

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ

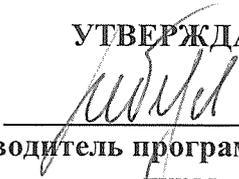


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

  
Руководитель программы аспиран-  
туры  
профессор В.А. Лебедев

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО  
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНИКО-  
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕ-  
СКИХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.4. Энергетика и электротехника
Научная специальность:	2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	4 года
Составитель:	к.т.н., проф. В.А. Лебедев

Санкт-Петербург

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ**

: Методические рекомендации для самостоятельного изучения дисциплины / Санкт-Петербургский Горный Университет; Сост. *В.А. Лебедев*. СПб, 2022. 12 с.

В методических указаниях содержатся описания и методики самостоятельной подготовки в изучении курса и к практическим работам, выполнение которых позволяет закрепить основные разделы теории, приобрести практические навыки в решении задач по оптимизации параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем.

Предназначены для аспирантов по научной специальности 2.4.6 Теоретическая и прикладная теплотехника, профиль «Теплоэнергетические технологии»

Научный редактор доц. Андреев В.В.

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2022

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению самостоятельных работ для аспирантов составлены в соответствии с программой курса дисциплины «Оптимизация параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем».

Особенностью дисциплины является то, что большое внимание уделено методическим основам оптимизации параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем с точки зрения системных представлений объектов и технологий теплоэнергетики, а также основам их эксплуатации. В учебном процессе применяются современные технологии и методики обучения, развивающие аналитические способности, практические умения и навыки у обучающихся.

Компетенции, освоенные при изучении данной дисциплины, используются далее в процессе подготовки и написании кандидатской диссертации. Данная дисциплина базируется на полученных знаниях и умениях, приобретенных в бакалавриате и магистратуре при изучении следующих дисциплин: «Парогазовые и газотурбинные установки ТЭС», «Технологии производства электрической и тепловой энергии на АЭС и ТЭС», «Проблемы обеспечения надёжности, живучести и безопасности теплоэнергетических систем».

Основными задачами изучения дисциплины являются изучение аспирантами теоретических, методических и технологических достижений современной науки и практики в области тепловой энергетики, формирование умений и навыков самостоятельной научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности в области промышленной теплоэнергетики, овладение современными научными инструментами и методами и применение их при оптимизации параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем, а также мотивация аспирантов к самостоятельному повышению уровня профессиональных навыков в области тепловой энергетики.

Полученные при изучении дисциплины знания, умения и навыки необходимы аспирантам при решении научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственно-технологических задач в будущей профессиональной деятельности.

## ВЕДЕНИЕ

### Цель дисциплины:

- формирование у аспирантов современного научного мировоззрения и профессиональных компетенций (знаний и навыков) в области оптимизации параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем.

### Основными задачами изучения дисциплины являются:

- изучение аспирантами теоретических, методических и технологических достижений современной науки и практики в области тепловой энергетики;
- формирование у аспирантов умений и навыков самостоятельной научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности в области промышленной теплоэнергетики;
- овладение аспирантами современными научными инструментами и методами и применение их при оптимизации параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем;
- мотивация аспирантов к самостоятельному повышению уровня профессиональных навыков в области тепловой энергетики.

## ЗАДАНИЯ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

**Самостоятельная работа аспирантов** направлена на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях, выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

### Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа аспирантов (далее - СРС) - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы по данной учебной дисциплине. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы аспирантов, предусмотренному учебным планом по дисциплине в текущем семестре. Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Практическому занятию и самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы, подготовки к самостоятельным работам.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

**знать:** научные основы развития технологий промышленной теплоэнергетики на базе процессов тепло- и массопереноса при проектировании, изготовлении и эксплуатации объектов промышленной теплоэнергетики (ОПТЭ);

**уметь:** проводить теоретические и экспериментальные исследования процессов тепло- и массопереноса в тепловых системах и установках;

**владеть навыками:** расчетов при проектировании, изготовлении и эксплуатации объектов промышленной теплоэнергетики с целью улучшения их технико-экономических характеристик, экономии энергетических ресурсов

Уровень владения аспирантом знаниями, умениями и навыками по итогам освоения дисциплины определяется на основании результатов промежуточной аттестации в форме дифференциального зачета.

### **Тематика вопросов для самостоятельной подготовки**

#### **Тема 1. Основные требования к теплоэнергетическим установкам и системам**

1. Основное назначение и характеристики теплоэнергетических установок.
2. Требования по надежности, маневренности и экономичности к ТЭУ различного типа и назначения.
3. Экономичные характеристики режимов работы ТЭУ и их основного оборудования. Охрана окружающей среды, воздушного и водных бассейнов.
4. Обеспечение санитарных требований и норм по выбросу веществ в атмосферу.
5. Требования по безопасности. Особенности безопасности АЭС. Требования по ядерной и радиационной безопасности.
6. Назначение вентиляционных и дезактивационных установок.
7. Барьеры безопасности на АЭС.
8. Радиоактивные отходы и проблемы обращения с облученным ядерным топливом.

#### **Тема 2. Основы технико-экономической оптимизации теплоэнергетических установок и систем**

1. Критерии технико-экономической оптимизации.
2. Условия технико-экономической сопоставимости вариантов проектирования ТЭУ.
3. Замыкающие затраты на топливо и электроэнергию.
4. Определение величины капитальных вложений в объекты теплоэнергетики.
5. Особенности оптимизации характеристик и оборудования с учетом их унификации.
6. Структура стоимости объектов теплоэнергетики и основные эксплуатационные расходы.
7. Требования по унификации оборудования.
8. Учет вопросов унификации при технико-экономическом обосновании характеристик оборудования.

#### **Тема 3. Выбор основного оборудования теплоэнергетических установок. Влияние энергетической эффективности на состав оборудования ТЭУ**

1. Выбор единичных мощностей и основного оборудования энергоблоков.
2. Определение ремонтного и аварийного резерва мощности.
3. Энергетическая эффективность теплофикации и ее влияние на состав оборудования.
4. Определение коэффициента теплофикации ТЭЦ и его оптимизация.
5. Особенности выбора основного оборудования ТЭУ и его влияние на эффективность.
6. Технико-экономические характеристики основного оборудования ТЭУ.
7. Особенности применения газовых турбин в составе оборудования ТЭУ.
8. Повышение эффективности ТЭУ с использованием парогазовых технологий.

#### **Тема 4. Технико-экономическая оптимизация отдельных элементов тепловых схем и особенности проектирования в новых экономических условиях**

1. Выбор типа и характеристик приводов питательных насосов.

2. Определение оптимальных скоростей среды и расчет потерь давления в трубопроводах.
3. Оптимизация систем промежуточного перегрева пара на ТЭС и АЭС.
4. Методы расчета тепловых схем, оценка их экономических показателей и эффективности проектных решений.
5. Особенности технико-экономического подхода к проектированию ТЭУ в условиях рыночных отношений.
6. Основные критерии оценки эффективности инвестиционных проектов.
7. Особенности выбора главных циркуляционных насосов и другого насосного оборудования на АЭС.

#### **Тема 5. Оптимизация начальных и конечных параметров циклов ТЭУ**

1. Влияние начальных параметров цикла и промежуточного перегрева на технико-экономические характеристики ТЭУ.
2. Влияние конечных параметров рабочего тела на экономичность турбинных установок.
3. Оптимизация начальных и конечных параметров тепловых циклов.
4. Выбор расчетного давления пара в конденсаторе.
5. Оптимизация технико-экономических характеристик конденсационных установок турбин.
6. Особенности выбора характеристик низкопотенциальной части теплофикационных турбоустановок и турбин АЭС.
7. Техничко-экономические показатели систем технического водоснабжения ТЭС и АЭС.
8. Влияние характеристик систем технического водоснабжения на эффективность ТЭУ

## **Тема 6. Оптимизация систем регенеративного подогрева питательной воды ТЭЦ и АЭС**

1. Влияние регенеративного подогрева питательной воды на тепловую экономичность ТЭУ.
2. Влияние температуры питательной воды на эффективность и технико-экономические показатели ТЭУ.
3. Выбор недогрева в поверхностных регенеративных подогревателях.
4. Выбор числа регенеративных подогревателей и распределение подогрева воды между ними.
5. Методы оптимизации параметров ТЭУ за счет регенеративного подогрева.
6. Особенности регенеративного подогрева питательной воды в парогазовых установках. Влияние регенеративного подогрева питательной воды в ПГУ на их эффективность.
7. Основы оптимизации параметров ПГУ.

### **ПОДГОТОВКА К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ**

Целью практических занятий является закрепление теоретических знаний, полученных аспирантами при изучении курса, и использовании этих знаний при решении научно-исследовательских и практических задач в области оптимизации параметров и технико-экономических показателей теплоэнергетических установок и систем.

Задачей практических занятий является ознакомление аспирантов с частными вопросами, возникающими при решении задач оптимизации.

#### **Тематика практических занятий:**

<b>№/№ п/п</b>	<b>Раздел</b>	<b>Тематика практических занятий</b>	<b>Трудоемкость в ак. часах</b>
1	Раздел 2.	Решение оптимизационных задач по выбору характеристик энергооборудования	2
2	Раздел 3	Выбор единичной мощности и резерва мощности	2
3	Раздел 3	Расчет оптимального значения коэффициента теплофикации	2
4	Раздел 4	Выбор оптимальных скоростей среды и расчет потерь давления в трубопроводах	2
<b>Итого:</b>			<b>8</b>

### **САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые неизвестные термины и названия, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач – один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

**Контрольные вопросы для самопроверки:**

1. Основные требования, предъявляемые к ТЭУ.
2. Показатели режимов электрического и теплового потребления для ТЭЦ.
3. Основные показатели надежности работы теплосилового оборудования.
4. Основные требования, предъявляемые к площадкам, отведенным для строительства электростанций.
5. Способы снижения окислов серы и азота в уходящих газах.
6. Основные санитарные нормы по выбросам вредных веществ в атмосферу.
7. Критерии технико-экономической оптимизации.
8. Условия технико-экономической сопоставимости сравниваемых вариантов.
9. Влияние режимных факторов (нагрузка, число часов использования установленной мощности) на технико-экономические показатели работы электростанций.
10. Замыкающие затраты на топливо и электроэнергию.
11. Факторы, повышающие эффективность капитальных вложений в энергетику.
12. Структура капиталовложений в блочную электростанцию.
13. Учет требований унификации оборудования при решении оптимизационных задач.
14. Методы решения оптимизационных задач при выборе параметров энергоустановки.
15. Факторы, влияющие на выбор единичной мощности энергоблока и электростанции в целом.
16. Коэффициент теплофикации и его влияние на соотношение тепловых и электрических мощностей ТЭЦ.
17. Факторы, влияющие на величину требуемого аварийного резерва мощности энергосистемы.
18. Особенности выбора основного оборудования для ТЭЦ.
19. Основные принципы выбора мощности и числа котельных и турбинных агрегатов на тепловых электростанциях.
20. Влияние газовых турбин и парогазовых циклов на эффективность ТЭЦ.
21. Влияние на экономичность ТЭС повышение начального давления и температуры пара.
22. Влияние промежуточного перегрева пара на экономичность ТЭС и АЭС.
23. Факторы, влияющие на выбор оптимального вакуума и характеристики оборудования низкопотенциальной части энергоблока.
24. Основные составляющие затрат на сооружение системы технического водоснабжения.
25. Влияние изменения начального давления и температуры пара на внутренний относительный КПД турбоустановки.
26. Тепловая эффективность газовой ступени ПГУ.
27. Выбор оптимального значения температуры питательной воды.
28. Выбор значений недогрева воды в поверхностных регенеративных подогревателях.
29. Влияние значения недогрева питательной воды на стоимость подогревателя.
30. Влияние регенеративного подогрева питательной воды влияет на тепловую экономичность цикла и на стоимостные характеристики комплектующего оборудования

- энергоблока.
31. Особенности совместной оптимизации температуры питательной воды и температуры уходящих газов.
  32. Влияние цены топлива на оптимальную температуру питательной воды.
  33. Ограничения, накладываемые качеством топлива на температуру уходящих газов.
  34. Особенности оптимизации систем регенеративного подогрева для циклов с промежуточным перегревом пара.
  35. Эффективность применения турбинного привода для питательного насоса.
  36. Оптимизация скорости воды в трубопроводах и ориентировочные значения скоростей для различных стационарных трубопроводов.
  37. Условия оптимальности внутреннего диаметра трубопровода и факторы, влияющие на его величину.
  38. Методы анализа тепловых схем и оценка их экономичности при изменении структуры и параметров.
  39. Основные технико-экономических показателей электростанций и способы их определения.
  40. Влияние кредитной ставки (ставка рефинансирования ЦБ) на величину предельно допустимых капиталовложений и соответственно реализуемость проектных решений в энергетике.
  41. Чистый дисконтированный доход и внутренняя норма доходности в теплоэнергетике

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

### **Основная литература**

1. Теплотехника: учебник для вузов / Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», В.В. Андреев, В.А. Лебедев, Б.И. Спесивцев, СПб, 2015.  
[http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=31%2E31%2F%D0%90%2065%2D409490551<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=31%2E31%2F%D0%90%2065%2D409490551<.>)
2. Моисеев, Б.В. Промышленная теплоэнергетика [Электронный ресурс] : учебник / Б.В. Моисеев, Ю.Д. Земенков, С.Ю. Торопов. — Электрон. дан. — Тюмень : ТюмГНГУ, 2014. — 236 с.  
<https://e.lanbook.com/book/55434>
3. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник/В.П. Тарасик - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 592 с.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=549747>
4. Безруков, А.И. Математическое и имитационное моделирование : учеб. пособие / А.И. Безруков, О.Н. Алексеенцева. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 227 с.  
<http://znanium.com/bookread2.php?book=811122>
5. Ляшков, В.И. Математическое моделирование и алгоритмизация задач теплоэнергетики: учебное пособие / В.И. Ляшков ; - Тамбов : Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. - 139 с.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=277818>
6. Эффективные методы схемно-параметрической оптимизации сложных теплоэнергетических установок: разработка и применение / Под ред. А.М. Клера; Рос. Акад. наук, Сиб.отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева.- Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2018.-145 с.
7. Авдюнин, Е. Г. Моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических

установок : учебник / Е. Г. Авдюнин. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. — 184 с. — ISBN 978-5-9729-0297-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/124637>

## 7.2. Дополнительная литература

1. Лебедев В.А. Теплоэнергетика [Электронный ресурс] : учебник / В.А. Лебедев. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. — 371 с. — 978-5-94211-794-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78140.html>
2. Алгоритмизация и программирование : Учебное пособие / С.А. Канцедал. - М.: ИД ФОРУМ: НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 352 с.— Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=938923>
3. Математическое моделирование в теплоэнергетике [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Лебедев, Е. А. Головач. - СПб. : Горн. ун-т, 2013. - 100 с. [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set\\_stat\\_ic\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=%2D672786<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=400&task=set_stat_ic_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D672786<.>)
4. Лукин, С. Физическое моделирование процессов передачи теплоты : учебное пособие / С. Лукин ; Череповецкий государственный университет ; науч. ред. Р.А. Юдин. - Череповец : Издательство ЧГУ, 2016. - 112 с. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=434810>
5. Аттетков, А.В. Методы оптимизации: Учебное пособие / А.В. Аттетков, В.С. Зарубин, А.Н. Канатников. - М.: Риор, 2016. - 48 с. <https://bik.sfu-kras.ru/elib/view?id=BOOK1-%D0%91%D0%91%D0%9A%2022.18/%D0%90%20928-509006178>
6. Пантелеев, А. В. Методы оптимизации в примерах и задачах : учебное пособие / А. В. Пантелеев, Т. А. Летова. — 4-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 512 с. — ISBN 978-5-8114-1887-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/67460>

## Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Европейская цифровая библиотека Europeana: <http://www.europeana.eu/portal>
2. КонсультантПлюс: справочно - поисковая система [Электронный ресурс]. - [www.consultant.ru/](http://www.consultant.ru/).
3. Мировая цифровая библиотека: <http://wdl.org/ru>
4. Научная электронная библиотека «Scopus» <https://www.scopus.com>
5. Научная электронная библиотека ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>
6. Научная электронная библиотека «eLIBRARY»: <https://elibrary.ru/>  
<https://e.lanbook.com/books>.
7. Поисковые системы Yandex, Rambler, Yahoo и др.
8. Система ГАРАНТ: электронный периодический справочник [Электронный ресурс] [www.garant.ru/](http://www.garant.ru/).
9. Термические константы веществ. Электронная база данных, <http://www.chem.msu.ru/cgibin/tkv.pl>
10. Электронно-библиотечная система издательского центра «Лань» <https://e.lanbook.com/books>
11. Электронная библиотека Российской Государственной Библиотеки (РГБ): <http://elibrary.rsl.ru/>
12. Электронная библиотека учебников: <http://studentam.net>
13. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru).
14. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>
15. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

## Содержание

Общие положения.....	4
Введение	5
Задания к самостоятельной работе . . . . .	5
Подготовка к практическим работам.....	8
Самостоятельное изучение дополнительных материалов.....	8
Учебно-методическое и информационное обеспечение.....	10