



КГУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГУ»)



УТВЕРЖДАЮ  
и.о. Директор ИДПО

 В. К. Ильин

« 1 » марта 2023 г.

ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ  
ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

«Энергоэффективные системы электроприводов в промышленности»

Казань – 2023

## 1. Цель реализации программы

Целью реализации программы является совершенствование и (или) получение новой компетенции, необходимой для профессиональной деятельности, и (или) повышение профессионального уровня в рамках имеющейся квалификации.

**Цель:** качественное изменение профессиональных компетенций, необходимых для выполнения следующих видов профессиональной деятельности в рамках имеющейся квалификации:

- участвовать в реконструкции систем автоматизированного электропривода;
- участвовать в изменении режимов электротехнического и технологического оборудования;
- осуществлять эксплуатацию технологического оборудования на базе частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

## 2. Требования к результатам обучения. Планируемые результаты обучения. Проектируемые результаты обучения

В результате освоения программы слушатель должен приобрести следующие знания и умения, необходимые для качественного изменения компетенций, указанных в п.1:

слушатель должен знать:

- основные требования нормативных документов к системам автоматизированного электропривода;
- методы изменения режимов электротехнического и технологического оборудования с помощью частотно-регулируемого асинхронного электропривода;
- методы настройки частотно-регулируемого асинхронного электропривода.

Программа разработана в соответствии с профессиональными стандартами:

Наименование программы	Наименование выбранного профессионального стандарта (одного или нескольких)	Уровень квалификации
Образовательная программа повышения квалификации « <b>Энергоэффективные системы электроприводов в промышленности</b> »	Профессиональный стандарт «Специалист по проектированию электропривода», утв. Приказом Минтруда России от 31.08.2021г. N607н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по проектированию электропривода»  (Зарег. в Минюсте России N 1015)	—

### 3. Содержание программы

**Учебный план**  
программы повышения квалификации  
**«Энергоэффективные системы электроприводов в промышленности»**

Категория слушателей - высшее профессиональное образование  
(электротехника, электроэнергетика)

Срок обучения - 72 час.

Форма обучения – очно-заочная с применением дистанционных образовательных технологий

№ п/п	Наименование разделов	Всего, час.	В том числе, час.		
			Лекции и	Практические и лабораторные работы	Самостоятельная работа
1	Практический модуль ПМ 1	8	2		6
2	Практический модуль ПМ2	8	2	-	6
3	Практический модуль ПМ3	8	2	-	6
4	Практический модуль ПМ4	16	4	4	8
5	Практический модуль ПМ5	32	2	24	6
	Итоговая аттестация		зачет, реферат		
	Итого:	72	12	28	32

**Учебно-тематический план**  
**программы повышения квалификации**  
**«Энергоэффективные системы электроприводов в промышленности»**

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего, час.	В том числе, час.		
			лекции	Практические и лабораторные работы	Самостоятельная работа
<b>1</b>	<b>Практический модуль ПМ 1 «Механика электропривода»</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
1.1	Основные положения механики электропривода	4	1	-	3
1.2	Расчетные схемы механической части электропривода	4	1	-	3
<b>2</b>	<b>Практический модуль ПМ 2 «Синхронные электроприводы»</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
2.1	Основные сведения о синхронных машинах	4	1	-	3
2.2	Вопросы применения синхронных машин	4	1	-	3
<b>3</b>	<b>Практический модуль ПМ 3 «Электроприводы постоянного тока»</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
3.1	Основные сведения о машинах постоянного тока.	4	1	-	3
3.2	Вопросы применения машин постоянного тока	4	1	-	3
<b>4</b>	<b>Практический модуль ПМ 4 «Асинхронные электроприводы - основные сведения»</b>	<b>16</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8</b>
4.1	Основные сведения об асинхронных двигателях	8	2	2	4
4.2	Регулирование скорости асинхронных электродвигателей без изменения скорости вращения поля	8	2	2	4
<b>5</b>	<b>Практический модуль ПМ 5 «Частотное регулирование асинхронных электроприводов».</b>	<b>32</b>	<b>2</b>	<b>24</b>	<b>6</b>
5.1	Регулирование скорости асинхронных электродвигателей с изменением скорости вращения поля.	8	-	6	2
5.2	Преобразователи частоты.	9	1	6	2
5.3	Замкнутые системы частотно-регулируемого электропривода	8	1	6	1
5.4	Вопросы практического применения преобразователей частоты	7	-	6	1
	Итоговая аттестация		зачет, реферат		
	Итого:	72	12	28	32

**Рабочая учебная программа**  
**повышения квалификации**

**«Энергоэффективные системы электроприводов в промышленности»**

**Практический модуль ПМ 1 «Механика электропривода» (4 часа).**

**Тема 1.1. Основные положения механики электропривода (2 часа).**

Свойства и знаки моментов. Механические характеристики механизмов. Механические и электромеханические характеристики двигателей.

**Тема 1.2. Расчетные схемы механической части электропривода (2 часа).**

Уравнение движения электропривода. Приведение нагрузки к валу двигателя. Статическая устойчивость привода.

**Практический модуль ПМ2 «Синхронные электроприводы» (4 часа).**

**Тема 2.1. Основные сведения о синхронных машинах (2 часа).**

Конструкция и принцип действия синхронного двигателя и генератора. Виды синхронных машин. Угловая характеристика синхронной машины

**Тема 2.2. Вопросы применения синхронных машин (2 часа).**

Преимущества и недостатки синхронных двигателей. Способы пуска синхронных двигателей. Регулирование скорости синхронного двигателя. Защита, блокировки и сигнализация, применяемые в системах синхронных электроприводов. Области применения синхронных электроприводов.

**Практический модуль ПМ 3 «Электроприводы постоянного тока» (4 часа).**

**Тема 3.1. Основные сведения о машинах постоянного тока (2 часа).**

Конструкция и принцип действия двигателя постоянного тока. Схемы включения обмоток возбуждения ДПТ. Механическая характеристика ДПТ.

**Тема 3.2. Вопросы применения машин постоянного тока (2 часа).**

Регулирование скорости ДПТ. Неисправности ДПТ. Защита, блокировки и сигнализация, применяемые в системах электроприводов постоянного тока

**Практический модуль ПМ 4 «Асинхронные электроприводы – основные сведения» (18 часов).**

**Тема 4.1. Основные сведения об асинхронных двигателях (4 часа).**

Конструкция и принцип действия асинхронного двигателя. Виды асинхронных двигателей. Механическая характеристика асинхронного двигателя. Режимы работы асинхронного двигателя. Неисправности асинхронных двигателей. Защита, блокировки и сигнализация, применяемые в системах асинхронных электроприводов.

**Тема 4.2. Регулирование скорости асинхронных электродвигателей без изменения скорости вращения поля (14 часов).**

Регулирование скорости асинхронных электродвигателей без изменения скорости вращения поля: реостатное, параметрическое. Устройства плавного пуска.

**Практический модуль ПМ 5 «Частотное регулирование асинхронных электроприводов» (42 часа).**

**Тема 5.1. Регулирование скорости асинхронных электродвигателей с изменением скорости вращения поля (12 часов).**

Регулирование скорости асинхронных электродвигателей с изменением скорости вращения поля: переключением числа пар полюсов и частотное регулирование. Особенности частотного регулирования.

**Тема 5.2. Преобразователи частоты (12 часов).** Виды преобразователей частоты. Силовые полупроводниковые приборы. Современное состояние и тенденции развития. Структура и принцип действия силовой части преобразователя частоты с автономным инвертором напряжения. Высоковольтные преобразователи частоты.

**Тема 5.3. Замкнутые системы частотно-регулируемого электропривода (12 часов).** Замкнутые и разомкнутые системы. Понятие о динамической устойчивости. Системы подчинённого регулирования. Принцип действия ПИД – регулятора.

**Тема 5.4. Вопросы практического применения преобразователей частоты (6 часов).** Проблема электромагнитной совместимости ПЧ с питающей электрической сетью. Внутренние проблемы ПЧ при рекуперации энергии. Проблема электромагнитной совместимости ПЧ с асинхронным электродвигателем.

### Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование лабораторной работы
ПМ4	<p><b>Изучение устройства плавного пуска (4 часа).</b> Содержание:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Знакомство с конструкцией устройства плавного пуска, типовыми схемами включения, режимами работы.</li> <li>2. Настройка элементов отображения лицевой панели.</li> <li>3. Программирование режимов пуска с выполнением упражнений на стенде:               <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1 Программирование пуска в режиме постоянного тока;</li> <li>3.2 Программирование пуска в режиме адаптивного управления;</li> </ol> </li> <li>4. Программирование режимов торможения с выполнением упражнений на стенде:               <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 Программирование торможения в режиме свободного выбега;</li> <li>4.2 Программирование торможения в режиме адаптивного управления;</li> <li>4.3 Программирование торможения в режиме TVS</li> <li>4.1 Программирование торможения в режиме динамического торможения.</li> </ol> </li> </ol>
ПМ5	<p><b>Изучение основных функций преобразователей частоты (8 часов).</b> Содержание:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Знакомство с конструкцией преобразователей частоты, типовыми схемами включения, силовые опции ПЧ, режимами работы.</li> <li>2. Организация параметров ПЧ;               <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1 Работа с панелью оператора, упражнение на стенде;</li> <li>2.2 Программное обеспечение для настройки ПЧ;</li> <li>2.3 Настройка ПЧ на работу с новым двигателем.</li> </ol> </li> <li>3. Различные способы запуска асинхронного двигателя (АД);               <ol style="list-style-type: none"> <li>3.1. Запуск с лицевой панели оператора;</li> <li>3.2 Подключение к цифровым входам кнопок и тумблеров. Запуск с фиксируемых и не фиксируемых кнопок;</li> <li>3.3. Подключение потенциометра к аналоговому входу. Выбор режима работы аналоговых входов (по току/ по напряжению);</li> <li>3.4 Реализация функции «подхвата на лету»</li> <li>3.5 Реализация функций отложенного старта, отложенного останова.</li> </ol> </li> </ol>
ПМ5	<p><b>Изучение работы преобразователей частоты в разомкнутом режиме (8 часов).</b> Содержание:</p>

	1.Изменение скорости и направления вращения АД; 1.1 Реализация функции цифрового потенциометра; 1.2 Расчет и задание темпа разгона и останова АД; 1.3 Работа с битами состояния и задание скорости на их основе; 1.4. Работа с наборами параметров; 2.Работа с осциллографом; 2.1 Сохранение осциллограмм; 2.2 Сохранение конфигурации ПЧ.
ПМ5	<b>Изучение работы преобразователей частоты в замкнутом режиме (8 часов).</b> Содержание: 1.Подключение датчиков обратной связи и преобразование их показаний в инженерные единицы; 2.Программирование ПИД регулятора на примере вентиляционной установки; 3. Встроенный программируемый контроллер. 4.Обзор специальных функций; 5.Настройка встроенного каскадного контроллера (на примере насосной установки); 6.Настройка системы «Ведущий-ведомый» (на примере насосной установки).

### Перечень практических занятий

Номер темы	Наименование практического занятия
ПМ4	Название: Знакомство с силовой электроникой (4 часа) Содержание: Раздел силовая электроника. Краткий обзор программных средств. Знакомство с конфигуратором оборудования. Подбор устройства плавного пуска. Подбор преобразователя частоты. Выбор фильтров.
ПМ5	Реферат по вопросам практического применения преобразователей частоты (2 час.)

### Календарный учебный график программы повышения квалификации

### «Энергоэффективные системы электроприводов в промышленности»

Период обучения (недели)*	Наименование раздела
1 неделя (заочное обучение с применением ДОТ) (32 часа)	Практический модуль ПМ 1 «Механика электропривода» Практический модуль ПМ2 «Синхронные электроприводы» Практический модуль ПМ 3 «Электроприводы постоянного тока» Практический модуль ПМ 4 «Асинхронные электроприводы – основные сведения» Практический модуль ПМ 5 «Частотное регулирование асинхронных электроприводов»
2 неделя очно (40 часов)	Практический модуль ПМ 1 «Механика электропривода» Практический модуль ПМ2 «Синхронные электроприводы» Практический модуль ПМ 3 «Электроприводы постоянного тока» Практический модуль ПМ 4 «Асинхронные электроприводы – основные сведения» Практический модуль ПМ 5 «Частотное регулирование асинхронных электроприводов»
	Итоговая аттестация
*Точный порядок реализации курса обучения определяется в расписании занятий.	

#### 4. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
Аудитория Г-202	Лекции, лабораторные работы и практические занятия	Компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска, учебные лабораторные стенды: 1. По исследованию устройства плавного пуска 2. По исследованию частотно-регулируемого электропривода VLT вентиляторной установки. 3. По исследованию частотно-регулируемого электропривода VLT насосной установки.

#### 5. Учебно-методическое обеспечение программы

##### Раздел 1

1. Ильинский Н.Ф. Общий курс электропривода/Учебное пособие для вузов. - М.: Издательство МЭИ, 2003.

2. Введение в мехатронику: Уч. пособие / Грабченко А.И., Клепиков В.Б., Доброскок В.Л., Крыжный Г.К., Анищенко Н.В., Кутовой Ю.Н., Пшеничников Д.А., Гаращенко Я.Н. – Х.: НТУ "ХПИ", 2014. – 274 с.

3. Справочник по основам теоретической электротехники [Электронный ресурс]: уч. пособие / под ред. Ю. А. Бычкова [и др.]. Электрон. текстовые дан. СПб.: Лань, 2012.

##### Раздел 2

1. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод/учебное пособие для вузов. – М.: Издательство МЭИ, 2006.

2. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М.Терехов, О.И.Осипов; под ред. В.М.Терехова.- 2-е изд., стер.- М.: Издательский центр «Академия», 2006.-304 с.

##### Раздел 3

1. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г.Соколовский - М.: Издательский центр «Академия», 2006.-272 с.

2. Основы теории цепей: Учебник для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов М.: Энергоатомиздат, 1989

3. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.П.Белов, О.И.Зементов, А.Е.Козярук и др; под ред. В.А.Новикова, Л.М.Чернигова.- М.: Издательский центр «Академия», 2006.-368 с.



#### Раздел 4

1. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г.Соколовский - М.: Издательский центр «Академия», 2006.-272 с.

2. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш.Ишматов, В.Н.Поляков; под ред. И.Я.Браславского.- М.: Издательский центр «Академия», 2004.-256 с.

3. Инструкция по эксплуатации устройства плавного пуска

4. Руководство по программированию устройства плавного пуска

5. Руководство по проектированию устройства плавного пуска

#### Раздел 5

1. Электроприводы переменного тока с частотным управлением: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.Г.Соколовский - М.: Издательский центр «Академия», 2006.-272 с.

2. Энергосберегающий асинхронный электропривод: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Я. Браславский, З.Ш.Ишматов, В.Н.Поляков; под ред. И.Я. Браславского.- М.: Издательский центр «Академия», 2004.-256 с.

3. Инструкция по эксплуатации преобразователей частоты

4. Руководство по программированию преобразователей частоты

5. Руководство по проектированию преобразователей частоты

#### 6. Оценка качества освоения программы

Оценка качества освоения программы осуществляется аттестационной комиссией в виде зачета в письменной форме на основе пятибалльной системы оценок по основным разделам программы и доклада по теме реферата.

Слушатель считается аттестованным, если имеет положительные оценки (3, 4 или 5) по всем разделам программы, выносимым на зачет.

#### 7. Составители программы

канд. техн. наук,  
доцент

  
Мухаметгалеев Т.Х.

зав.кафедрой,  
докт. техн. наук

  
Козелков О.В.

Согласовано:

Зав. кафедрой ПМ

  
О. В. Козелков

Зам. директора ИДПО

  
Э. Х. Давлетшина

**Перечень примерных вопросов для проверки знаний**

1. Расскажите, основные положения механики электроприводов?
2. Напишите, уравнение движения электропривода.
3. Поясните, где применяются синхронные машины?
4. Объясните, в чем разница между синхронными машинами и машинами постоянного тока?
5. Поясните, в чем преимущества и недостатки синхронных двигателей?
6. Расскажите, где применяются машины постоянного тока?
7. Поясните, как регулируется скорость асинхронных машин?
8. Объясните, принцип действия устройства плавного пуска?
9. Дайте определение замкнутым системам частотно-регулируемого электропривода?
10. Расскажите о проблемах преобразователя частоты при рекуперации энергии?