3. Нехватка финансирования.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Каждый фактор помечается знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения «+» или «-». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 3 – 6.

Таблица 21 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон и возможностей

Возможности проекта	Сильные стороны			Слабые стороны			
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	+	0	0	+	-
	В2	+	+	+	+	0	+
	В3	0	-	-	-	0	+

Таблица 22 – Интерактивная матрица сильных сторон и слабых сторон и угроз

Угрозы проекта	Сильные стороны			Слабые стороны		
		С1	С2	С3	Сл1	Сл2
У1	+	+	-	+	-	+
У2	0	0	+	-	0	+
У3	-	-	-	+	-	+

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей или слабых сторон и возможностей:

- В1В2С1С2;
- В3Сл3;
- У2С3;
- У1У3Сл1.

В рамках третьего этапа составляется итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в Таблица 23.

Таблица 23 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Повышение производительности; С2. Снижение выбросов электростанцией; С3. Надежность.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Трудности во внедрении и в эксплуатации; Сл2. Отсутствие квалифицированных кадров и возможные проблемы монтажа оборудования; Сл3. Большие конструктивные затраты.</p>
<p><b>Возможности:</b> В1. Повышение производительности и эффективности; В2. Возможность модернизации электростанции; В3. Небольшой срок ввода в эксплуатацию.</p>	<p><b>Направления развития:</b> Повышение производительности, экономичности и энергоэффективности тепловых электрических станций.</p>	<p><b>Сдерживающие факторы:</b> Необходимость купить дополнительное оборудование, что повлечет затраты на обслуживание. Нужны квалифицированные кадры.</p>

## Продолжение таблицы 23

<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на данную тепловую схему; У2. Неблагоприятная экономическая ситуация в стране; У3. Нехватка финансирования.	<b>Угрозы развития:</b> Могут быть предъявлены повышенные требования к надёжности работы тепловой схемы.	<b>Уязвимости:</b> Сложность во внедрении, связанная с нехваткой квалифицированных кадров.
---	---	---

Проведение SWOT-анализа позволило выявить сильные и слабые стороны проекта, а также существующие возможности и угрозы для дальнейшей реализации проекта.

Основным достоинством применения сетевых подогревателей является повышение КПД тепловых электрических станций.

У проекта также существует ряд недостатков, которые в первую очередь связаны с использованием дополнительного оборудования.

### **4.4 Планирование работ по научно-техническому исследованию**

#### **4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

1. Определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. Определение участников каждой работы;
3. Установление продолжительности работ;
4. Построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, проведено распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведён в Таблица 24.

Таблица 24 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
	3	Выбор направления исследований	Руководитель проекта
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта
Теоретические исследования	5	Проведение предварительных обоснований	Инженер
	6	Расчет схем по отпуску теплоты с различным количеством подогревателей	Инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер
Оформление отчета по ВКР	8	Составление пояснительной записки	Инженер

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, который зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Результаты расчёта представлены в Таблица 25.

Таблица 25 – Временные показатели проведения исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ чел-дни		$t_{max}$ чел-дни		$t_{ожi}$ чел-дни		Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер
	Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер	Руководитель проекта	Инженер				
Составление и утверждение технического задания	1		3		1,8		1		3	
Подбор и изучение материалов по теме		2		5		3,2		2		6
Выбор направления исследований		2		5		3,2		2		6
Календарное планирование работ по теме	1		3		1,8		1		3	
Проведение предварительных обоснований		3		7		4,6		5		8
Расчет схем по отпуску теплоты с различным количеством подогревателей		3		7		4,6		5		8
Оценка эффективности полученных результатов		3		7		4,6		5		8
Составление пояснительной записки		4		7		5,2		5		8

На основе таблицы Таблица 24 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы Таблица 24 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 26 – Календарный план-график проведения проектирования научного исследования

№	Вид работ	Исполнители	T <sub>ki</sub> калдн	Продолжительность выполнения работ													
				фев		март			апрель			май			июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта	3	■													
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	6	▨													
3	Выбор направления исследований	Инженер	6		▨												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта	3			■											
5	Проведение предварительных обоснований	Инженер	8				▨										
6	Расчет схем по отпуску теплоты с различным количеством подогревателей	Инженер	8						▨								
7	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер	8									▨					
8	Составление пояснительной записки	Инженер	8												▨		

Итого длительность работ в календарных днях руководителя проекта составляет 6 дней, а инженера 44 дней.

## 4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

1. Материальные затраты.
2. Затраты на спец.оборудование
- 3.Основная и дополнительная ЗП.
4. Социальные отчисления.
4. Прямые затраты.
5. Накладные расходы.

### 4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ

В ходе выполнения данного раздела был произведён расчёт материальных затрат на специальное оборудование, затрат на заработную плату исполнителей научного исследования, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

### 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в ниже.

Таблица 27 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., тыс. руб.	Затраты на материалы, (Зм), тыс. руб.
Персональный компьютер	Шт.	1	40	40
Итого:				40

### 4.5.3 Затраты на заработную плату

Основная заработная плата научных и инженерных работников, непосредственно вовлеченных в выполнение работ по этому предмету проектирования, определяется на основе трудоемкости выполняемой работы и существующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает в себя основную заработную плату сотрудников, непосредственно занимающихся проектированием и дополнительной заработной платы:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

Где  $Z_{осн}$  - основная заработная плата;

$Z_{доп}$  - дополнительная заработная плата (12-20% от  $Z_{осн}$ ).

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}$$

Где  $Z_m$  – оклад работника за месяц;

$M$  – количество рабочих месяцев без отпуска в течение года:

При отпуске в 24 рабочих дня –  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

При отпуске в 48 рабочих дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя.

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Таблица 28 – Показатели рабочего времени

Показатель	Дни
Календарное число дней	365
Нерабочие дни (праздники/выходные)	66
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезням)	54
Действительный годовой фонд рабочего времени	245

Определим основную заработную плату инженера:

$$Z_{зп}(\text{инж}) = 30000 \cdot 1,3 = 39000 \text{ руб};$$

где 1,3- районный коэффициент.

Определим зарплату за 1 день:

$$Z_{день}(\text{инж}) = 39000 \cdot \frac{11,2}{245} = 1783 \text{ руб};$$

Определим основную заработную плату за отработанное количество дней:

$$Z_{\text{осн}}(\text{инж}) = 1783 \cdot 61 = 108763 \text{ руб};$$

Определим основную заработную плату руководителя проекта:

$$Z_{\text{осн}}(\text{рук. пр}) = 50000 \cdot 1,3 = 65000 \text{ руб},$$

где 1,3 - районный коэффициент.

Определим зарплату за 1 день:

$$Z_{\text{день}}(\text{рук. пр}) = 65000 \cdot \frac{11,2}{245} = 2971 \text{ руб};$$

Определим основную заработную плату за отработанное количество дней:

$$Z_{\text{осн}}(\text{рук. пр}) = 2971 \cdot 21 = 62391 \text{ руб};$$

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  - коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

$$Z_{\text{доп}}(\text{инж}) = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}(\text{инж}) = 0,15 \cdot 108763 = 16314 \text{ руб};$$

$$Z_{\text{доп}}(\text{рук. пр}) = k_{\text{доп}} + Z_{\text{осн}}(\text{рук. пр}) = 0,15 \cdot 62391 = 9359 \text{ руб}.$$

Определим полную заработную плату за весь период научного исследования:

$$Z_{\text{зп}}(\text{инж}) = Z_{\text{осн}}(\text{инж}) + \text{доп}(\text{инж}) = 108763 + 16314 = 125077 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{зп}}(\text{рук. пр}) = Z_{\text{осн}}(\text{рук. пр}) + Z_{\text{доп}}(\text{рук. пр}) = 62391 + 9359 = 71750 \text{ руб}$$

$$\text{В сумме: } 125077 + 71750 = 196827 \text{ руб}$$

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и др.).

На 2023 г. отчисления во внебюджетные фонды 30%.

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{зп}}(\text{инж}) + Z_{\text{зп}}(\text{рук. пр})) = 0,30 \cdot 196827 = 59048 \text{ руб}.$$

#### 4.5.5 Расчет затрат на специальное оборудование

Расчет амортизационных отчислений для полного восстановления основных фондов производится по нормам амортизации, утвержденным в порядке, установленном действующим законодательством, и определяется в зависимости от стоимости оборудования. Для проектирования требуется следующее оборудование:

Стоимость компьютера составляет 40000 рублей.

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{ис}}}{T_{\text{г}}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot C_{\text{обор}}$$

где  $T_{\text{ис}}$  - время использования оборудования, равно 80 дней;

$T_{\text{г}}$  - количество использования в год, равно 365 дней;

$T_{\text{сл}}$  - срок службы оборудования, равен 4 лет;

$C_{\text{обор}}$  - стоимость оборудования;

Тогда

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{ис}}}{T_{\text{г}}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}} \cdot C_{\text{обор}} = \frac{80}{365} \cdot \frac{1}{4} \cdot 40000 = 2192 \text{ руб.}$$

#### 4.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы принимаются в размере 25 % от затрат на заработную плату.

$$Z_{\text{накл}} = 196827 \cdot 25\% = 49207 \text{ руб.}$$

#### 4.5.7 Формирование бюджета затрат на проектирование

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на проектирование приведено в таблице Таблица 29.

Таблица 29 – Бюджет затрат на проектирование

Наименование статьи	руб.	в %
Затраты на заработную плату исполнителей темы	196827	64,06
Отчисления во внебюджетные фонды	59048	19,22
Амортизация	2192	0,71
Накладные расходы	49207	16,01
Итого	307274	100

#### 4.5.8 Определение экономической эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения проекта можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;  $a_i$  – весовой коэффициент;  $b_i$  – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Для проведения сравнительной оценки рассмотрим два варианта использования различных видов схем:

- тепловая схема с тремя сетевыми подогревателями – исп. 1;
- тепловая схема без сетевых подогревателей – исп. 2

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проведен с помощью таблицы Таблица 300.

Таблица 30 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
Экологичность	0,2	5	3
Надежность	0,15	4	4
КПД	0,15	5	4
Мощность	0,2	5	3
Цена	0,1	4	5
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	4
Простота эксплуатации	0,05	4	5
Конкурентоспособность	0,05	5	4
ИТОГО	1	4,6	3,75

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 \\ = 4,6,$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,05 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 \\ = 3,75$$

Показатели ресурсоэффективности для первого варианта исполнения проекта равен 4,6 из 5, что говорит об эффективности использования ресурсов. В первом варианте используется больше сложного оборудования, но выигрыш в мощности, КПД и снижении выбросов делает этот вариант более ресурсоэффективным.

## **5. ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

В данном разделе планируется провести анализ факторов производственной среды и принятие решений для улучшения условий труда. Для чего будут проанализированы вредные и опасные факторы производства. Будут представлены правовые и организационные вопросы по обеспечению безопасности. А также вопросы по предотвращению ЧС на предприятии, по воздействию объекта и охране окружающей среды. Одна из основных производственных задач заключается в обеспечении безопасности труда человека, т.е. Создании условий труда, при которых исключается воздействие на рабочих опасных и вредных производственных факторов.

Данная выпускная квалификационная работа заключается в организации теплофикации из нерегулируемых отборов К-830-240. В России теплофикации уделяется огромное внимание, которая благодаря существенным экономическим, социальным, географическим, и экологическим аспектам стала одним из основных направлений развития энергетики нашей страны.

Данное исследование представляет особый интерес для рынка электрической энергии, а именно для сегмента промышленных и бытовых потребителей.

Рабочим местом является турбинный цех ТЭЦ, размеры рабочего помещения составляют 20х30 м. В составе турбинного цех находятся 5 единиц оборудования: турбина, генератор, трубопроводы, насосы. Турбинный цех является одним из главных цехов, так как в нем происходит процесс выработки электрической и тепловой энергии.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **5.1.1 Специальные трудовые нормы правового законодательства**

Согласно [9,11] работник имеет право на:

- Рабочее место, соответствующее государственным нормативным требованиям охраны труда и условиям, предусмотренным коллективным договором;
- Полную достоверную информацию об условиях труда и требованиях охраны труда на рабочем месте, включая реализацию прав, предоставленных законодательством о социальной оценке условий труда;
- Возмещение вреда, причиненному ему в связи с исполнением трудовых обязанностей, и компенсацию морального вреда;
- Обязательное социальное страхование в случаях, предусмотренных федеральными законами;
- Обеспечение средствами индивидуальной защиты и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- Внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра.

К работе оператор-теплотехником допускаются лица не моложе 18 лет, соответствующей квалификации, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие медицинское освидетельствование в соответствии с приказом, прошедшие проверку знаний требований безопасности труда в установленном порядке и получившие допуск к самостоятельной работе.

Оператор-теплотехник должен проходить обучение по охране труда в виде: вводного инструктажа, первичного инструктажа на рабочем месте и специального обучения в объеме программы подготовки по профессии [12].

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны**

Согласно [12] общие эргономические требования к рабочим местам при выполнении работ в положении стоя:

- 1) Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т. д.) должны

соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы. [12];

2) Рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда.

Требования к взаимному расположению элементов рабочего места: пульта управления, средств отображения информации, органов управления, вспомогательного оборудования установленные в [12]:

Показатели микроклимата производственных помещений регламентированы в [10] и должны обеспечивать: температуру воздуха, температуры поверхностей, относительную влажность воздуха, скорость движения воздуха, интенсивность теплового облучения.

## 5.2 Производственная безопасность

Перечень возможных опасных и вредных производственных факторов, возникающих в турбинном цехе при производстве электрической энергии приведен в таблице ниже.

Таблица 31 – Возможные опасные и вредные производственные факторы, воздействующие на работника паротурбинные установки

<b>Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)</b>	<b>Нормативные документы</b>
Струи жидкости, воздействующие на организм работающего при соприкосновении с ним	ГОСТ 12.4.259-2014. Одежда специальная для защиты от жидких химических веществ
Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека	ГОСТ Р 12.4.297-2013. Одежда специальная для защиты от повышенных температур теплового излучения, конвективной теплоты, выплесков расплавленного металла, контакта с нагретыми поверхностями, кратковременного воздействия пламени
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов	ГОСТ 12.4.280-2014 Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий

Продолжение таблицы 31

Ударные волны воздушной среды	ГОСТ 12.4.280-2014 Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий
Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем излучений	СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ Р 50571.3-2009 Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током.
Повышенный уровень шума	СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменениями N 1, 2)
Повышенный уровень общей и локальной вибрации	СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность»
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	ГОСТ 12.1.005-88 «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»
Монотонность труда, вызывающие монотонию	Р 2.2.2006-05. 2.2. гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда
Длительное сосредоточенное наблюдение.	Р 2.2.2006-05. 2.2. гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда

### 5.3 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

#### 5.3.1 Струи жидкости, воздействующие на организм работающего при соприкосновении с ним

- 1) Источник: вспомогательное оборудование для энергоблока.
- 2) Наиболее типичные травмы: воздействие на кожу, вызывающее дерматиты и экземы, некроз тканей, возможны фолликулярные поражения

3) Предельно допустимая концентрация для ионов щелочных металлов в области рабочей зоны не должно превышать  $300 \text{ мг/м}^3$ , класс опасности 4. Данная концентрация при ежедневной работе в течении 8 часов (но не более 41 часов в неделю) не может вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья.

4) Перед началом работ должна быть определена система связи (рация взрывозащищенная). Обеспечен контроль состояния воздушной среды (индивидуальные сигнализаторы). При возникновении нештатной ситуации работы должны быть прекращены, а работники должны покинуть опасную зону.

Оператор должен быть обеспечен СИЗ: спецодеждой, специальной обувью, соответствующей характеру и условиям выполняемой работы; инструментом и приспособлениями, не дающих искр и вспомогательными материалами (жидкостный пробоотборник, рулетка).

### **5.3.2 Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека**

1) Источник: нагретые трубопроводы и арматура.

2) Наиболее типичные травмы: ожоги.

3) Уровни защиты спецодежды от воздействия контактного тепла определяются в зависимости от показателя порогового времени при температуре  $250^\circ\text{C}$  в соответствии с таблицей 1 ГОСТ Р 12.4.297-2013.

4) Оператор должен быть обеспечен СИЗ: спецодеждой, специальной обувью, соответствующей характеру и условиям выполняемой работы инструментом и приспособлениями, не дающих искр и вспомогательными материалами (жидкостный пробоотборник, рулетка)

### **5.3.3 Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов**

1) Источники: вращающиеся валы, маховики, муфты сцепления.

2) Наиболее типичные травмы: порезы.

3) Оператор должен быть обеспечен СИЗ: спецодеждой, специальной обувью, соответствующей характеру и условиям выполняемой работы.

#### **5.3.4 Ударные волны воздушной среды**

1) Источник: вспомогательное оборудование для энергоблока.

2) Наиболее типичные травмы: ушибы.

3) Оператор должен быть обеспечен СИЗ: спецодеждой, специальной обувью, соответствующей характеру и условиям выполняемой работы.

#### **5.3.5 Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем излучений**

1) Источник: Естественные радионуклиды в сгоревшем топливе и оборудование золоулавливания,

2) Типичные заболевания: Злокачественные новообразования, наследственные эффекты.

3) Годовая эффективная доза облучения персонала за счет нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующего излучения не должна превышать 50 мЗв, установленных в таблице 3. 1 СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).

4) Радиационная защита персонала достигается путем соблюдения нормирования, то есть неперевышения допустимых пределов индивидуальных доз облучения от всех источников ионизирующего излучения, и поддержания на достижимо низком уровне индивидуальных доз облучения.

#### **5.3.6 Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий**

1) Источники: корпуса электрооборудования, токоведущие части, находящиеся под напряжением.

2) Наиболее типичные травмы: электротравмы.

3) Безопасные номинальные значения: напряжение - менее 12 В; ток -

менее 0,1 А; заземление менее 4 Ом.

4) Для защиты персонала от поражения электрическим током на рабочих местах предприятия используются следующие меры: изоляция проводов и её непрерывный контроль; предупредительная сигнализация и блокировка; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; защита от случайного прикосновения; защитное заземление; защитное отключение; зануление.

### **5.3.7 Повышенный уровень шума**

1) Источник: соударение металлических частей машин и механизмов, насосы, вентиляторы

2) Типичные заболевания и травмы: снижение слуха, в последующем тугоухость, различные вегетативные сдвиги и изменения в работе сердечно-сосудистой системы.

3) Допустимый уровень шума составляет 80 дБА согласно СП 51.13330.2011 Свод правил. Защита от шума, табл. 1. Запрещается даже кратковременное пребывание в зоне с уровнями звукового давления, превышающими 135 дБ согласно ГОСТ 12.1.003-2014 Шум. Общие требования безопасности.

4) В качестве защиты от шума и звука следует применять нормирование; некоторые технические тонкости, звукоизоляцию, звукопоглощение, специальные глушители аэродинамического шума, средства индивидуальной защиты (наушники, беруши, противошумные каски, специальная противошумная одежда).

### **5.3.8 Повышенный уровень общей и локальной вибрации**

Вибрация – колебательные движения упругих тел, конструкций, сооружений около положения равновесия. Общая вибрация вызывает нарушения сердечной деятельности, расстройство нервной системы, спазмы сосудов и изменения в суставах, приводящие к ограничению подвижности. Источниками данного фактора являются: работа газотурбинного двигателя, работа насосов и

вентиляторов, работа систем охлаждения и смазки, работа механического оборудования.

Для главного щита управления в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и ГОСТ 12.1.012-2004 «Вибрационная безопасность», вибрация соответствует 3 категории типа «в» - технологическая вибрация, воздействующая на оператора на рабочих местах стационарных машин или передающиеся на рабочие места, не имеющие источников вибрации.

Таблица 32 – Предельно допустимые значения и уровни производственной вибрации

Вид вибрации	Категория вибрации	Направление действия	Фильтр частотной коррекции	Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения	
				м/с <sup>2</sup>	дБ
Общая	Технологическая вибрация на стационарных рабочих местах.	Z <sub>0</sub>	W <sub>k</sub>	0,1	100
		X <sub>0</sub> , Y <sub>0</sub>	W <sub>d</sub>	0,071	97

### 5.3.9 Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

1) Источник: отсутствие достаточного освещения.

2) Типичные травмы: отрицательное воздействие на функционирование зрительного аппарата, на эмоциональное состояние, вызывает усталость центральной нервной системы.

3) Требования к освещению для рабочих мест персонала в рабочем помещении согласно СП 52.13330.2016 указанные в таблице Таблица 333.

Таблица 33 – Нормы освещённости помещений

Помещения и производственные участки	Плоскость нормирования освещенности и ее высота от пола, м	Разряд зрительной работы	Освещенность, лк
			При общем освещении
Рабочее помещение	Рабочая область станка, 1,2-1,4 м	VI	100
	Пол	-	10

4) Наилучшим видом освещения является дневное, солнечное. Однако, как уже было сказано выше, дневной свет не может обеспечить нужное освещение в течении всего рабочего дня. Поэтому в соответствии с СП все помещения предприятия имеют искусственное освещение. В качестве источников искусственного освещения применяются энергосберегающие светодиодные и газоразрядные лампы.

### **5.3.10 Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего**

1) Источник: Неблагоприятные перепады производственного микроклимата в помещениях обусловлены наличием многочисленного теплонесущего оборудования. Высокая температура воздуха и низкая (большой частью) относительная влажность в помещении объясняется значительными конвективными и радиационными тепловыделениями от оборудования.

2) Типичные травмы: Понижение температуры и повышение скорости движения воздуха могут привести к переохлаждению организма, а при повышенной температуре воздуха, работоспособность оператора падает. Недостаточная влажность воздуха может привести к интенсивному испарению влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем и загрязнение болезнетворными микроорганизмами.

3) По ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ нормируются следующие параметры (Таблица 34): температура, относительная влажность, скорость движения воздушного потока.

Работа оператора относится к категории Пб (работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением, энерготраты 233-290 Вт).

Таблица 34 – Нормы микроклимата в рабочей зоне

Период года	Температура воздуха, °С	Скорость движения воздуха, м/с	Относительная влажность воздуха, %
Холодный	17-19	0,2	40-60
Теплый	19-21	0,2	

4) Параметры микроклимата в зимнее время поддерживаются системой отопления и вентиляцией, летом – только общеобменной вентиляцией.

### 5.3.11 Монотонность труда, вызывающие монотонию

1) Источник: режим труда

2) Типичная травма: монотония сопровождается полусонным состоянием, сопровождающимся снижением психической активности, апатией.

3) Монотонность нагрузок должна соответствовать значениям части 4 Таблицы 18 Р 2.2.2006-05. 2.2.

4) Режим труда и отдыха необходимо устанавливать в соответствии с условиями труда (2 класс) и требованиями к ним Р 2.2.2006-05. 2.2.

### 5.3.12 Длительное сосредоточенное наблюдение

1) Источник: режим труда

2) Типичная травма: переутомление.

3) Монотонность нагрузок должна соответствовать значениям частям 3 и 5 Таблицы 18 Р 2.2.2006-05. 2.2.

## 5.4 Экологическая безопасность

### 1.Защита атмосферы

В процессе эксплуатации пароохладителей происходят выбросы дымовых газов и золы, а также углекислого газа и водяного пара. В таблице Таблица 355 представлены предельно допустимые концентрации (ПДК) токсичных и вредных выбросов, мг/м<sup>3</sup> согласно 33. ГОСТ Р 59075-2020:

Таблица 35 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) токсичных и вредных выбросов мг/м<sup>3</sup>

Место	C (сажа)	CO	C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>2</sub>	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> (бензопирен)
На рабочем месте	3,5	20	300	-	30	9	0,00015

Существует несколько методов очистки дымовых газов, а также активно применяется комбинирование различных методов. Для очистки дымовых газов от золы и твердых частиц используют фильтрование. Для очистки дымовых газов от оксидов серы используется мокрая сероочистка, сухая очистка, мокросухая очистка.

## 2. Защита селитебной зоны

Вследствие работы генератора возникает искажение электромагнитных полей. В целях защиты населения от воздействия электромагнитных полей устанавливаются санитарно-защитные зоны. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Рассматриваемая станция имеет I класс опасности и СЗЗ 1000 м, так как имеет мощность более 600 МВт.

## 3. Защита гидросферы

Для очистки сточных вод от промышленных отходов используют механическую очистку, физико-химическую очистку, химическую очистку, биохимическую.

## 4. Защита литосферы

Твердые частицы, содержащиеся в дымовых газах, осаждаются на поверхности земли и загрязняют почву. Для очистки дымовых газов прибегают к установке насосов и вакуумным системам.

## 5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

*Возможные ЧС:* Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (отказ систем безопасности; нарушение

контроля и управления цепной ядерной реакции в активной зоне реактора; тепловой взрыв с выбросом радиоактивных веществ, пожар)

*Наиболее типичная ЧС:* пожар.

*Класс пожара:* в зависимости от вещества, которое будет гореть, его можно отнести к классу В (пожары горючих жидкостей) или к классу С (пожар газов).

*Основными методами,* способствующими уменьшению масштабов ЧС, являются: обучение персонала навыкам поведения в ЧС; усиленный контроль за состоянием объекта; первичная система пожаротушения (система орошения при тушении горящего резервуара, а также для охлаждения при горении соседнего резервуара, генератор пены предназначен для пенного пожаротушения нефтепродуктов внутри резервуара); система оповещения населения, персонала объекта и органов управления для своевременных необходимых мер по защите населения.

*Первичные средства* пожаротушения, используемые в целях борьбы с пожарами: переносные и передвижные огнетушители; пожарный инвентарь (пожарные багры, ломы, топоры, крюки, пилы, лопаты); покрывала для изоляции очага возгорания (противопожарное полотно); генераторные огнетушители аэрозольные переносные.

*Ликвидация последствий ЧС:* повести демонтаж оборудования; зачистить территорию от остатков продуктов горения.

### **Вывод по разделу безопасности жизнедеятельности**

В данной главе выпускной квалификационной работы было рассмотрено рабочее место инженера и взаимодействие на него возможных опасных и вредных производственных факторов. Фактические значения соответствуют нормативным требованиям согласно: разделу 1 п.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ) рабочее помещение относится ко второму классу; Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок – V группа - при эксплуатации

электроустановки напряжением выше 1000 В Постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2 "Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", работа относится к категории Пб.

Категория помещения(операторной) по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Б. Постановлению «Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий (с изменениями на 7 октября 2021 года)» согласно разделу 2 п.17 рассматриваемая станция относится к объектам II категории оказывающих умеренное негативное воздействие на окружающую среду.

## ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе выполнен расчёт тепловой схемы без отпуска тепла и отпуском тепла с разным количеством ступеней подогрева на сетевые установки на примере блока К-830-240, который показал, что коэффициент полезного действия схем с отпуском теплоты выше, чем схемы с без него.

Проведено сравнение тепловых схем с одноступенчатой, двухступенчатой и трехступенчатой сетевой установкой со схемой без сетевой установки. Результаты показывают:

1) Наибольший относительный прирост КПД был у схемы с трехступенчатой сетевой установкой.

2) Электрическая мощность турбоустановки  $N_э$  уменьшается при подключении сетевой установки. По мере увеличения количества сетевых подогревателей электрическая мощность будет возрастать, так как схемы с наибольшим количеством подогревателей позволяют отобрать пар из более поздних отборов, нежели схемы с меньшим количеством подогревателей, которая отбирает пар на теплофикацию из более ранних отборов, в следствии чего пар до прибытия к поздним отборам может совершить работу в турбине.

3) Тепловая нагрузка парогенерирующей установки  $Q_{ПГ}$  и полная тепловая нагрузка турбоустановки  $Q_{ту}$  возрастают, так как температура воды до парового котла уменьшается из-за уменьшения давлений в отборах что ведет к понижению температуры питательной воды после подогревателей.

4) Тепловая нагрузка турбоустановки по производству электроэнергии  $Q_{ту}^э$  уменьшится при подключении сетевой установки так как часть тепловой нагрузки пойдет на отопление.

5) КПД блока по отпуску электроэнергии  $\eta_c^э$  возрастает из-за прямой зависимости от КПД по производству электроэнергии  $\eta_{ту}^э$  который увеличивается, так как на одну единицу электрической мощности требуется

меньшее количество тепловой нагрузки турбоустановки на производство электроэнергии  $Q_{\text{ту}}^{\text{э}}$ .

б) Удельный расход условного топлива по отпуску электроэнергии  $b_3^{\text{отп}}$  уменьшается из-за увеличения КПД блока по отпуску электроэнергии  $\eta_c^{\text{э}}$ .

Определены финансовые затраты на проектирование и реализацию отпуска теплоты.

Проведен анализ вредных и опасных производственных факторов, действующих на человека при разработке проекта. Рассмотрены экологические аспекты производства электрической и тепловой энергии и социальная значимость проекта.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 10 лет Научно-техническому совету Единой энергетической системы. Взгляд на проблемы электроэнергетики России и пути их решения глазами профессионалов / под ред. Н.Д. Рогалева. - М.: Издательство МЭИ, 2018. – 444 с.
2. Теплоэнергетика и централизованное теплоснабжение России в 2015 - 2016 годы информационно-аналитический доклад // ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. – 2018. – С. 137 с.
3. Саламов А.А. Взгляд на централизованное теплоснабжение в России // Энергетика за рубежом. – № 1, 2016. – С. 46–46.
4. Бойко Е.А. Тепловые электрические станции (паротурбинные энергетические установки ТЭС): Справочное пособие / Е.А. Бойко, К.В. Баженов, П.А. Грачев. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – 152 с.
5. Расчёт показателей работы электростанций. Методические указания для студентов направления 550900 «Теплоэнергетика», специальностей 100500 «Тепловые электрические станции» и 101000 «Атомные электрические станции и установки». – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 44 с.
6. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – 2-е изд., стер. – Москва: Изд. Дом МЭИ, 2006. – 168 с.
7. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник / Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил. – (Теплоэнергетика и теплотехника: Кн.3).
8. Теплофикация и тепловые сети: Учебное пособие по практическим занятиям и курсовому проектированию для студентов / Б.В. Яковлев. – Минск: БНТУ, 2003. – 125 с.
9. ПРИКАЗ от 15 декабря 2020 г. N 903н ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ ПО ОХРАНЕ ТРУДА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК
- 10.ГОСТ 12.1.005-88 Общие Санитарно-Гигиенические Требования К Воздуху Рабочей Зоны.

- 11.ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования
- 12.Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ (последняя редакция)
- 13.СНиП П-12-77. Защита от шума
- 14.ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
- 15.ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность
- 16.ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов
- 17.ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования
- 18.Основные причины пожара на предприятии и эффективные меры спасения жизни человека во время пожара [Электронный ресурс]  
URL:<http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2018/RM18/pages/Articles/10110-.pdf>