

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра промышленный теплоэнергетики

ТЕПЛООБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

ТЭС и АЭС

Выполнение контрольных работ

Методические указания для самостоятельной работы студентов
всех форм обучения по направлению подготовки
13.04.01 — Теплоэнергетика и теплотехника

Составители:
В. А. Суслов
В. Н. Белоусов
С. В. Антуфьев
К. Г. Живаева
В. А. Рыжиков

Санкт-Петербург
2026

Утверждено
на заседании кафедры ПТЭ
19.01.2026 г., протокол № 5

Рецензент В. С. Куров

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Теплообменное оборудование ТЭС и АЭС» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

В настоящих методических указаниях представлен порядок изучения дисциплины, выполнения контрольных работ и подготовки к контролю усвоения дисциплины. Методические указания содержат расчетные задания по разделам: общие характеристики и типы парогенераторов АЭС, регенеративные и сетевые подогреватели. Решение типовых задач основано на применении зависимостей, приведенных в пособии [4], а также на некоторых других расчетных соотношениях, широко применяемых в инженерной практике.

Методические указания предназначены для магистрантов очной и заочной форм обучения, а также могут быть рекомендованы аспирантам направления подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
-Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 29.06.2026 г. Рег. № 5045/26

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	4
Перечень тем дисциплины.....	5
Контрольные задания.....	13
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	16

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Основными задачами дисциплины являются:

- передача студентам объема знаний о переносе теплоты и массы, обеспечивающих восприятие последующих учебных курсов в соответствии с направлениями «Промышленная теплоэнергетика» и «Энергетика теплотехнологий»;
- ознакомление студентов с основным оборудованием ТЭС и АЭС;
- обучение квалифицированно проводить элементарные расчеты передачи теплоты.

При изучении курса «Тепло- и массообменное оборудование ТЭС и АЭС» рекомендуется придерживаться следующего порядка:

- по программе ознакомиться с содержанием темы и затем проработать материал по рекомендованным учебникам;
- при изучении материала следует обращать внимание на физический смысл того или иного явления и сопровождать это соответствующими выводами формул;
- к выполнению контрольных заданий следует приступать, предварительно изучив соответствующий материал курса.

При выполнении контрольных заданий нужно придерживаться следующих правил:

1. Переписать полностью текст каждой задачи.
2. Указать словами, какая величина вычисляется, привести соответствующую формулу.
3. Для каждой найденной величины нужно указать размерность.
4. Для величин, найденных из таблиц или диаграмм, необходимо назвать источник с указанием автора, года издания и страницы.
5. В ответах нужно придерживаться терминов и обозначений, принятых в учебнике.
6. Работы следует писать разборчиво, оставляя поле для замечаний рецензента; графики и схемы выполнять тщательно и аккуратно.

Выбор варианта задания производится по последней цифре шифра зачетной книжки студента.

ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕМА 1. Современное состояние и тенденции развития тепловых схем паротурбинных ТЭС и АЭС [1]

1. Факторы сдерживания развития российской теплоэнергетики.
2. Перспективные задачи теплоэнергетики.
3. Основные элементы тепловой схемы ТЭС и АЭС и требования к ним.
4. Основные параметры станций и их влияние на структуру тепловой схемы и экономичность.

ТЭС и АЭС вырабатывают и снабжают электрической энергией промышленное производство, коммунальное хозяйство и транспорт, обеспечивают предприятия и жилой сектор паром и горячей водой. Энергетическое и энерготехнологическое хозяйство ТЭС и АЭС – сложный комплекс, состоящий из установок для производства и преобразования различных видов энергии; коммуникаций и трубопроводов для транспорта топлива, систем отопления, вентиляции и кондиционирования; установок для обезвреживания и утилизации выбросов, использования вторичных и попутных энергоресурсов предприятия.

2023-й год для российского ТЭК прошел под давлением жесточайших санкций. Это означает и отказ в допуске к рынку капиталов, и запрет на поставку технологий, и, главное, попытку убрать российскую нефть, нефтепродукты и газ с рынков стран Запада. В течение года радикально менялись логистика поставок российских энергоресурсов, клиентская база и система продаж. В 2023 году доходы российского бюджета от топливно-энергетического комплекса снизились на 3 трлн рублей по сравнению с 2022 г. и составили около 9 трлн рублей. По итогам года Российская Федерация сохранила лидирующие позиции по добыче нефти, газа и угля в мире.

В 2023 г. Россия добыла 527 млн т нефти, в сравнении: в 2022 г. – 535 млн т. Для поддержания текущего уровня добычи нефти к 2030 г. необходимо ввести в эксплуатацию месторождения с потенциальным объемом в 130–230 млн т в год на фоне сокращения доли традиционных запасов. Прирост запасов нефти и газового конденсата в России в 2023 г. сократился на 32,3 % по сравнению с 2022 г. до 550 млн т, что является минимумом с 2016 г. Одним из решений в данной ситуации могут стать меры государственного регулирования геологоразведки, направленные на упрощение доступа к участкам недр независимых компаний.

По итогам 2023 года в российской угольной отрасли уровень добычи составил около 440 млн т угля, что сопоставимо с 2022 годом.

Прекращен экспорт в Финляндию и страны Прибалтики. В 2023 г. производство электроэнергии в РФ увеличилось на 0,8 %. На начало 2023 г. выработка энергии Единой Энергетической Системой (ЕЭС) России составила 1 106,3 млрд кВт·ч.; в том числе 245,6 млн ГВт·ч – АЭС; 619,9 млн ГВт·ч – ТЭС; 207,4 млн ГВт·ч – ГЭС; ВЭС – 16,4 млн ГВт; СЭС – 17 млн ГВт.

На конец 2023 года в составе ЕЭС России работали **семь** Объединенных энергосистем (ОЭС).

В ЕЭС России входит около **880** электростанций мощностью свыше 5 МВт. К 2023 г. потребление электроэнергии ЕЭС РОССИИ составило 1 106,3 млрд кВт·ч. В том числе ОЭС Центра – 257,3; ОЭС Средней Волги – 110,9; ОЭС Урала – 260,8; ОЭС Северо-Запада – 97,1; ОЭС Юга – 111,0; ОЭС Сибири – 224,7; ОЭС Востока – 44,5 млрд кВт·ч.

ТЕМА 2. Физические основы использования ядерных реакторов для генерации тепла на АЭС

1. Виды энергии.
2. Строение вещества.
3. Ядерные реакции.
4. Радиоактивность.
5. Деление ядер.
6. Размножение нейтронов.
7. Реактивность.

Энергия – это мера возможности совершить работу. Она может проявляться в формах:

- кинетической энергии, обусловленной движением тел;
- потенциальной энергии, определяемой взаимным притяжением молекул и положением тела;
- химической энергии, «запасенной» в атомах веществ и высвобождающейся или поглощающейся при осуществлении химических реакций при реагировании молекул различных веществ;
- электрической энергии: атомы состоят из ядра, вокруг которого вращаются электроны; при избытке или недостатке электронов в какой-либо части тела оно обладает электрическим зарядом или электрической энергией, т. е. способности электромагнитного поля производить работу, преобразовываясь в другие виды энергии;
- ядерной энергии – энергии, высвобождающейся при распаде ядер в результате внутренней перестройки атомных ядер.

Все вещества состоят из молекул, которые представляют собой сложные комплексы взаимодействующих атомов. В состав молекул входят атомы различных химических элементов, состоящих из атомов одного типа. Атом – мельчайшая частица химического элемента – состоит из «тяжелого» ядра и вращающихся вокруг него электронов. Ядра атомов образованы совокупностью положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов. Эти частицы, называемые нуклонами, удерживаются в ядрах короткодействующими силами притяжения, возникающими за счет обменов мезонами – частицами меньшей массы.

Ядра водорода, протоны, а также нейтроны, электроны (при рассмотрении ядерных реакций, называемые бета-частицами) и одиночные ядра гелия

(называемые альфа-частицами) могут существовать автономно вне ядерных структур. Такие ядра, которые иногда условно называют также элементарными частицами, двигаясь в пространстве и приближаясь к ядрам на расстояния порядка поперечных размеров ядер, могут взаимодействовать с ядрами. При этом частицы либо могут захватываться ядрами, либо после столкновения менять направление движения, отдавая ядру часть своей кинетической энергии. Такие акты взаимодействия называются ядерными реакциями. Деление тяжелых ядер происходит при захвате нейтронов. При этом испускаются новые частицы и освобождается энергия связи ядра, передаваемая большей частью осколкам деления. Дочерние продукты радиоактивных процессов могут также претерпевать распад – так возникают цепочки радиоактивных превращений. Реакция без проникновения внутрь ядра называется упругим рассеянием.

Делящийся изотоп урана ^{235}U состоит на 99,3 % из неделящегося изотопа ^{238}U . Количество урана должно быть достаточным для поглощения нейтронов при делении: критическая масса. При делении ядро ^{235}U расщепляется на ядра бария и криптона.

ТЕМА 3. Общие сведения о работе АЭС

1. Принцип получения тепловой энергии в ядерном реакторе.
2. Основные типы ядерных реакторов.
3. Принципиальные схемы производства пара на АЭС.
4. Реакторы на тепловых нейтронах.
5. Реакторы на естественном уране с графитовым замедлителем.
6. Водо-водяные реакторы.
7. Реакторы с легководным замедлителем и теплоносителем под давлением.
8. Кипящие реакторы.
9. Реакторы на естественном уране с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем.
10. Быстрые реакторы-размножители с жидкометаллическим теплоносителем.
11. Турбины для работы на влажном паре.

АЭС – это электростанция, где ядерная энергия преобразуется в электрическую. Генератором энергии на АЭС служит ядерный реактор. Теплота, выделяющаяся в реакторе в результате цепной реакции деления ядер тяжелых элементов, в основном U-235 , преобразуется в электрическую энергию.

Механизм ядерных реакций, составляющих сейчас большинство, осуществляется в реакторах на тепловых нейтронах. Наряду с ними существуют в значительно меньшем количестве реакторы без замедлителя, в которых деление происходит на быстрых нейтронах.

Возможно также использование ядерной энергии, выделяющейся за счет реакции синтеза легких элементов. Реакторы такого типа носят название термоядерных. В качестве ядерного топлива в них используются изотопы водорода: дейтерий и тритий.

ТЕМА 4. Основные типы реакторов атомных электрических станций (АЭС) [1]

1. Принципиальные схемы производства пара на АЭС.
2. Реакторы на естественном уране с графитовым замедлителем.
3. Реакторы с водой под давлением.
4. Кипящие реакторы.
5. Реакторы на естественном уране с тяжеловодным замедлителем и теплоносителем.
6. Кипящие реакторы прямого цикла с графитовым замедлителем.
7. Быстрые реакторы-размножители с жидкометаллическим теплоносителем.

Ядерный реактор – это техническая установка, в которой осуществляется самоподдерживающаяся цепная реакция деления тяжелых ядер с освобождением ядерной энергии. Ядерный реактор состоит из активной зоны и отражателя, размещенных в защитном корпусе. Активная зона содержит ядерное топливо в виде топливной композиции в защитном покрытии и замедлитель. Топливные элементы обычно имеют вид тонких стержней. Они собраны в пучки и заключены в чехлы. Такие сборные композиции называются сборками или кассетами. Топливом ядерных реакторов является либо естественный уран, представляющий смесь, в которой концентрация делящегося изотопа ^{235}U составляет 0,7 %, и большого количества неделящегося изотопа ^{238}U , либо «обогащенный» уран, в котором концентрация изотопа ^{235}U достигает 2, 3, 4 или более процентов. Процесс поглощения нейтронов в ^{238}U ведет к образованию нового изотопа плутония ^{239}Pu . Это делящийся изотоп, приводящий к образованию высших изотопов: ^{240}Pu , ^{241}Pu и т. д.

Возможны три способа использования нейтронов, образующихся в результате расщепления ядер ^{235}U для поддержания цепной реакции. В большинстве энергетических реакторов (тепловых) используются так называемые «тепловые» нейтроны, кинетическая энергия которых снижена до уровня, соответствующих обычных газовых молекул. Для этого служат среды, называемые замедлителями. Нейтроны замедляются за счет столкновений с элементами структуры замедлителей.

В быстром реакторе нейтроны взаимодействуют с топливом, состоящим из смеси плутония (~ 20 %) с обедненным ураном, т. е. с естественным ураном, из которого выделено некоторое количество ^{235}U в результате использования его в тепловом реакторе.

ТЕМА 5. Основные элементы циркуляционной системы АЭС

1. Главный циркуляционный насос.
2. Компенсатор объема.
3. Трубопроводы.

В первом контуре отечественных АЭС в нормальном режиме эксплуатации принята принудительная циркуляция теплоносителя, обеспечиваемая главным циркуляционным насосом (ГЦН). ГЦН предназначен для работы при давлении 1-го контура. Однако при пусковых режимах АЭС ГЦН работает при низких давлениях $\sim 2,0$ МПа. При работе ГЦН обеспечивается контроль протечек теплоносителя в сальниковых уплотнениях и их сбор.

У ГЦН, как правило, имеется вертикальный вал и маховик, который должен обеспечивать продолжительность выбега ротора при отключении питания в течение 80–90 с. При авариях, связанных с обесточиванием АЭС, этого времени достаточно для развития в контуре естественной циркуляции, за счет которой осуществляется в дальнейшем аварийное расхолаживание реактора.

Система компенсации объема (КО) необходима для реакторов, охлаждаемых водой под давлением. На реактор устанавливается один компенсатор объема на любом циркуляционном контуре вблизи от реактора так, чтобы между реактором и КО не было никакой запорной арматуры.

Соединение между собой отдельных элементов и оборудования ТЭС и АЭС требует большого числа трубопроводов. Кроме главных, существует большое количество вспомогательных трубопроводов различных диаметров и назначений. Общая протяженность трубопроводов на мощных станциях составляет несколько километров.

ТЕМА 6. Общие характеристики и типы парогенераторов (ПГ) АЭС [2]

1. Конструкционные схемы ПГ, обогреваемых водой.
2. Режимные параметры работы ПГ, обогреваемых водой.
3. Конструкционные схемы водных ПГ.
4. Схемы ПГ, обогреваемых жидкометаллическими теплоносителями.
5. Конструкционные схемы ПГ, обогреваемых жидкометаллическими теплоносителями.
6. Схемы ПГ с газовыми теплоносителями.
7. Параметры работы ПГ с газовыми теплоносителями.
8. Конструкционные схемы ПГ, работающих на газовых теплоносителях.

Производство рабочего пара на АЭС осуществляется в ядерных реакторах или в специальных теплообменных установках – парогенераторах (ПГ).

Основные закономерности теплофизических и физико-химических процессов, протекающих при производстве пара, идентичны как для кипящих реакторов, с учетом влияния тепловых потоков, больших скоростей теплоносителей и ионизирующего излучения, так и для ПГ.

ПГ АЭС – это теплообменный аппарат, производящий рабочий пар теплотой, вносимой теплоносителем из реактора. ПГ – один из основных агрегатов двух- и трехконтурных АЭС.

К основным характеристикам ПГ АЭС, так же как и ПГ ТЭС, относятся паропроизводительность, параметры пара и температура питательной воды. Важным показателем является чистота пара, а для АЭС, работающих на

насыщенном паре, – влажность.

В общем случае ПГ АЭС состоит из подогревательного (водяной экономайзер), испарительного (испаритель) и пароперегревательного (пароперегреватель) элементов. Эти элементы могут быть совмещены в одном теплообменном аппарате, а могут быть самостоятельными теплообменниками, включенными в контуры обоих теплоносителей.

В экономайзере и пароперегревателе движение рабочего тела всегда однократное и принудительное.

Испарители в зависимости от способа организации движения рабочего тела делят на три группы: с естественной циркуляцией, с многократной принудительной циркуляцией и прямоточные. В соответствии с этим различают и типы ПГ в целом.

ПГ с естественной циркуляцией характеризуются многократным движением воды в испарителе за счет естественного напора, возникающего из-за разности масс столбов жидкости в опускной системе и пароводяной смеси в подъемной. Испаритель представляет собой в этом случае замкнутый контур.

ПГ с многократной принудительной циркуляцией вследствие напора, создаваемого циркуляционным насосом, включенным в опускную систему, имеют многократное движение воды в замкнутом контуре испарителя.

Экономайзер, испаритель и пароперегреватель включены у прямоточных ПГ в одну последовательную цепь с однократным принудительным проходом рабочей среды под действием напора питательного насоса.

ТЕМА 7. Регенеративные подогреватели [3]

1. Схемы включения поверхностных подогревателей в систему регенеративного подогрева.
2. Поверхностные регенеративные подогреватели.
3. Регенеративные подогреватели смешивающего типа.

Регенеративным подогревом называется подогрев питательной воды реакторов котлов и основного конденсата, идущего из конденсатора, паром, отбираемым из промежуточных ступеней турбины.

Максимальная тепловая экономичность установки достигается при отводе конденсата греющего пара подогревателя (дренаж) в линию питательной воды. Данная схема является наиболее сложной из-за наличия большого числа дренажных насосов, что делает ее менее надежной. В эксплуатации схема не используется.

При каскадном отводе дренажа тепловая экономичность установки минимальна. Поэтому каскадный отвод дренажа применяется только в аварийных случаях отказа дренажного насоса.

Промежуточное положение по тепловой экономичности занимают установки со смешанным отводом конденсата.

По конструктивному исполнению подогреватели делятся на простейшие подогреватели; подогреватели с охладителем дренажа; подогреватели с охладителем дренажа и охладителем пара.

ТЕМА 8. Сетевые подогреватели [3]

1. Горизонтальные и вертикальные сетевые подогреватели.

Сетевые подогреватели – это подогреватели, используемые в системах теплоснабжения для подогрева сетевой воды паром из отбора турбин. По конструктивному исполнению подогреватели делятся на вертикальные и горизонтальные аппараты.

ТЕМА 9. Испарители и паропреобразователи [3]

- 1. Конструкции испарителей и паропреобразователей.**
- 2. Схемы подключения испарителей.**

На ТЭС восполнение потерь конденсата и пара производится дистиллятом, который получают в испарительных установках из химически обработанной воды. В случае применения необработанной воды для избегания усиленной инкрустации поверхности нагрева накипью, в воду вводится затравка, на которой происходит осаждение солей жесткости, а не на поверхностях теплообмена.

Испарительная установка может быть двухступенчатой или многоступенчатой, а также адиабатной или установкой мгновенного вскипания.

Испарители могут быть включены в систему регенерации турбины по схеме с отдельным конденсатором испарителя и без отдельного конденсатора.

На конденсационных электростанциях, где потери пара и конденсата не превышают 3 % общего расхода пара на турбину, применяются одноступенчатые испарительные установки. При больших потерях применяются двухступенчатые или многоступенчатые испарительные установки, в которых число ступеней установки обычно не превышает шести. Применение установок мгновенного вскипания позволяет облегчить и удешевить химическую обработку воды, снизить расход реагентов. Испарители мгновенного вскипания работают на сырой воде с затравкой или на воде, обработанной методом подкисления. При этом отложения накипи при температурах воды до 120 °С не образуются на теплообменных поверхностях. Поэтому давление в первой ступени таких установок не превышает 0,2, а в последней – 0,008 МПа. Число ступеней установки может достигать 35. При большем числе ступеней установки и одной и той же ее производительности расходуется меньше греющего пара. Стоимость установки при этом возрастает. На АЭС испарительные установки применяются для производства добавочной воды в системе спецводоочистки, для генерации пара, используемого для уплотнения турбины, в эжекторных установках.

Паропреобразователи служат для производства чистого нерадиоактивного

пара из радиоактивной воды на одноконтурных АЭС. По конструкции они не отличаются от испарителей ТЭС. Однако технические характеристики и размеры присоединительных патрубков у них разные.

ТЕМА 10. Деаэраторы [3]

1. Типы и конструкции деаэраторов.

Термическая деаэрация воды является основным методом борьбы с коррозией, омываемых водой поверхностей теплосилового оборудования и трубопроводов. Термические деаэраторы предназначены для удаления коррозионно-агрессивных газов (кислорода и свободной углекислоты) из питательной воды парогенераторных установок, подпиточной воды систем теплоснабжения и горячего водоснабжения при одновременном нагреве этой воды на ТЭС, АЭС и в котельных всех видов, а также для создания рабочего резерва воды в деаэраторном баке. Для термической деаэрации необходимо нагреть воду до температуры насыщения.

Термический деаэратор, как правило, состоит из деаэраторного бака и установленной на нем деаэрационной колонки. В обоснованных случаях на баке могут устанавливаться две и более деаэрационные колонки. Для обеспечения нагрева и деаэрации воды в термических деаэраторах в качестве теплоносителя используется пар или перегретая относительно давления в деаэраторе вода.

В зависимости от рабочего давления деаэраторы подразделяются на:

ДП – деаэраторы повышенного давления, где дегазация происходит при давлениях 0,6; 0,7 и 0,8 МПа;

ДА – деаэраторы атмосферного давления, работающие при давлении 0,12 МПа;

ДВ – вакуумные деаэраторы, работающие при давлениях 0,0075–0,05 МПа.

По способу распределения потоков воды и пара в ступенях аппарата деаэраторы делятся на пленочные, струйные, капельные, барботажные, а также комбинированные.

По конструктивному исполнению различают колонковые и бесколонковые деаэраторы.

Все деаэраторы подразделяются на две группы:

- деаэраторы, осуществляющие нагрев воды до температуры насыщения;
- деаэраторы, в которые подается исходная, предварительно нагретая вода до температуры, превышающей температуру насыщения при рабочем давлении в деаэраторе.

Деаэраторы питательной воды котельных установок на электростанциях работают при давлениях 0,6 и 0,7 МПа, деаэраторы воды испарителей и паропреобразователей – при давлении $\approx 0,12$ МПа, а деаэраторы подпиточной воды тепловых сетей – либо при давлении 0,12 МПа, либо под вакуумом. Подпиточную воду подают в систему при температуре от 60 до 70 °С.

Для котельных установок с давлением до 10 МПа содержание кислорода в деаэрированной воде не должно превышать 20 мкг/кг, а при давлениях выше 10 МПа и на двухконтурных АЭС – не выше 10 мкг/кг.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Контрольное задание № 1

Задача 1. Определить значение коэффициента теплоотдачи и количество передаваемой теплоты при течении воды в горизонтальной трубе парогенератора АЭС диаметром d мм и длиной l м, если средние по длине температуры стенки трубы и воды равны соответственно t_c , °C и $t_{ж}$, °C, температура воды на выходе из трубы $t_{ж2}$, а расход воды G , т/ч.

Данные для расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
l	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
t_c	270	275	280	285	290	295	300	305	310	315
$t_{ж}$	290	295	300	305	310	315	320	325	330	335
$t_{ж2}$	280	282	284	286	288	290	292	294	296	298
$G \cdot 10^3$	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

Задача 2. Найти средний температурный напор на испарительном участке парогенератора АЭС, если температура теплоносителя на входе составляет $t_{т}^{вх}$, °C, на выходе $t_{т}^{вых}$, °C, давление генерируемого пара P , МПа.

Данные для расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t_{т}^{вх}$	300	305	310	315	320	325	330	335	340	345
$t_{т}^{вых}$	275	280	285	290	295	300	305	310	315	320
p	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5

Задача 3. Определить средний коэффициент теплоотдачи к кипящей на трубах парогенератора воде, находящейся под давлением P , МПа, при плотности теплового потока от трубы парогенератора к кипящей воде q , кВт. Расчет осуществлять по формуле Н. Г. Стюшина.

Данные для расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
q	200	205	210	215	220	225	230	235	240	250

Контрольное задание № 2

Задача 4. По трубкам маслоохладителя диаметром d , мм и длиной l , м течет масло марки МС-20. Температура стенок трубы t_c , °С. Средняя температура масла по длине маслоохладителя составляет $t_{ж}$, °С. Определить общее количество отдаваемого тепла, если маслоохладитель имеет n , шт. параллельно включенных трубок, а общий расход масла через маслоохладитель составляет G , кг/с.

Данные для расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
l	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3
t_c	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48
$t_{ж}$	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88
n	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165
G	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0

Задача 5. По трубам вертикального теплообменника снизу вверх течет вода. Внутренний диаметр труб d , мм, длина l , м. Расход воды через одну трубу G , кг/ч. Температура воды на входе в теплообменник $t_{ж1}$, °С.

Определить количество тепла, передаваемое от стенки одной трубы к воде, и температуру воды на выходе $t_{ж2}$, если температура стенок труб поддерживается равной t_c , °С.

Данные для расчетов приведены в таблице 5.

Таблица 5

Исходные данные					Варианты					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
l	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
G	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66
$t_{ж2}$	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
t_c	70	72	74	76	78	80	82	84	86	88

Задача 6. Определить поверхность нагрева и число секций водоводяного теплообменника типа «труба в трубе». Греющая вода движется по внутренней стальной трубе ($\lambda_c = 45 \text{ Вт/(м·К)}$) диаметром d_2/d_1 мм и имеет температуру на входе $t'_{ж1}$, °С. Расход греющей воды G_1 кг/ч. Нагреваемая вода движется противотоком по кольцевому каналу между трубами и нагревается от температуры $t'_{ж2}$ °С до $t''_{ж2}$ °С. Внутренний диаметр внешней трубы D мм. Расход нагреваемой воды G_2 кг/ч. Длина одной секции теплообменника l , м. Потерями теплоты через внешнюю поверхность в окружающую среду пренебречь.

Данные для расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_2/d_1	35/32	25/22	27/24	29/26	31/28	33/30	37/34	39/36	41/38	43/40
$t'_{ж1}$	95	85	87	89	91	93	97	99	101	103
G_1	2130	2080	2090	2100	2110	2120	2140	2150	2160	2170
$t'_{ж2}$	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$t''_{ж2}$	45	35	37	39	41	43	47	49	51	53
D	48	38	40	42	44	46	50	52	54	56
G_2	3200	3150	3160	3170	3180	3190	3210	3220	3230	3240
l	1,75	1,50	1,55	1,60	1,65	1,70	1,80	1,85	1,90	1,95

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суслов, В. А. Теплообменное оборудование атомных и тепловых электростанций: учеб. пособие. Часть 1 / В. А. Суслов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. – 123 с.
2. Суслов, В. А. Теплообменное оборудование атомных и тепловых электростанций: учеб. пособие. Часть 2 / В. А. Суслов. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 133 с.
3. Суслов, В. А. Тепломассообменное оборудование ТЭС и АЭС: учеб. пособие / В. А. Суслов. – СПб.: СПбГТУРП, 2015. – 157 с.
4. Суслов, В. А. Тепломассообмен при фазовых превращениях: учеб. пособие / В. А. Суслов; СПбГУПТД ВШТЭ. – СПб., 2019. – 114 с.