

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

---

Институт: Энергетический  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы  |
|--|
| <b>Исследование возможности замены поверхностных ПНД энергоблока К-1000-60/3000 смешивающими ПНД</b> |

УДК 621.184.4-048.35

Студент

| Группа | ФИО                            | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------------|---------|------|
| 5Б2А   | Джамбуршиева Анна Владимировна |         |      |

Руководитель

| Должность           | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------------|---------------|------------------------|---------|------|
| Ст. преп. каф. АТЭС | Беспалов В.В. | к.т.н.                 |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                  | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент кафедры менеджмента | Попова Светлана Николаевна | к.э.н., доцент         |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность   | ФИО                           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|-------------------------------|------------------------|---------|------|
| доцент кафедры экологии и безопасно-сти жизнедеятельности | Гусельников Михаил Эдуардович | к.т.н., доцент         |         |      |

Нормоконтроль

| Должность   | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|---------------------------|------------------------|---------|------|
| ст. преподаватель кафедры атомных и тепловых электростанций | Вагнер Марина Анатольевна | к.т.н., доцент         |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                     | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| атомных и тепловых электростанций | Матвеев Александр Сергеевич | к.т.н., доцент         |         |      |

Томск – 2016 г.

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

| Код результата                      | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)  |
|-------------------------------------|--|
| <i>Универсальные компетенции</i>    |  |
| P1                                  | Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.  |
| P2                                  | Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.  |
| P3                                  | Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.  |
| P4                                  | Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.   |
| P5                                  | К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.   |
| P6                                  | Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.   |
| <i>Профессиональные компетенции</i> |  |
| P7                                  | Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.   |
| P8                                  | Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.   |
| P9                                  | Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений. |
| P10                                 | Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, и <i>современных</i> методов.  |

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| P11                                 | Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.   |
| P12                                 | Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами, использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.   |
| <i>Специальные профессиональные</i> |  |
| P13                                 | Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.                           |
| P14                                 | Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины. |
| P15                                 | Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.  |
| P16                                 | Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.              |

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

---

Институт: Энергетический  
Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
Кафедра Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН  
\_\_\_\_\_ А.С. Матвеев  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                            |
|----------------------------|
| <b>бакалаврской работы</b> |
|----------------------------|

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

Студентке:

| Группа      | ФИО                                    |
|-------------|--|
| <b>5Б2А</b> | <b>Джамбуршиевой Анне Владимировне</b> |

Тема работы:

|   |                  |
|---|------------------|
| <b>Исследование возможности замены поверхностных ПНД энергоблока<br/>К-1000-60/3000</b> |                  |
| Утверждена приказом директора   | 13.03.16 №3544/с |

|  |  |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>Исходные данные к работе</b> | Материалы курсовой работы и специальная техническая литература. Характеристики энергоблока К-1000-60/3000 АЭС. |
|---------------------------------|--|

|  |  |
|--|--|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>                      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ конструкции смешивающих подогревателей</li> <li>2. Обоснование выбора схемы энергоблока К-1000-60/3000 со смешивающими ПНД</li> <li>3. Расчет тепловой схемы</li> <li>4. Методы конструкторского расчета смешивающих подогревателей</li> <li>5. Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</li> <li>6. Раздел «Социальная ответственность»</li> </ol> |
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>        | Тепловая схема энергоблока со смешивающими ПНД, конструкторский чертеж смешивающего ПНД.   |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |  |
| <b>Раздел</b>  | <b>Консультант</b>   |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                                    | Попова С.Н   |
| Социальная ответственность.  | Гусельников М.Э  |

|   |                     |
|---|---------------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 20 января 2016 года |
|---|---------------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность           | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата     |
|---------------------|---------------|------------------------|---------|----------|
| Ст. преп. каф. АТЭС | Беспалов В.В. | к.т.н.                 |         | 20.01.16 |

**Задание принял к исполнению студентка:**

| Группа | ФИО                            | Подпись | Дата     |
|--------|--------------------------------|---------|----------|
| 5Б2А   | Джамбуршиева Анна Владимировна |         | 20.01.16 |

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

Студенту:

|               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                     |
| 5Б2А          | Джамбуршиева Анна Владимировна |

|                            |                |                                  |   |
|----------------------------|----------------|----------------------------------|---|
| <b>Институт</b>            | Энергетический | <b>Кафедра</b>                   | Атомных и тепловых электростанций         |
| <b>Уровень образования</b> | бакалавр       | <b>Направление/специальность</b> | 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» |

|  |  |
|--|--|
| <b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>                        |  |
| <i>Стоимость ресурсов исследования: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Объектом исследования является схема с энергоблоком К-1000-60/3000 со смешивающим ПНД№3. Актуальную стоимость энергетического оборудования, с учетом работ монтажа и наладки определить с помощью соответствующих источников |
| <i>Продолжительность выполнения технического проекта</i>   | Приблизительная оценка продолжительности выполнения монтажных работ.   |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>  |  |
| <i>Оценка потенциала и перспективности проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>      | Оценка потенциала и перспективности Провести сравнительный анализ и оценить экономическую эффективность двух типов регенеративных подогревателей   |
| <i>Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения ИР</i>  | Технико-экономический анализ эффективности использования смешивающих ПНД.  |

|   |                    |
|---|--------------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 20 марта 2016 года |
|---|--------------------|

**Задание выдал консультант:**

|                  |                            |                               |                |             |
|------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                 | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент           | Попова Светлана Николаевна | к.э.н.                        |                | 20.03.16    |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                                |                |             |
|---------------|--------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                     | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 5Б2А          | Джамбуршиева Анна Владимировна |                | 20.03.16    |

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

|               |                                |
|---------------|--------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                     |
| 5Б2А          | Джамбуршиева Анна Владимировна |

|                            |                |                                  |  |
|----------------------------|----------------|----------------------------------|--|
| <b>Институт</b>            | Энергетический | <b>Кафедра</b>                   | Атомных и тепловых электростанций            |
| <b>Уровень образования</b> | бакалавр       | <b>Направление/специальность</b> | 13.03.01<br>«Теплоэнергетика и теплотехника» |

|   |   |
|---|---|
| <b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>  |   |
| 1. <i>Описание рабочего цеха на предмет возникновения</i>   | <i>Объектом исследования является смешивающие ПНД в схеме энергоблока К-1000-60/3000.</i>   |
| <b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>   |   |
| 1. <i>Производственная безопасность</i>   | <i>-вредные проявления факторов производственной среды (метеусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения);<br/>– опасные проявления факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i>   |
| 2. <i>Экологическая безопасность:</i><br><i>– защита селитебной зоны</i><br><i>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i><br><i>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</i><br><i>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</i><br><i>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i> | <i>Воздействия на окружающую среду:<br/>Загрязнение воздуха прилегающей территории от станции;<br/>Загрязнение сточными водами;<br/>Повреждение и загрязнение почвенного покрова;<br/>Применение очистных сооружений для снижения вредных выбросов в атмосферу.</i>   |
| 3. <i>Защита в чрезвычайных ситуациях:</i><br><i>– перечень возможных ЧС на объекте;</i><br><i>– выбор наиболее типичной ЧС;</i><br><i>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</i><br><i>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</i><br><i>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</i>                        | <i>Чрезвычайные ситуации:<br/>Аварии, связанные с поломкой оборудования;<br/>Пожары (взрывы) на коммуникациях и технологическом оборудовании данного объекта;<br/>Аварии на канализационных системах с массовым выбросом загрязняющих веществ;<br/>Аварии на системах водоснабжения;<br/>Аварии на очистных сооружениях промышленных газов с массовым выбросом загрязняющих веществ</i> |
| 4. <i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</i><br><i>– специальные правовые нормы трудового законодательства;</i><br><i>– организационные мероприятия при работе с персоналом.</i>  | <i>1. Обеспечение охраны труда и техники безопасности рабочего персонала предприятия;</i><br><i>2. Подготовка персонала к действиям в условиях ЧС;</i><br><i>3. Выявление угроз пожара и оповещение персонала;</i><br><i>4. Подготовка и поддержание в постоянной готовности сил и средств для ликвидации ЧС.</i><br><i>5. Обеспечение должного медицинского осмотра персонала</i>      |

|  |                    |
|--|--------------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 20 марта 2016 года |
|--|--------------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность | ФИО                               | Ученая степень, звание | Подпись | Дата     |
|-----------|-----------------------------------|------------------------|---------|----------|
| Доцент    | Гусельников Михаил<br>Эдуардович. | к.т.н.                 |         | 20.03.16 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                            | Подпись | Дата     |
|--------|--------------------------------|---------|----------|
| 5Б2А   | Джамбуршиева Анна Владимировна |         | 20.03.16 |



## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 79 с., 15 рис., 13 табл., 12 источников.

Перечень ключевых слов: энергоблок К-1000-60/3000, регенеративные подогреватели, выбор оборудования, абсолютный внутренний КПД, экономические показатели.

Объектом исследования является возможность замены третьего по счету от конденсатора поверхностного подогревателя на смешивающий подогреватель в схеме станции.

Цель выпускной квалификационной работы – анализ эффективности замены подогревателя низкого давления поверхностного типа схеме энергоблока К-1000-60/3000 на подогреватель смешивающего типа.

В результате исследования определены показатели турбоустановки и энергоблока в целом, основные энергетические и технико-экономические показатели, технические характеристики и выбор основного и вспомогательного оборудования, конструирование подогревателя низкого давления.

Рассмотренный в дипломной работе вопрос о возможности замены поверхностного подогревателя на смешивающий имеет высокий уровень актуальности в связи с положительным экономическим эффектом. Полученный анализ исследования может иметь применение при оптимизации теплоэнергетических установках.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

АЭС – атомная электрическая станция;

КПД – коэффициент полезного действия;

ПВД – подогреватель высокого давления;

ПНД – подогреватель низкого давления;

ПТУ – паротурбинная установка;

ПГ- парогенератор;

СП – сетевой подогреватель;

ПП-пароперегреватель;

К-конденсатор;

СВ-сетевая вода;

ЦВД – цилиндр высокого давления;

ЦНД – цилиндр низкого давления.

## Оглавление

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Анализ конструкции смешивающих подогревателей.....   | 15 |
| 2     | Обоснование выбора схемы энергоблока К-1000-60/3000 со смешивающими ПНД.....                                 | 21 |
| 3     | Расчет тепловой схемы.....   | 23 |
| 3.1   | Определение давления пара в отборах и распределение подогрева по подогревателям.....                         | 24 |
| 3.2   | Построение процесса расширения пара в турбине в h-s диаграмме.....   | 26 |
| 3.3   | Составления сводной таблица параметров пара и воды .....   | 29 |
| 3.4   | Расчет схемы отпуска теплоты .....   | 32 |
| 3.5   | Предварительная оценка расхода пара на турбину .....   | 33 |
| 3.6   | Расчет вспомогательных элементов тепловой схемы .....  | 33 |
| 3.6.1 | Охладители эжекторов (ОЭ) и уплотнений (ОУ) .....  | 33 |
| 3.6.2 | Сепаратор .....  | 34 |
| 3.6.3 | Пароперегреватель .....  | 34 |
| 4     | Составление общих уравнений материального баланса .....  | 35 |
| 4.1   | Материальные балансы по пару .....   | 35 |
| 5     | Составление и решение уравнений материального и теплового балансов подогревателей регенеративной схемы ..... | 36 |
| 5.1   | Расчет П8.....   | 36 |
| 5.2   | Расчет П7.....   | 36 |
| 5.3   | Расчет деаэратора .....  | 37 |
| 5.4   | Расчет ПНД .....   | 37 |
| 5.4.1 | Расчет расхода пара при включении в схему регенерации низкого давления ПНД№3 поверхностного типа. ....       | 40 |
| 5.5   | Расчет турбопривода питательного насоса .....  | 41 |

|  |    |
|--|----|
| 5.6 Относительный расход пара в конденсатор .....                                      | 41 |
| 6. Определение расхода пара на турбину .....   | 42 |
| Проверка электрической мощности .....  | 42 |
| 7 Выбор оборудования пароводяного тракта .....   | 43 |
| 7.1 Выбор турбоагрегата.....   | 43 |
| 7.2 Выбор парогенератора .....   | 43 |
| 7.3 Выбор конденсатора .....   | 43 |
| 7.4 Выбор деаэратора питательной воды.....   | 43 |
| 7.5 Выбор основных сетевых подогревателей .....  | 44 |
| 7.6 Выбор ПНД .....  | 45 |
| 7.7 Выбор ПВД .....  | 47 |
| 8 Сравнение показателей тепловой экономичности для двух.....                           | 49 |
| разных схем включения ПНД№3.....   | 49 |
| 8.1 Схема с включением ПНД№3 смешивающего типа .....                                   | 49 |
| 8.2 Схем с включением ПНД№3 поверхностного типа. ....                                  | 51 |
| 8.3 Основные выводы, характеризующие полученные результаты.....                        | 51 |
| 9 Конструкторский расчет смешивающих подогревателей.....                               | 53 |
| 9.1 Расчет струйных отсеков смешивающего подогревателя.....                            | 53 |
| 9.2 Гидравлический расчет первого отсека подогревателя .....                           | 56 |
| 9.3 Расчет барботажной ступени смешения .....  | 57 |
| 9.4 Выбор подводящих и отводящих трубопроводов.....                                    | 59 |
| 10 Финансовый менеджмент.....  | 61 |
| 10.1 Определение капиталовложений, стоимостной оценки при осуществлении<br>замены..... | 61 |
| 10.2 Календарные планы .....   | 64 |

|   |    |
|---|----|
| 10.3 Экономические показатели расхода топлива после замены.....         | 66 |
| 11 Социальная ответственность.....                                      | 68 |
| 11.1 Производственная безопасность.....                                 | 68 |
| 11.1.1 Тепловые выделения и опасность термического ожога.....           | 68 |
| 11.1.2 Освещение.....   | 68 |
| 11.1.3 Опасность поражения электрическим током .....                    | 69 |
| 11.1.4 Выделение вредоносных веществ .....                              | 70 |
| 11.1.5 Обеспечение взрывопожарной безопасности производства .....       | 71 |
| 11.1.6 Безопасность эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды..... | 71 |
| 11.2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....                        | 73 |
| 11.3. Экологическая безопасность.....                                   | 75 |
| 11.3.1 Золоулавливание. ....  | 75 |
| Заключение.....   | 78 |
| Список использованных источников .....                                  | 79 |
| Графическая часть .....   | 80 |

## Введение

Принципиальная тепловая схема с энергоблоком К-1000-60/3000 определяет основное содержание технологического процесса преобразования тепловой энергии на станции. Схема включает основное и вспомогательное оборудование, участвующее в осуществлении этого процесса и входящего в состав пароводяного тракта станции. Основная цель расчета данной схемы заключается в определении технических характеристик теплового оборудования, обеспечивающего уровень энергетических и технико-экономических показателей электростанции.

Целью данной работы является расчет тепловой схемы.

Задачи работы:

1. Расчет тепловой схемы энергоблока с турбиной К-1000-60/3000.
2. Расчет подогревателя низкого давления смешивающего типа турбоустановки, с целью определения его основных показателей и характеристик работы, отвечающих современным требованиям при проектировании сооружений и эксплуатации основного и вспомогательного оборудования тепловых электрических станций и анализа изменения коэффициента полезного действия станции  $\eta_{ст}^H$ , расхода топлива на станцию при замене им поверхностного подогревателя низкого давления.

## 1 Анализ конструкции смешивающих подогревателей

При применении смешивающих ПНД наибольшее применение получила гравитационная схема. Это позволяет сократить количество перекачивающих насосов, однако требует применения специальных мер по обеспечению надежности работы системы регенерации. Основным требованием при применении смешивающих ПНД является установка абсолютно надежных защитных устройств от попадания в турбину воды из подогревателя, которое возможно при затоплении и при сбросе с турбины нагрузки. Практика показала, что затопление подогревателей водой наиболее надежно предотвращает безарматурная линия аварийного перелива с гидрозатвором, соединяющим подогреватель с конденсатором турбины [1].

Кроме того, конструкция подогревателя должна исключать возможность возникновения обратного потока пара, который был бы способен разогнать турбину выше допустимого значения. Это достигается установкой обратного парового клапана на трубопроводе отбора и выбором проходного сечения дыхательного патрубка на перегородке [2]. Например, рассмотрим ниже такую схему установки подогревателей смешивающего типа (рисунок 1.1 и рисунок 1.2). Подогреватели устанавливаются последовательно один над другим (гравитационная схема), что исключает необходимость применения дополнительных насосов для перекачивания конденсата греющего пара из П1 в П2. Такое включение подогревателей требует обоснованного выбора высоты их установки, так как при всех режимах работы необходимо обеспечивать достаточный напор для конденсатных насосов и возможность слива конденсата из верхнего подогревателя в нижний. Целесообразно водяную камеру нижнего подогревателя выполнять безнапорной со свободным уровнем конденсата, все подводящие и отводящие трубопроводы верхнего подогревателя располагать в нижней части его корпуса, а у нижнего – присоединять к верхней части его корпуса. Это позволяет уменьшить длину трубопроводов и упростить компоновку подогревателей.

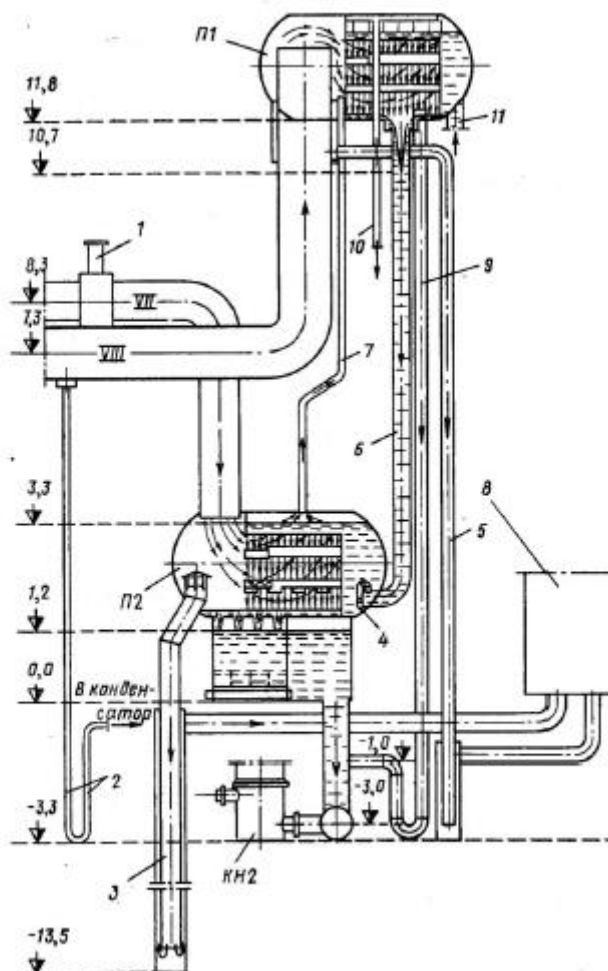


Рисунок 1.1– Схема установки подогревателей низкого давления смешивающего типа [7]

П1, П2 – первый и второй подогреватели; КН2 – конденсатный насос второго подъема; 1 – обратный затвор; 2 – гидрозатвор; 3 – аварийный слив из П2; 4 – клапан; 5 – аварийный слив из П1; 6 – подвод конденсата к П2; 7 – отвод паровоздушной смеси; 8 – бак; 9 – слив конденсата помимо П2; 10 – отвод паровоздушной смеси; 11 – подвод конденсата.

Разность высот между подогревателями должна выбираться по максимально возможной разности давлений в них с учетом гидравлического сопротивления трубопроводов слива и некоторого запаса высоты.



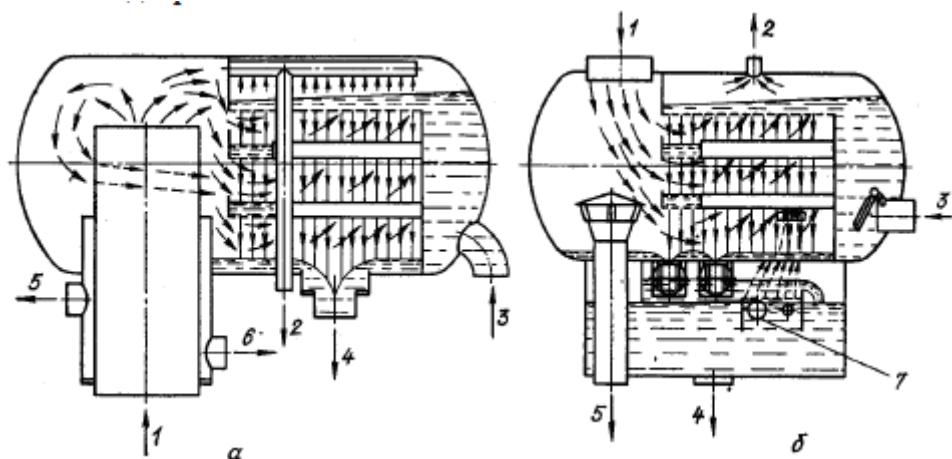


Рисунок 1.2 – Смешивающие подогреватели низкого давления [7]

*a* – конструктивная схема П1; *б* – конструктивная схема П2; 1 – подвод пара; 2 – отвод паровоздушной смеси; 3 – подвод конденсата; 4 – отвод конденсата; 5 – аварийный слив конденсата; 6 – аварийный отвод конденсата на всас насоса; 7 – подвод конденсата из подогревателя более высокого давления.

Внутри корпуса П1 последовательно расположены три яруса тарелок с отверстиями диаметром 8 мм, между которыми (в центральной части корпуса) имеется канал для прохода пара. Поток основного конденсата от конденсатных насосов первого подъема поступает в приемную водяную камеру подогревателя и из нее на верхнюю тарелку.

Последовательно перетекая с одной тарелки на другую, вода дробится на тонкие струи. Установка тарелок обеспечивает подвод пара одновременно ко всем струйным пучкам, кроме самого верхнего. Струи конденсата, стекающие с верхней тарелки, обеспечивают конденсацию пара, проходящего по каналу между тарелками. Выделяемый в процессе подогрева воды воздух отводится по специальным каналам и выводится из аппарата, что обеспечивает близкий к нулю недогрев воды.

Средняя и нижняя тарелки имеют общий центральный канал, непосредственно связывающий каждый струйный отсек с первым по ходу конденсата. Тарелки установлены в корпусе таким образом, что по их внешнему периметру имеется пространство для одновременного подвода пара ко всем струйным пучкам, кроме верхнего, первого по ходу конденсата. Верхний пучок предназначен для конденсации пара, поступающего по центральному каналу после всех нижних струйных пучков. Между боковыми бортами верхней тарелки и корпусом аппарата имеется канал для отвода паровоздушной смеси.

Конструкция подогревателя П2 не отличается от П1, только подвод пара у него производится сверху и для обеспечения нормальной работы конденсатных насосов подогреватель оснащен конденсатосборником. Установка барботажных устройств и подвод к ним пара и дренажа из вышестоящих подогревателей позволяют проводить в конденсатосборнике деаэрацию конденсата. Конденсатосборник отделен от парового отсека подогревателя перегородкой с обратными клапанами. Это позволяет предотвратить попадание влаги из конденсатосборника в паровой отсек и паропровод греющего пара и отказаться от установки на нем защитной арматуры.

При гравитационной схеме включения подогревателей и размещения их около турбины более целесообразным является применение подогревателей горизонтального типа. В схеме с перекачивающими насосами лучше использовать более надежные подогреватели вертикальной конструкции.

На рисунке 1.3 показан вертикальный подогреватель смешивающего типа. Корпус вертикальных подогревателей смешивающего типа разделен поперечной перегородкой 11 на собственно подогреватель и сборник конденсата. Поток основного конденсата подается в верхнюю часть подогревателя на дырчатый лист 4, откуда струями перетекает на лист 2 и затем в занятое водой пространство переливного устройства 16.

Из этого устройства конденсат по трубам 19 перепускается в нижнюю часть аппарата (сборник конденсата). Переливные трубы 19 имеют обратные затворы.

Пар поступает в подогреватель по трубе 5, на которой также установлен обратный затвор. Обратные затворы на паровой и водяной линиях исключают возможность обратного потока воды и пароводяной смеси в паровую линию и отбор турбины при внезапном снижении мощности турбины и давления пара в отборе. Пересекая водяные струи, пар конденсируется и подогревает воду до температуры насыщения  $t_s$ .

Подогретый поток воды отводится из нижней части аппарата. Когда уровень в корпусе подогревателя поднимается выше допустимого значения, часть воды перетекает через гидравлический затвор и по трубе 13 через гидрозатвор отводится в конденсатор турбины. Выпар отсасывается и отводится по линии, подсоединенной к штуцеру 6. Дренаж из вышестоящего ПНД подводится по трубе 20 через коллектор 18.

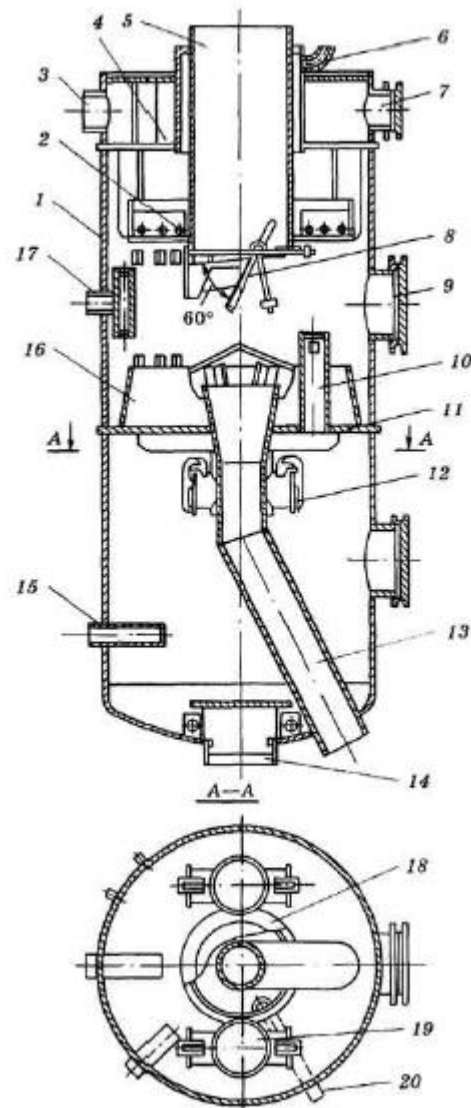


Рисунок 1.3 – Схема конструкции вертикального смешивающего подогревателя [7]

1 – корпус; 2, 4 – дырчатые листы; 3 – линия подвода конденсата; 5 – подвод пара; 6 – отсос паровоздушной смеси; 7, 9 – лаз; 8 – обратный затвор для пара; 10 – уравнивательная труба; 11 – разделительная перегородка; 12 – обратный затвор для конденсата; 13 – переливная труба; 14 – отвод конденсата; 15 – дренаж из сетевых подогревателей; 16 – переливное устройство; 17 – подвод пара из уплотнений; 18 – кольцевой коллектор; 19 – переливная труба; 20 – труба для подвода дренажа из вышестоящего ПНД.

2 Обоснование выбора схемы энергоблока К-1000-60/3000 со  
смешивающими ПНД





### 3 Расчет тепловой схемы

3.1 Определение давления пара в отборах и распределение подогрева по подогревателям





### 3.2 Построение процесса расширения пара в турбине в $h-s$ диаграмме





### 3.3 Составления сводной таблица параметров пара и воды





### 3.4 Расчет схемы отпуска теплоты



3.5 Предварительная оценка расхода пара на турбину

3.6 Расчет вспомогательных элементов тепловой схемы

3.6.1 Охладители эжекторов (ОЭ) и уплотнений (ОУ)

3.6.2 Сепаратор

3.6.3 Пароперегреватель

## 4 Составление общих уравнений материального баланса

### 4.1 Материальные балансы по пару

## 5 Составление и решение уравнений материального и теплового балансов подогревателей регенеративной схемы

5.1 Расчет П8

5.2 Расчет П7

### 5.3 Расчет деаэратора

### 5.4 Расчет ПНД





5.4.1 Расчет расхода пара при включении в схему регенерации низкого давления ПНД№3 поверхностного типа.



5.5 Расчет турбопривода питательного насоса

5.6 Относительный расход пара в конденсатор

## 6. Определение расхода пара на турбину

7

## Выбор оборудования пароводяного тракта

7.1 Выбор турбоагрегата

7.2 Выбор парогенератора

7.3 Выбор конденсатора

7.4 Выбор деаэратора питательной воды

## 7.5 Выбор основных сетевых подогревателей

## 7.6 Выбор ПНД



## 7.7 Выбор ПВД





8 Сравнение показателей тепловой экономичности для двух  
разных схем включения ПНД№3

8.1 Схема с включением ПНД№3 смешивающего типа





8.2 Схем с включением ПНД№3 поверхностного типа.

8.3 Основные выводы, характеризующие полученные результаты

## 9 Конструкторский расчет смешивающих подогревателей

### 9.1 Расчет струйных отсеков смешивающего подогревателя

#### 9.1.1 Расход конденсирующегося в первом отсеке пара

#### 9.1.2 Расход пара на входе в струйный отсек

#### 9.1.3 Число отверстий в тарелке

#### 9.1.5 Глубина струйного пучка

#### 9.1.6 Длина струй

#### 9.1.7 Средняя скорость пара в отсеке

9.1.8 Относительное содержание неконденсирующихся газов в паровоздушной смеси

#### 9.1.10 Расход паровоздушной смеси на входе в отсек

9.1.11 Число Прандтля, коэффициент поверхностного натяжения для воды, плотность пара определяются по температуре насыщения

#### 9.1.12 Скорости пара на входе и выходе струйного отсека

#### 9.1.13 Расчетное значение средней скорости пара в отсеке

#### 9.1.14 Относительное расхождение скорости пара для первого отсека

#### 9.1.15 Общий расход пара





## 9.2 Гидравлический расчет первого отсека подогревателя

9.2.1 Потери давления при движении пара через струйный пучок

9.2.2 Потери давления на преодоление местных сопротивлений

9.2.3 Динамический уровень

9.2.4 Высота бортов тарелок



- 9.3 Расчет барботажной ступени смешения
  - 9.3.1 Минимально необходимая скорость пара
  - 9.3.2 Высота парового слоя под листом
  - 9.3.3 Видимый уровень воды над листом [5]
  - 9.3.4 Приведенная к площади перфорации скорость пара
  - 9.3.5 Площадь перфорации
  - 9.3.6 Расход пара через отверстия листа
  - 9.3.7 Число отверстий на листе
  - 9.3.8 Высота динамического слоя воды на листе
  - 9.3.9 Паровое сопротивление
  - 9.3.10 Сопротивление сухого дырчатого листа
  - 9.3.11 Сопротивление слоя воды над листом, обусловленное силами поверхностного натяжения
  - 9.3.12 Сопротивление двухфазного слоя над листом



## 9.4 Выбор подводящих и отводящих трубопроводов



## 10 Финансовый менеджмент.

10.1 Определение капиталовложений, стоимостной оценки при осуществлении замены





## 10.2 Календарные планы





### 10.3 Экономические показатели расхода топлива после замены



## 11 Социальная ответственность.

### 11.1 Производственная безопасность

#### 11.1.1 Тепловые выделения и опасность термического ожога

#### 11.1.2 Освещение

### 11.1.3 Опасность поражения электрическим током

#### 11.1.4 Выделение вредоносных веществ

11.1.5 Обеспечение взрывопожарной безопасности производства

11.1.6 Безопасность эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды





## 11.2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях



## 11.3. Экологическая безопасность

### 11.3.1 Золоулавливание.





## Заключение

## Список использованных источников

## Графическая часть