



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

04.02.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Направление подготовки (специальность)
13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль/специализация) программы
Интеллектуальные системы электроснабжения

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроснабжения промышленных предприятий
Курс	2
Семестр	3

Магнитогорск
2025 год

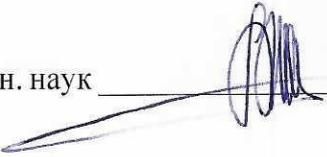
Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 147)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Электроснабжения промышленных предприятий
30.01.2025, протокол № 4

Зав. кафедрой  А.В. Варганова

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
04.02.2025, протокол № 3

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 2026 - 2027 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 2027 - 2028 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 систем электроснабжения» 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 систем электроснабжения входит в часть учебного плана формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы.

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

Программное обеспечение систем электроснабжения

Цифровая электроэнергетика

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

Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике

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 систем электроснабжения» 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-5	Способен управлять режимом работы энергосистемы, электрической сети, системы электроснабжения
ПК-5.1	Выполняет оценку текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы с целью принятия решения о реализации мер по поддержанию частоты, величин перетоков активной мощности, токовой нагрузки линий и допустимого уровня напряжения, минимального необходимого

	резерва активной мощности и места его размещения; определения объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий и создание соответствующих записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы
ПК-5.2	Принимает решения о реализации мер по предотвращению развития и ликвидации нарушения нормального режима электрической части энергосистемы и определении объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий путем выполнения анализа оперативной информации об авариях и нештатных ситуациях в энергосистеме и оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы.
ПК-5.3	Разрабатывает программы переключений на вывод в ремонт и ввод в работу электроустановок, оценивает текущий и прогнозируемый электроэнергетический режим энергосистемы для принятия решения по диспетчерским заявкам о разрешении вывода в ремонт и ввода в работу электрооборудования, по поддержанию и подготовке электроэнергетического режима на время операций по выводу в ремонт и вводу в работу, созданию наиболее надежной оперативной схемы, оценивает достаточность мер, обеспечивающих надежность работы энергосистемы, и создает соответствующие записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы.

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц 180 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 54,15 акад. часов;
- аудиторная – 51 акад. часов;
- внеаудиторная – 3,15 акад. часов;
- самостоятельная работа – 90,15 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 4 акад. час;
- подготовка к экзамену – 35,7 акад. час

Форма аттестации - экзамен

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	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.	3	3			3	– самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала	Входной контроль	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
1.2 Математическое моделирование элементов электроэнергетической системы для решения оптимизационных задач. Абсолютные, относительные и дифференциальные показатели. Составляющие оптимизационной задачи		2			3	– самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала; – изучение заводской документации на паровые турбины и котлы.	Экспресс-опрос	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
1.3 Оптимизация распределения активных мощностей в энергосистеме. Метод неопределенных множителей Лагранжа и принцип равенства относительных приростов. Оценка отклонения от оптимального режима		2			3	– самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала.	Экспресс-опрос	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3

1.4 Оптимизация распределения активных мощностей в системе электроснабжения промышленного предприятия собственными электростанциями. Применение метода динамического программирования	2			4	– самостоятельное изучение учебной литературы; – подготовка к аудиторной контрольной работе.	АКР №1	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
1.5 Градиентный метод оптимизации и его использование для оптимизации режимов. Учет ограничений в форме неравенств. Метод приведенного градиента	2			4	– самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала.	Экспресс-опрос	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
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	2			3	– самостоятельное изучение учебной литературы; – проработка лекционного материала.	Экспресс-опрос	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
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 и электрических сетей	4			4	– самостоятельное изучение учебной литературы; – подготовка к аудиторной контрольной работе.	АКР №2	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
Итого по разделу	17			24			
2. Практический раздел.							
2.1 Построение эквивалентных расходных характеристик и характеристик относительных приростов тепловых электростанций. Расчет оптимального распределения активной мощности методом относительных приростов	3		4	4	– решение задач под руководством преподавателя		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3

2.2 Расчет оптимального распределения активной мощности методом динамического программирования в системе электроснабжения с теплофикационными электростанциями			4	5	– решение задач под руководством преподавателя		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
2.3 Выбор оптимального состава работающих агрегатов с использованием критерия выгоды отключения			4	2	– решение задач под руководством преподавателя		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
2.4 Выбор оптимального состава работающих агрегатов методом ветвей и границ			6	2	– решение задач под руководством преподавателя		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
2.5 Расчет оптимального распределения активной мощности градиентным методом для концентрированной системы			4	4,15	– решение задач под руководством преподавателя;		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
2.6 Расчет оптимального распределения активных мощностей методом приведенного градиента с учетом сетевых ограничений			6	6	– решение задач под руководством преподавателя		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
2.7 Выбор оптимальной стратегии развития электрической сети методом динамического программирования			6	6	– решение задач под руководством преподавателя		ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
2.8 Подготовка к экзамену					Изучение конспектов и рекомендованной литературы.	Сдача экзамена	ПК-1.1, ПК-1.2, ПК-1.3, ПК-5.1, ПК-5.2, ПК-5.3
Итого по разделу			34	66,15			
Итого за семестр	17		34	90,15		экзамен	
Итого по дисциплине	17		34	90,15		экзамен	

5 Образовательные технологии

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

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Оптимальные режимы систем электроснабжения» 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 занятий 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.

б) Дополнительная литература:

1. Костюк А.Г., Паровые турбины и газотурбинные установки для электростанций : учебник для вузов / А.Г. Костюк, А.Е. Булкин, А.Д. Трухний - М. : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01400-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383014004.html> (дата обращения: 17.03.2025). - Режим доступа : по подписке.

2. *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: 17.03.2025).

3. *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: 17.03.2025).

4. Табуров, Д.Ю. Управление производством электроэнергии на тепловых электростанциях с помощью автоматизированных информационных систем / Д.Ю. Табуров, П.В. Николаев. - М. : Издательский дом МЭИ, 2019. - ISBN 978-5-383-01348-9 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013489.html> (дата обращения: 17.03.2025). - Режим доступа : по подписке.

5. 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: 17.03.2025).

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: 17.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

7. Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» <https://www.powervestniksusu.ru/index.php/PVS>

8. Журнал «Электротехнические системы и комплексы» <http://esik.magtu.ru/ru/>

9. Журнал "Вестник Ивановского государственного энергетического университета" <http://vestnik.ispu.ru/>

в) Методические указания:

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.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
Calculate Linux Desktop Xfce	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое ПО	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/

Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	https://host.megaprolib.net/MP0109/Web
Российская Государственная библиотека. Каталоги	https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.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 аудиторские 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, внутристанционной 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 внутристанционная 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. 8. Выбор состава агрегатов в системе с тепловыми электростанциями с использованием критерия выгоды отключения. 9. Информация в режимных задачах. 10. Выбор стратегии останова агрегатов для заданного графика нагрузки с учетом пусковых расходов. <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>

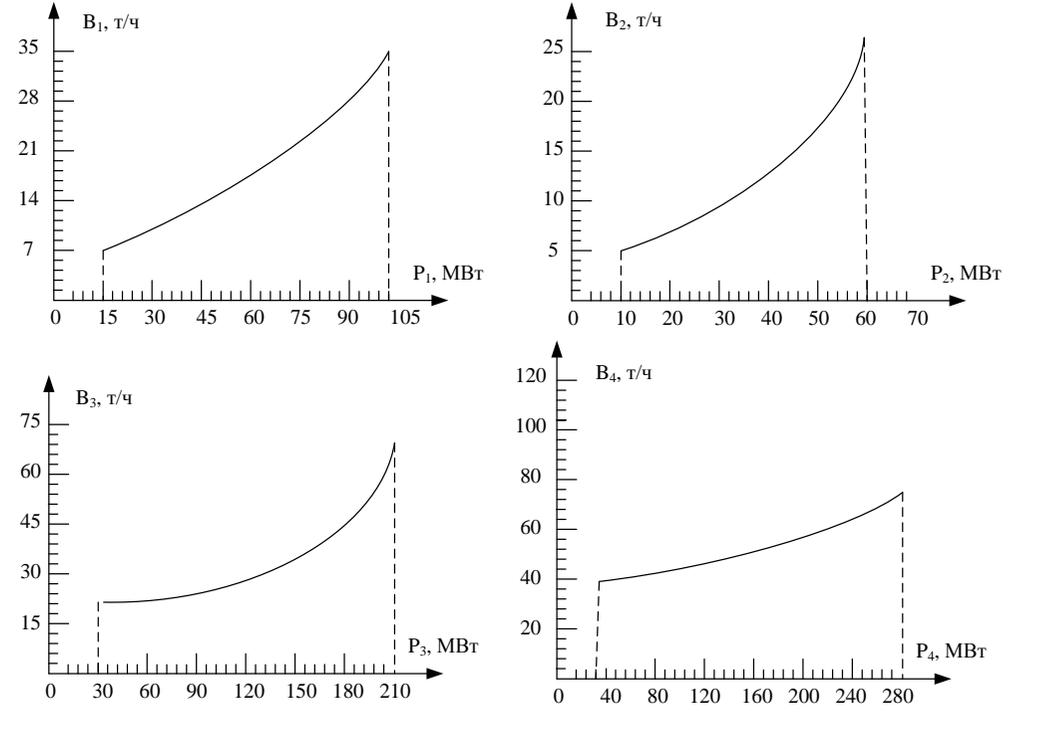
Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		$P_{\min}=4$ МВт $P_{\max}=80$ МВт Стоимость угля 2360 руб./т КЭС №2 $B_2=0,018P_2^2-0,029P_2+4,863$ $P_{\min}=5$ МВт $P_{\max}=100$ МВт Стоимость угля 2480 руб./т КЭС №3 $B_3=0,029P_3^2-0,157P_3+4,19$ $P_{\min}=5$ МВт $P_{\max}=100$ МВт Стоимость угля 2490 руб./т КЭС №4 $B_4=0,008P_4^2+0,311P_4+0,207$ $P_{\min}=5$ МВт $P_{\max}=130$ МВт Стоимость угля 2310 руб./т Суммарная нагрузка в системе – 220 МВт Стоимость электроэнергии, передаваемой (принимаемой) через узел связи – 1,9 руб./кВт·ч <i>B</i> – в т/ч, <i>P</i> – 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 принципом равенства относительных приростов, составить оптимальную стратегию вывода их в резерв при снижении нагрузки в системе. В качестве критерия оптимальности принять минимум расхода топлива. Определить оптимальный состав работающих агрегатов, используя метод ветвей и границ. Одновременно не могут быть отключены блоки 1 и 5.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>The figure contains six graphs, each showing a step function followed by a curve. The graphs are arranged in a 3x2 grid:</p> <ul style="list-style-type: none"> Graph 1 (top-left): Vertical axis $B_1, \text{ т/ч}$ (0 to 25), horizontal axis $P_1, \text{ МВт}$ (0 to 70). Step at $P \approx 38$, $B \approx 5$. Curve ends at $P \approx 60$, $B \approx 24$. Graph 2 (top-right): Vertical axis $B_2, \text{ т/ч}$ (0 to 25), horizontal axis $P_2, \text{ МВт}$ (0 to 70). Step at $P \approx 10$, $B \approx 5$. Curve ends at $P \approx 70$, $B \approx 26$. Graph 3 (middle-left): Vertical axis $B_3, \text{ т/ч}$ (0 to 50), horizontal axis $P_3, \text{ МВт}$ (0 to 140). Step at $P \approx 40$, $B \approx 26$. Curve ends at $P \approx 130$, $B \approx 52$. Graph 4 (middle-right): Vertical axis $B_4, \text{ т/ч}$ (0 to 60), horizontal axis $P_4, \text{ МВт}$ (0 to 140). Step at $P \approx 20$, $B \approx 31$. Curve ends at $P \approx 120$, $B \approx 57$. Graph 5 (bottom-left): Vertical axis $B_5, \text{ т/ч}$ (0 to 70), horizontal axis $P_5, \text{ МВт}$ (0 to 180). Step at $P \approx 20$, $B \approx 19$. Curve ends at $P \approx 160$, $B \approx 39$. Graph 6 (bottom-right): Vertical axis $B_4, \text{ т/ч}$ (0 to 60), horizontal axis $P_4, \text{ МВт}$ (0 to 140). Step at $P \approx 20$, $B \approx 31$. Curve ends at $P \approx 120$, $B \approx 57$.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства												
ПК-1.3	Выполняет поручения по организации научных конференций, конкурсов проектных и исследовательских работ обучающихся	<ol style="list-style-type: none"> 1. Математическая модель одноцелевого объекта управления. 2. Метод ветвей и границ. Операция ветвления. 3. Оптимальное распределение нагрузки между тепловыми электростанциями в тепловой энергосистеме. Применение метода неопределенных множителей Лагранжа. 4. Метод ветвей и границ. Вычисление границ. 5. Оптимальное распределение нагрузки между агрегатами электростанций методом относительных приростов. 6. Градиентный метод оптимизации. Общая характеристика. 7. Выпуклость и вогнутость. Условия единственности экстремума. Теорема Куна-Таккера. 8. Схема метода ветвей и границ. Использование одновременного ветвления. 9. Построение эквивалентной характеристики относительных приростов. Учет ограничений. 10. Градиентный метод оптимизации. Порядок выбора множителя. 												
ПК-5 – Способен управлять режимом работы энергосистемы, электрической сети, системы электроснабжения														
ПК-5.1	Выполняет оценку текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы с целью принятия решения о реализации мер по поддержанию частоты, величин перетоков активной мощности, токовой нагрузки линий и допустимого уровня напряжения, минимального необходимого резерва активной мощности и места его размещения; определения объема и эффективности	<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> <p style="text-align: center;">Генератор №2</p>	Генератор №1				$D_{0(1)}$, т/ч	21	43	84	P_1 , МВт	4	8	10
Генератор №1														
$D_{0(1)}$, т/ч	21	43	84											
P_1 , МВт	4	8	10											

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства						
	соответствующих управляющих воздействий и создание соответствующих записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы	D ₀₍₂₎ , т/ч	40	50	76	80	145	10
		P ₂ , МВт	8	20	27	32	40	5
		Таблица 3 Генератор №3						
		D ₀₍₃₎ , т/ч	26	70	140			
		P ₃ , МВт	6	15	21			
		<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>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 the following components and flows:</p> <ul style="list-style-type: none"> Nodes: AC-300/48 (top-left), AC-185/43 (top-right), AC-300/48 (middle-left), AC-185/43 (middle-right), AC-300/48 (bottom-left), AC-185/43 (bottom-right). AC Lines: <ul style="list-style-type: none"> AC-300/66 (top horizontal) AC-240/56 (top horizontal) AC-300/48 (middle horizontal) AC-240/56 (middle horizontal) AC-300/48 (diagonal from middle-left to bottom-left) AC-240/56 (diagonal from middle-right to bottom-right) AC-185/43 (bottom horizontal) Complex Power Flows (A): <ul style="list-style-type: none"> $850+j260$ A (from top-left to middle-right) $700+j350$ A (from middle-left to middle-right) $980+j570$ A (from middle-right to bottom-right) $400+j300$ A (from middle-right to bottom-right) External Sources (S_r): <ul style="list-style-type: none"> S_{r1} (input to top-right) S_{r2} (input to middle-left) S_{r3} (input to bottom-left) S_{r4} (input to bottom-right)

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		
ПК-5.2	Принимает решения о реализации мер по предотвращению развития и ликвидации нарушения нормального режима электрической части энергосистемы и определении объема и эффективности соответствующих управляющих воздействий путем выполнения анализа оперативной информации об авариях и нештатных	<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. Оптимизация режима системы электроснабжения с собственными электростанциями методом динамического программирования.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
	<p>ситуациях в энергосистеме и оценки текущего и прогнозируемого электроэнергетического режима энергосистемы.</p>	<p>6. Основные положения метода штрафных функций. 7. Задача комплексной оптимизации режимов энергосистемы. 8. Модификация метода штрафных функций со сдвигом допустимых пределов. 9. Упрощенный алгоритм комплексной оптимизации режима энергосистемы на основе метода неопределенных множителей Лагранжа. 10. Модификация метода штрафных функций с интегрированием производной штрафной функции. 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> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1048 730 1534 1066"> </div> <div data-bbox="1585 730 2072 1066"> </div> </div>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>The figure contains two graphs. The left graph plots energy loss d_3 (т/(МВт*ч)) on the y-axis against power P_3 (МВт) on the x-axis. The y-axis ranges from 0 to 25 with major ticks every 5 units. The x-axis ranges from 0 to 35 with major ticks every 5 units. A vertical dashed line is drawn at $P_3 = 15$ МВт. For $P_3 < 15$, the energy loss is 0. At $P_3 = 15$, it jumps to approximately 8. For $P_3 > 15$, the curve rises non-linearly, reaching approximately 24 at $P_3 = 35$.</p> <p>The right graph plots energy loss d_4 (т/(МВт*ч)) on the y-axis against power P_4 (МВт) on the x-axis. The axes and scales are identical to the left graph. A vertical dashed line is drawn at $P_4 = 10$ МВт. For $P_4 < 10$, the energy loss is 0. At $P_4 = 10$, it jumps to approximately 5. For $P_4 > 10$, the curve rises non-linearly, reaching approximately 24 at $P_4 = 35$.</p>
ПК-5.3	<p>Разрабатывает программы переключений на вывод в ремонт и ввод в работу электроустановок, оценивает текущий и прогнозируемый электроэнергетический режим энергосистемы для принятия решения по диспетчерским заявкам о разрешении вывода в ремонт и ввода в работу электрооборудования, по поддержанию и подготовке электроэнергетического режима на время операций по выводу в ремонт и вводу в работу, созданию наиболее надежной оперативной схемы, оценивает достаточность мер, обеспечивающих надежность работы энергосистемы, и создает соответствующие записей об управлении электроэнергетическим режимом энергосистемы.</p>	<p>Разработать оптимальный план развития района электрической сети, карта-схема которого показана на рисунке. Затраты приводить к первому году развития. Стоимость электроэнергии принять равной 2,5 руб./кВт·ч, норматив приведения разновременных затрат – 0,08.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>The diagram illustrates a power distribution network. On the left, a 110 кВ power source is connected to node 1. Node 1 is connected to node 2 via a line labeled 2хАС-240. Node 2 is connected to node 3 via a line labeled 1хАС-240. Node 3 is connected to node 4, and node 4 is connected to node 5. Node 1 is associated with 30 МВА, node 2 with 20 МВА, node 3 with 20 МВА, node 4 with 15 МВА, and node 5 with 10 МВА. A river flows from node 3 towards the bottom left. A forest is located between nodes 3 and 5. A scale bar indicates 10 км and a north arrow is present.</p>

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

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

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.