

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ**  
**ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ**

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.06
Трудоемкость в зачетных единицах:	3 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	3 семестр - 32 часа;
Практические занятия	3 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	3 семестр - 16 часов;
Консультации	3 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	3 семестр - 149,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Тестирование	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	3 семестр - 0,5 часа;

Москва 2020

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Илюшин П.В.
	Идентификатор	R59377b9d-IliushinPV-8d3988a3

(подпись)

П.В. Илюшин

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Пугачев Р.В.
	Идентификатор	Rf46e5256-PugachevRV-eb46307e

(подпись)

Р.В. Пугачев

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шестопалова Т.А.
	Идентификатор	Rca486bb1-ShestopalovaTA-2b9205

(подпись)

Т.А.

Шестопалова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Формирование у будущих специалистов в области интеллектуальных энергосистем с ВИЭ комплекса знаний в вопросах трансформации традиционных энергосистем, основанных на принципах декарбонизации, децентрализации, цифровизации и дерегулирования

### Задачи дисциплины

- получение знаний в области оценки влияния режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ;
- приобретение умений в области оценки влияния режимов работы интеллектуальных энергосистем на возможности функционирования ВИЭ и выдачу максимальной мощности;
- получение знаний о принципах выбора и основных технических характеристиках современного оборудования, применяемого в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ;
- получить знания о ВИЭ и их технических характеристиках, особенностях и возможностях;
- приобрести знания и практические навыки по проектированию систем ВИЭ с учетом географического и топологического расположения объекта электроэнергоснабжения ВИЭ;
- приобретение умения рассчитывать авартию (степень независимости) системы ВИЭ;;
- научиться принципам интеграции ВИЭ в современные, интеллектуальные, умные энергетические сети „Smart Grid“;;
- познакомиться с особенностями автоматического регулирования энергетических сетей при использовании ВИЭ и применением современных цифровых методов (искусственный интеллект)..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен участвовать в проведении планирования и ведения режима работы энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии	ИД-2ПК-2 Осуществляет планирование и ведение режима работы энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии	знать: - математические методы и основные алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ;; - назначение, области применения и основные технические характеристики современного оборудования интеллектуальных энергосистем с ВИЭ;; - особенности режимов работы (параллельный; изолированный; островной; автономный) интеллектуальных энергосистем с ВИЭ;; - архитектуры и принципы функционального взаимодействия элементов цифровых платформ и систем автоматического управления интеллектуальных энергосистем с ВИЭ..  уметь: - эффективно использовать базовые алгоритмы цифровых платформ при проектировании систем

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		автоматического управления отдельными элементами интеллектуальных энергосистем с ВИЭ; - разрабатывать блок-схемы отдельных алгоритмов интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ; - осуществлять подбор современного оборудования для проектов нового строительства и реконструкции интеллектуальных энергосистем с ВИЭ; - выполнять оценку влияния режимов работы интеллектуальных энергосистем на возможность функционирования ВИЭ и выдачу максимальной мощности.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ	42	3	6	8	4	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 1-315
1.1	Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ	42		6	8	4	-	-	-	-	-	24	-	
2	Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ	48		10	-	4	-	-	-	-	-	34	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [4], 1-364
2.1	Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ	48		10	-	4	-	-	-	-	-	34	-	
3	Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ	36		8	-	4	-	-	-	-	-	24	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [3], 1-464
3.1	Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ	36		8	-	4	-	-	-	-	-	24	-	

4	Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ	54		8	8	4	-	-	-	-	-	34	-	<i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [2], 1-590
4.1	Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ	54		8	8	4	-	-	-	-	-	34	-	
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>216.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>116</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>216.0</b>		<b>32</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>149.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### 1. Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ

##### 1.1. Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ

1.1 Интеллектуальные энергосистемы в России и мире: основные понятия, цели внедрения, потенциал развития. 1.2 Режимы работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ: особенности, влияние на функционирование ВИЭ. 1.3 Способы и средства регулирования частоты и напряжения в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ..

#### 2. Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ

##### 2.1. Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ

2.1. Генерирующие установки инверторного включения: особенности функционирования в интеллектуальных энергосистемах. 2.2. Устройства синхронизированных векторных измерений: типы, виды, способы эффективного применения в реализации интеллектуальных алгоритмов. 2.3. Электротехнические устройства с элементами силовой электроники для управления режимами и обеспечения качества электроэнергии в интеллектуальных энергосистемах. 2.4. Системы накопления электроэнергии в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ: виды, способы эффективного применения. 2.5. Мобильные генерирующие установки: опыт использования и перспективы применения в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ.

#### 3. Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ

##### 3.1. Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ

3.1. Цифровая обработка сигналов в многофункциональных цифровых устройствах интеллектуальных энергосистем с ВИЭ. 3.2. Цифровые двойники и цифровые тени: виды, способы эффективного применения в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ. 3.3. Алгоритм автоматической синхронизации объектов генерации в интеллектуальных энергосистемах на основе децентрализованного подхода. 3.4. Методы обеспечения информационной безопасности в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ (выявление уязвимостей, противодействие кибератакам).

#### 4. Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ

##### 4.1. Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ

4.1. Локальные интеллектуальные энергосистемы на базе ВИЭ: локальные и общесистемные эффекты. 4.2. Отечественная цифровая платформа для агрегирования распределенных энергоресурсов в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ. 4.3. Мультиагентное управление в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ на базе технологий искусственного интеллекта. 4.4. Система дистанционного управления резервными источниками питания: особенности, способы реализации и перспективы применения в интеллектуальных энергосистемах.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Балансы электроэнергии и мощности в интеллектуальных энергосистемах, роль систем прогнозирования выработки ВИЭ.;

2. Способы и средства обеспечения устойчивости нагрузки по напряжению в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ.;
3. Управление спросом на электроэнергию (агрегаторы управления спросом): роль, требования, эффекты.;
4. Способы и средства обеспечения надежного электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных ситуациях в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ..

### **3.4. Темы лабораторных работ**

1. Режимы работы интеллектуальных энергосистем с ветровыми электростанциями при интеграции различных типов ветроэнергетических установок.;
2. Режимы работы интеллектуальных энергосистем с солнечными электростанциями.;
3. Интеллектуальное управление в энергосистемах с разнородными ВИЭ.;
4. Базовые алгоритмы отечественной цифровой  платформа для агрегирования распределенных энергоресурсов в интеллектуальных энергосистемах с ВИЭ.

### **3.5 Консультации**

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
<b>Знать:</b>						
архитектуры и принципы функционального взаимодействия элементов цифровых платформ и систем автоматического управления интеллектуальных энергосистем с ВИЭ.	ИД-2ПК-2				+	Тестирование/Тест «Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ»
особенности режимов работы (параллельный; изолированный; островной; автономный) интеллектуальных энергосистем с ВИЭ;	ИД-2ПК-2	+				Тестирование/Тест «Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ»
назначение, области применения и основные технические характеристики современного оборудования интеллектуальных энергосистем с ВИЭ;	ИД-2ПК-2		+			Тестирование/Тест «Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ»
математические методы и основные алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ;	ИД-2ПК-2			+		Тестирование/Тест «Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ»
<b>Уметь:</b>						
выполнять оценку влияния режимов работы интеллектуальных энергосистем на возможность функционирования ВИЭ и выдачу максимальной мощности	ИД-2ПК-2	+				Тестирование/Тест «Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ»
осуществлять подбор современного оборудования для проектов нового строительства и реконструкции интеллектуальных энергосистем с ВИЭ	ИД-2ПК-2		+			Тестирование/Тест «Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ»
разрабатывать блок-схемы отдельных алгоритмов интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ	ИД-2ПК-2			+		Тестирование/Тест «Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ»
эффективно использовать базовые алгоритмы цифровых	ИД-2ПК-2				+	Тестирование/Тест «Цифровые платформы и

платформ при проектировании систем автоматического управления отдельными элементами интеллектуальных энергосистем с ВИЭ						системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ»
---	--	--	--	--	--	---

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

**3 семестр**

Форма реализации: Письменная работа

1. Тест «Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ» (Тестирование)
2. Тест «Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ» (Тестирование)
3. Тест «Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ» (Тестирование)
4. Тест «Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ» (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №3)

Согласно положению о БАРС

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

## **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **5.1 Печатные и электронные издания:**

1. П. П. Безруких- "Ветроэнергетика. Справочное и методическое пособие.", Издательство: "Энергия", Москва, 2010 - (315 с.)  
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=58344;>
2. Певзнер, Л. Д. Практикум по теории автоматического управления : учебное пособие для вузов по направлениям 550200, 651900 "Автоматизация и управление" / Л. Д. Певзнер . – М. : Высшая школа, 2006 . – 590 с. - ISBN 5-06-004430-0 .;
3. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB : учебное пособие для вузов по специальности "Автоматизация технологических процессов и производств (энергетика)", направление "Автоматизированные технологии и производства" / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко . – 4-е изд., стереотип . – СПб. : Лань-Пресс, 2017 . – 464 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-1255-6 .;
4. Илюшин, П. В. Автоматика управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией : монография / П. В. Илюшин, А. Л. Куликов . – Нижний Новгород : НИУ РАНХиГС, 2019 . – 364 с. - ISBN 978-5-00036-236-5 ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;

4. Майнд Видеоконференции.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>

### 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Г-204, Учебная лаборатория "Возобновляемые источники энергии"	стол учебный, стул, трибуна, шкаф для документов, вешалка для одежды, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, указка лазерная, лабораторный стенд, ноутбук, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Г-321, Учебная лаборатория "Интеллектуальная энергетическая система с возобновляемыми источниками энергии"	стол преподавателя, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, стол для совещаний, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, лабораторный стенд, компьютер персональный, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Г-321, Учебная лаборатория "Интеллектуальная энергетическая система с возобновляемыми источниками энергии"	стол преподавателя, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, стол для совещаний, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная передвижная, лабораторный стенд, компьютер персональный, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Г-204, Учебная лаборатория "Возобновляемые источники энергии"	стол учебный, стул, трибуна, шкаф для документов, вешалка для одежды, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, указка лазерная, лабораторный стенд, ноутбук, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	Г-206, Аспирантская кафедры "ГВИЭ"	кресло рабочее, стул, шкаф для документов, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	Г-209, Преподавательская каф. "ГВИЭ"	стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, ноутбук, кондиционер, книги, учебники,

		пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Г-225, Кладовая кафедры "ГВИЭ"	стеллаж для хранения инвентаря, стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, набор инструментов для профилактического обслуживания оборудования, наборы демонстрационного оборудования, архивные документы, дипломные и курсовые работы студентов, канцелярский принадлежности, запасные комплектующие для оборудования, сменные запчасти для ЭВМ

## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Интеллектуальные энергосистемы с возобновляемыми источниками энергии

(название дисциплины)

#### 3 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Тест «Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ» (Тестирование)
- КМ-2 Тест «Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ» (Тестирование)
- КМ-3 Тест «Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ» (Тестирование)
- КМ-4 Тест «Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ» (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ					
1.1	Особенности режимов работы интеллектуальных энергосистем с ВИЭ		+			
2	Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ					
2.1	Современное оборудование интеллектуальных энергосистем с ВИЭ			+		
3	Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ					
3.1	Математические методы и алгоритмы интеллектуального управления энергосистемами с ВИЭ				+	
4	Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ					
4.1	Цифровые платформы и системы автоматического управления интеллектуальными энергосистемами с ВИЭ					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25