

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**



Проректор по научной работе  
д.т.н. проф. Драгунов В.К.

«                    »                      2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**специальной дисциплины 2.4.5 Энергетические системы и  
комплексы**

**Профиль: Энергетические системы и комплексы**

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 2.4.5 «Энергетические системы и комплексы» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** освоения дисциплины является изучение научно-технических решений по разработке комбинированных энергетических систем и комплексов по производству электроэнергии, тепла и холода.

**Задачами** дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с основными закономерностями и тенденциями развития энергетики;
- познакомить обучающихся с методами комплексного выбора и оптимизации энергетических объектов;
- познакомить обучающихся с термодинамическим анализом энергетических установок;
- познакомить обучающихся с методами системных исследований в энергетике;
- познакомить обучающихся с основными принципами разработки энергокомплексов с высокими экологическими показателями;
- научить разрабатывать новые методы исследования и оценки качества энергетических систем и комплексов с целью повышения их экономичности, надежности, безопасности и снижения вредного воздействия на окружающую среду;
- научить совершенствовать существующие энергетические системы, разрабатывать перспективные структуры энергетических систем и комплексов.

## **МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ**

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

**Паспорт научной специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы»**

**Направления исследований:**

1. Разработка научных основ (подходов) исследования общих свойств и принципов функционирования и методов расчета, алгоритмов и программ выбора и оптимизации параметров, показателей качества и режимов работы энергетических систем, комплексов, энергетических установок на



органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии в целом и их основного и вспомогательного оборудования.

2. Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии.
3. Разработка, исследование, совершенствование действующих и освоение новых технологий и оборудования для производства электрической и тепловой энергии, использования органического и альтернативных топлив, и возобновляемых видов энергии, водоподготовки и водно-химических режимов, способов снижения негативного воздействия на окружающую среду, повышения надежности и ресурса элементов энергетических систем, комплексов и входящих в них энергетических установок.
4. Разработка научных подходов, методов, алгоритмов, технологий конструирования и проектирования, контроля и диагностики, оценки надежности основного и вспомогательного оборудования энергетических систем, станций и энергокомплексов и входящих в них энергетических установок.
5. Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при транспортировке тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах и комплексах.
6. Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера.
7. Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

### **Отрасль науки**

- технические науки.

### **Введение**

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины:

энергетические системы на основе ГТУ и ПГУ, энергосберегающие технологии на энергообъектах, технико-экономические расчеты и оптимизация энергетических комплексов, основы использования

возобновляемых источников энергии, выбор энергообъектов для распределенной энергетики.

## Содержание разделов программы

### *1. Энергетика в современном мире.*

Основные закономерности и тенденции развития энергетики и электрификации. Природные энергетические ресурсы мира и его основных регионов. Характеристики направлений их использования. Главные особенности мирового энергетического баланса и развития электрификации по основным регионам. Особенности существующего состояния энергетики мира и перспективы ее развития в первой половине XXI века.

Состояние и направления совершенствования энергетического баланса и электрификации в России. Основные изменения в области производства и передачи природных энергетических ресурсов, их переработки, потребления электрической и тепловой энергии, прямого расхода топлива.

Основные объективные тенденции развития энергетики и электрификации в России и за рубежом. Пропорции развития энергетики и электрификации, энерговооруженность труда. Структура конечного потребления энергии. Структура добычи, переработки, транспорта и использования энергетических ресурсов. Роль нетрадиционных видов энергии в энергетическом балансе.

Основные направления энергосбережения. Тенденция создания децентрализованных источников энергоснабжения, критерии эффективности.

Оптимизация структуры топливно-энергетического комплекса России и основных регионов; проблема выбора рациональных энергоносителей и направления ее решения. Методы и критерии оценки эффективности решений при взаимозаменяемости видов топлива и энергии. Энергетическая стратегия России до 2035 г. Основное содержание ФЗ «Об электроэнергетике».

Главные направления научно-технического прогресса в энергетике и электрификации и их эффективность, влияние региональных факторов. Возобновляемая и водородная энергетика, ее особенности проблемы и перспективы.

Особенности развития крупных систем и комплексов в электроэнергетической, газо-, тепло- и нефтеснабжающей отраслях, в угольной промышленности. Создание энергетических комплексов.

Проблема экономии ресурсов и средств в энергетике. Главные технические пути решения проблемы. Использование распределенной энергетики на базе когенерации и возобновляемых источников энергии, потенциал энерго- и ресурсосбережения.

### *2. Комплексные проблемы энергетики.*

Основные проблемы развития энергетических систем и комплексов; принципы их построения и перспективы объединения в Единую



электроэнергетическую систему. Характерные графики электрической и тепловой нагрузок; методы выбора топливной базы электростанций и энергетических комплексов в увязке с оптимизацией общего энергетического баланса страны; комплексный выбор структуры электрических мощностей, типы электрических станций и их размещение; схемы электрических связей (совместно с выбором общей схемы топливно-энергетических связей в стране). Показатели качества энергии. Критерия принятия решения при выборе принципов и вариантов развития энергосистем и комплексов.

Особенности выбора комбинированной и раздельной схем энергоснабжения при использовании органического топлива, и возобновляемых источников энергии; влияние на эти решения особенностей схем энергоснабжения и топливоснабжения. Теплофикационные, теплоснабжающие системы и методы выбора оптимальных параметров; энергетические балансы предприятий, основы нормирования расходов топлива, и энергии. Выбор схем энергоснабжения территориально-производственных комплексов, промышленных центров, крупных предприятий.

Экологические проблемы энергетики. Влияние энергетических объектов на окружающую среду. Виды воздействий и их последствия, методы оценки и нормативы. Технические возможности снижения вредных выбросов в атмосферу и почву.

### **3. Термодинамика теплоэнергетических установок.**

Общая методика термодинамического анализа циклов теплоэнергетических установок. Общие методы повышения термодинамической эффективности циклов.

Паровые теплоэнергетические установки. Повышение эффективности циклов паротурбинных установок конденсационного типа. Показатели эффективности ТЭЦ и энергосистемы в целом. Особенности реальных циклов паротурбинных установок.

Газотурбинные установки (ГТУ). Простейшие циклы ГТУ, работа сжатия в компрессоре и ее уменьшение, сложные циклы ГТУ.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Общие принципы действия поршневых ДВС, термодинамический анализ циклов ДВС. Принципы действия реактивных двигателей их циклы.

Комбинированные теплоэнергетические установки. Общие принципы комбинирования циклов, циклы парогазовых установок. Сложные высокотемпературные циклы с использованием ГТУ, МГД-генераторов, топливных элементов и т.п.

Холодильные машины и тепловые насосы в энергетике. Циклы газовых компрессорных термотрансформаторов. Циклы паровых холодильных установок и тепловых насосов. Перспективы использования тепловых насосных установок в составе энергетических комплексов при совместной выработке электроэнергии и тепла. Циклы теплоэнергетических установок на возобновляемых источниках энергии.

Солнечные установки. Океанические электростанции. Геотермальные ТЭС



#### **4. Комплексный выбор и оптимизация энергетических объектов.**

Методические основы комплексного выбора схем и оптимальных параметров основных теплоэнергетических установок. Влияние режима работы энергетических систем и энергообъектов на принятие оптимальных решений. Показатели надежности работы энергетических установок и систем. Способы обеспечения заданной надежности. Выбор оптимальных решений с использованием критерия надежности.

Методы выбора оптимальных систем прямого получения электроэнергии, их термодинамическая, энергетическая и технико-экономическая оценка. Основы энергетического и комплексного использования водных ресурсов. ГЭС в составе теплоэнергетических систем. Гидроаккумулирующие электростанции. Основы выбора оптимальных параметров ГЭС.

Комплексные методы выбора запасов топлива (для многолетнего и сезонного регулирования топливоснабжения), резервов энергетических мощностей, газохранилищ, водохранилищ. Понятие расчетной обеспеченности электро-, тепло- и топливоснабжения и основы их выбора.

Технические и экономические основы использования возобновляемых источников энергии (геотермальной, ветровой, солнечной и т.п.).

Основные методики и подходы при выборе распределенных энергоисточников. Влияние типа и состава топлива, а также тепловых и электрических нагрузок на выбор энергоисточника и его оборудования. Анализ различных вариантов тепловых схем. Анализ типоразмеров газопоршневых и газотурбинных энергоустановок. Влияние характеристик энергоустановок на выбор профиля энергообъекта.

#### **5. Методы системных исследований в энергетике и их приложения**

Классификация больших систем энергетики: понятие об их природе и основных свойствах. Особенности систем энергетики и энергетических комплексов как объектов исследования и управления.

Основные методы и средства изучения и оптимального управления (функционированием, развитием) системами энергетики. Основы применяемых математических методов.

Концепция построения автоматизированных систем управления в энергетике и их характерные особенности. Основы сочетания формализованных методов с активной ролью человека.

Математические и физические модели, средства вычислительной техники как научный инструмент современных исследований в энергетике.

Методы технико-экономических расчетов в энергетике. Расчет технико-экономических показателей добычи (производства), транспорта и использования различных видов топлив и энергии, роль замыкающих затрат на топливо и энергию, методы технико-экономических расчетов в энергетике для непрерывно развивающихся систем и при использовании неоднозначной исходной информации. Комплексное использование топлива с одновременной выработкой электроэнергии и другой ценной товарной продукции как реальный путь снижения стоимости конечного продукта.

## **6. Разработка энергокомплексов с высокими экологическими показателями.**

Основные изменения в области производства и передачи энергетических ресурсов, их переработки и потребления. Основные направления энергосбережения. Роль нетрадиционных источников энергии в энергетическом балансе. Тенденции в разработке и создании децентрализованных источников, критерии оценки эффективности централизованных и децентрализованных источников энергии.

Энерготехнологические переработки сланцев и низкосортных углей. Перспективы использования технологии ЦКС для эффективного и экологически безопасного сжигания твердых топлив. Традиционные и нетрадиционные способы сокращения выброса углекислого газа в атмосферу, улавливание и «секвестирование» углекислого газа в тепловой и промышленной энергетике.

### **Вопросы для самоконтроля и проведения кандидатского экзамена:**

1. Основные закономерности и тенденции развития энергетики за рубежом и в России.
2. Основное содержание Энергетической стратегии России до 2035 г.
3. Использование возобновляемых источников энергии.
4. Выбор схем энергосбережения предприятий, территориальных комплексов.
5. Влияние энергетических объектов на окружающую среду.
6. Теплофикационные системы.
7. Экономия ресурсов и средств в энергетике.
8. Повышение эффективности паротурбинных установок.
9. Газотурбинные и парогазовые технологии в энергетике.
10. Холодильные и тепловые насосы в энергетике.
11. Методические основы комплексного выбора энергетических комплексов.
12. Показатели надежности работы энергетических систем.
13. Технические и экономические основы использования возобновляемых источников энергии.
14. Системные исследования энергетических комплексов.
15. Методы технико-экономических расчетов в энергетике.
16. Разработка энергокомплексов с высокими экологическими показателями.

### **ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

### **Требования и критерии оценивания ответов экзамена**



В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ***Основная литература:***

1. Терминологический справочник по электроэнергетике. – М.: Типография «КЕМ», 2008. – 912 с.
2. Теплоэнергетика и теплотехника (справочная серия). В 4 кн. Кн. 2: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. М: Изд-во МЭИ, 2001. – 640 с.
3. В.Е. Фортов, О.С. Попель. Энергетика в современном мире: Научное издание / В.Е. Фортов, О.С. Попель – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 168 с.
4. Основы современной энергетики: учебник для вузов: в 2 т. / под общей редакцией чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. Том 1. Современная теплоэнергетика / А.Д. Трухний, М.А. Изюмов, О.А. Поваров, С.П. Малышенко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 472 с.
5. Комплексные исследования ТЭС с новыми технологиями / П.А. Щинников, Г.В. Ноздренко, В.Г. Томилов и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 528 с.



6. Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электрических станций. – М.: Изд-во МЭИ, 2009. – 584 с.
7. Режимы работы и эксплуатация ТЭС:// Э.К.Аракелян, Е.Т. Ильин, Н.Д. Рогалев. – М.: Издательство МЭИ, 2021. – 520 с.

***Дополнительная литература:***

1. Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. Тепловые электрические станции. М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 464 с.
2. Тепловые электрические станции. Учебник для вузов, В.Д.Буров, Е.В.Дорохов, Д.П.Елизаров и др. Под ред. В.М.Лавыгина, А.С.Седлова, С.В.Цанева. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 466 с.
3. Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов / С.В. Цанев, В.Д. Буров, А.С. Земцов, А.С. Осыка; под ред. С.В. Цанева. — М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с.
4. Беляев С.А., Литвак В.В., Солод С.С. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. Томск.: Изд-во НТЛ, 2008. – 290 с.
5. Хрусталева В.А. Надежность теплоэнергетических установок ТЭС и АЭС. Саратов, Изд-во СГТУ, 2012. – 246 с.
6. Современная рыночная электроэнергетика Российской Федерации. 3-издание/Под.ред. Баркина О.Г.-М.: Издательство «Перо», 2017, - 532с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: *(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)*

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»  
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ  
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ  
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга  
<http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»  
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"  
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>

#### ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры  
Тепловых электрических станций  
к.т.н., доцент



Е.Т. Ильин

Заведующий кафедрой  
Тепловых электрических станций  
д.т.н., профессор



Н.Д. Рогалев

Директор ИТАЭ  
д.т.н., профессор



А.В. Дедов