

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
"Амурский государственный университет"

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и  
научной работе

Лейфа А.В. Лейфа

« 1 » сентября 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
«МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) образовательной программы – Электроэнергетические системы и сети

Квалификация выпускника – Магистр

Год набора – 2022

Форма обучения – Очная

Курс 2 Семестр 3

Зачет 3 сем

Общая трудоемкость дисциплины 72.0 (академ. час), 2.00 (з.е)

Составитель А.Н. Козлов, доцент, канд. техн. наук

Энергетический факультет

Кафедра энергетики

Рабочая программа составлена на основании Федерального государственного образовательного стандарта ВО для направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника утвержденного, приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.18 № 147

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры энергетики

01.09.2022 г. , протокол № 1

Заведующий кафедрой Савина Н.В. Савина

СОГЛАСОВАНО

Учебно-методическое управление

Чалкина Н.А. Чалкина

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Научная библиотека

Петрович О.В. Петрович

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Выпускающая кафедра

Савина Н.В. Савина

« 1 » сентября 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Центр цифровой трансформации и  
технического обеспечения

Тодосейчук А.А. Тодосейчук

« 1 » сентября 2022 г.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цель дисциплины:

Изучение содержания и принципов решения основных энергетических задач по энергоснабжению потребителей в современных условиях функционирования электроэнергетического рынка, вопросов оптимизации энергетических режимов, а также методов решения задач по надежности электроэнергетических систем и противоаварийному управлению.

### Задачи дисциплины:

Овладение принципами управления режимами электроэнергетических систем, выбора их рациональной структуры по типам электростанций и оборудования энергосистем, определения наиболее экономичных режимов работы при обеспечении необходимых требований по надежности эксплуатации, экологичности и бесперебойности электроснабжения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Методы оптимизации в электроэнергетических системах» относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Изучение основ оптимизации режимов работы электроэнергетических систем и систем электроснабжения базируется на сведениях, излагаемых в дисциплинах: «Электротехническое оборудование последнего поколения» и «Автоматизированные системы управления технологическими процессами в электроэнергетических системах». Знания, полученные при освоении дисциплины, могут быть востребованы при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ

### 3.1 Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения

| Код и наименования профессиональной компетенции   | Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции   |
|---|---|
| ПК-1<br>Способен проводить научные исследования объектов профессиональной деятельности  | ИД-4ПК-1. Разрабатывает и применяет модели исследуемых процессов и объектов профессиональной деятельности, оптимизирует параметры   |
| ПК--2<br>Способен определять эффективные режимы работы объектов профессиональной деятельности, планировать и управлять режимами работы объектов профессиональной деятельности | ИД-2ПК-2. Определяет и реализует эффективные режимы объектов профессиональной деятельности<br>ИД-3ПК-2. Планирует и управляет режимами работы объектов профессиональной деятельности<br>ИД-5ПК-2. Применяет методы и средства автоматизации при управлении режимами работы объектов профессиональной деятельности |

## 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2.00 зачетных единицы, 72.0



|    |                                       |   |  |      |      |     |     |     |     |     |  |  |      |                                      |
|----|---------------------------------------|---|--|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|------|--------------------------------------|
|    | танций                                |   |  |      |      |     |     |     |     |     |  |  |      |                                      |
| 10 | Задачи диспетчерской службы           | 3 |  |      | 2    |     |     |     |     |     |  |  | 6    | Отчет по практическом у занятию (ПЗ) |
| 11 | Характеристик и электро станций       | 3 |  |      | 2    |     |     |     |     |     |  |  | 6    | Отчет по практическом у занятию (ПЗ) |
| 12 | Выбор состава агрегатов энергосистемы | 3 |  |      | 2    |     |     |     |     |     |  |  | 7.8  |                                      |
| 13 | Зачет                                 | 3 |  |      |      |     |     |     |     | 0.2 |  |  |      |                                      |
|    | Итого                                 |   |  | 14.0 | 14.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 |  |  | 43.8 |                                      |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Лекции

| № п/п | Наименование темы (раздела)                            | Содержание темы (раздела)  |
|-------|--|--|
| 1     | Электроэнергетические системы и принципы их работы     | Место дисциплины в учебном плане. Объем (в часах) лекций и практических занятий. Отчетность. Рекомендуемая литература. Энергетическая система. Инновационные направления развития электроэнергетических систем. Режимные задачи, их состав и содержание. Учет требований потребителей к энергоснабжению при расчете режимов ЭЭС. Виды режимов.   |
| 2     | Управление режимами ЭЭС                                | Принципы управления режимами. Средства и системы правления энергетическими объектами. Управление режимами на электроэнергетическом рынке. Оперативно- диспетчерское управление режимами. Автоматическое управление режимами.   |
| 3     | Особенности режимов ЭЭС на электроэнергетическом рынке | Некоторые особенности коммерческого управления режимами ЭЭС. Среда деятельности системы. Общие сведения об электроэнергетическом рынке. Учет особенностей электроэнергетического рынка при оптимизации режимов ЭЭС. Рыночная и контрактная форма взаимоотношений на электроэнергетическом рынке.   |
| 4     | Балансы мощности и энергии                             | Структура балансов мощности и энергии системы. Участие станций в энергетических балансах системы. Методические основы составления баланса мощности. Особенности составления баланса электроэнергии. Надежность энергетических балансов и обеспеченность работы ЭЭС. Гидростанции с различной степенью регулирования стока в энергетических балансах. Баланс реактивной мощности. Резервы мощности. |
| 5     | Математическая формулировка задач оптимизации          | Методы нелинейного программирования. Градиентный метод. Метод Ньютона. Учет ограничений в виде равенств. Учет ограничений в виде неравенств  |

|   |   |  |
|---|---|--|
| 6 | Основы оптимального регулирования режимов                     | Характеристики устройств для регулирования режима в сети по уровням напряжения, оптимизация режима сети по уровням напряжения и реактивной мощности, математическая формулировка задачи, методы ее решения. Задачи оптимизации, перспективное проектирование электроэнергетических систем.   |
| 7 | Оптимизация распределения нагрузки энергосистем               | Исходная информация для решения задачи оптимизации режимов. Метод неопределенных множителей Лагранжа, алгоритм расчета. Постановка задачи распределения активной нагрузки между ТЭС, система допущений, формула потерь в сетях, допущения. Оптимизация режима системы при наличии ГЭС, математическая формулировка задачи оптимального распределения нагрузок между станциями в такой системе.                                     |
| 8 | Оптимизация долгосрочных режимов энергосистемы                | Текущее планирование режимов системы, оптимизация балансов условного и натурального топлива. Долгосрочное планирование балансов мощности и выработки электроэнергии в системе. Оптимальное планирование ремонтов энергетического оборудования.   |
| 9 | Оптимальное использование водных ресурсов гидроэлектростанций | Требования к режимам гидроэлектростанции энергетических и водохозяйственных систем. Основные принципы управления режимами ГЭС. Показатели оценки режимов ГЭС. Оптимизация длительных режимов ГЭС. Постановка задачи оптимизации долгосрочных режимов ГЭС. Оптимизация режима водохранилища одиночной ГЭС. Особенности оптимизации режимов каскада ГЭС. Схема расчетов по рациональному использованию гидроэнергетических ресурсов. |

## 5.2. Практические занятия

| Наименование темы   | Содержание темы  |
|---|--|
| Оптимизация режима сети по уровням напряжения и реактивной мощности | Распределение реактивных нагрузок. Возможность отдельного решения задачи оптимизации режима по активной и реактивной мощности. |
| Выбор состава агрегатов в тепловой энергосистеме.                   | Построение эквивалентных характеристик станции при заданном составе агрегатов.   |
| Регуляторы частоты  | Устройство и принцип работы регуляторов частоты на турбо- и гидроагрегатах   |
| Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ).    | Распределение реактивных нагрузок. Возможность отдельного решения задачи оптимизации режима по активной и реактивной мощности. |
| Оптимизация распределения активной нагрузки между ТЭС               | Задача выбора состава агрегатов станции, декомпозиция задачи. Внутростанционная оптимизация режимов                            |
| Оптимизация режима системы при наличии ГЭС                          | Внутростанционная оптимизация режима ГЭС. Упрощенные методы управления агрегатами ГЭС.   |

|   |   |
|---|---|
| Распределение нагрузки при переменном напряжении ГЭС. | Основные принципы управления режимами ГЭС.<br>Показатели оценки режимов ГЭС |
|---|---|

## 6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

| № п/п | Наименование темы (раздела)                     | Содержание темы (раздела)               | Трудоемкость в академических часах |
|-------|---|---|------------------------------------|
| 1     | Математическая формулировка задач оптимизации   | Отчеты по выполнению практических работ | 6                                  |
| 2     | Основы оптимального регулирования режимов       | Отчеты по выполнению практических работ | 6                                  |
| 3     | Оптимизация распределения нагрузки энергосистем | Отчеты по выполнению практических работ | 6                                  |
| 4     | Оптимизация долгосрочных режимов энергосистемы  | Отчеты по выполнению практических работ | 6                                  |
| 5     | Задачи диспетчерской службы                     | Отчеты по выполнению практических работ | 6                                  |
| 6     | Характеристики электростанций                   | Отчеты по выполнению практических работ | 6                                  |
| 7     | Выбор состава агрегатов энергосистемы           | Отчеты по выполнению практических работ | 7.8                                |

## 7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации дисциплины «Методы оптимизации в электроэнергетических системах» используются традиционные и современные образовательные технологии. Из современных образовательных технологий применяются информационные и компьютерные технологии с привлечением к преподаванию мультимедийной техники, технологии активного обучения, проблемного обучения. Применяются следующие активные и интерактивные формы проведения занятий: лекции с разбором конкретных ситуаций, проблемные ситуации, компьютерные симуляции.

Самостоятельная работа студентов подразумевает работу под руководством преподавателя: консультации и помощь при выполнении индивидуального задания, консультации по разъяснению материала, вынесенного на самостоятельную проработку, индивидуальную работу студента, в том числе в компьютерном классе ЭФ или в библиотеке.

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: зачет (3 семестр).

Вопросы к зачету (3 семестр)

1. Инновационные направления развития электроэнергетических систем
2. Режимные задачи, их состав и содержание
3. Учет требований потребителей к энергоснабжению при расчете режимов ЭЭС
4. Принципы управления режимами
5. Средства и системы управления энергетическими объектами
6. Управление режимами на электроэнергетическом рынке
7. Оперативно-диспетчерское управление режимами
8. Автоматическое управление режимами
9. Особенности коммерческого управления режимами ЭЭС
10. Общие сведения об электроэнергетическом рынке
11. Учет особенностей электроэнергетического рынка при оптимизации режимов ЭЭС
12. Рыночная и контрактная форма взаимоотношений на электроэнергетическом рынке
13. Структура балансов мощности и энергии системы
14. Участие станций в энергетических балансах системы
15. Методические основы составления баланса мощности
16. Особенности составления баланса электроэнергии
17. Надежность энергетических балансов и обеспеченность работы ЭЭС
18. Гидростанции с различной степенью регулирования стока в энергетических балансах
19. Баланс реактивной мощности
20. Резервы мощности
21. Задачи оптимизации. Методы оптимизации
22. Перспективное проектирование электроэнергетических систем
23. Оптимизация режима сети по уровням напряжения и реактивной мощности
24. Характеристики устройств для регулирования режима в сети по уровням напряжения
25. Реализация распределения нагрузки при эксплуатации электростанций и энергосистем
26. Задачи диспетчерской службы
27. Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ)
28. Метод неопределенных множителей Лагранжа
29. Система допущений при постановке задачи распределения активной нагрузки между ТЭС
30. Оптимизация режима системы при наличии ГЭС
31. Распределение нагрузки при переменном напоре ГЭС
32. Распределение реактивных нагрузок
33. Раздельное решение задачи оптимизации режима по активной и реактивной мощности
34. Упрощенный алгоритм комплексной оптимизации режима энергосистемы
35. Распределение нагрузки между агрегатами электростанций
36. Построение эквивалентных характеристик станции при заданном составе агрегатов
37. Внутростанционная оптимизация режимов ТЭС
38. Выбор состава агрегатов в тепловой энергосистеме
39. Внутростанционная оптимизация режима ГЭС
40. Упрощенные методы управления агрегатами ГЭС
41. Постановка задачи оптимизации долгосрочных режимов ГЭС
42. Оптимизация режима водохранилища одиночной ГЭС
43. Особенности оптимизации режимов каскада ГЭС
44. Текущее планирование режимов системы
45. Оптимизация балансов условного и натурального топлива



46. Долгосрочное планирование балансов мощности и выработки электроэнергии в системе

47. Оптимальное планирование ремонтов энергетического оборудования

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) литература

1. Савина, Наталья Викторовна. Применение теории вероятностей и методов оптимизации в системах электроснабжения [Текст] : учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ / Н. В. Савина – Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007. – 272 с.
2. Токарев, В. В. Методы оптимизации : учебное пособие для вузов / В. В. Токарев. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 440 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04712-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492834> (дата обращения: 30.03.2022).
3. Методы оптимизации : учебник и практикум для вузов / Ф. П. Васильев, М. М. Потапов, Б. А. Будак, Л. А. Артемьева ; под редакцией Ф. П. Васильева. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 375 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-6157-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/489397> (дата обращения: 30.03.2022).
4. Чемборисова, Наиля Шавкатовна. Оптимизация режимов электроэнергетических систем и сетей [Текст] : учеб. пособие / Н. Ш. Чемборисова, А. С. Степанов, В. М. Пейзель ; АмГУ, Эн.ф. - Благовещенск : Изд-во Амур.гос. ун-та, 2006. - 104 с.
5. Методы оптимизации развития электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам / АмГУ, Эн.ф.; сост.: Н. Ш. Чемборисова, А. Н. Козлов. - 3-е изд., испр.. - Благовещенск: Изд-во Амур.гос. ун-та, 2017. - 29 с  
Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7751.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7751.pdf)
6. Методы оптимизации развития электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : метод. указания к практ. занятиям для магист. программы «Электроэнергет. системы и сети»./ АмГУ, Эн. ф.; сост.: А. Н. Козлов. - 2-е изд., испр. . - Благовещенск: Изд-во Амур.гос. ун-та, 2017. - 20 с  
Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/7756.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/7756.pdf)
7. Оптимизация в электроэнергетических системах. Практические занятия : учебное пособие для вузов / А. Г. Русина [и др.]; под редакцией А. Г. Русиной. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 158 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04509-3. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/492075> (дата обращения: 30.03.2022).
8. Методы моделирования и оптимизации в задачах электроэнергетики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / АмГУ, Эн.ф. ; сост. Л. А. Гурина. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2012. - 91 с. Режим доступа: [http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU\\_Edition/3622.pdf](http://irbis.amursu.ru/DigitalLibrary/AmurSU_Edition/3622.pdf)

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

| № | Наименование   | Описание   |
|---|--|--|
| 1 | Операционная система MS Windows 10 Education, Pro      | DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) Renewal по договору - Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 30 июня 2019 года. |
| 2 | MS Office 2013/2016 PRO PLUS Academic                  | Сублицензионный договор № Tr000027462 от 10.12.2015.   |
| 3 | MS Visio 2019  | DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years) Renewal по договору – Сублицензионный договор № Tr000074357/КНВ 17 от 30 июня 2019 года. |
| 4 | Автоматизированная информационная библиотечная система | Лицензия коммерческая по договору №945 от 28 ноября 2011 года.   |

|    |   |  |
|----|---|--|
|    | «ИРБИС 64»  |  |
| 5  | RastrWin3 Базовый комплекс  | 10 лиц. По договору №0323100012213000182-0001592-01/1144 от 31.12.2013.  |
| 6  | Программная система «Антиплагиат.ВУЗ»                               | Коммерческая лицензия по подписке по лицензионному договору №200 от 04 мая 2016 года.  |
| 7  | <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a> | Электронно-библиотечная система IPRbooks – научно-образовательный ресурс для решения задач обучения в России и за рубежом. Уникальная платформа ЭБС IPRbooks объединяет новейшие информационные технологии и учебную лицензионную литературу. Контент ЭБС IPRbooks отвечает требованиям стандартов высшей школы, СПО, дополнительного и дистанционного образования. ЭБС IPRbooks в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования |
| 8  | <a href="http://e.lanbook.com/">http://e.lanbook.com/</a>           | Электронная библиотечная система «Издательства Лань», тематические пакеты: математика, физика, инженерно-технические науки, химия  |
| 9  | <a href="https://urait.ru">https://urait.ru</a>                     | Электронная библиотечная система «Юрайт». ЭБС «Юрайт» в полном объеме соответствует требованиям законодательства РФ в сфере образования  |
| 10 | <a href="https://elibrary.ru">https://elibrary.ru</a>               | Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - российский информационно-аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования   |

в) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

| № | Наименование  | Описание  |
|---|---|---|
| 1 | <a href="https://gisee.ru/">https://gisee.ru/</a>   | Государственная информационная система в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Экспертный портал по вопросам энергосбережения.   |
| 2 | <a href="http://drsk.ru">http://drsk.ru</a>   | Официальный сайт Акционерное общество "Дальневосточная распределительная сетевая компания"  |
| 3 | <a href="http://www.rushydro.ru/company/">http://www.rushydro.ru/company/</a>   | Официальный сайт ПАО «РусГидро»   |
| 4 | <a href="https://www.gis-tek.ru/">https://www.gis-tek.ru/</a>   | ГИС ТЭК – федеральная государственная информационная система, содержащая информацию о состоянии и прогнозе развития топливно-энергетического комплекса РФ.  |
| 5 | <a href="https://www.gost.ru/portal/gost/">https://www.gost.ru/portal/gost/</a>                                       | Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)  |
| 6 | <a href="http://www.fsk-ees.ru/about/standards_organization/">http://www.fsk-ees.ru/about/standards_organization/</a> | Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы. Публичное акционерное общество «создано в соответствии с программой реформирования электроэнергетики Российской Федерации как организация по управлению Единой национальной (общероссийской) электрической сетью (ЕНЭС) с целью ее сохранения и развития. |
| 7 | <a href="https://minenergo.gov.ru/">https://minenergo.gov.ru/</a>   | Министерство энергетики Российской Федерации  |

## **10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Занятия по дисциплине «Методы оптимизации в электроэнергетических системах» проводятся в специализированных помещениях, представляющих собой аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. Все помещения, в которых проводятся занятия, соответствуют действующим противопожарным правилам и нормам.

В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства, интерактивная доска. Материал лекций представлен в виде презентаций в Power Point. Для проведения лабораторных и практических занятий и в самостоятельной работе студентов используются технологические схемы, модели процессов. Практические работы проводятся с использованием стационарного и переносного компьютерных классов кафедры энергетики.

Самостоятельная работа обучающихся осуществляется в помещениях, оснащенных компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.