



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
В.Р. Храмшин

03.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

***ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГЕНЕРИРУЮЩИХ
ИСТОЧНИКОВ***

Направление подготовки (специальность)
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль/специализация) программы
Цифровой менеджмент в электроэнергетике

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
заочная

| | |
|---------------------|---|
| Институт/ факультет | Институт энергетики и автоматизированных систем |
| Кафедра | Электроснабжения промышленных предприятий |
| Курс | 2 |

Магнитогорск
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 147)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий
22.01.2026, протокол № 4

Зав. кафедрой



А.В. Варганова

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
03.02.2026 г. протокол № 5

Председатель



В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:
профессор кафедры ЭПП, д-р техн. наук



А.В. Малафеев

Рецензент:

зам. начальника ЭТО

АО «МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ»



А.Ю. Литвинов

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В.Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В.Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В.Варганова

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью преподавания дисциплины «Оптимальные режимы работы генерирующих источников» является научно-техническая подготовка студента-магистранта в области теории и практики оптимизации установившихся режимов систем электроснабжения и электроэнергетических систем, приобретение навыков самостоятельного решения научно-исследовательских и технических задач в области планирования оптимальных эксплуатационных режимов сложных систем электроснабжения с собственными источниками электроэнергии.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Оптимальные режимы работы генерирующих источников входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Управление режимами электроэнергетических систем

Технико-экономические расчёты в электроэнергетике

Программное обеспечение в электроэнергетике

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Оптимальные режимы работы генерирующих источников» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции |
|----------------|--|
| ПК-1 | Способен самостоятельно выполнять исследования, оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемых новых технологий, объектов профессиональной деятельности |
| ПК-1.1 | Определяет под руководством специалиста более высокой квалификации содержание и требования к результатам исследовательской, проектной и иной деятельности обучающихся по программам бакалавриата и (или) ДПП на основе изучения тенденций развития соответствующей области научного знания, запросов рынка труда, образовательных потребностей и возможностей обучающихся по программам бакалавриата и (или) ДПП |
| ПК-1.2 | Выполняет поручения по организации научно-исследовательской, проектной и иной деятельности обучающихся по программам бакалавриата и (или) ДПП |
| ПК-1.3 | Выполняет поручения по организации научных конференций, конкурсов проектных и исследовательских работ обучающихся |
| ПК-6 | Способен к обеспечению требуемых параметров режима и размещения резерва, принятию решений по диспетчерским заявкам, организации и руководству оперативными переключениями |
| ПК-6.1 | Принимает решения по диспетчерским заявкам о реализации мер по поддержанию частоты, величин перетоков активной мощности, токовой нагрузки линий и допустимого уровня напряжения в допустимом диапазоне путем оценки текущего и прогнозируемого |

| | |
|--------|--|
| | электроэнергетических режимов энергосистемы и определяет объем и эффективность соответствующих управляющих воздействий |
| ПК-6.2 | Принимает решения по диспетчерским заявкам о разрешении вывода в ремонт и ввода в работу электроустановок и подготовке электроэнергетического режима на это время, по поддержанию минимального необходимого резерва активной мощности и места его размещения путем оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетических режимов энергосистемы |
| ПК-6.3 | Разрабатывает программы переключений на вывод в ремонт и ввод в работу линий электропередачи и оборудования в соответствии с диспетчерскими заявками |

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц 144 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 10,9 акад. часов;
- аудиторная – 8 акад. часов;
- внеаудиторная – 2,9 акад. часов;
- самостоятельная работа – 124,4 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;
- подготовка к экзамену – 8,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

| Раздел/ тема дисциплины | Курс | Аудиторная контактная работа (в акад. часах) | | | Самостоятельная работа студента | Вид самостоятельной работы | Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации | Код компетенции |
|---|------|--|-----------|-------------|---------------------------------|--|---|---|
| | | Лек. | лаб. зан. | практ. зан. | | | | |
| 1. Теоретический раздел | | | | | | | | |
| 1.1 Введение. Основные понятия системного анализа. Свойства систем энергетики как больших систем. Неопределенность в задачах оптимизации. Критерии принятия решений. Многоцелевая оптимизация и методы экспертных оценок. | 2 | 0,5 | | | 20 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала | Устный опрос | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |
| 1.2 Математическое моделирование элементов электроэнергетической системы для решения оптимизационных задач. Абсолютные, относительные и дифференциальные показатели. Составляющие оптимизационной задачи | | 0,5 | | 0,5 | 30 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала; – изучение заводской документации на паровые турбины и котлы. | Контрольная работа | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |
| 1.3 Оптимизация распределения активных мощностей в энергосистеме. Метод неопределенных множителей Лагранжа и принцип равенства относительных приростов. Оценка отклонения от оптимального режима | | 0,5 | | 0,5 | 19,4 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала. | Контрольная работа | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |

| | | | | | | |
|---|-----|-----|-------|---|--------------------|---|
| 1.4 Оптимизация распределения активных мощностей в системе электроснабжения промышленного предприятия собственными электростанциями. Применение метода динамического программирования | 0,5 | 0,5 | 15 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – подготовка к аудиторной контрольной работе. | Контрольная работа | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |
| 1.5 Градиентный метод оптимизации и его использование для оптимизации режимов. Учет ограничений в форме неравенств. Метод приведенного градиента | 0,5 | 0,5 | 15 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала. | Контрольная работа | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |
| 1.6 Выбор оптимального состава работающих агрегатов. Критерий выгоды отключения, стратегия отключения на основе метода относительных приростов. Метод ветвей и границ и его применение для выбора оптимального состава агрегатов | 0,5 | 1 | 10 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала. | Контрольная работа | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |
| 1.7 Оптимизация развития энергосистем и электрических сетей. Статические, динамические и полудинамические производственные системы. Целевая функция затрат. Применение метода динамического программирования для планирования оптимальной траектории развития генерирующих мощностей. Применение метода линейного программирования для оптимизации структуры генерирующих | 1 | 1 | 15 | – самостоятельное изучение учебной литературы; – подготовка к аудиторной контрольной работе. | Контрольная работа | ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-6.1, ПК-6.2, ПК-6.3 |
| 1.8 Промежуточная аттестация | | | | Прохождение промежуточной аттестации | Экзамен | |
| Итого по разделу | 4 | 4 | 124,4 | | | |
| Итого за семестр | 4 | 4 | 124,4 | | экзамен | |
| Итого по дисциплине | 4 | 4 | 124,4 | | экзамен | |

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Оптимальные режимы работы генерирующих источников» используются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Оптимальные режимы работы генерирующих источников» происходит с использованием мультимедийного оборудования.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. На лекциях–консультациях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

При проведении практических занятиях используются работа в команде и методы ИТ.

Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе подготовки домашних заданий, при решении задач на практических занятиях, при подготовке к контрольным работам и итоговой аттестации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература:

1. Малафеев А. В. Оптимизация установившихся режимов систем электроснабжения и электроэнергетических систем : учебное пособие [для вузов] / А. В. Малафеев, А. В. Варганова ; МГТУ. - 2-е изд. - Магнитогорск : МГТУ, 2019. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - URL: <https://host.megaprolib.net/MP0109/Download/MObject/2479>. - ISBN 978-5-9967-1537-4. - Текст : электронный. - дата обращения: 23.12.2025

б) Дополнительная литература:

1. Ананичева, С. С. Электроэнергетические системы и сети: модели развития : учебник для вузов / С. С. Ананичева, П. Е. Мезенцев, А. Л. Мызин ; под научной редакцией П. И. Бартоломея. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 148 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07671-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/565058> (дата обращения: 23.12.2025).

2. Рачков, М. Ю. Оптимальное управление в технических системах : учебник для вузов / М. Ю. Рачков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 120 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09144-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562428> (дата обращения: 23.12.2025).

3. Папков, Б. В. Теория систем и системный анализ для электроэнергетиков : учебник и практикум для вузов / Б. В. Папков, А. Л. Куликов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 470 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00721-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/561832> (дата обращения: 23.12.2025).

6. Герасименко, А. А. Оптимальная компенсация реактивной мощности в системах распределения электрической энергии [Электронный ресурс] : монография / А. А. Герасименко, В. Б. Нешатаев. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 218 с. - ISBN 978-5-7638-2630-2. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/492442> (дата обращения: 23.12.2025). – Режим доступа: по подписке.

7. Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» - URL: <https://www.powervestniksusu.ru/index.php/PVS> (дата обращения: 25.12.2025).

8. Журнал «Электротехнические системы и комплексы» - URL: <http://esik.magtu.ru/ru/> (дата обращения: 25.12.2025).

9. Журнал «Вестник Ивановского государственного энергетического университета» - URL: <http://vestnik.ispu.ru/> (дата обращения: 25.12.2025).

в) Методические указания:

1. Малафеев, А.В. Расчет оптимальных режимов загрузки генераторов собственных электростанций промышленных предприятий [Текст]: методическая разработка к практическим занятиям по дисциплине «Оптимальные режимы систем электроснабжения» для магистрантов направления 140400.68 Электроэнергетика и электротехника, профиль Электроснабжение / А.В. Малафеев. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. – 33 с. - Текст : непосредственный.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

| Наименование ПО | № договора | Срок действия лицензии |
|------------------------------|------------------------------|------------------------|
| MS Office 2007 Professional | № 135 от 17.09.2007 | бессрочно |
| 7Zip | свободно распространяемое | бессрочно |
| FAR Manager | свободно распространяемое | бессрочно |
| Calculate Linux Desktop Xfce | свободно распространяемое ПО | бессрочно |
| Linux Calculate | свободно распространяемое ПО | бессрочно |

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| Название курса | Ссылка |
|--|---|
| Электронная база периодических изданий ООО «ИВИС» | https://eivis.ru/ |
| Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) | https://elibrary.ru/project_risc.asp |
| Российская Государственная библиотека. Каталоги | https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/ |
| Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова | https://host.megaprolib.net/MP0109/Web |
| Федеральный образовательный портал – Экономика. Социология. Менеджмент | http://ecsocman.hse.ru/ |

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебные аудитории для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации - доска, мультимедийный проектор, экран.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся - персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.
3. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования - стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(обязательное)

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Аудиторная самостоятельная работа студентов на практических занятиях осуществляется под контролем преподавателя в виде решения задач и выполнения упражнений, которые определяет преподаватель для студента.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов осуществляется в виде чтения с проработкой материала и выполнения домашних заданий с консультациями преподавателя.

Примеры заданий на аудиторные контрольные работы:

Аудиторная контрольная работа №1 – Исходные данные и структура оптимизационных задач

Вариант №1

1. Перечислите составляющие оптимизационной задачи.
2. Что называется диаграммой режимов теплофикационной турбины?

Вариант №2

1. Чем отличаются относительные энергетические показатели от дифференциальных?
2. Какие ограничения являются зависимыми, какие – функциональными?

Вариант №3

1. Перечислите виды информации в режимных задачах.
2. Назовите виды иерархии в задачах управления режимами.

Вариант №4

1. В чем заключается отличие между задачами оптимизации режима электроэнергетической системы, внутростанционной оптимизации, оптимизации режима электрической сети?
2. Приведите примеры частично неопределенной информации.

Аудиторная контрольная работа №2 – Применение математических методов оптимизации в электроэнергетике.

Вариант №1

1. В чем заключается принцип равенства относительных приростов?
2. Что понимается под оценкой в методе ветвей и границ?
3. Что называется линией уровня?

Вариант №2

1. В чем заключается метод неопределенных множителей Лагранжа?
2. Чем отличается внутростанционная оптимизация режима на КЭС и на ТЭЦ?
3. Дайте определение градиента.

Вариант №3

1. В чем заключается метод динамического программирования?
2. Какие ограничения относятся к независимым?
3. Дайте определение множества Парето.

Вариант №4

1. Сформулируйте принцип Беллмана.
2. В чем заключается метод штрафных функций?
3. Какова суть метода скаляризации?

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

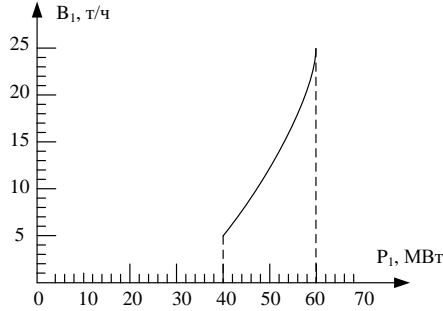
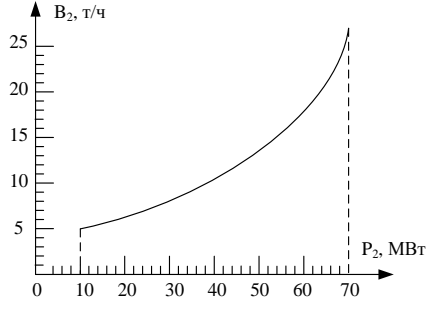
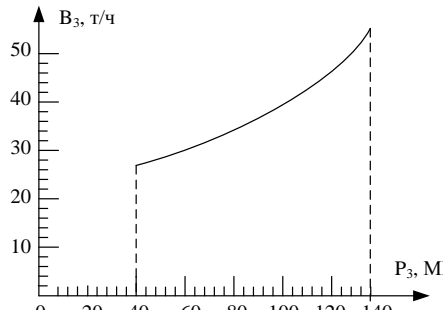
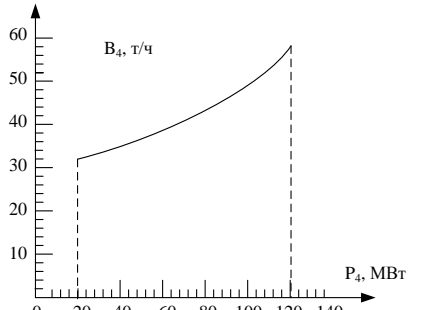
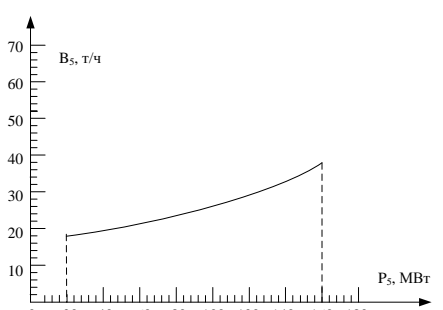
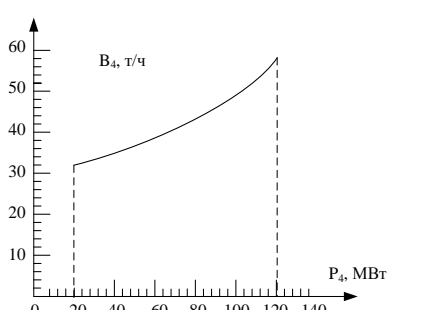
(обязательное)

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|--|---|---|
| ПК-1. Способен самостоятельно выполнять исследования, оценивать риск и определять меры по обеспечению безопасности разрабатываемых новых технологий, объектов профессиональной деятельности | | |
| ПК-1.1 | <p>Определяет под руководством специалиста более высокой квалификации содержание и требования к результатам исследовательской, проектной и иной деятельности обучающихся по программам бакалавриата и (или) ДПП на основе изучения тенденций развития соответствующей области научного знания, запросов рынка труда, образовательных потребностей и возможностей обучающихся по программам бакалавриата и (или) ДПП</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Иерархия задач управления в энергетике. 2. Оптимизация внутростанционных режимов методом ветвей и границ. 3. Энергетические характеристики электростанций. 4. Критерий выгоды отключения. Стратегия останова (пуска) агрегатов по критерию выгоды отключения. 5. Энергетические характеристики котлов и турбин. 6. Постановка задачи выбора состава агрегатов энергосистемы. 7. Критерии оптимальности в режимных задачах. <p>Найти оптимальное распределение мощностей между четырьмя электростанциями методом наискорейшего градиентного спуска. В исходном режиме коэффициенты загрузки электростанций одинаковы, переток мощности через балансирующий узел отсутствует. Считать, что электростанции включены в один узел энергосистемы, пренебрегая режимом электрической сети.</p> <p>КЭС №1 $B_1=0,018P_1^2-0,244P_1+10,09$ $P_{\min}=4$ МВт $P_{\max}=80$ МВт Стоимость угля 2360 руб./т</p> <p>КЭС №2 $B_2=0,018P_2^2-0,029P_2+4,863$</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------|---|---|
| | | $P_{\min}=5 \text{ МВт}$ $P_{\max}=100 \text{ МВт}$ Стоимость угля 2480 руб./т КЭС №3 $B_3=0,029P_3^2-0,157P_3+4,19$ $P_{\min}=5 \text{ МВт}$ $P_{\max}=100 \text{ МВт}$ Стоимость угля 2490 руб./т КЭС №4 $B_4=0,008P_4^2+0,311P_4+0,207$ $P_{\min}=5 \text{ МВт}$ $P_{\max}=130 \text{ МВт}$ Стоимость угля 2310 руб./т Суммарная нагрузка в системе – 220 МВт Стоимость электроэнергии, передаваемой (принимаемой) через узел связи – 1,9 руб./кВт·ч B – в т/ч, P – в МВт |
| ПК-1.2 | Выполняет поручения по организации научно-исследовательской, проектной и иной деятельности обучающихся по программам бакалавриата и (или) ДПП | По заданным расходным характеристикам энергоблоков КЭС, пользуясь критерием выгоды отключения, составить оптимальную стратегию вывода их в резерв при снижении нагрузки в системе. В качестве критерия оптимальности принять минимум расхода топлива. |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------|----------------------------------|--|
| | | <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> <div style="width: 50%;">  </div> </div> <p data-bbox="1030 1284 2105 1356"> 1. Метод ветвей и границ. Вычисление границ. 2. Оптимальное распределение нагрузки между агрегатами </p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---|--|--------------|----|-----|--|------------------|----|----|----|-------------|---|---|----|--------------|--|--|--|--|--|------------------|----|----|----|----|-----|-------------|---|----|----|----|----|--------------|--|--|--|------------------|----|----|-----|-------------|---|----|----|
| | | <p>электростанций методом относительных приростов.</p> <p>3. Градиентный метод оптимизации. Общая характеристика.</p> <p>4. Выпуклость и вогнутость. Условия единственности экстремума. Теорема Куна-Таккера.</p> <p>5. Схема метода ветвей и границ. Использование одновременного ветвления.</p> <p>6. Построение эквивалентной характеристики относительных приростов. Учет ограничений.</p> <p>7. Градиентный метод оптимизации. Порядок выбора множителя.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ПК-1.3 | Выполняет поручения по организации научных конференций, конкурсов проектных и исследовательских работ обучающихся | <p>Найти оптимальное распределение активных мощностей между тремя турбогенераторами методом динамического программирования. Расходные характеристики турбин заданы в табличном виде как зависимости расхода свежего пара от электрической нагрузки.</p> <p style="text-align: right;">Таблица 1</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Генератор №1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$D_{0(1)}$, т/ч</td> <td style="text-align: center;">21</td> <td style="text-align: center;">43</td> <td style="text-align: center;">84</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P_1, МВт</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Таблица 2</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Генератор №2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$D_{0(2)}$, т/ч</td> <td style="text-align: center;">40</td> <td style="text-align: center;">50</td> <td style="text-align: center;">76</td> <td style="text-align: center;">80</td> <td style="text-align: center;">145</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P_2, МВт</td> <td style="text-align: center;">8</td> <td style="text-align: center;">20</td> <td style="text-align: center;">27</td> <td style="text-align: center;">32</td> <td style="text-align: center;">40</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Таблица 3</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Генератор №3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">$D_{0(3)}$, т/ч</td> <td style="text-align: center;">26</td> <td style="text-align: center;">70</td> <td style="text-align: center;">140</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P_3, МВт</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">15</td> <td style="text-align: center;">21</td> </tr> </tbody> </table> | Генератор №1 | | | | $D_{0(1)}$, т/ч | 21 | 43 | 84 | P_1 , МВт | 4 | 8 | 10 | Генератор №2 | | | | | | $D_{0(2)}$, т/ч | 40 | 50 | 76 | 80 | 145 | P_2 , МВт | 8 | 20 | 27 | 32 | 40 | Генератор №3 | | | | $D_{0(3)}$, т/ч | 26 | 70 | 140 | P_3 , МВт | 6 | 15 | 21 |
| Генератор №1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $D_{0(1)}$, т/ч | 21 | 43 | 84 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P_1 , МВт | 4 | 8 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Генератор №2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $D_{0(2)}$, т/ч | 40 | 50 | 76 | 80 | 145 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P_2 , МВт | 8 | 20 | 27 | 32 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Генератор №3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $D_{0(3)}$, т/ч | 26 | 70 | 140 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P_3 , МВт | 6 | 15 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

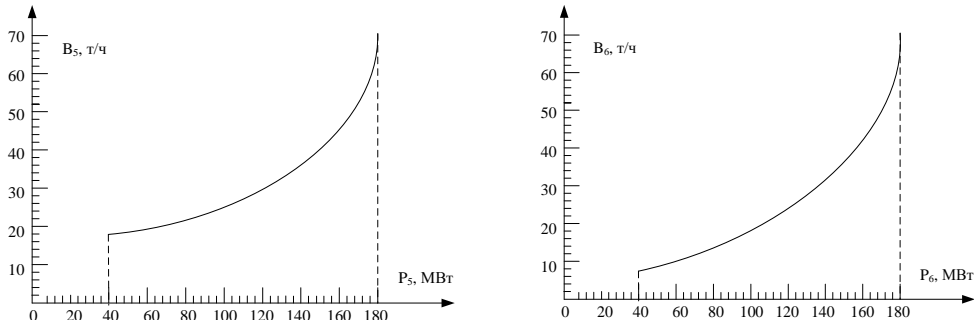
| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|---|--|--|
| | | <p>В качестве критерия оптимальности принять минимум стоимости расхода свежего пара. Считать, что стоимость пара на всех точках характеристики одинакова и равна для первого агрегата 160 руб./т, для второго агрегата – 250 руб./т, для третьего агрегата – 270 руб./т. Нагрузка предприятия равна 190 МВт. Необходимо обеспечить прием из районной энергосистемы, равный 130 МВт.</p> |
| <p>ПК-6. Способен к обеспечению требуемых параметров режима и размещения резерва, принятию решений по диспетчерским заявкам, организации и руководству оперативными переключениями</p> | | |
| <p>ПК-6.1</p> | <p>Принимает решения по диспетчерским заявкам о реализации мер по поддержанию частоты, величин перетоков активной мощности, токовой нагрузки линий и допустимого уровня напряжения в допустимом диапазоне путем оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетических режимов энергосистемы и определяет объем и эффективность соответствующих управляющих воздействий</p> | <p>Найти оптимальное распределение мощностей между четырьмя электростанциями методом приведенного градиента. В исходном режиме коэффициенты загрузки электростанций одинаковы, переток мощности через балансирующий узел отсутствует.</p> <p>Считать целевую функцию состоящей из двух слагающих – затрат на топливо и стоимости потерь активной мощности. Коэффициент мощности для всех станций считать неизменным и равным 0,95. Для расчета потерь активной мощности использовать метод узловых напряжений.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------|----------------------------------|--|
| | | <p>The diagram illustrates a power system with four main nodes: AC-300/66 (top-left), AC-240/56 (top-right), AC-300/48 (middle), and AC-185/43 (bottom). The connections and power flows are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> AC-300/66 is connected to AC-240/56 and AC-300/48. AC-240/56 is connected to AC-300/48 and AC-185/43. AC-300/48 is connected to AC-185/43. AC-185/43 is connected to AC-300/48. <p>External power sources are indicated by arrows labeled S_{r1}, S_{r2}, S_{r3}, and S_{r4}.</p> <p>Power flows (in A) are shown as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> From AC-300/66 to AC-240/56: $850+j260$ A From AC-240/56 to AC-300/48: $700+j350$ A From AC-300/48 to AC-185/43: $400+j300$ A From AC-185/43 to AC-300/48: $980+j570$ A |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------|----------------------------------|---|
| | | <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> </div> <div style="width: 50%; text-align: center;"> </div> </div> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определение перерасхода топлива вследствие отклонения от оптимального режима. 2. Градиентный метод оптимизации. Ограничение выбросов шага. 3. Общая характеристика задачи оптимизации режимов систем электроснабжения с собственными электростанциями. 4. Градиентный метод оптимизации. Стабилизация путем выравнивания производных. 5. Модификация метода штрафных функций со сдвигом допустимых пределов. 6. Упрощенный алгоритм комплексной оптимизации режима |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------------|---|--|
| | | <p>энергосистемы на основе метода неопределенных множителей Лагранжа.</p> <p>7. Модификация метода штрафных функций с интегрированием производной штрафной функции.</p> |
| <p>ПК-6.2</p> | <p>Принимает решения по диспетчерским заявкам о разрешении вывода в ремонт и ввода в работу электроустановок и подготовке электроэнергетического режима на это время, по поддержанию минимального необходимого резерва активной мощности и места его размещения путем оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетических режимов энергосистемы</p> | <p>Построить эквивалентную характеристику относительных приростов. Найти графически оптимальное распределение активных мощностей между четырьмя генераторами ТЭЦ, пользуясь методом относительных приростов. Характеристики относительных приростов приведены на рисунке. В качестве критерия оптимальности принять минимум расхода свежего пара.</p> <p>The figure contains four separate graphs, each representing a different generator (1, 2, 3, and 4). Each graph plots the relative increase of steam consumption d_i (in $\text{т}/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$) on the vertical axis against the active power P_i (in МВт) on the horizontal axis. The vertical axis for all graphs ranges from 0 to 25 with major ticks every 5 units. The horizontal axis for all graphs ranges from 0 to 35 with major ticks every 5 units. Each graph shows a convex curve that starts at a specific power value and increases as power increases. A vertical dashed line marks the end of the plotted range for each generator: $P_1 \approx 35$, $P_2 \approx 25$, $P_3 \approx 35$, and $P_4 \approx 25$.</p> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства |
|----------------|----------------------------------|---|
| | | <p data-bbox="1025 268 2101 379">По заданным расходным характеристикам энергоблоков КЭС определить оптимальный состав работающих агрегатов, используя метод ветвей и границ. Одновременно не могут быть отключены блоки 1 и 5.</p> <div data-bbox="1048 395 2049 1098"> <p>The figure contains four separate graphs, each representing a different energy unit:</p> <ul style="list-style-type: none"> Graph 1 (top-left): Shows steam consumption B_1 (т/ч) on the y-axis (0 to 25) versus power P_1 (МВт) on the x-axis (0 to 70). The curve starts at $P_1 \approx 10$ and rises to $P_1 \approx 60$. A vertical dashed line is at $P_1 = 60$. Graph 2 (top-right): Shows steam consumption B_2 (т/ч) on the y-axis (0 to 25) versus power P_2 (МВт) on the x-axis (0 to 70). The curve starts at $P_2 \approx 10$ and rises to $P_2 \approx 60$. A vertical dashed line is at $P_2 = 60$. Graph 3 (bottom-left): Shows steam consumption B_3 (т/ч) on the y-axis (0 to 50) versus power P_3 (МВт) on the x-axis (0 to 140). The curve starts at $P_3 \approx 20$ and rises to $P_3 \approx 140$. A vertical dashed line is at $P_3 = 140$. Graph 4 (bottom-right): Shows steam consumption B_4 (т/ч) on the y-axis (0 to 60) versus power P_4 (МВт) on the x-axis (0 to 140). The curve starts at $P_4 \approx 40$ and rises to $P_4 \approx 140$. A vertical dashed line is at $P_4 = 140$. </div> |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства | | |
|----------------|---|---|------|---------------------------|
| | |  | | |
| ПК-6.2 | <p>Принимает решения по диспетчерским заявкам о разрешении вывода в ремонт и ввода в работу электроустановок и подготовке электроэнергетического режима на это время, по поддержанию минимального необходимого резерва активной мощности и места его размещения путем оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетических режимов энергосистемы</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор состава агрегатов в системе с тепловыми электростанциями с использованием критерия выгоды отключения. 2. Информация в режимных задачах. 3. Выбор стратегии останова агрегатов для заданного графика нагрузки с учетом пусковых расходов. 4. Математическая модель одноцелевого объекта управления. 5. Метод ветвей и границ. Операция ветвления. 6. Оптимальное распределение нагрузки между тепловыми электростанциями в тепловой энергосистеме. Применение метода неопределенных множителей Лагранжа. 7. Оптимизация режима системы электроснабжения с собственными электростанциями методом динамического программирования. 8. Основные положения метода штрафных функций. 9. Задача комплексной оптимизации режимов энергосистемы. | | |
| ПК-6.3 | <p>Разрабатывает программы переключений на вывод в ремонт и ввод в работу линий электропередачи и оборудования в соответствии с диспетчерскими заявками</p> | <p>На основе представленной платежной матрицы выбрать оптимальный план развития системы электроснабжения, используя критерии Вальда, Сэвиджа, Лапласа, Гурвица. Сопоставить полученные результаты. В клетках матрицы даны приведенные затраты (в млн руб.).</p> <table border="1" data-bbox="1032 1316 2092 1353"> <tr> <td data-bbox="1032 1316 1211 1353">План</td> <td data-bbox="1211 1316 2092 1353">Фактическая нагрузка, МВт</td> </tr> </table> | План | Фактическая нагрузка, МВт |
| План | Фактическая нагрузка, МВт | | | |

| Код индикатора | Индикатор достижения компетенции | Оценочные средства | | | | | |
|----------------|----------------------------------|---|------------------------|------------|------------|------------|-----------------------|
| | | развития | 60 | 64 | 68 | 72 | 76 |
| | | П-1 | 124 | 120 | 130 | 132 | 140 |
| | | П-2 | 150 | 115 | 131 | 144 | 152 |
| | | П-3 | 140 | 128 | 117 | 146 | 148 |
| | | П-4 | 145 | 120 | 112 | 129 | 134 |
| | | П-5 | 151 | 129 | 121 | 133 | 135 |
| | | <p>Разработать оптимальный план развития генерирующих мощностей энергосистемы. Зависимости затрат (млрд руб.) от вводимой мощности приведены в таблице.</p> | | | | | |
| | | № станции | Вводимая мощность, МВт | | | | |
| | | | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 500 |
| | | 1 | 0 | 11 | 21 | 31 | 36 36 |
| | | 2 | 0 | 12 | 20 | 25 | 29 38 |
| | | 3 | 0 | 14 | 18 | 29 | 32 38 |
| | | 4 | 0 | 10 | 12 | 25 | 28 37 |
| | | 5 | 0 | 18 | 24 | 28 | 32 38 |
| | | 6 | 0 | 13 | 22 | 28 | 34 37 |

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Оптимальные режимы работы генерирующих источников» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень освоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и навыков. Проводится в форме экзамена.

Экзамен по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса и одно практическое задание.

Показатели и критерии оценивания экзамена:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практические задания, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.