

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'В.А. Лебедев', written over a horizontal line.

Руководитель программы аспиран-
туры
профессор В.А. Лебедев

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО
ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕН-
НОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

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

УДК 681.5 (62-6)

НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛО-
ЭНЕРГЕТИКИ: Методические рекомендации для самостоятельного изучения дисциплины /
Санкт-Петербургский Горный Университет; Сост. *В.А. Лебедев*. СПб, 2022. 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 в области промышленной теплоэнергетики.

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

Научный редактор доц. Пискунов В.М.

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2022

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению самостоятельных работ для аспирантов составлены в соответствии с программой курса дисциплины «Научные основы развития технологий промышленной теплоэнергетики».

Особенностью дисциплины является то, что большое внимание уделено методическим основам построения 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, а также сдачи кандидатских экзаменов по специальности. 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 промышленной теплоэнергетики, формирование умений и навыков самостоятельной научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности в области теплоэнергетики, овладение современными научными инструментами и методами и применение их при анализе и синтезе теплоэнергетических установок и систем, а также мотивация аспирантов к самостоятельному повышению уровня профессиональных навыков в области теоретической и прикладной теплотехники. 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 изучения дисциплины – формирование у аспирантов современного научного мировоззрения и профессиональных компетенций (знаний и навыков) в области технологий проектирования, изготовления и эксплуатации теплоэнергетических установок и систем.

Основные задачи дисциплины:

- 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 проектировании, изготовлении и эксплуатации 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. Научные основы проектирования ОПТЭ

1. Основное назначение и характеристики теплоэнергетических установок.
2. Законодательная и нормативная базы проектирования предприятий.
3. Этапы проектирования.
4. Оценка эффективности инвестиций.
5. Статистические методы оценки эффективности инвестиций.
6. Методы оценки эффективности инвестиций с дисконтированием.
7. Методики оценки эффективности инвестиционных проектов.
8. Влияние инфляции, неопределенности и риска на эффективность инвестиционных проектов.
9. САПР и программные продукты для инвестиционного проектирования.
10. Состав и порядок разработки, согласования и утверждения проектной документации.
11. Государственная экспертиза проектов.

Тема 2. Основы обеспечения работоспособности и оценки изменения технического состояния ОПТЭ

Качество, техническое состояние и работоспособность теплоэнергетических установок и систем.

Основные причины изменения технического состояния теплоэнергетических установок и систем в процессе эксплуатации.

Влияние условий эксплуатации на изменение технического состояния теплоэнергетических установок и систем.

Классификация закономерностей, характеризующих изменение технического состояния теплоэнергетических установок и систем.

Закономерности случайных процессов изменения технического состояния теплоэнергетических установок и систем.

Закономерности процессов восстановления.

Классификация отказов.

Закономерности изменения технического состояния по наработке оборудования.

Закономерности процессов восстановления.

Тема 3. Котельные установки и парогенераторы

1. Котельные установки и парогенераторы.
2. Источники теплоты промышленных котельных установок.
3. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах.
4. Расчет топочных устройств для сжигания газового, жидкого и твердого топлив, производственных отходов.
5. Основы методики расчета простых и сложных контуров циркуляции.
6. Пароперегреватели котлов. Методы регулирования температуры пара.
7. Экономайзеры и их включение в питательные магистрали.
8. Конструктивные схемы воздушных подогревателей.
9. Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией.
10. Водогрейные и паро-водогрейные котлы.

11. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями. Котлы, использующие теплоту технологического продукта.
12. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей.
13. Определение основных характеристик работы котельного агрегата по результатам испытаний.

Тема 4. Тепломассообменное оборудование предприятий

1. Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смесительные теплообменники.
2. Тепловой, гидравлический, прочностной расчеты рекуперативных теплообменников.
3. Деаэраторы. Основы расчета.
4. Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки.
5. Принцип действия и основы расчета абсорбционных и адсорбционных аппаратов.
6. Сушильные установки. Понятие и процессы сушки. Тепловой баланс конвективной сушильной установки.
7. Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты вентиляционных выбросов, отработанного сушильного агента, низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.
8. Основы расчета и подбора стандартного оборудования.

Тема 5. Тепловые двигатели и нагнетатели

1. Место нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий.
2. Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров.
3. Схемы поршневых компрессоров. Принцип работы поршневого детандера. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера.
4. Теоретическая характеристика нагнетателя.
5. Общая классификация потерь в нагнетателях.
6. Способы изменения характеристики вентилятора.
7. Особенности работы насосов в сети.
8. Центробежные и осевые компрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора.
9. Типы паровых турбин.
10. Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени.
11. Анализ потерь в характерных сечениях турбины.
12. Работа турбинной ступени в переменном режиме.
13. Принципиальные схемы паротурбинных установок.
14. Схемы газотурбинных установок.
15. Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины.
16. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных установок.
17. Особенности работы турбодетандеров.
18. Область применения двигателей Стирлинга.

Тема 6. Технологические энергоносители предприятий

1. Системы производства и распределения энергоносителей на промышленных предприятиях.
2. Характеристика энергоносителей.
3. Методика определения потребности в энергоносителях.
4. Система воздухообеспечения. Определение расчетной нагрузки для проектирования компрессорной станции.
5. Методика определения потребности в воде на технологические и противопожарные нужды предприятия. Прямоточные, оборотные и бессточные системы технического водоснабжения.
6. Расчет системы газоснабжения. Газовый баланс предприятия. Определение расчетной потребности в газе.
7. Природные искусственные и отходящие горючие газы.
8. Проблемы очистки, аккумулярование, использование избыточного давления.
9. Проблемы защиты окружающей среды.
10. Системы холодоснабжения. Методика определения потребности в холоде.
11. Системы обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха.
12. Схемы потребителей технического и технологического кислорода, азота, аргона и других продуктов разделения.
13. Методы расчета технологических схем станций разделения.

Тема 7. Теплоэнергетические технологии

1. Методологические основы создания энерго- и материалосберегающих, экологически совершенных теплотехнологических установок и систем.
2. Метод предельного энергосбережения.
3. Энергоэкономические и технологические характеристики источников энергии в теплотехнологии, их взаимосвязь с физико-химическим содержанием и организацией технологического процесса.
4. Основные принципы и критерии сравнительной оценки и выбора источников энергии теплотехнологии.
5. Принципы эффективного комбинирования источников энергии.
6. Способы термохимической подготовки топлива и других энергоносителей к использованию в теплотехнологических установках.
7. Технология сжигания топлива в высокотемпературных теплотехнологических установках.
8. Принципы построения энергосберегающих тепловых схем.
9. Энергоэкономический анализ, структурная и параметрическая оптимизация тепловых схем с регенеративным теплоиспользованием, с внешним замыкающим технологическим и внешним замыкающим энергетическим теплоиспользованием.
10. Оптимизация комбинирования регенеративного, внешнего технологического и внешнего энергетического теплоиспользования.
11. Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнических принципов плотного фильтруемого, кипящего, взвешенного и пересыпающегося слоев технологического материала.
12. Материальный, энергетический, тепловой, эксергетический балансы теплотехнологических установок и систем.
13. Оценка материальных и энергетических потерь, система КПД.

14. Оптимизация балансов в целях повышения технологической эффективности производства, экономии энергетических и материальных ресурсов, защиты окружающей среды.
15. Энергоэкономические критерии оценки совершенства тепловых схем теплотехнологических установок.
16. Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнических принципов плотного фильтруемого, кипящего, взвешенного и пересыпающегося слоев технологического материала.
17. Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнического принципа погруженного в расплав факела.
18. Тепло- и массообмен в расплавах в отсутствие и при наличии газового барботажа.
19. Физическое и математическое моделирование теплотехнических процессов в теплотехнологии.
20. Автоматизированные системы научных исследований.

Тема 8. Экономические аспекты теплоэнергетики

1. Энергетика и экономика. Влияние энергосбережения на темпы развития экономики.
2. Структура потребления электрической энергии и теплоты и организация управления промышленными предприятиями, пути их совершенствования.
3. Капитальные вложения, источники инвестиций, основные фонды и оборотные средства: структура, динамика, показатели, пути повышения эффективности использования.
4. Ценообразование в энергетике..
5. Динамика потребления энергетических ресурсов.
6. Долгосрочные прогнозы мирового потребления энергии.
7. Характеристики различных источников энергии.
8. Возобновляемые источники энергии, новые источники энергии.
9. Ядерная энергетика, экономические аспекты использования.

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 промышленной теплоэнергетики.

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

Тематика практических занятий:

№/№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий	Трудоемкость в ак. часах
1	Раздел 2	Методика определения энергетических показателей тепло-электроцентралей	2
2	Раздел 3	Методика расчета простых и сложных контуров циркуляции паровых котлов.	2
3	Раздел 4	Методика расчета и подбора стандартного тепломассообменного оборудования.	2

4	Раздел 5	Анализ потерь энергии в характерных сечениях турбины	2
5	Раздел 8	Расчет экономических показателей теплоэнергетического предприятия.	2
Итого:			10

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 незнакомые 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. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии.
2. Особенности расчета тепло- и массообмена при турбулентном течении жидкости.
3. Тепло- и массообмен при фазовых превращениях.
4. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме.
5. Конденсация пленочная и капельная.
6. Дифференциальные уравнения диффузии.
7. Сорбционные процессы.
8. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана—Больцмана.
9. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах.
10. Тепловая и цепная теория самовоспламенения.
11. Методы интенсификации сжигания газов.
12. Методы определения потребности промышленных потребителей в паре и горячей воде.
13. Тепловые схемы и их расчет.
14. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных.
15. Методика определения энергетических показателей теплоэлектроцентралей.
16. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах.
17. Методы регулирования температуры пара.
18. Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной

- принудительной циркуляцией.
19. Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смесительные теплообменники.
 20. Тепловой, гидравлический, прочностной расчеты рекуперативных теплообменников.
 21. Место нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий.
 22. Работа и мощность турбинной ступени.
 23. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени.
 24. Системы производства и распределения энергоносителей на промышленных предприятиях.
 25. Прямоточные, оборотные и бессточные системы технического водоснабжения.
 26. Газовый баланс предприятия. Определение расчетной потребности в газе.
 27. Методы расчета технологических схем станций разделения.
 28. Методологические основы создания энерго- и материалосберегающих, экологически совершенных теплотехнологических установок и систем.
 29. Принципы построения энергосберегающих тепловых схем.
 30. Оптимизация комбинирования регенеративного, внешнего технологического и внешнего энергетического теплоиспользования.
 31. Материальный, энергетический, тепловой, эксергетический балансы теплотехнологических установок и систем.
 32. Влияние энергосбережения на темпы развития экономики.
 33. Структура потребления электрической энергии и теплоты и организация управления промышленными предприятиями, пути их совершенствования.
 34. Капитальные вложения, источники инвестиций, основные фонды и оборотные средства: структура, динамика, показатели, пути повышения эффективности использования.

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_stat_ic_req&bns_string=NWPB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=31%2E31%2F%D0%90%2065%2D409490551<.>
2. Моисеев, Б.В. Теоретическая и прикладная теплотехника [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. 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>
4. 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. Теплоэнергетика и теплотехника [Текст] : справочник : в 4 кн. / под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. - 4-е изд., стер. - М. : Изд. дом МЭИ, 2007. Кн. 4 : Теоретическая и прикладная теплотехника и теплотехника / [Б. Г. Борисов и др.]. - 2007. - 630 с.
3. Теплоэнергетика и теплотехника [Текст] : справочник : в 4 кн. / под общ. ред. А. В. Клименко, В. М. Зорина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд. дом МЭИ, 2007. Кн. 3 : Тепловые и атомные электростанции. - 2003. - 648 с.
4. 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_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=%2D672786<.>
5. 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>

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/
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/
9. Термические константы веществ. Электронная база данных, <http://www.chem.msu.su/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
14. Электронная библиотечная система «Национальный цифровой ресурс «Руконт»». <http://rucont.ru/>
15. Электронно-библиотечная система <http://www.sciteclibrary.ru/>

Содержание

Общие положения.....	3
Введение	4
Задания к самостоятельной работе	4
Подготовка к практическим работам.....	9
Самостоятельное изучение дополнительных материалов.....	10
Учебно-методическое и информационное обеспечение.....	11