

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 01 » марта 20 23 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Автоматическое управление ракетными двигательными
установками
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: специалитет
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 144 (4)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных
двигателей
(код и наименование направления)

Направленность: Проектирование ракетных двигателей твёрдого топлива
(СУОС)
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: формирование знаний, умений и навыков применения методов теории автоматического управления (ТАУ) для исследования и проектирования в области автоматического управления ракетными двигательными установками.

Задачи:

- изучение теоретических основ и прикладных методов автоматического управления техническими системами и процессами ракетных двигательных установок;
- формирование умений решения задач анализа и синтеза систем автоматического управления (САУ);
- формирование навыков постановки, математического моделирования и исследования задач автоматического управления.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Основные понятия и задачи теории автоматического управления техническими системами и процессами.

Виды математических моделей, используемых в теории автоматического управления.

Математические и графоаналитические методы исследования автоматических систем.

Примеры решения практических задач анализа и синтеза систем автоматического управления ракетными двигательными установками.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.9	ИД-1ПК-2.9	Знает методы передаточных функций для исследования временных и частотных характеристик линейных САУ; основные понятия о нелинейных и дискретных САУ; задачи и способы управления вектором тяги твердотопливных ракетных двигательных установок.	Знает требования к составлению описаний принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов.	Контрольная работа

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.9	ИД-2ПК-2.9	Умеет выполнять параметрический синтез САУ методом стандартных коэффициентов; определять и анализировать частотные характеристики САУ; использовать методологию ТАУ для анализа статических и динамических свойств систем управления вектором тяги твердотопливных ракетных двигательных установок.	Умеет составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий.	Защита лабораторной работы
ПК-2.9	ИД-3ПК-2.9	Владеет навыками инженерного анализа систем автоматического управления по математической модели.	Владеет навыками составления описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с научно-техническим и технико-экономическим обоснованием принятых проектно-технических решений.	Курсовая работа

3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	46	46	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	14	14	
- лабораторные работы (ЛР)	10	10	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	62	62	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)	18	18	
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
8-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Основные понятия, задачи и математические основы ТАУ	7	0	6	17
<p>Введение. Ракетные двигательные установки как управляемые технические системы. Автоматическое управление и регулирование в технических системах. Теория автоматического управления и теория элементов автоматики. Исторические вехи автоматики. Достижения отечественных ученых. Взаимосвязь автоматики, кибернетики и информатики. Цели и задачи дисциплины, ее объем, структура и логическая связь с другими дисциплинами учебного плана. Формы итогового, рубежного и текущего контроля. Рекомендуемая основная и дополнительная литература. Методическое обеспечение изучения дисциплины.</p> <p>Тема 1. Инженерные и математические основы ТАУ Исследование динамического объекта: предмет, способы и задачи. Типовые воздействия на объект: ступенчатое, импульсное, синусоидальное. Переходный и установившийся режимы объекта. Временные (переходная, весовая) и частотные (амплитудная, фазовая) характеристики объекта. Специфические точки на графиках временных и частотных характеристиках (перерегулирование, резонансные частоты, частота среза). Определение статических и динамических свойств объекта (построение графика статической характеристики, определение устойчивости, вида и времени переходного процесса, установившегося значения выходного сигнала). Математическое описание динамики объекта (системы) дифференциальными уравнениями (ДУ): методология построения и линеаризации ДУ, принятые в ТАУ формы записи ДУ. Инженерный и математический аспекты решения однородного и неоднородного ДУ: общие и частные решения ДУ, собственное (свободное) и вынужденное движение объекта. Определение устойчивости объекта по корням характеристического уравнение в решении однородного ДУ. Решение ДУ операторным методом Лапласа. Решение матричного ДУ.</p> <p>Тема 2. Основные понятия, принципы и задачи автоматического управления Основные компоненты управления (цель, информация, алгоритм, воздействие). Управляющие и возмущающие воздействия, переменные состояния (фазовые переменные), управляемые величины. Управление автоматическое, автоматизированное,</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>неавтоматизированное (ручное). Функциональные элементы (чувствительные, усилительно-преобразовательные и исполнительные элементы, регулирующие органы) и схемы САУ.</p> <p>Принципы управления и построения САУ: управление по задающему воздействию, возмущению, ошибке, комбинированное и адаптивное управление, функциональные схемы разомкнутых и замкнутых САУ. Примеры реализации принципов управления в САУ ракетных двигательных установок.</p> <p>Классификация САУ по принципу управления, виду входного воздействия и цели управления, характеру сигналов, математическому описанию. Системы прямого и непрямого регулирования, статические и астатические.</p> <p>Проблемы, рассматриваемые в ТАУ: устойчивость, качество, алгоритмизация и оптимизация процессов управления. Типовые входные сигналы (воздействия) : ступенчатое, импульсное, гармоническое. Режимы работы САУ: установившийся (статический, периодический), неустановившийся (переходный, вынужденный). Основные задачи ТАУ: анализ, идентификация, синтез (оптимальный синтез).</p> <p>Тема 3. Математические модели САУ</p> <p>Способы математического описания САУ. Понятие о динамическом звене. Типовые динамические звенья. Использование линеаризации и квазистационарности в математических моделях САУ.</p> <p>Уравнения линейной САУ в переменных «вход-выход»: принятая и две стандартных формы записи. Передаточные функции и структурные схемы САУ: передаточная функция (ПФ) звена и основных соединений звеньев, эквивалентные преобразования структурных схем.</p> <p>Типовая структурная схема САУ и ее передаточные функции в разомкнутом и замкнутом состояниях. Получение дифференциальных уравнений САУ по передаточным функциям.</p> <p>Уравнения состояния и выхода одномерной линейной САУ в разомкнутом и замкнутом состояниях.</p>				
Анализ и синтез систем автоматического управления	5	6	6	29
<p>Тема 4. Исследование САУ по передаточным функциям</p> <p>Определение статической и динамических (переходной, весовой) характеристик САУ (звена САУ).</p>				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>Устойчивость САУ: понятие устойчивости, необходимое и достаточное условие. Анализ устойчивости по линеаризованным уравнениям. Необходимое условие и алгебраические критерии устойчивости линейных систем, запасы устойчивости, определение областей устойчивости. Показатели качества переходного процесса: установившаяся ошибка, перерегулирование, время, колебательность, интегральные оценки качества. Корневые оценки качества САУ: степень устойчивости, колебательность. Передаточные функции статических и астатических САУ, оценка статической ошибки по передаточной функции. Коррекция САУ: последовательная, параллельная, с местной обратной связью. Законы регулирования: пропорциональный, пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный. Синтез САУ по желаемому знаменателю передаточной функции (метод стандартных коэффициентов)</p> <p>Тема 5. Исследование линейных САУ частотными методами</p> <p>Частотная передаточная функция САУ: исходная, алгебраическая и показательная формы записи. Частотные характеристики САУ: вещественная и мнимая, амплитудная и фазовая, амплитудно-фазовая, логарифмические амплитудная и фазовая. Параметры асимптотической логарифмической амплитудной характеристики (ЛАХ): наклон асимптоты, частота сопряжения, частота среза, полоса пропускания частот, области низких и высоких частот. Построение асимптотической ЛАХ разомкнутой САУ. Оценка качества САУ по частотным характеристикам.</p> <p>Тема 6. Динамический анализ регулируемых систем ракетных двигателей</p> <p>Система управления вектором тяги как исполнительное устройство САУ полетом. Требования к статическим и динамическим характеристикам системы «рулевой привод – орган управления».</p> <p>Динамический анализ системы «рулевой привод – поворотное сопло».</p> <p>Регулирование величины силы тяги ракетного двигателя: способы, функциональные схемы, динамические особенности.</p>				
Особенности нелинейных и дискретных САУ	2	4	6	16
Тема 7. Нелинейные системы Особенности нелинейных систем: неприменимость				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>принципа суперпозиции, устойчивость в «малом» и «большом», автоколебания. Типовые нелинейные звенья. Поведение нелинейных систем на фазовой плоскости. Методологические аспекты исследования нелинейных систем. Метод гармонической линеаризации. Анализ устойчивости нелинейных САУ. Релейные САУ.</p> <p>Тема 8. Дискретные системы</p> <p>Особенности дискретных систем, квантование сигналов по времени и уровню. Функциональные схемы. Импульсные и цифровые САУ.</p> <p>Математические основы теории дискретных САУ: разностные уравнения, Z-передаточные функции, уравнения состояния. Анализ устойчивости.</p>				
ИТОГО по 8-му семестру	14	10	18	62
ИТОГО по дисциплине	14	10	18	62

Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Типовые воздействия и основные характеристики объекта в переходных и установившихся режимах
2	Построение математической модели динамики исследуемого объекта
3	Линеаризация математической модели объекта
4	Оценка устойчивости и динамического качества по характеристическому уравнению системы
5	Получение передаточных функций и анализ динамических свойств системы в разомкнутом и замкнутом состоянии
6	Получение частотных передаточных функций и построение частотных характеристик
7	Определение частотных характеристик по экспериментальным данным
8	Применение гармонической линеаризации для анализа нелинейной системы
9	Особенности моделирования и анализа дискретных систем

Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Определение статических и динамических свойств объекта численным экспериментом
2	Параметрический анализ переходной характеристики типовых (элементарных) динамических звеньев САУ
3	Исследование влияния различных законов управления на динамику переходных процессов САУ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
4	Параметрический анализ частотных характеристик звеньев САУ
5	Операция дифференцирования сигнала в системах автоматического управления

Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Анализ и синтез системы автоматического управления (САУ) ракетной двигательной установки (РДУ)

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
--

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически. 2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела. 3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу. 4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
1. Основная литература		
1	Зайцев Н. Н. Автоматическое управление в энергомашиностроении. Введение в теорию : учебное пособие для вузов / Н. Н. Зайцев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	109
2	Основы теории автоматического управления ракетными двигательными установками : учебник для вузов / А. И. Бабкин [и др.]. - Москва: Машиностроение, 1978.	13
2. Дополнительная литература		
2.1. Учебные и научные издания		
1	Автоматика и регулирование авиационных двигателей и энергетических установок. - М.: , Машиностроение, 2008. - (Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок : учебник для вузов : в 5 т.; Т. 5).	40
2	Васильев Е. М. Теория автоматического управления. Дискретные системы : учебное пособие для вузов / Е. М. Васильев, В. Г. Коломыцев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	39
3	Основы автоматического регулирования и управления : учебное пособие для втузов / Л. И. Каргу [и др.]. - Москва: Высш. шк., 1974.	48
4	Солодовников В. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования : учебное пособие для вузов / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. - Москва: Машиностроение, 1985.	75
5	Твёрдотопливные регулируемые двигательные установки : справочное издание / Ю. С. Соломонов [и др.]. - Москва: Машиностроение, 2011.	20
2.2. Периодические издания		
	Не используется	
2.3. Нормативно-технические издания		
	Не используется	
3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины		
	Не используется	
4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента		
	Не используется	

6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Соломонов Ю. С. Твердотопливные регулируемые двигательные установки / Соломонов Ю. С., Липанов А. М., Алиев А. В., Дорофеев А. А. - Москва: Машиностроение, 2011.	http://elib.pstu.ru/Record/lan3311	сеть Интернет; авторизованный доступ
Основная литература	Васильев Е. М. Теория автоматического управления. Дискретные системы : учебное пособие для вузов / Е. М. Васильев, В. Г. Коломыцев. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUElib4100	сеть Интернет; свободный доступ
Основная литература	Зайцев Н. Н. Автоматическое управление в энергомашиностроении. Введение в теорию : учебное пособие для вузов / Н. Н. Зайцев. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2733	сеть Интернет; свободный доступ

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных Scopus	https://www.scopus.com/
База данных Web of Science	http://www.webofscience.com/

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	https://elibrary.ru/
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	http://lib.pstu.ru/
Электронно-библиотечная система Лань	https://e.lanbook.com/
Электронно-библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	http://www.consultant.ru/

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовая работа	Компьютер	12
Лабораторная работа	Компьютер	12
Лекция	Компьютер	1
Лекция	Проектор	1
Практическое занятие	Компьютер	12

8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине
«Автоматическое управление ракетными двигательными установками»

Приложение к рабочей программе дисциплины

Специальность:	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация программы специалитета	Проектирование ракетных двигателей твердого топлива
Квалификация выпускника:	специалист
Выпускающая кафедра:	Ракетно-космическая техника и энергетические системы
Форма обучения:	очная

Курс: 4

Семестр: 8

Трудоёмкость:

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч

Форма промежуточной аттестации:

Экзамен: 8 семестр

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины «Автоматическое управление ракетными двигательными установками». Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (8-го семестра учебного плана) и разбито на 3 учебных модуля (раздела), в которых предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций – *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется при изучении теоретического материала, выполнении практических заданий, защите курсовой работы и отчетов по лабораторным работам, сдаче экзамена и при текущем и рубежном контроле. Средства оценки результатов обучения указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.9 Способен составлять описание принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с научно-техническим и технико-экономическим обоснованием принятых проектно-технических решений при проектировании ракетных двигателей твёрдого топлива	ИД-1 ПК-2.9	Знает: - методы передаточных функций для исследования временных и частотных характеристик линейных САУ, - основные понятия о нелинейных и дискретных САУ, - задачи и способы управления вектором тяги твердотопливных ракетных двигательных установок	Знает методологические основы систем автоматического управления ракетных двигательных установок	Вопросы тестов текущего контроля Вопросы рубежных контрольных работ

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.9	ИД-2 ПК-2.9	Умеет: - выполнять параметрический синтез САУ методом стандартных коэффициентов, - определять и анализировать частотные характеристики САУ, - использовать методологию ТАУ для анализа статических и динамических свойств систем управления вектором тяги твердотопливных ракетных двигательных установок	Умеет формулировать и решать задачи автоматического управления в ракетных двигательных установках	Задания к практическим занятиям Отчёты по ЛР Практические задания к контрольным работам рубежного контроля Курсовая работа
ПК-2.9	ИД-3 ПК-2.9	Владеет: - навыками инженерного анализа систем автоматического управления по математической модели	Владеет навыком проведения и оформления анализа динамических характеристик автоматических системы	Курсовая работа Экзаменационные вопросы и задачи

Итоговой оценкой результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

– межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

– контроль остаточных знаний.

2.1. Текущий контроль

Текущий контроль предназначен для оценивания систематичности аудиторной и самостоятельной работы обучающихся в учебном процессе дисциплины. Проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД

2.1.1. Текущий контроль усвоения знаний

Текущий контроль усвоения знаний проводится в форме бланчного экспресс-тестирования в конце аудиторного занятия. Тест содержит ограниченное число заданий по темам текущего и/или прошлых занятий. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются при проведении промежуточной аттестации.

2.1.2. Текущий контроль освоения умений и приобретения владений

Текущий контроль таких компонентов компетенций как умения и владения (табл. 1.1) осуществляется систематическим учетом своевременности и полноты решения задач практических занятий и выполнения лабораторных работ. Результаты учета отражаются в книжке преподавателя и учитываются при проведении промежуточной аттестации.

2.1.3. Отчет по лабораторным работам

Всего запланировано 5 лабораторных работы. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Отчет по лабораторным работам проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Для защиты представляется оформленный с использованием текстового редактора и электронной таблицы отчет по лабораторной работе, содержащий титульный лист, цель, краткое описание и выводы по результатам работы. Критериями для оценки отчета по 4-балльной шкале являются безошибочность и полнота выполнения работы и качество выводов. Результаты отчетов отражаются в книжке преподавателя и учитываются при проведении промежуточной аттестации.

2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

Рубежная контрольная работа

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основные понятия, задачи и математические основы теории автоматического управления», вторая КР – по модулю 2 «Анализ и синтез систем автоматического управления» и третья КР – по модулю 3 «Особенности нелинейных и дискретных САУ».

Каждая контрольная работа включает прохождение теста и выполнение комплексного практического задания по темам соответствующего модуля.

Типовой вид тестовых заданий

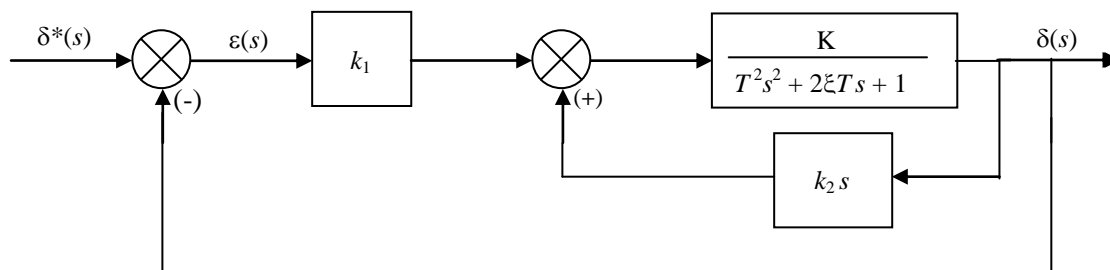
6	<p>Сигнал $z_2(t)$ на схеме – это ...</p>
	Варианты ответов
G	сигнал ошибки
E	сигнал управляемой величины
D	задающий сигнал
C	сигнал управляющего воздействия

28	<p>При подаче на вход устойчивой системы синусоидального сигнала на выходе после завершения переходного процесса устанавливаются ...</p>
	Варианты ответов
H	синусоидальные колебания с той же амплитудой, с измененной частотой и со сдвигом фаз колебаний
G	синусоидальные колебания с теми же частотой и амплитудой, но со сдвигом фаз колебаний
F	синусоидальные колебания с измененными частотой и амплитудой и со сдвигом фаз колебаний
I	синусоидальные колебания с той же частотой, с измененной амплитудой и со сдвигом фаз колебаний

Типовой вид комплексных практических заданий

Задание № _

Структурная схема контура привода органа управления вектором тяги, выходной вал которого нагружен инерционным, демпфирующим и позиционным моментами, имеет вид (возмущающее воздействие отсутствует)



где $K = 1,0$ рад/В; $T = 10^{-2}$ с; $k_2 = 0,03$ Вс; $k_1 = 9,0$ В/рад; $\xi = 0,5$.

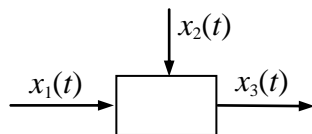
Требуется:

1. Преобразовать структурную схему к типовому виду.
2. Для типовой структурной схемы найти в аналитическом виде передаточные функции привода в разомкнутом ($W(s) = W_{\delta}^{\delta^*}(s)$) и замкнутом ($\Phi(s) = \Phi_{\delta}^{\delta^*}(s)$; $\Phi_{\epsilon}(s) = \Phi_{\delta}^{\delta^*}(s)$) состояниях.
3. Представить найденные передаточные функции в числовом виде, определив значения их коэффициентов по заданным значениям параметров исходной структурной схемы.

4. Оценить устойчивость привода в разомкнутом и замкнутом состояниях.
5. Определить величину статической ошибки и соответствующую ей величину установившегося значения выходного сигнала $\delta_{уст}$.
6. Записать дифференциальное уравнение для замкнутого привода.

Задание №

Динамика объекта управления, изображенного на рисунке функциональной схемой,



представлена следующим дифференциальным уравнением, записанным в неявном виде,

$$0,01 \frac{d^3 x_3(t)}{dt^3} + 0,2 \frac{d^2 x_3(t)}{dt^2} + 1,2 \frac{dx_3(t)}{dt} + 10x_3(t) - 0,4 \frac{dx_1(t)}{dt} - 50x_1(t) + 0,6 \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + 2,4 \frac{dx_2(t)}{dt} + 6x_2(t) = 0.$$

Требуется:

1. С использованием символа операции дифференцирования ($p = \frac{d}{dt}$), записать данное уравнение в принятой для ТАУ форме.
2. Преобразовать записанное в принятой для ТАУ форме дифференциальное уравнение к стандартному виду: а) 1-го типа, б) 2-го типа.
3. Записать характеристическое уравнение и по его коэффициентам оценить свойство устойчивости объекта.
4. Записать уравнение установившегося статического режима объекта и построить графики его статических характеристик.

2.3. Выполнение индивидуального задания на самостоятельную работу

Для развития способности и оценки самостоятельного усвоения знаний, освоения умений и приобретения владения навыками дисциплинарных частей компетенций дисциплины, как не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное задание студенту

Индивидуальное задание содержит набор комплексных практических заданий, каждое из которых предполагает решение нескольких взаимосвязанных задач по основным темам дисциплины.

Защита индивидуального задания включает разбор решений всех задач комплексных практических заданий с одновременным собеседованием по их теоретическим аспектам.

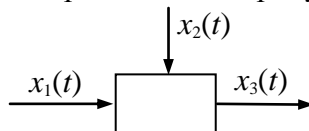
Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС образовательной программы специалитета.

Типовой вид индивидуального задания

Индивидуальное задание по дисциплине «Автоматическое управление ракетными двигательными установками» для самостоятельной работы студентов

Задание № 1

Динамика объекта управления, изображенного на рисунке функциональной схемой,



представлена следующим дифференциальным уравнением, записанным в неявном виде,

$$0,01 \frac{d^3 x_3(t)}{dt^3} + 0,2 \frac{d^2 x_3(t)}{dt^2} + 1,2 \frac{dx_3(t)}{dt} + 10x_3(t) - 0,4 \frac{dx_1(t)}{dt} - 50x_1(t) + 0,6 \frac{d^2 x_2(t)}{dt^2} + 2,4 \frac{dx_2(t)}{dt} + 6x_2(t) = 0.$$

Требуется:

1. С использованием символа операции дифференцирования ($p = \frac{d}{dt}$, см. Приложение П.1.4 в [1] и [2]), записать данное уравнение в принятой для ТАУ форме (см. [1], стр.52; [2], стр.31).
2. Преобразовать записанное в принятой для ТАУ форме дифференциальное уравнение к стандартному виду: а) 1-го типа, б) 2-го типа.
3. Записать характеристическое уравнение и по его коэффициентам оценить свойство устойчивости объекта (см. Приложение П.1.4 и раздел 4.5 в [1], [2])
4. Записать уравнение установившегося статического режима объекта и построить графики его статических характеристик (см. рис.2.2.4, рис.3.2.2 и формулу 3.2.2 в [1], [2])

Задание № 2

Дифференциальное уравнение, описывающее динамику (неустановившееся состояние, см. [1], стр.45; [2], стр.27) линейной системы, имеет следующее характеристическое уравнение:

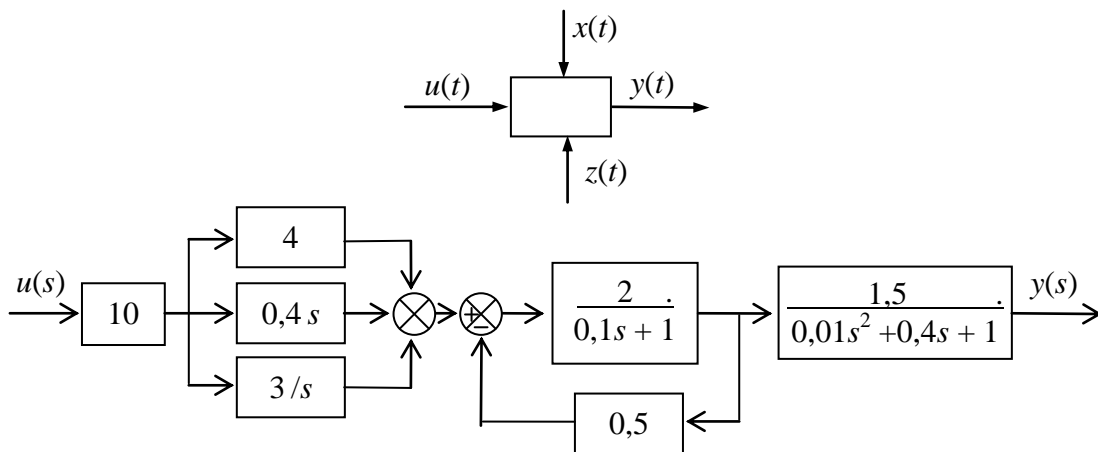
- а) $0,4s^3 + 1,2s^2 + 4s + 17 = 0.$
- б) $0,02s^4 + 0,9s^3 + 3,2s^2 + 4s + 9,4 = 0.$
- в) $0,04s^3 + 0,8s^2 + 3,1s + 21 = 0.$
- г) $0,02s^5 + 0,053s^4 + 0,45s^3 + 0,6s^2 + 0,75s - 2,4 = 0.$
- д) $-0,4s^2 - 1,2s - 4 = 0.$
- е) $0,005s^6 + 0,01s^5 + 0,075s^4 + 1,6s^2 + 2s + 6,4 = 0.$
- ж) $0,4s^3 + 1,2s^2 + 4s = 0.$
- з) $(s^2 + 1)(0,1s^2 + 2s + 6,4) = 0.$

Требуется:

1. Для каждого варианта характеристического уравнения по его коэффициентам дать полное обоснованное заключение об устойчивости системы (см. разд. 4.4, 4.5 и 4.8 в [1], [2])

Задание № 3

Динамика системы, представленной на рисунке функциональной схемой,



описывается дифференциальным уравнением:

$$0,05 \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + 0,3 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2,1 \frac{dy(t)}{dt} + 10y(t) = 0,4 \frac{du(t)}{dt} + 40u(t) + 0,3 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 1,2 \frac{dx(t)}{dt} + 3x(t) - 4z(t).$$

Требуется:

1. Найти передаточные функции $(W_y^u(s) = \frac{y(s)}{u(s)}, W_y^x(s) = \frac{y(s)}{x(s)}, W_y^z(s) = \frac{y(s)}{z(s)})$ для

выходного сигнала $y(t)$ по каждому из 3-х входных сигналов – $u(t)$, $x(t)$, $z(t)$. (См. Приложение П.1.7 и раздел 3.3, в [1], [2]).

2. Преобразовать найденные передаточные функции к стандартному виду 2-го типа (см. разделы 3.2 и 3.3 в [1], [2]).

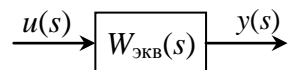
3. Изобразить структурную схему, соответствующую данному уравнению (см. раздел 3.3 в [1], [2]).

Задание № 4

Динамическая система представлена следующей структурной схемой

Требуется:

1. Преобразовать структурную схему к виду



определив эквивалентную передаточную функцию $W_{\text{экв}}(s) = \frac{y(s)}{u(s)}$ (см. разд. 3.4 в [1], [2]).

2. Оценить устойчивость системы по найденной передаточной функции $W_{\text{экв}}(s)$.

Задание № 5

Для исследуемой системы найдена эквивалентная передаточная функция следующего вида

$$W_{\text{экв}}(s) = \frac{10(0,91s + 1)}{(0,05s + 1)(0,1s + 1)(0,01s^2 + 0,1s + 1)(0,04s^2 + 0,32s + 1)}$$

Требуется:

1. По полюсам передаточной функции $W_{\text{экв}}(s)$ оценить устойчивость и корневые показатели качества – степень устойчивости η и степень колебательности μ (см. разд.4.3 и 4.8 в [1], [2]).

2. С помощью степени устойчивости η оценить время переходного процесса системы при типовом ступенчатом входном сигнале (см. разд.2.2 и 4.8 в [1], [2]).

Задание № 6

Структурная схема контура привода, выходной вал которого нагружен инерционным, демпфирующим и позиционным моментами, имеет вид (возмущающее воздействие отсутствует)

где $K = 1,0$ рад/В; $T = 10^{-2}$ с; $k_2 = 0,03$ Вс; $k_1 = 9,0$ В/рад; $\xi = 0,5$.

Требуется:

1. Преобразовать структурную схему к типовому виду (см. разд.3.4 и 4.2 в [1], [2]).
 2. Для типовой структурной схемы найти в аналитическом виде передаточные функции привода в разомкнутом ($W(s) = W_{\delta}^*(s)$) и замкнутом ($\Phi(s) = \Phi_{\delta}^*(s)$; $\Phi_{\varepsilon}(s) = \Phi_{\varepsilon}^*(s)$) состояниях (см. разд.4.2 в [1], [2]).

3. Представить найденные передаточные функции в числовом виде, определив значения их коэффициентов по заданным значениям параметров исходной структурной схемы.

4. Оценить устойчивость привода в разомкнутом и замкнутом состояниях.

5. Определить величину статической ошибки (по формуле 4.7.1 из [1], [2]) и соответствующую ей величину установившегося значения выходного сигнала $\delta_{\text{уст}}$ (см. разд.4.6 и 4.7 в [1], [2], а также стр.209 в [1]).

6. Записать дифференциальное уравнение для замкнутого привода (см. р. 4.3 в [1], [2]).

Задание № 7

Переходная характеристика системы имеет вид, показанный на рисунке.

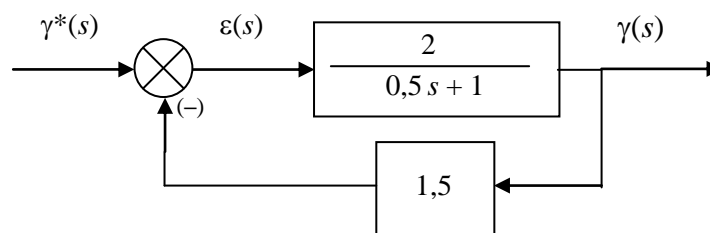


Требуется:

1. Определить показатели динамического качества системы: перерегулирование, время и колебательность переходного процесса (см. разд. 4.6 в [1], [2]).

Задание № 8

Исследуемая система имеет структурную схему, показанную на рисунке.



Требуется:

1. Найти передаточную функцию разомкнутой системы $W_p(s)$ (см. рис. 5.2.4 в [1], [2]).
2. Найти исходную форму частотной передаточной функции (ЧПФ) разомкнутой системы $W_p(j\omega)$ (см. разд. 5.1 в [1], [2]).
3. Представить $W_p(j\omega)$ в алгебраической и показательной формах записи (см. пример 5.1.1 в [1], [2]).
4. Используя алгебраическую форму записи $W_p(j\omega)$, построить качественный вид графика амплитудно-фазовой частотной характеристик (АФЧХ) разомкнутой системы (см. пример 5.2.1 в [1], [2]).
5. Оценить устойчивость замкнутой системы по АФЧХ разомкнутой системы, используя критерий Найквиста - Михайлова (см. разд. 5.4 в [1], [2]).
6. Используя показательную форму записи $W_p(j\omega)$, получить выражения и построить качественный вид графиков логарифмических характеристик разомкнутой системы: $L(\omega)$ – ЛАХ и $\varphi(\omega)$ - ЛФЧХ (см. пример 5.3.2 в [1], [2]).
7. Используя полученное выражение для ЛАХ – $L(\omega)$, определить частоту среза ω_c (см. [1], стр.115 и [2], стр.67).

Задание № 9

Частотная передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$W_p(j\omega) = \frac{100(1 + j1,5\omega)(1 - 0,01\omega^2 + j0,1\omega)}{j\omega(1 + j0,005\omega)(1 + j0,7\omega)(1 - 0,0016\omega^2 + j0,08\omega)}$$

Требуется:

1. Представить $W_p(j\omega)$ в показательной форме записи, воспользовавшись для нахождения модуля и аргумента данной частотной передаточной функции правилами алгебры комплексных функций (см. пример 5.1.2 в [1], [2]).

Задание № 10

Передаточная функция системы в разомкнутом состоянии имеет вид

$$W_p(s) = \frac{100(1,5s + 1)}{s(0,005s + 1)(0,7s + 1)(0,01s^2 + 0,1s + 1)(0,0016s^2 + 0,08s + 1)}$$

Требуется:

1. Изобразить качественный вид графика асимптотической ЛАХ, воспользовавшись формализованным алгоритмом построения ЛАХ по передаточной функции (см. пример 5.3.4 в [1], [2]).
2. Определить приближенно по построенному графику интервал частот, в котором располагается частота среза ω_c (см. рис. 5.3.6 в [1], [2]).

Задание № 11

Математическая модель разомкнутого канала управления включает:

- уравнение углового движения объекта управления

$$T^2 \frac{d^2\gamma(t)}{dt^2} + \frac{d\gamma(t)}{dt} = K\delta(t) + K_M M_\gamma(t);$$

- уравнение привода с органом управления

$$T_{II} \frac{d\delta(t)}{dt} + \delta(t) = K_u u(t),$$

где $T = 2$ с, $K = 70$ с⁻¹, $K_M = 0,01$ (Нм·с)⁻¹, $T_{II} = 0,1$ с, $K_u = 0,05$ рад/В,

$M_\gamma(t)$ – возмущающее воздействие (возмущающий момент)

ТРЕБУЕТСЯ:

1. Записать уравнения в операторной форме, разрешить их относительно выходных сигналов ($\gamma(s)$ и $\delta(s)$) и представить их в виде структурных схем (см. разд. 3.3 и 6.2 в [1], [2]; разд. 8.3 в [1]).

2. Составить структурную схему для разомкнутого канала управления (см. рис.3.3.2 и 4.2.1 в [1], [2]; рис.8.1.2 и 8.3.2 в [1]).

3. Составить структурную схему замкнутого канала управления, приняв сигнал ошибки $\varepsilon(s) = \gamma^*(s) - \gamma(s)$ и включив последовательное корректирующее звено с передаточной функцией $W_k(s) = \frac{u(s)}{\varepsilon(s)} = k_1$ (см. рис.8.3.3 в [1]).

4. Преобразовать получившуюся структурную схему к типовому виду структурной схемы системы автоматического управления (САУ), для которой найти передаточные функции САУ в разомкнутом ($W(s)$, $W^M(s)$) и замкнутом ($\Phi(s)$, $\Phi^M(s)$, $\Phi_\varepsilon(s)$, $\Phi_\varepsilon^M(s)$) состояниях (см. разд.4.2 в [1], [2]; разд. 8.3 в [1]).

5. Из условия устойчивости замкнутой системы выбрать значение коэффициента k_1 (см. разд.4.5 в [1], [2]; разд. 8.3 в [1]).

6. При выбранном значении k_1 :

6.1) оценить устойчивость САУ в разомкнутом и замкнутом состояниях (см. разд.4.5 в [1], [2]; разд. 8.3 в [1]);

6.2) оценить величину статической ошибки при $\gamma^*(t) = \mathbf{1}(t)$ и $M_\gamma(t) = 0$ (см. разд.4.7 в [1], [2]);

6.3) найти установившееся значение выходного сигнала замкнутой САУ при входных сигналах $\gamma^*(t) = 0$ и $M_\gamma(t) = M^0 \mathbf{1}(t)$, где $M^0 = 2,0$ Нм (см. разд.4.6 и 4.7 в [1], [2], а также стр.209 в [1]);

6.4) найти установившееся значение выходного сигнала разомкнутой САУ при входных сигналах $\gamma^*(t) = 0$ и $M_\gamma(t) = M^0 \mathbf{1}(t)$, где $M^0 = 2,0$ Нм (см. стр.209 в [1]);

6.5) из сравнения результатов пунктов 6.3 и 6.4 сформулировать вывод (см. стр.209 в [1]).

Список рекомендуемой литературы

1. Зайцев Н.Н. Автоматическое управление в энергомашиностроении. Введение в теорию: учеб. пособие /Н.Н.Зайцев. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 276 с.

2. Зайцев Н.Н. Введение в теорию автоматического управления: учеб. пособие /Н.Н.Зайцев. – Пермь: ООО Фирма НИК, 2005. – 142 с.

2.4. Выполнение курсовой работы

Тема курсовой работы – «Анализ и синтез системы автоматического управления (САУ)»

Цель курсовой работы – приобретение умений и навыков использования методов и программных средств ТАУ при проектном анализе автоматических систем РДУ.

Исходные данные: функциональная схема разомкнутого канала регулирования автоматической системы РДУ; дифференциальные уравнения функциональных элементов; варианты значений коэффициентов дифференциальных уравнений; виды стандартных характеристических уравнений; значение требуемого времени переходного процесса замкнутой системы.

Содержание курсовой работы – постановка и решение задач проектного анализа и синтеза автоматической системы регулирования в разомкнутом и замкнутом состоянии с использованием методов и программ ТАУ.

Последовательность выполнения:

- формализация проектной задачи: анализ исходных данных, определение размерности сигналов, формулировка главных и частных задач, определение порядка и способов их решения;
- анализ динамических свойств разомкнутого канала регулирования;
- анализ динамических свойств замкнутого канала регулирования;
- синтез САУ с определением параметров корректирующих звеньев методом стандартных коэффициентов;
- определение частотных характеристик синтезированной САУ;
- по переходной характеристике оценка соответствия синтезированной САУ требованиям технического задания.
- формулировка выводов по работе.

В результате выполнения курсовой работы обучающийся должен освоить следующие компоненты компетенции:

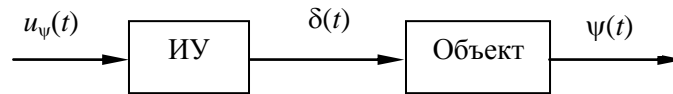
- умение: записывать уравнения элементов САУ в принятой для ТАУ форме и строить по ним структурные схемы; исследовать устойчивость и качество линейных САУ с помощью передаточных функций; проводить численное моделирование динамических систем на ЭВМ; выполнять параметрический синтез САУ методом стандартных коэффициентов; определять и анализировать частотные характеристики САУ;

- владение: навыками постановки и решения задач анализа и синтеза линейных стационарных САУ; навыками обработки и оформления результатов исследования с использованием компьютерных программ электронных таблиц и текстовых редакторов; навыками инженерного анализа САУ по математической модели.

Типовой вид вариантов задания на курсовое проектирование

Вариант II

Функциональная схема разомкнутого канала управления угловым движением объекта (летательного аппарата по рысканию) имеет вид



Линеаризованные уравнения динамики элементов канала регулирования имеют вид:
для Объекта

$$J_y \ddot{\psi}(t) + \mu_y \dot{\psi}(t) + c_{\psi\psi} \psi(t) = c_{\psi\delta} \delta(t)$$

для Исполнительного Устройства (ИУ)

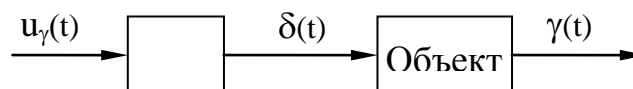
$$J \ddot{\delta}(t) + \bar{C}_{\delta} \dot{\delta}(t) + C_{\delta} \delta(t) = C_u u_{\psi}(t)$$

- где J_y - момент инерции объекта относительно вертикальной (Oy) оси, кгм² ;
 μ_y - коэффициент демпфирующего момента ЛА, Нмс ;
 $C_{\psi\psi}$ - коэффициент аэродинамического статического момента ЛА, Нм;
 $C_{\psi\delta}$ - коэффициент эффективности ИУ, Нм ;
 J - приведенный момент инерции ИУ, кгм² ;
 \bar{C}_{δ} - приведенный коэффициент демпфирующего момента ИУ, Нмс ;
 C_{δ} - коэффициент позиционного шарнирного момента ИУ, Нм ;
 C_u - передаточный коэффициент ИУ по моменту, Нм/В ;

N п/п	J_y , кгм ²	μ_y , Нмс	$C_{\psi\psi}$, Нм	$C_{\psi\delta}$, Нм	J , кгм ²	\bar{C}_{δ} , Нмс	C_{δ} , Нм	C_u , Нм/В	Исполнитель задания
1	10800	41	-233,3	38394	5,36	434,4	7183,8	33,1	
2	9750	364,6	-50622	50368,5	6,37	508,3	11522,9	53,1	
3	8350	325,6	-113477	70398,8	36,1	135,7	74974,6	261,7	
4	6612	7,3	-24531	79965,5	14,24	19,6	80365,2	280,5	
5	9750	364,6	-50622	50368,5	5,36	434,4	7183,8	33,1	
6	10800	41	-233,3	38394	6,37	508,3	11522,9	53,1	
7	8350	125,6	-113477	70398,8	36,1	135,7	54974,6	261,7	

Вариант III

Функциональная схема разомкнутого канала управления угловым движением объекта (летательным аппаратом по крену) имеет вид



Линеаризованные уравнения динамики элементов канала регулирования имеют вид:

для Объекта

$$J_x \ddot{\gamma}(t) + \mu_x \dot{\gamma}(t) = C_{\gamma\delta} \delta(t)$$

для Исполнительного Устройства (ИУ)

$$J \ddot{\delta}(t) + \bar{C}_{\delta} \dot{\delta}(t) + C_{\delta} \delta(t) = C_u u_{\gamma}(t)$$

где J_x - момент инерции объекта относительно продольной (Ox) оси, кгм² ;
 μ_x - коэффициент демпфирующего момента , Нмс ;
 $C_{\gamma\delta}$ - коэффициент эффективности ИУ, Нм ;
 J - приведенный момент инерции ИУ, кгм² ;
 \bar{C}_{δ} - приведенный коэффициент демпфирующего момента ИУ, Нмс ;
 C_{δ} - коэффициент позиционного шарнирного момента ИУ, Нм ;
 C_u - передаточный коэффициент ИУ по моменту, Нм/В ;

N п/п	J_x , кгм ²	μ_x , Нмс	$C_{\gamma\delta}$, Нм	J , кгм ²	\bar{C}_{δ} , Нмс	C_{δ} , Нм	C_u , Нм/В	Исполнитель задания
1	613,9	14,5	-7606	0,02	29,1	12,2	0,043	
2	613,9	14,5	-7606	0,03	28,9	13,4	0,047	
3	559,4	48,1	-7914	0,02	29,1	12,2	0,043	
4	559,4	48,1	-7914	0,03	32,0	13,4	0,047	
5	550,0	54,2	-8120	0,02	32,1	12,2	0,045	
6	510,3	180,5	-8499	0,02	29,1	12,2	0,043	
7	510,3	180,5	-8499	0,03	28,9	13,4	0,047	

2.5. Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ, защита курсовой работы и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

2.5.1. Промежуточная аттестация в виде экзамена

Промежуточная аттестация, согласно РПД, осуществляется в виде экзамена. Экзамен по дисциплине проводится устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций. Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролируемые уровень сформированности всех заявленных компетенций. Форма билета и критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде экзамена приведены в общей части ФОС образовательной программы специалитета.

В отдельных случаях (например, при переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде экзамена по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания, включающим тестирование по всем темам разделов дисциплины для проверки усвоенных знаний и выполнение комплексного практического задания для контроля уровня освоенных умений и приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Тест для аттестационного испытания в виде экзамена включает тестовые задания, используемые при рубежном контроле всех модулей дисциплины. Комплексные практические задания формируются подобно задаче № 11 из индивидуального задания (см. выше).

2.5.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы специалитета.

3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов компетенций

3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС программы образовательной специалитета.

3.2. Оценка уровня сформированности компетенций

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы специалитета.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы специалитета.