

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**



**УТВЕРЖДАЮ**

Директор по учебной работе и образовательным инновациям

О.Г. Прохоренко

08 июля 2022 г.

Регистрационный № УД – 11660/уч.

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:

**1 - 31 03 01 Математика (по направлениям)**

Направление специальности:

**1 - 31 03 01 - 04 Математика (научно-конструкторская деятельность)**

2022 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 01-2013 и учебного плана № G31-209/уч. от 29.05.2015.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

С.Е. Бухтояров, доцент кафедры математической кибернетики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

М.И. Вашкевич, доцент кафедры электронных вычислительных средств Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, доктор технических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой математической кибернетики Белорусского государственного университета  
(протокол № 10 от 25.05.2022);

Научно-методическим советом Белорусского государственного университета  
(протокол № 6 от 29.06.2022).

Заведующий кафедрой  
математической кибернетики \_\_\_\_\_ А.Л. Гладков

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Основы теории автоматического управления» (ТАУ) относится к числу специализированных технических дисциплин, позволяющих описывать, анализировать и проектировать современные аппаратно-программные системы автоматического управления (САУ). Изучение дисциплины в первую очередь преследует цель дать знания конкретных методик и приемов анализа САУ. Эти специальные методики имеют существенные преимущества перед универсальными методами составления и анализа решений дифференциальных уравнений, описывающих САУ. Кроме того, эти методики дают возможность определять требования к звеньям САУ для обеспечения заданных технических характеристик. Наряду с достаточной строгостью определений и приемов анализа ТАУ дает практический инструмент для инженерного творчества.

Не менее важна другая, мировоззренческая сторона изучения ТАУ. Принципы отрицательной обратной связи и управление по отклонению являются основными понятиями теории управления и технической кибернетики. Управленческая деятельность специалиста с высшим образованием требует знания этих положений, которые хорошо понимаются через конкретные технические знания ТАУ.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

*Целью* учебной дисциплины «Основы теории автоматического управления» является овладение студентами общих принципов построения, методов анализа, синтеза и расчета систем автоматического управления с использованием современных программных средств.

*Развивающей целью* учебной дисциплины является формирование у студентов навыков анализа, синтеза и расчета систем автоматического управления.

*Воспитательной целью* учебной дисциплины является формирование у студентов математической и технической культуры, а также стремления к получению знаний в области электроники, схемотехники и построения математических моделей технических систем.

*Основными задачами*, решаемыми в рамках изучения дисциплины «Основы теории автоматического управления», являются

- изучение принципов построения систем автоматического управления и форм представления динамических характеристик функциональных элементов и системы управления в целом;
- изучение показателей устойчивости, качества переходных и установившихся режимов работы систем управления, а также способов их повышения;

- приобретение навыков построения и преобразования структурных схем систем управления, оценки устойчивости и качества управления, синтеза корректирующих устройств;
- ознакомление с современными направлениями развития теории автоматического управления; теории и практики оптимального и адаптивного управления.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием: учебная дисциплина относится к **циклу** дисциплин специализаций компонента учреждения образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами.

Изложение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при изучении таких дисциплин как «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Теория цепей, сигналов и схемотехника», «Системотехника аппаратно-программных систем».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Основы теории автоматического управления» должно обеспечить формирование следующих академических и профессиональных компетенций.

**Академические** компетенции:

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом;
- АК-3. Владеть исследовательскими навыками;
- АК-4. Уметь работать самостоятельно;
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- АК-7. Иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;

**профессиональные** компетенции:

- ПК-3. Применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности и в областях знаний, непосредственно не связанных со сферой профессиональной деятельности.
- ПК-5. Заниматься аналитической и научно-исследовательской деятельностью в области математики и информационных технологий.
- ПК-8. Работать с научной, нормативно-справочной и специальной литературой.
- ПК-9. Осуществлять выбор оптимального варианта проведения научно-исследовательских работ.

В результате изучения дисциплины обучаемый должен:

**знать:**

- типовые схемы, временные и частотные характеристики типовых звеньев систем автоматического управления;
- принципы построения основных видов систем автоматического управления;
- математический аппарат теории автоматического управления;

***уметь:***

- составлять математические описания автоматических систем регулирования и управления;
- выбирать структуру систем автоматического управления при заданных требованиях к характеристикам и показателям качества управления и регулирования;
- осуществлять параметрическую оптимизацию регулирующих и управляющих устройств;
- анализировать устойчивость и качество систем автоматического управления;

***владеть:***

- терминологическим аппаратом теории автоматического управления;
- навыками проектирования регуляторов и устройств управления;
- методами анализа и синтеза систем автоматического управления.

### **Структура учебной дисциплины**

Учебная программа по дисциплине «Основы теории автоматического управления» предназначена для студентов очной формы получения высшего образования по специальности 1-31 03 01 Математика (по направлениям), направление специальности 1-31 03 01-04 Математика (научно-конструкторская деятельность).

Всего на изучение учебной дисциплины «Основы теории автоматического управления» отведено 82 часа в 7-м семестре, в том числе 44 аудиторных часа, из них: лекции – 12 часов, лабораторные занятия – 28 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации – зачет.

# СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

## Раздел 1. Основные понятия теории автоматического управления.

**Тема 1.1.** Дифференциальные уравнения систем автоматического управления.

Линеаризация дифференциальных уравнений. Переход к безразмерным переменным. Линеаризация нелинейной функции двух переменных. Операторная форма записи дифференциального уравнения. Принцип наложения (суперпозиции).

**Тема 1.2.** Временные характеристики.

Единичный скачок. Начальные и предначальные условия. Переходная характеристика. Единичный импульс. Дельта-функция. Связь между единичным импульсом и единичным скачком. Импульсная переходная характеристика. Связь между импульсной переходной характеристикой и переходной характеристикой. Реакция системы на неединичный импульс. Связь между выходным сигналом системы и переходной характеристикой системы при произвольном входном сигнале. Связь между выходным сигналом системы и ее импульсной переходной характеристикой при произвольном входном сигнале. Реакция системы на одиночный импульс симметричной формы. Переходный процесс системы. Характеристическое уравнение.

**Тема 1.3.** Операционный метод исследования линейных систем.

Передаточная функция. Основные математические методы исследования линейных систем. Суть операционного метода. Преобразование Лапласа. Некоторые свойства и соответствия преобразования Лапласа. Алгебраизация дифференциального уравнения системы и начальные условия. Определение оригинала по известному и изображению. Передаточная функция.

**Тема 1.4.** Структурные схемы и их преобразование.

Структурная схема системы. Последовательное соединение звеньев. Параллельное соединение звеньев. Соединение звеньев с обратной связью. Перенос сумматоров и узлов разветвления. Примеры преобразования структурных схем. Элементарные звенья систем автоматического управления. Представление передаточных функций системы в виде набора более простых передаточных функций. Стандартный вид записи передаточной функции. Передаточные функции, дифференциальные уравнения и временные характеристики элементарных звеньев.

## Раздел 2. Анализ систем автоматического управления.

**Тема 2.1.** Частотный метод.

Преобразование Фурье. Частотная передаточная функция. Частотные характеристики. Частотные характеристики элементарных звеньев. Частотные характеристики звена чистого запаздывания. Логарифмические частотные характеристики. Логарифмические амплитудная и фазовая частотные

характеристики. Логарифмические характеристики элементарных звеньев. Логарифмические частотные характеристики системы, представленной в виде последовательного соединения звеньев.

**Тема 2.2.** Устойчивость систем.

Понятие устойчивости. Критерии устойчивости. Влияние параметров системы на ее устойчивость.

**Тема 2.3.** Качество установившегося состояния процесса регулирования.

Установившееся значение ошибки регулирования при скачкообразном воздействии. Статические и астатические системы. Установившаяся ошибка в статической системе при линейно возрастающем сигнале. Коэффициенты ошибок. Понятие инвариантности.

**Тема 2.4.** Качество переходного процесса.

Показатели качества при ступенчатом воздействии. Показатели качества по расположению корней характеристического уравнения. Показатели качества при синусоидальных воздействиях. Связь между частотной и переходной характеристикой системы. Связь между логарифмической амплитудно-частотной характеристикой разомкнутой системы и переходной характеристикой замкнутой системы. Интегральные критерии (оценки) качества переходных процессов.

### **Раздел 3. Синтез систем и корректирующих устройств**

**Тема 3.1.** Изменение структуры для улучшения качества системы

Влияние форсирующего звена на устойчивость. Влияние нулей передаточной функции на характер переходного процесса. Влияние отрицательной обратной связи по производной выходного сигнала. Варианты включения корректирующих звеньев. Синтез последовательного корректирующего звена по логарифмической амплитудной частотной характеристике разомкнутой системы.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением электронных средств обучения (ДО)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Литература	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<b>1</b>	<b>Основные понятия теории автоматического управления</b>	<b>6</b>			<b>14</b>				
1.1	Дифференциальные уравнения систем автоматического управления.	2			2		[1,3]	Защита лабораторной работы Экспресс-опрос	
1.2	Временные характеристики	1			6		[1,3,5]	Защита лабораторной работы	
1.3	Операционный метод исследования линейных систем	1			2	2	[3,5]	Защита лабораторной работы	
1.4	Структурные схемы и их преобразование	2			4		[3,5]	Защита лабораторной работы Устный опрос Контрольная работа № 1 теме 1.	
<b>2</b>	<b>Анализ систем автоматического управления</b>	<b>4</b>			<b>10</b>				
2.1	Частотный метод	1			4		[2, 4, 5]	Экспресс-опрос	
2.2	Устойчивость систем	1			4	2	[4,5]	Защита лабораторной работы	
2.3	Качество установившегося состояния процесса регулирования	1					[3, 6]	Коллоквиум	
2.4	Качество переходного процесса	1			2		[3, 6]	Устный опрос	



<b>3</b>	<b>Синтез систем и корректирующих устройств</b>	<b>2</b>			<b>4</b>				
3.1	Изменение структуры для улучшения качества системы	2			4			[3, 6]	Защита лабораторной работы
	<b>ИТОГО</b>	<b>12</b>			<b>28</b>			<b>4</b>	

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Теория автоматического управления: учеб.-метод. пособие для студ. спец. 1-53 01 04 "Автоматизация и управление теплоэнергетич. процессами", 1-43 01 04 "Тепловые электрические станции", 1-43 01 08 "Паротурбинные установки атомных электрических станций", 1-53 01 01 "Автоматизация технологич. процессов и производств" / [авт.: Г. Т. Кулаков и др.] ; под общ. ред. Г. Т. Кулакова; М-во образования Республики Беларусь, БНТУ, Каф. "Тепловые электрические станции". – Минск : БНТУ, 2017. - 131 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 747с.

### Перечень дополнительной литературы

3. Музылева И.В. Элементарная теория линейных систем в задачах и упражнениях. – СПб.: 2017. – 428 с.
4. Попов А.К. Элементы теории автоматического управления. Часть 1. – М.: 2010. – 208 с.
5. Карпов А.Г. Теория автоматического управления. Часть 1: Учебное пособие. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. – 212 с.
6. Поляков К.Ю. Основы теории автоматического управления: учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2012. – 234 с.

### Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

С целью текущего контроля знаний студентов предусматривается проведение устных опросов, экспресс-опросов, коллоквиума, контрольной работы и защит лабораторных работ.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Основы теории автоматического управления» учебным планом предусмотрен зачет.

#### **Итоговая отметка формируется на основе:**

1. Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (Постановление Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012 г.).

2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 31.03.2020 № 189-ОД).

3. Критериев оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях высшего образования по десятибалльной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь от 28.05.2013 г. № 09-10/53-ПО).

При формировании итоговой отметки используется рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Рекомендуемые весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний в итоговую отметку:

- устный и экспресс-опросы – 7 %;
- защита лабораторных работ – 70 %;
- коллоквиум – 8 %;
- контрольная работа – 15 %.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе отметки текущей успеваемости (рейтинговой системы оценки знаний) и отметки на зачете с учетом их весовых коэффициентов. Рекомендуемый вес отметки по текущей успеваемости составляет 30 %, отметки на зачете – 70 %.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

**Раздел 1.** Основные понятия теории автоматического управления.

**Тема 1.3.** Операционный метод исследования линейных систем. (2 ч.)

Задание. Найдите решение дифференциального уравнения операционным методом. Постройте график переходного процесса системы, описываемой таким дифференциальным уравнением.

**Форма контроля** – защита лабораторной работы.

**Раздел 2.** Анализ систем автоматического управления.

**Тема 2.3.** Устойчивость систем. (2 ч.)

Задание. Поясните связь между различными критериями устойчивости на примере поведения АЧХ, ФЧХ и годографа САУ.

**Форма контроля** – защита лабораторной работы.

### **Примерная тематика контрольной работы**

- Контрольная работа № 1 «Математическое описание САУ»: преобразование структурной схемы САУ, представление передаточной функции в различных формах; вычисление передаточной функции RLC цепи; моделирование САУ в MicroCap.

## Примерная тематика лабораторных работ

1. Математическое описание САУ в различных формах.
2. Вычисление передаточной функции RLC цепи и ее моделирование в MicroCap.
3. Частотные и временные характеристики типовых звеньев САУ.
4. Преобразование структурных схем САУ.
5. Анализ устойчивости САУ
6. Синтез корректирующих устройств САУ.

## Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса используется *эвристический подход*, который предполагает:

- осуществление студентами лично-значимых открытий окружающего мира;
- демонстрацию многообразия решений большинства профессиональных задач и жизненных проблем;
- творческую самореализацию обучающихся в процессе создания образовательных продуктов;
- индивидуализацию обучения через возможность самостоятельно ставить цели, осуществлять рефлексию собственной образовательной деятельности.

Наиболее эффективной предполагается следующая форма реализации эвристического подхода: решение сложных задач разбиваются на этапы, после чего обучаемые подводятся к самостоятельному определению действий на этапах.

При организации образовательного процесса используется также *практико-ориентированный подход*, который предполагает:

- освоение содержания образования через решение практических задач;
- приобретение навыков эффективного выполнения разных видов профессиональной деятельности;
- ориентацию на генерирование идей, реализацию групповых студенческих проектов, развитие предпринимательской культуры;
- использованию процедур, способов оценивания, фиксирующих сформированность профессиональных компетенций.

## **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При изучении учебной дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной теме дисциплины;
- выполнение домашнего задания;
- проведение научно-исследовательских работ для выполнения практических заданий;
- подготовка к участию в научных и научно-практических конференциях и конкурсах.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Линейные системы непрерывного действия: построение модели, линеаризация, принцип наложения (суперпозиции).
2. Единичная ступенчатая функция. Переходная характеристика системы.
3. Единичный импульс (дельта функция). Импульсная переходная характеристика.
4. Связь между переходной и импульсной переходной характеристиками.
5. Характеристическое уравнение системы. Вынужденная и свободная составляющие решения.
6. Операционный метод. Преобразование Лапласа.
7. Основные свойства преобразования Лапласа.
8. Определение оригинала по известному.
9. Передаточная функция, выражение ее через импульсную переходную характеристику.
10. Структурная схема системы. Последовательно и параллельное соединение звеньев. Соединение звеньев с обратной связью.
11. Эквивалентные преобразования схем: перенос узла, сумматора и пр.
12. Представление передаточной функции в виде набора более простых передаточных функций.
13. Передаточная функция и переходная характеристика усилительного звена.
14. Передаточная функция и переходная характеристика апериодического звена. Определение постоянной времени по временным характеристикам.
15. Передаточная функция и переходная характеристика идеального дифференцирующего и реального дифференцирующего звеньев. Определение постоянной времени по временным характеристикам.

16. Передаточная функция и переходная характеристика идеального интегрирующего и реального интегрирующего звеньев. Определение постоянной времени по временным характеристикам.
17. Звено 2-го порядка. Коэффициент затухания (демпфирования). Частные случаи звена 2-го порядка: колебательное, консервативное, апериодическое 2-го порядка. Переходная характеристика звена в каждом случае.
18. Понятие устойчивости системы. Характеристическое уравнение. Влияние расположения полюсов на устойчивость.
19. Алгебраический критерий устойчивости Гурвица.
20. Частотный критерий устойчивости Михайлова.
21. Частотный критерий устойчивости Найквиста. Запас устойчивости по фазе и по усилению.
22. Последовательная коррекция с помощью аналоговых регуляторов: пропорционально-интегральных (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД), с отставанием и опережением по фазе.
23. Коррекция с помощью аналоговых регуляторов в цепи местной обратной связи. Совместное использование последовательной коррекции и местной обратной связи.
24. Физическая реализуемость корректирующих устройств.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Основы радиоэлектроники	Кафедра математической кибернетики	Нет	Оставить учебную программу без изменений (протокол № 10 от 25.05.2022).

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ**  
на \_\_\_\_/\_\_\_\_ учебный год

№№ ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры математической кибернетики (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
доктор физ.-мат. наук, профессор

А.Л. Гладков

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
доктор физ.-мат. наук, доцент

С.М. Босяков