

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
Филиал в г. Душанбе (Республика Таджикистан)**

**Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Гидроэлектростанция**

**Уровень образования: бакалавриат**

**Форма обучения: очная**



**Рабочая программа дисциплины  
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭНЕРГОУСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ  
ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы</b>	<b>Обязательная</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану</b>	<b>Б1. В.20</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах</b>	<b>8 семестр – 4</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану</b>	<b>144</b>
<b>Лекции</b>	<b>8 семестр – 32 часа</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>8 семестр – 16 часов</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>8 семестр – 60 часа</b>
<b>включая:</b>	
<b>РГР</b>	<b>8 семестр – 48 часов</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>8 семестр – 2,5 часа</b>
<b>Контроль</b>	<b>8 семестр – 33,5 часа</b>

**Душанбе 2025 г**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

доцент кафедры электроэнергетики,  
кандидат технических наук

(должность, ученая степень, ученое звание)



**М.В. Шамшиев**

(расшифровка подписи)

(подпись)

Заведующий кафедрой  
электроэнергетики, кандидат  
технических наук, доцент

(название кафедры)



**Х.Б. Назиров**

(расшифровка подписи)

(подпись)

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Цель освоения дисциплины** состоит в изучении систем автоматического управления энергоустановок на базе возобновляемых источников энергии, их назначения, конструкции, основ проектирования и выбора настроочных параметров.

### **Задачи дисциплины:**

- Формирование знания и представление о: роли и месте систем автоматического управления в обеспечении жизнеспособности, надежности и экономичности работы установок на базе ВИЭ; видах, конструкциях, способах проведения обслуживания и расчетов параметров САУ при проектировании.
- Развитие умения использования полученных знаний: для анализа функциональной, технической и организационной структуры САУ; организации их эксплуатации и определения параметров их элементов при проектно-конструкторской разработке.
- Выработка навыков пользования справочными и методическими литературными источниками; проведения расчетов параметров элементов, выбора настроочных параметров.
- Оценки правильности результатов расчетов и обоснования конкретных технических решений.
- Составления программы проведения проверок САУ.

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

<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>	<b>Запланированные результаты обучения</b>
ПК-2. Способен понимать общие принципы построения и функционирования систем автоматического управления	ИД-1пк-2 Демонстрирует понимание принципов построения и функционирования систем автоматического управления  ИД-2пк-2 Выполняет анализ простых систем автоматического управления	<p><b>знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– иерархическую структуру построения систем автоматического управления гидроэнергетических установок;</li><li>– предельные параметры работоспособности основного оборудования ВИЭ;</li><li>– единую систему конструкторской документации (ЕСКД), обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах и обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах систем автоматики;</li><li>– необходимый перечень исходных данных для разработки систем автоматического управления ВИЭ;</li><li>– алгоритмы работы каждого из устройств оборудования ВИЭ;</li><li>– требования к техническим характеристикам объектов автоматизации ВИЭ.</li></ul> <p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>– проводить наладочные работы систем управления и автоматики;</li><li>– составлять протоколы проверок</li></ul>

		<p>устройств автоматики основного оборудования ВИЭ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– оценивать/рассчитывать пределы допустимых управляющих воздействий на оборудование ВИЭ от систем автоматики;</li> <li>– рассчитать систему автоматического управления установки ВИЭ;</li> <li>– делать выводы по итогам выполнения расчётно-графической работы (РГР).</li> </ul>
--	--	--

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Электрические станции и подстанции», «Гидравлические машины», «Гидромеханика», «Теория автоматического управления», «Электроснабжение» «Электрическая часть гидроэнергетических установок».

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 4 зачетных единицы, 144 часов.

№ п / п	Раздел дисциплины. Форма промежуточной аттестации (по семестрам)	Более 40 часов на пары/занятия	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы						Содержание самостоятельной работы (с указанием № источника по рабочей программе и страниц или § в нем)	
			Контактная			СР	Контр			
			Лек	Пр	Лаб		ИКК П	ПА		
1	Основы автоматизации управления ГЭУ	12	8	2	-	-	-	-	-	[1], гл. 1,3, гл. 6-11; гл. 12, 13, 15
2	Универсальная характеристика турбины	16	8	4	2	-	-	-	-	[2]; [3], гл. 7
3	Гидравлические усилители и исполнительные механизмы	15	8	3	2	-	-	-	-	[4] гл. 8,9; [5] гл. 5; [1], гл. 2
4	Автоматический пуск и останов гидроагрегата	14	8	2	2	-	-	-	-	[1], гл. 10
5	Предупредительная и аварийная сигнализация на гидроагрегате	11	8	4	2	-	-	-	-	-
6	Системы регулирования гидротурбин	19	8	10	4	-	-	-	-	[6]; [7]
7	Групповой регулятор активной мощности	10	8	3	2	-	-	-	-	[7], гл. 3
8	Автоматическая синхронизация гидрогенератора	11	8	4	2	-	-	-	-	[1], гл. 9
	Экзамен	36	8	-	-	-	-	2,5	-	33,5
	Итого:	144	8	32	16	-	-	2,5	60	33,5

### **3.2 Краткое содержание разделов**

#### **8 семестр**

##### **1. Основы автоматизации управления ГЭУ**

**Задачи автоматизации гидроэлектростанций.** Перечень устройств и механизмов основного и вспомогательного оборудования гидроэлектростанции, работающих в полностью автоматическом режиме. Основные требования к обеспечению безопасности автоматических устройств гидроэлектростанций. Техническое обслуживание и оперативное управление автоматическими устройствами. Принципы построения автооператора.

##### **2. Универсальная характеристика турбины**

**Модельная и эксплуатационная универсальная характеристики гидротурбины.** Методика получения расходных и моментных характеристик и дальнейшее их использование как основных технических документов для выбора уставок систем автоматического управления САУ ГА. Получение из универсальной характеристики коэффициентов линеаризации. Расчет настроенных параметров регулятора турбин с использованием коэффициентов линеаризации. Выбор режимов работы различных типов турбин при различных напорах и мощности.

##### **3. Гидравлические усилители и исполнительные механизмы**

**Конструкции гидравлических усилителей и исполнительных механизмов.** Назначения. Уравнения и передаточные функции. Характеристики вида вход-выход. Виды нелинейностей. Сервомотор направляющего аппарата гидротурбины. Сервомотор разворота лопастей рабочего колеса. Расчет сервомотора направляющего аппарата. Расчет главного золотника регулятора турбины.

##### **4. Автоматический пуск и останов гидроагрегата**

**Автоматический пуск и останов гидроагрегата как технологические и непрерывные процессы,** выполняемые после подачи соответствующих командных импульсов «Пуск» и «Останов» в строго заданной последовательности и без вмешательства оперативного персонала. Алгоритмы технологических процессов пуска и останова. Зависимость степени сложности процессов автоматического пуска и останова от типа гидротурбины, генератора и регулятора частоты вращения. Автоматический контроль за процессами пуска и останова гидротурбины. Возможные нарушения работы технологического оборудования, запрещающие процессы пуска и останова.

## 5. Предупредительная и аварийная сигнализация на гидроагрегате

Принцип выявления неисправностей в работе оборудования гидроэлектростанции. Оповещение оперативного персонала и оборудования. Две системы сигнализации: центральная аварийная и центральная предупредительная. Расшифровка последовательности действий сигнализации, указывающей характер неисправностей. Аварийная сигнализация при действии электрических и гидромеханических защит, действующих на отключение и останов гидроагрегата. Центральная предупредительная сигнализация, действующая при срабатывания всех видов электрических защит и срабатывания гидромеханических защит, сигнализирующих об отклонении от нормальных параметров работы отдельных узлов и вспомогательных систем гидроагрегата.

## 6. Системы регулирования гидротурбины

Нормативные документы, обеспечивающие регулирование частоты в энергосистемах России. Требования к допустимым отклонениям частоты в энергосистеме. Уравнение движения ротора гидроагрегата. Статистические характеристики гидротурбины и нагрузки. Статизм регулирования. Определение статизма регулирования натурным экспериментом. Виды регулирования: первичное, вторичное, третичное. Принципы регулирования частоты вращения гидроагрегата.

Гидромеханические и электрогидравлические автоматические регуляторы частоты вращения гидроагрегата (АРЧВ). Требования к регуляторам частоты вращения гидроагрегатов. Гарантии регулирования при наборе и сбросе 100% нагрузки. Функции и конструктивные требования к АРЧВ гидротурбины. Регуляторы с обратными связями по открытию направляющего аппарата и по активной мощности гидрогенератора. Законы регулирования. Передаточные функции различных типов регуляторов. Передаточные функции турбины и генератора при различных режимах работы. Обеспечение устойчивой работы системы регулирования.

Анализ процесса регулирования частоты вращения и частоты сети энергосистемы. Статизм регулирования и настроочные параметры регулятора турбины. Факторы, влияющие на процесс регулирования. Системы регулирования отечественных и зарубежных производителей: Ракурс (РФ), ANDRITZ Hydro, ALSTOM, VOIT.

7. Групповой регулятор активной мощности  
Цель использования системы группового регулирования активной мощности (ГРАМ) на ГЭС. Требования предъявляемые к ГРАМ. Использование ГРАМ в системном регулировании. Вторичное регулирование частоты в энергосистеме. Используемые схемы ГРАМ на гидроэлектростанциях. ГРАМ типа Центральный задатчик активной нагрузки. Сервисные функции системы ГРАМ.

## 8. Автоматическая синхронизация гидрогенератора

Описание физического процесса синхронизации генератора на параллельную работу с электрической сетью. Способы синхронизации: точная и самосинхронизация. Оптимальные условия для синхронизации. Аппаратура, обеспечивающая синхронизацию генератора. Алгоритм процесса точной синхронизации гидрогенератора.

### **3.3. Темы практических занятий (14 часов)**

#### **8 семестр**

- 1.Определение по универсальным характеристикам моментных и расходных характеристик (2 часа).
- 2.Расчёт коэффициентов линеаризации гидроагрегата (2 часа).
- 3.Построение логарифмических амплитудных и фазовых частотных характеристик и определение запаса устойчивости регулирования частоты вращения гидроагрегата (2 часа).
- 4.Выбор настроочных параметров регулятора турбины (2 часа).
- 5.Определение размеров сервомоторов направляющего аппарата (2 часа).
- 6.Разработка схемы управления группой агрегатов для управления мощностью ГЭС (2 часа).
- 7.Выбор настроочных параметров Центрального задатчика активной нагрузки системы группового регулирования активной мощности (4 часа).

#### **3.4. Лабораторные работы**

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены

#### **3.5. РГР**

**8 семестр**  
Расчет моментных и расходных характеристик турбины из сд универсальной характеристики.

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

Курсовой проект учебным планом не предусмотрен.

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

Запланированные результаты обучения по дисциплинам (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	5	6	7	
<b>Знать:</b>									
- иерархическую структуру построения систем автоматического управления гидроэнергетических установок	ПК-2 ИД-1пк-2 ИД-2пк-2	X				X	X		Тест: «Основные структурные схемы построения системы автоматического управления»
- алгоритмы работы каждого из устройств оборудования ВИЭ	ПК-2 ИД-1пк-2 ИД-2пк-2			X	X	X	X	X	Тест: «Алгоритм работы конкретного устройства САУ ГА»
- требования к техническим характеристикам объектов автоматизации ВИЭ	ПК-2 ИД-1пк-2 ИД-2пк-2			X	X	X	X	X	Тесты: «Технические характеристики гидротурбины», «Технические характеристики гидрогенератора»
<b>Уметь:</b>									
- проводить наладочные работы систем управления и автоматики	ПК-2 ИД-1пк-2 ИД-2пк-2		X		X	X			Тест: Методика (программа) выполнения наладки системы регулирования гидротурбины»
- выполнить анализ работоспособности простой системы автоматического управления установки ВИЭ	ПК-2 ИД-1пк-2 ИД-2пк-2				X	X			Тест: «Точность и устойчивость системы автоматического управления»
- делать выводы по итогам выполнения расчетно-графической работы (РГР)	ПК-2 ИД-1пк-2 ИД-2пк-2						X		Тест: «Моментные и расходные характеристики различных типов гидротурбин»

Всего часов на раздел дисциплины: 180

## **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **4.1. Текущий контроль успеваемости по дисциплине:**

**8 семестр**

- тестирование:

1. Тест: «Основные структурные схемы построения системы автоматического управления»
2. Тест: «Алгоритм работы конкретного устройства САУ ГА»
3. Тест: «Технические характеристики гидрогенератора»
4. Тест: «Технические характеристики гидротурбины»
5. Тест: «Методика (программа) выполнения наладки системы регулирования гидротурбины»
6. Тест: «Точность и устойчивость системы автоматического управления»
7. Тест: «Моментные и расходные характеристики различных типов гидротурбин»

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

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

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

1. Автоматизация гидроэлектрических станций: Учебное пособие / М.Д. Кучкин, Н.А. Спицын; под ред. М.Д. Кучкина. – М., Л. : Госэнергоиздат, 1957. - 350 с., ил.
2. Д.С.Щавелев Д.С. Гидроэнергетические установки (гидроэлектростанции, насосные станции и гидроаккумулирующие электростанции), Л., 1981.
3. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций: В 2 т. Т.1. Основное оборудование гидроэлектростанций : Справочное пособие / под ред. Ю.С. Васильев, Д.С. Щавелёв . – М. : Энергоатомиздат, 1988 . – 400 с.
4. Овчаренко Н.И. Полупроводниковые элементы автоматических устройств энергосистем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 408 с., ил.
5. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства. – К.: Техніка, 1975. – 232 с., ил.
6. Дудченко Л.Н. Инженерные основы регулирования гидротурбин: учебное пособие для вузов / Л.Н. Дудченко. — М.: Издательский дом МЭИ, 2020. — 160 с., ил.
7. Дудченко Л.Н. Автоматическое регулирование частоты и активной мощности в энергосистеме гидроагрегатами ГЭС. –М: Изд. дом МЭИ, 2008. – 88 с., ил.

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение: OS Windows, Microsoft Office, MathCAD, MathLab.**

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

Университетская информационная система «РОССИЯ» <https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ

<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты

РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ <http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.sedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ" <https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии [http://protect.gost.ru/](http://protect.gost.ru)

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

Портал ОАО «РусГидро» [www.rusgidro.ru](http://www.rusgidro.ru)

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для обеспечения освоения дисциплины необходимо наличие учебной аудитории, предусмотренной образовательной программой, оснащенной оборудованием и техническими средствами обучения, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся должны быть оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МЭИ.

МЭИ обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения (состав определяется в рабочих программах дисциплин (модулей) и проходит обновление, при необходимости).

Библиотечный фонд укомплектован требуемыми печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных в рабочих программах дисциплин (модулей), программах практик, на одного обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль), проходящих соответствующую практику.

Обучающимся обеспечен доступ (удаленный доступ) к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определяется в рабочих программах дисциплин (модулей) и обновляется, при необходимости.

Обучающиеся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

**Приложение А**

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Системы автоматического управления энергоустановок на основе**  
**возобновляемых источников энергии**

(название дисциплины)

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

- КМ-1 Тест «Основные структурные схемы построения системы автоматического управления»  
 КМ-2 Тест: «Алгоритм работы конкретного устройства САУ ГА»  
 КМ-3 Тест: «Технические характеристики гидрогенератора»  
 КМ-4 Тест: «Технические характеристики гидротурбины»  
 КМ-5 Тест: «Методика (программа) выполнения наладки системы регулирования гидротурбины»  
 КМ-6 Тест: «Точность и устойчивость системы автоматического управления»  
 КМ-7 Тест: «Моментные и расходные характеристики различных типов гидротурбин»

Трудоемкость дисциплины = 4 з.е. (без учета КПР/ИКПП)

Номер раздела дисциплины	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	KM-1	KM-2	KM-3	KM-4	KM-5	KM-6	KM-7
		Неделя КМ:	4	6	8	10	12	14	16
1	Основы автоматизации управления ГЭУ		X						
2	Универсальная характеристика турбины								X
3	Гидравлические усилители и исполнительные механизмы						X		
4	Автоматический пуск и останов гидроагрегата		X						
5	Предупредительная и аварийная сигнализация на гидроагрегате						X		
6	Системы регулирования гидротурбины	X					X	X	
7	Групповой регулятор активной мощности	X	X						X
8	Автоматическая синхронизация гидрогенератора				X	X			
Вес КМ, %:			15	15	10	10	10	20	20