



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

10.02.2023 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
2023 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
23.01.2023 г., протокол № 4

Зав. кафедрой  А.В. Варганова

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
10.02.2023 г., протокол № 7

Председатель  В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:
доцент кафедры ЭПП, канд. техн. наук

 А.В. Малафеев

Рецензент:
начальник ЦЭСиП ПАО «ММК», канд. техн. наук

 Н.А. Николаев



Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023 - 2024 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 2024 - 2025 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). - Загл. с титул. экрана. - URL : <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3898.pdf&show=dcatalogues/1/1530041/3898.pdf&view=true> (дата обращения: 22.05.2023). - Макрообъект. - ISBN 978-5-9967-1537-4. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

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: 22.05.2023). - Режим доступа : по подписке.

2. Электроэнергетические системы и сети: модели развития : учебное пособие для вузов / С. С. Ананичева, П. Е. Мезенцев, А. Л. Мызин ; под научной редакцией П. И. Бартоломея. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 148 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-07671-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/455365> (дата обращения: 22.05.2023).

3. Рачков, М. Ю. Оптимальное управление в технических системах : учебное пособие для вузов / М. Ю. Рачков. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 120 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-09144-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/452772> (дата обращения: 22.05.2023).

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: 22.05.2023). - 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, 2020. — 470 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-00721-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/452083> (дата обращения: 22.05.2023).

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: 22.05.2023). – Режим доступа: по подписке.

7. Журнал «Электротехнические системы и комплексы» <http://esik.magtu.ru/ru/> (дата обращения: 22.05.2023).

8. Журнал «Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика» <https://vestnik.susu.ru/power/issue/archive> (дата обращения: 22.05.2023).

9. Журнал "Вестник Ивановского государственного энергетического университета" <http://vestnik.ispu.ru/taxonomy/term/102#> (дата обращения: 22.05.2023).

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 Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Windows 7 Professional (для классов)	Д-757-17 от 27.06.2017	27.07.2018
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 East View Information Services, ООО «ИВИС»	https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	http://magtu.ru:8085/marcweb2/Default.asp
Федеральный образовательный портал – Экономика. Социология. Менеджмент	http://ecsocman.hse.ru/
Университетская информационная система РОССИЯ	https://uisrussia.msu.ru
Международная наукометрическая реферативная и полнотекстовая база данных научных изданий «Web of science»	http://webofscience.com
Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных	http://scopus.com
Международная база полнотекстовых журналов Springer Journals	http://link.springer.com/
Международная коллекция научных протоколов по различным отраслям знаний	http://www.springerprotocols.com/
Международная база научных материалов в области физических наук и инжиниринга	http://materials.springer.com/
Международная база справочных изданий по всем отраслям знаний SpringerReference	http://www.springer.com/references
Международная реферативная база данных по чистой и прикладной математике zbMATH	http://zbmath.org/
Международная реферативная и полнотекстовая справочная база данных научных изданий «Springer Nature»	https://www.nature.com/siteindex
Архив научных журналов «Национальный электронно-информационный консорциум» (НП НЭИКОН)	https://archive.neicon.ru/xmlui/

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.

Характеристика курсовой работы

При изучении дисциплины «Оптимальные режимы работы генерирующих источников» студенты выполняют курсовую работу. Назначение курсовой работы состоит в усвоении методов оптимизации режимов систем электроснабжения и электроэнергетических систем, методов выбора оптимального состава работающих агрегатов электростанций и разработки оптимальных планов развития электроэнергетических систем и более глубоком усвоении вопросов, связанных с практическим применением методов оптимизации.

На выполнение курсовой работы отводится 24 часа самостоятельной работы в 3 семестре.

Курсовая работа содержит следующие разделы:

1) построение эквивалентных расходных характеристик и характеристик относительных приростов тепловых электростанций. Расчет оптимального распределения активной мощности методом относительных приростов;

2) расчет оптимального распределения активной мощности методом динамического программирования в системе электроснабжения с теплофикационными электростанциями;

3) выбор оптимального состава работающих агрегатов с использованием критерия выгоды отключения;

4) выбор оптимального состава работающих агрегатов методом ветвей и границ;

5) расчет оптимального распределения активной мощности градиентным методом для концентрированной системы;

6) расчет оптимального распределения активных мощностей методом приведенного градиента с учетом сетевых ограничений;

7) выбор оптимальной стратегии развития генерирующих мощностей методом динамического программирования.

Каждому студенту выдается индивидуальное задание. Ежедневно проводится контроль выполнения разделов проекта с обязательной отметкой о выполненном объеме. С целью повышения эффективности выполнения курсовой работы регулярно проводятся индивидуальные консультации. При выполнении курсовой работы необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой и другими источниками. По окончании выполнения курсовой работы преподавателем назначается дата защиты.

Для защиты курсовой работы необходимо получить допуск преподавателя. Для этого необходимо за пять дней до защиты с целью идентификации несоответствий и выявления ошибок необходимо представить пояснительную записку в соответствии с нормативными документами. Выявленные ошибки должны быть качественно устранены в определенные преподавателем сроки. После доработки студентом курсовой работы при отсутствии замечаний со стороны преподавателя студент допускается к защите.

Защита курсовой работы проводится в форме собеседования. Защита включает в себя устное сообщение в соответствии с результатами курсовой работы. По окончании доклада преподавателем задаются дополнительные вопросы. По результатам защиты и хода выполнения курсовой работы выставляется итоговая оценка.

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 $V_1=0,018P_1^2-0,244P_1+10,09$ $P_{\min}=4$ МВт $P_{\max}=80$ МВт Стоимость угля 2360 руб./т</p> <p>КЭС №2 $V_2=0,018P_2^2-0,029P_2+4,863$</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		$P_{\min}=5$ 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 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>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																																									

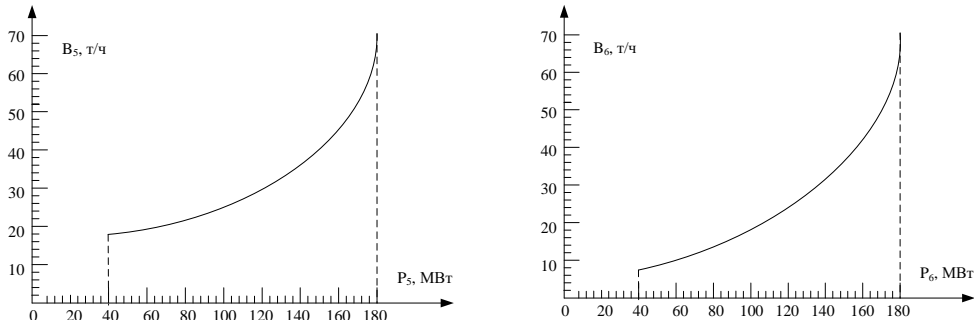
Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>В качестве критерия оптимальности принять минимум стоимости расхода свежего пара. Считать, что стоимость пара на всех точках характеристики одинакова и равна для первого агрегата 160 руб./т, для второго агрегата – 250 руб./т, для 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 configuration with the following components and values:</p> <ul style="list-style-type: none"> AC-300/48: Vertical lines on the left and right sides, and diagonal lines forming a triangle. AC-300/66: Horizontal lines at the top and middle. AC-240/56: Horizontal lines at the top and middle, and a diagonal line. AC-185/43: Horizontal line at the bottom and a vertical line on the right. <p>Complex power values (A) are indicated at various nodes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Top-right node: $850 + j260$ A Center node: $700 + j350$ A Bottom-center node: $400 + j300$ A Right node: $980 + j570$ A <p>External power sources are labeled S_{r1}, S_{r2}, S_{r3}, and S_{r4}.</p>

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> <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 graphs, each representing a generator's characteristic:</p> <ul style="list-style-type: none"> Graph 1 (top-left): Y-axis $d_1, \text{т}/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$, X-axis $P_1, \text{МВт}$. The curve starts at $P_1 = 5$ and rises to $d_1 = 25$ at $P_1 = 35$. Graph 2 (top-right): Y-axis $d_2, \text{т}/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$, X-axis $P_2, \text{МВт}$. The curve starts at $P_2 = 5$ and rises to $d_2 = 15$ at $P_2 = 35$. Graph 3 (bottom-left): Y-axis $d_3, \text{т}/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$, X-axis $P_3, \text{МВт}$. The curve starts at $P_3 = 15$ and rises to $d_3 = 25$ at $P_3 = 35$. Graph 4 (bottom-right): Y-axis $d_4, \text{т}/(\text{МВт}\cdot\text{ч})$, X-axis $P_4, \text{МВт}$. The curve starts at $P_4 = 10$ and rises to $d_4 = 25$ at $P_4 = 25$.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p data-bbox="1025 308 2101 416">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 432 2045 1137"> <p>The figure contains four separate graphs, each representing an energy unit:</p> <ul style="list-style-type: none"> Graph 1 (top-left): Y-axis is $B_1, \text{т/ч}$ (0 to 25), X-axis is $P_1, \text{МВт}$ (0 to 70). A curve starts at $P_1 \approx 10, B_1 \approx 5$ and rises to $P_1 \approx 60, B_1 \approx 25$. A vertical dashed line is at $P_1 = 60$. Graph 2 (top-right): Y-axis is $B_2, \text{т/ч}$ (0 to 25), X-axis is $P_2, \text{МВт}$ (0 to 70). A curve starts at $P_2 \approx 10, B_2 \approx 5$ and rises to $P_2 \approx 60, B_2 \approx 22$. A vertical dashed line is at $P_2 = 60$. Graph 3 (bottom-left): Y-axis is $B_3, \text{т/ч}$ (0 to 50), X-axis is $P_3, \text{МВт}$ (0 to 140). A curve starts at $P_3 \approx 20, B_3 \approx 15$ and rises to $P_3 \approx 140, B_3 \approx 45$. A vertical dashed line is at $P_3 = 140$. Graph 4 (bottom-right): Y-axis is $B_4, \text{т/ч}$ (0 to 60), X-axis is $P_4, \text{МВт}$ (0 to 140). A curve starts at $P_4 \approx 40, B_4 \approx 15$ and rises to $P_4 \approx 140, B_4 \approx 60$. 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 1318 2092 1353"> <tr> <td data-bbox="1032 1318 1211 1353">План</td> <td data-bbox="1211 1318 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>																																																													
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">№ станции</th> <th colspan="6">Вводимая мощность, МВт</th> </tr> <tr> <th>0</th> <th>100</th> <th>200</th> <th>300</th> <th>400</th> <th>500</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>21</td> <td>31</td> <td>36</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>0</td> <td>12</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>29</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>0</td> <td>14</td> <td>18</td> <td>29</td> <td>32</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>25</td> <td>28</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0</td> <td>18</td> <td>24</td> <td>28</td> <td>32</td> <td>38</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>22</td> <td>28</td> <td>34</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table>					№ 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
№ 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 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.

Курсовая работа выполняется под руководством преподавателя, в процессе его выполнения обучающийся развивает навыки к научно-исследовательской деятельности, закрепляя и одновременно расширяя знания, полученные при изучении курса «Оптимальные режимы систем электроснабжения». При выполнении курсовой работы обучающийся должен показать свое умение работать с литературными источниками, а также возможность систематизировать и анализировать фактический материал и самостоятельно творчески его осмысливать.

В процессе подготовки курсовой работы обучающийся должен разобраться в теоретических вопросах, самостоятельно проанализировать практический материал, подробно проработать и обосновать практические предложения.

Показатели и критерии оценивания курсовой работы:

– на оценку **«отлично»** (5 баллов) – работа выполнена в соответствии с заданием, обучающийся показывает высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений;

– на оценку **«хорошо»** (4 балла) – работа выполнена в соответствии с заданием, обучающийся показывает знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам;

– на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – работа выполнена в соответствии с заданием, обучающийся показывает знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – задание преподавателя выполнено частично, в процессе защиты работы обучающийся допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.

– на оценку **«неудовлетворительно»** (1 балл) – задание преподавателя выполнено частично, обучающийся не может воспроизвести и объяснить содержание, не может показать интеллектуальные навыки решения поставленной задачи.