

## ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «Системы автоматического управления»

### 1. Аннотация

#### 1.1. Место курса в профессиональной подготовке и требования к уровню подготовки студентов

Преподавание дисциплины «Системы автоматического управления» основано на изученных студентами курсах высшей математики, механики, теории автоматического управления и аэродинамики.

После изучения курса «Системы автоматического управления» студент сможет применять полученные знания в профессиональной деятельности и, в частности, при работе над подготовкой дипломного проекта.

#### 1.2. Формы работы студентов

В ходе изучения дисциплины предусмотрены семинарские занятия, выполнение курсовой работы, выполнение домашних работ. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом, выполняется в ходе семестра в форме подготовки к семинарским занятиям, выполнения домашних работ, курсовой работы.

Перечень обязательных видов работы студента:

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы на семинаре;
- решение практических задач и заданий на семинаре;
- выполнение контрольных работ;
- выполнение домашних работ;
- курсовой проект.

#### 1.3. Форма текущего и итогового контроля

Текущий контроль заключается в проверке домашнего задания, защите курсовой работы. Контроль проводится с целью определения качества усвоения пройденного лекционного материала. Наиболее эффективным является его проведение в письменной форме – по контрольным заданиям и вопросам, и т.п. Контроль проводится в виде сдачи всеми без исключения студентами контрольных задач во время проведения практических занятий.

В завершении изучения дисциплины студенты сдают зачет и экзамен по теоретической и по практической части, защищают курсовую работу.

### 2. Цели и задачи дисциплины

При изучении курса студенты знакомятся с теоретическими основами дисциплины «Системы автоматического управления» в приложении к управлению энергосистемами и энергоустановками, ее местом и ролью в процессе проектирования энергоустановок. Студенты должны изучить основные принципы построения систем управления ветроэнергетических установок различного класса, получить практические навыки расчета статических, динамических и энергетических характеристик ветроустановок, познакомиться с вопросами математического и полунатурного моделирования динами-

ческих систем, изучить основные задачи разработки систем безопасности в соответствии с предъявляемыми к этим системами требованиями.

### **3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.**

Студенты, изучившие дисциплину «Системы автоматического управления», должны знать:

- принципы управления в технических системах;
- математические модели систем управления;
- критерии устойчивости систем управления;
- общая концепция безопасности при эксплуатации энергоустановок;
- измерительные устройства в электроэнергетике;
- система управления и режимы работы ВЭУ;
- методы и алгоритмы оптимизация частоты вращения ВЭУ;

уметь:

- строить и разрабатывать математические модели систем управления;
- применять методы и алгоритмы оптимизации частоты вращения.

### **4. Содержание разделов дисциплины.**

#### **7 семестр**

#### **1. Введение.**

- 1.1. Основы современной энергетики. Прогнозы по запасам углеводородного топлива.
- 1.2. Возобновляемые источники энергии. Ветроэнергетика.
- 1.3. Национальные программы развитых стран в области ветроэнергетики. Развитие ветроэнергетики в Советском Союзе и России.
- 1.4. Газотурбинные установки на базе авиационных двигателей.
- 1.5. Ветроэнергетика как наукоемкая область техники. Состав и основные технические характеристики ветроэнергетических установок (ВЭУ). Классификация ВЭУ.

#### **2. Основы теории систем управления.**

- 2.1. Управление в технических системах. Принципы управления. Жесткое управление. Регулирование. Настройка. Структура САУ. Информация и управление.
- 2.2. Математические модели систем управления. Типы преобразований: функция, функционал, оператор. Звено. Статическая характеристика звена.
- 2.3. Линеаризация. Линейные системы автоматического управления. Динамические характеристики линейных систем. Элементарные звенья. Звено запаздывания.
- 2.4. Устойчивость. Устойчивость равновесия. Устойчивость по Ляпунову. Критерии устойчивости. Критерий устойчивости Найквиста. Запасы устойчивости. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.

#### **3. Автоматические регуляторы и системы автоматического управления.**

- 3.1. Регуляторы прямого действия. Поплавковые регуляторы. Центробежный регулятор поворота лопастей ветродвигателя.
- 3.2. Система управления ВЭУ: назначение, состав, структурная схема. Контур управления частотой вращения и канал ориентации на ветер.
- 3.3. Режимы работы ВЭУ. связь между ними и условия перехода из одного режима в другой.

#### 4. Преобразование энергии.

- 4.1. Энергия ветрового потока, механическая мощность, электрическая мощность, механический и электрический КПД.
- 4.2. Ветер. Скорость ветра: мгновенная и средняя. Ветроэнергетический кадастр. Повторяемость ветра. Быстроходность. Вращательный момент. Коэффициент момента и коэффициент использования ветра. Рабочие характеристики ветродвигателя.

#### 5. Статические характеристики.

- 5.1. Статические характеристики ВЭУ: зависимости вырабатываемой мощности, момента ветроколеса, частоты вращения и угла поворота лопасти как функции скорости ветра.
- 5.2. Расчет статических характеристик и вырабатываемой за год мощности.

### 8 семестр

#### 6. Динамика ВЭУ.

- 6.1. Динамика ВЭУ как раздел аэромеханики. Методы решения задач динамики ВЭУ, независимые координаты, динамические режимы.
- 6.2. Уравнение вращательного движения ветроколеса и уравнение поворота лопасти.
- 6.3. Демпфирующий и шарнирный моменты. Методы численного интегрирования уравнений движения.
- 6.4. Режим запуска. Методы запуска: автономный, принудительный, последовательный и комбинированный. Момент трогания и момент трения. Программа запуска.
- 6.5. Режим торможения. Аэродинамическое торможение. Перерегулирование по угловой скорости.

#### 7. Система безопасности.

- 7.1. Определение системы безопасности. Тормозная система. Общая концепция безопасности.
- 7.2. Рабочая тормозная система. Аварийная тормозная система. Типы аварийных систем. Общая концепция безопасности применительно к ВЭУ Р-1. Требования к тормозной системе.
- 7.3. Сигналы безопасности. Отказные ситуации и реакции на отказные ситуации: аварийный останов, принудительное флюгирование, понижение мощности и работа при частичных отказах.

#### 8. Устройства систем управления и их математические модели.

8.1. Математическая модель генератора. Многомашинные системы генерирования энергетической, динамической и электрической аспекты их применения.

8.2. Измерительные устройства: потенциометр, датчики угловой скорости (центробежные, гироскопические, фотометрические и тахогенераторы), акселерометр. Гидравлический рулевой привод.

8.3. Система измерения параметров ветра. Анализ картины обтекания ветроколеса, штанговый и верхний приемники воздушного давления. Метеорологические методы измерения скорости. Анемометр и румбометр.

9. Оптимизация выработки электроэнергии.

9.1. Распределение Вейбулла. Функция распределения. Плотность распределения.

9.2. Свойства распределения Вейбулла, связь параметров со средней скоростью ветра.

9.3. Оптимизация частоты вращения: метод, алгоритмы и программа расчета.

10. Метод моделирования в проектировании систем автоматического управления.

10.1. Математическая модель и математическое моделирование системы управления.

10.2. Комплекс полунатурного моделирования. Проведение полунатурного моделирования: методология, этапность, интерпретация результатов.

*Практические занятия (семинары).*

№ п.п.	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
<b>7 семестр</b>		
1.	2	Логарифмическая форма критерия Найквиста. Определение запаса устойчивости контура стабилизации по крену. Обсуждение задания на контрольную работу № 1.
2.	2	Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.
3.	3	Расчет контура управления частотой вращения и канала ориентации на ветер.
4.	4	Расчет энергии ветрового потока, механическая мощность, электрическая мощность, механический и электрический КПД.
5.	4	Методы расчета коэффициента момента и коэффициента использования ветра.
6.	5	Расчет статических характеристик ВЭУ: зависимости вырабатываемой мощности, момента ветроколеса от скорости ветра.
7.	5	Расчет статических характеристик ВЭУ: частоты вращения и угла поворота лопасти как функции скорости ветра.
8.	5	Расчет вырабатываемой ВЭУ за год мощности.
<b>8 семестр</b>		
9.	6	Решения задач динамики ВЭУ, независимые координаты, динамические режимы. Обсуждение задания на курсовую работу.
10.	6	Уравнение вращательного движения ветроколеса и уравнение поворота лопасти. Методы численного интегрирования уравнений движения.
11.	6	Расчет режима запуска ВЭУ.
12.	6	Расчет режима торможения ВЭУ.

13.	8	Анализ картины обтекания ветроколеса, штанговый и верхний приемники воздушного давления.
14.	8	Метеорологические методы измерения скорости.
15.	9	Распределение Вейбулла. Функция распределения. Плотность распределения.
16.	9	Оптимизация частоты вращения: метод, алгоритмы и программа расчета.

*Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.*

## **5. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **5.1. Основная литература<sup>1</sup>**

1. **Востриков А.С.** Теория автоматического регулирования: Учебное пособие для вузов / Востриков Анатолий Сергеевич, Французова Галина Александровна. - М.: Высшая школа, 2004. - 366с.
2. **Сибикин Ю.Д.** Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учебное пособие / Сибикин Юрий Дмитриевич, Сибикин Михаил Юрьевич. - М.: КноРус, 2010. - 232с.
3. **Роза А.В. да.** Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы / Роза Альдо В.да; Пер. с англ. Д.О.Лазарева и др. под ред. С.П.Малышенко, О.С.Попеля. - Долгопрудный: Интеллект; М.: Издательский дом МЭИ, 2009. - 704с.
4. **Безруких П.П.** Использование энергии ветра: Техника, экономика, экология / Безруких Павел Павлович; Рец. М.И. Осипов, В.В. Елистратов. - М.: Колос, 2008. - 196с.

### **5.2. Дополнительная литература**

1. **Оборудование нетрадиционной и малой энергетики:** Справочник-каталог / Министерство топлива и энергетики РФ; АО "Новые и возобновляемые источники энергии"; Гл. ред. Ю.Д. Арбузов. - М.: ВИЭН, 2000. - 168с.
2. **Воронов А.А.** Основы теории автоматического регулирования и управления: Учебное пособие для вузов / Воронов Авенир Аркадьевич, Титов Виктор Константинович, Новогранов Борис Николаевич. - М.: Высшая школа, 1977. - 520с.
3. **Рашиков В.И.** Численные методы решения физических задач: Учебное пособие / Рашиков Владимир Иванович, Рошаль Анатолий Самуилович. - СПб.: Лань, 2005. - 208с.
4. Классификация. ГОСТ Р 51991 2002. М.: Госстандарт России.
5. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Установки ветроэнергетические. Общие технические требования. ГОСТ Р 51991- 2002. М.: Госстандарт России.
6. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика. Термины и определения. ГОСТ Р 51237-98. М.: Госстандарт России.
7. Нетрадиционная энергетика. Ветровые турбогенераторные системы. Требования безопасности. М.: Госстандарт России, 2003.

---

<sup>1</sup> Список основной литературы должен включать только источники, имеющиеся в наличии в библиотечной системе университета и удовлетворяющие предъявляемым требованиям. Необходимо согласование с руководителем библиотечной системы.

## 6. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины<sup>2</sup>

Темы контрольных работ и варианты заданий для них:

Контрольная работа № 1. Определение параметров линейной системы автоматического управления с заданными запасами устойчивости.

Вопросы для подготовки к зачету (7 семестр):

1. Основы современной энергетики.
2. Прогнозы по запасам углеводородного топлива.
3. Возобновляемые источники энергии. Ветроэнергетика.
4. Национальные программы развитых стран в области ветроэнергетики.
5. Развитие ветроэнергетики в Советском Союзе и России.
6. Газотурбинные установки на базе авиационных двигателей.
7. Ветроэнергетика как наукоемкая область техники.
8. Состав и основные технические характеристики ветроэнергетических установок (ВЭУ).
9. Классификация ВЭУ.
10. Управление в технических системах. Принципы управления.
11. Жесткое управление.
12. Регулирование.
13. Настройка.
14. Структура САУ.
15. Информация и управление.
16. Математические модели систем управления.
17. Типы преобразований: функция, функционал, оператор.
18. Звено. Статическая характеристика звена.
19. Линеаризация. Линейные системы автоматического управления.
20. Динамические характеристики линейных систем. Элементарные звенья. Звено запаздывания.
21. Устойчивость. Устойчивость равновесия. Устойчивость по Ляпунову.
22. Критерии устойчивости. Критерий устойчивости Найквиста.
23. Запасы устойчивости. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.
24. Регуляторы прямого действия. Поплавковые регуляторы.
25. Центробежный регулятор поворота лопастей ветродвигателя.
26. Система управления ВЭУ: назначение, состав, структурная схема.
27. Контур управления частотой вращения и канал ориентации на ветер.
28. Режимы работы ВЭУ. связь между ними и условия перехода из одного режима в другой.
29. Энергия ветрового потока, механическая мощность, электрическая мощность, механический и электрический КПД.
30. Ветер. Скорость ветра: мгновенная и средняя. Ветроэнергетический кадастр.
31. Повторяемость ветра. Быстроходность. Вращательный момент.
32. Коэффициент момента и коэффициент использования ветра.
33. Рабочие характеристики ветродвигателя.
34. Статические характеристики ВЭУ: зависимости вырабатываемой мощности, момента ветроколеса как функции скорости ветра.
35. Статические характеристики ВЭУ: зависимости частоты вращения и угла поворота лопасти как функции скорости ветра.

Вопросы, выносимые на экзамен (8 семестр):

1. Динамика ВЭУ как раздел аэромеханики. Методы решения задач динамики ВЭУ, независимые координаты, динамические режимы.
2. Уравнение вращательного движения ветроколеса и уравнение поворота лопасти.
3. Демпфирующий и шарнирный моменты.
4. Методы численного интегрирования уравнений движения.

---

<sup>2</sup> Описывать следует только те формы контроля, которые предусмотрены программой дисциплины

5. Режим запуска. Методы запуска: автономный, принудительный, последовательный и комбинированный.
6. Момент трогания и момент трения. Программа запуска.
7. Режим торможения. Аэродинамическое торможение. Перерегулирование по угловой скорости.
8. Определение системы безопасности. Тормозная система. Общая концепция безопасности.
9. Рабочая тормозная система. Аварийная тормозная система. Типы аварийных систем.
10. Общая концепция безопасности применительно к ВЭУ Р-1. Требования к тормозной системе.
11. Сигналы безопасности. Отказные ситуации и реакции на отказные ситуации: аварийный останов, принудительное флюгирование.
12. Сигналы безопасности. Отказные ситуации и реакции на отказные ситуации: понижение мощности и работа при частичных отказах.
13. Математическая модель генератора.
14. Многомашинные системы генерирования энергетический, динамический и электрический аспекты их применения.
15. Измерительные устройства: потенциометр, датчики угловой скорости (центробежные, гироскопических, фотометрические и тахогенераторы), акселерометр.
16. Гидравлический рулевой привод.
17. Система измерения параметров ветра. Анализ картины обтекания ветроколеса, штанговый и верхний приемники воздушного давления. Метеорологические методы измерения скорости. Анемометр и румбометр.
18. Распределение Вейбулла. Функция распределения. Плотность распределения.
19. Свойства распределения Вейбулла, связь параметров со средней скоростью ветра.
20. Оптимизация частоты вращения: метод, алгоритмы и программа расчета.
21. Математическая модель и математическое моделирование системы управления.
22. Проведение полунатурного моделирования: методология, этапность, интерпретация результатов.

#### Примерные темы курсовых работ:

Курсовая работа «Система автоматического управления ветроэнергетической установкой» должна включать обоснованный выбор в соответствии с заданием основных параметров ветроэнергетической установки (ВЭУ), описание структурной схемы и работы системы автоматического управления ВЭУ, расчет статических, динамических и энергетических характеристик ВЭУ, оптимизацию частоты вращения энергетической установки по критерию максимума вырабатываемой за год электроэнергии. Должна быть описана система безопасности ВЭУ и выбраны ее основные характеристики на основании анализа процесса аэродинамического торможения.