

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**

**Институт транспорта и логистики
Кафедра двигателей внутреннего сгорания**

УТВЕРЖДАЮ
Директор института транспорта и логистики
 **Выкадоров В.В.**
2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ДВС»

По направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение

Профиль «Двигатели внутреннего сгорания»

Луганск 2023

Лист согласования рабочей программы учебной дисциплины

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Автоматическое регулирование ДВС». – 53 с.

Рабочая программа учебной дисциплины (модуля) «Автоматическое регулирование ДВС» разработана с учетом ФГОС ВО: Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 145.

СОСТАВИТЕЛИ:

канд. техн. наук, доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Тырловой С. И.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» 12.04 2023г., протокол № 8

Заведующий кафедрой _____ А.А.Данилейченко

Переутверждена: « _____ » _____ 202_ г., протокол № _____

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии института транспорта и логистики
« 14 » 04 _____ 2023 г., протокол № 8

Председатель учебно-методической
комиссии института



Е.И.Иванова

© Тырловой С.И., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. ДАЛЯ», 2023 год

1. Цели и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель - дать специалистам комплекс знаний по вопросам теории, конструирования и расчета систем автоматического регулирования двигателей.

Задачами изучения дисциплины является получение комплекса знаний, которые позволят рассчитывать, проектировать, испытывать и оценивать правильность выбора основных параметров систем автоматического регулирования двигателей внутреннего сгорания.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Автоматическое регулирование ДВС» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, модуль профессиональных дисциплин подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Необходимыми условиями для освоения дисциплины являются: знания разделов из цикла фундаментальных и профессионально-ориентированных дисциплин, умения воспользоваться имеющейся информацией для дальнейшего проектирования и расчета рабочего процесса двигателя и его систем.

Основывается на базе дисциплин: математики, физики, механика жидкости и газа, основы газовой динамики комбинированных двигателей, системы ДВС, теория рабочих процессов ДВС.

Является основой для изучения следующих дисциплин: специальные виды ДВС, системы топливоподачи и управление ДВС, диагностика и техническое обслуживание ДВС, испытания ДВС.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля)

ПК-4. Способен проводить анализ работы объектов профессиональной деятельности.	ПК-4.2. Производит мониторинг режимных параметров работы оборудования.	знать конструкцию, методику расчета и испытаний, методы, способы анализа и критерии устойчивости режимов работы двигателя; уметь выполнять расчеты переходных процессов и определять устойчивость систем автоматического регулирования ДВС. владеть навыками по оценке динамических качеств и выбору основных параметров систем автоматического регулирования ДВС.
--	--	---

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (зач. ед.)	
	Очная форма	Заочная форма
Общая учебная нагрузка (всего)	108 (3 зач. ед)	108 (3 зач. ед)
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего) в том числе:	56	16
Лекции	28	8
Семинарские занятия		
Практические занятия	14	4
Лабораторные работы	14	4
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-
Другие формы и методы организации образовательного процесса (<i>расчетно-графические работы, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинг, компьютерные симуляции, интерактивные лекции, семинары, анализ деловых ситуаций и т.п.</i>) индивидуальное задание	18	18
Самостоятельная работа студента (всего)	52	92

Форма аттестации	Экзамен 8 семестр	Экзамен 9 семестр
------------------	----------------------	----------------------

4.2. Содержание разделов дисциплины

- 1. Введение. Цель и задачи курса.** Историческая справка. Основные понятия и определения. Классификация САР. Регуляторы непрерывного. действия, импульсные, релейные.
- 2. Схемы систем регулирования.** Регуляторы позиционные, вибрационные, программные. САР следящие, самонастраивающиеся, экстремальные.
- 3. Функционирование систем регулирования.** Системы прямого и косвенного действия. Статические и астатические регуляторы
- 4. ДВС как объект регулирования скорости.** Фактор устойчивости ДВС. Анализ необходимости регулирования, уравнение динамики ДВС.
- 5. Типовые звенья САР.** Уравнения типовых звеньев и переходные характеристики. Уравнения динамики турбокомпрессора, коллектора, ресивера.
- 6. Чувствительные элементы и усилители.** Измерители скорости и гидравлические сервомоторы, вывод уравнений динамики.
- 7. Анализ динамики САР.** Аналитические методы. Метод Лапласа. Численные методы интегрирования уравнений динамики САР на ЭВМ
- 8. Устойчивость САР.** Виды устойчивых и неустойчивых переходных процессов. Необходимые и достаточные условия устойчивости.
- 9. Критерии устойчивости САР.** Алгебраические критерии устойчивости. Понятие о частотных методах исследования САР.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Введение. Цель и задачи курса.	2	2
2	Схемы систем регулирования.	2	
3	Функционирование систем регулирования.	2	
4	ДВС как объект регулирования скорости.	4	2
5	Типовые звенья САР.	4	
6	Чувствительные элементы и усилители.	4	2
7	Анализ динамики САР.	4	
8	Устойчивость САР.	2	2
9	Критерии устойчивости САР. Алгебраические.	4	
	Итого:	28	8

4.4. Практические занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Конструкция и принцип действия центробежного регулятора частоты вращения прямого действия	2	1
2	Испытания САРЧ Стандарты на испытания САРЧ ДВС. Определение пределов настройки потребителя. Регуляторная характеристика.	2	
3	Характеристики ДВС и потребителя. Решение задач.	2	
4	Анализ динамики САР. Переходные характеристики звена 1-го порядка	2	1
5	Анализ динамики САР. Переходные характеристики апериодического и колебательного звеньев САР 2-го порядка.	2	

6	Анализ динамики САРЧ ДВС высших порядков.	2	
7	Устойчивость САР. Критерий устойчивости Гурвица. Диаграмма проф. Вышнеградского.	2	1
	Итого:	14	4

4.5. Лабораторные работы

№ п/п	Название темы	Объем часов	
		Очная форма	Заочная форма
1	Определение пределов настройки и построение регуляторных характеристик САРЧ дизеля	4	1
2	Определение показателей переходных процессов дизелей.	2	
3	Характеристики ДВС и потребителя.	2	1
4	Переходные характеристики звена 1-го порядка	2	
5	Переходные характеристики апериодического и колебательного звеньев САР 2-го порядка.	2	1
6	Динамика САРЧ ДВС 3-го и высших порядков.	2	
7	Критерий устойчивости Гурвица. Диаграмма проф. Вышнеградского. Частотный критерий устойчивости Михайлова	2	1
	Итого:	14	4

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов	
			Очная форма	Заочная форма
1	Определение пределов настройки и построение регуляторных характеристик САРЧ дизеля	подготовка к лабораторным работам	11	24
2	Анализ динамики САР. Переходные характеристики апериодического и колебательного звеньев САР 2-го порядка.	Индивидуальное задание. Результаты моделирования. Программа расчета.	18	18
3	Анализ динамики САР. Численное моделирование движения САР.	подготовка к лабораторным работам	11	24
4	Определение устойчивости САР	подготовка к лабораторным работам	12	26
	Итого:		52	92

4.7. Курсовые работы/проекты.

Не предусмотрено учебным планом.

5. Образовательные технологии

В процессе обучения для достижения планируемых результатов освоения дисциплины используются следующие образовательные технологии:

- традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

- информационно-коммуникационная технология, в том числе визуализация, создание электронных учебных материалов;
- использование электронных образовательных ресурсов при подготовке к лекциям, практическим и лабораторным занятиям;
- технология проблемного обучения, в том числе в рамках разбора проблемных ситуаций;
- технология развивающего обучения, в том числе постановка и решение задач от менее сложных к более сложным, развивающих компетенции студентов.

В рамках перечисленных технологий основными методами обучения являются: работа в команде; самостоятельная работа; проблемное обучение.

6. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

1. Тырловой С. И. Автоматическое регулирование ДВС: учебное пособие для студентов направления подготовки 13.03.03 «Энергетическое машиностроение» профиль «Двигатели внутреннего сгорания» [Электронный ресурс] / С. И. Тырловой. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2023. - 190 с.
2. Чемодаков А. Л. Регуляторы частоты вращения судовых двигателей внутреннего сгорания / А. П. Чемодаков. - Москва: Директ-Медиа, 2020. - 79 с. - ISBN 978-5-4499-0734-9. - Текст: электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1959234> Земляков В.Л., Основы автоматического управления: учебное пособие / Земляков В. Л. - Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2017. - 116 с. - ISBN 978-5-9275-2373-3 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927523733.html>
3. Ившин В.П., Автоматическое регулирование: учебное пособие / Ившин В. П. - Казань: Издательство КНИТУ, 2016. - 80 с. - ISBN 978-5-7882-1941-7 - Текст: электронный // ЭБС "Консультант студента": [сайт]. - URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785788219417.html>

б) дополнительная литература:

4. Петрова, А. М. Автоматическое управление : учебное пособие / А.М. Петрова. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 240 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-467-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1937949> (дата обращения: 31.01.2024).
5. Двигатели внутреннего сгорания. Том 3. Компьютерные системы управления ДВС / под ред. А.П.Марченко, А.Ф.Шеховцова. Харьков. Прапор, 2004. - 344 с. - ISBN 966-7880-99-0: 30 грн.
6. Двигатели внутреннего сгорания: системы поршневых и комбинированных двигателей [Текст]: учебник / С. И. Ефимов, Н. А. Иващенко, В. И. Ивин; под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 1985. - 456 с. - 2 р.
7. Крутов В. И. Регулирование турбонаддува ДВС [Текст]: учебное пособие / В. И. Крутов, А. Г. Рыбальченко. - Москва : Высшая школа, 1978. - 213 с. - 187 крб.
8. Крутов В. И. Сборник задач по автоматическому регулированию двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебное пособие / В. И. Крутов. - 2-е изд. перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 1990. - 320 с. - ISBN 5-217-01000-2: 1 р.
9. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования [Текст]: учебник для вузов / под науч. ред. Г. М. Глинкова. - Москва: Металлургия, 1987. - 270 с. - 1 р. 10 к.
10. Левин М. И. Автоматизация судовых дизельных установок [Текст] : учебное пособие / М. И. Левин. - Ленинград: Судостроение, 1969. - 468 с. - 1 р. 15 к.

в) методические указания:

11. Методические указания к контрольной работе по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС» для студентов направления подготовки 13.03.03.«Энергетическое машиностроение» профиль «Двигатели внутреннего сгорания» [Электронный ресурс] / сост.: С. И. Тырловой, А. А. Данилейченко. - Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2022. - 63 с.
12. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС» для студентов направления подготовки 13.03.03.

«Энергетическое машиностроение», профиль «Двигатели внутреннего сгорания» [Электронный ресурс] / сост. С. И. Тырловой. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2023. - 46 с.

13. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС» (студентов специальности «Двигатели внутреннего сгорания») / Сост. С.И.Тырловой. - Луганск: Изд-во - ВНУ им. В.Даля, 2012. 27с.

14. Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС» для студентов направления подготовки 13.03.03. «Энергетическое машиностроение» профиль «Двигатели внутреннего сгорания» [Электронный ресурс] / сост. С. И. Тырловой. - Луганск: ЛГУ им. В. Даля, 2023. - 37 с.

в) Интернет-ресурсы:

Министерство образования и науки Российской Федерации – <http://минобрнауки.рф/>
Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>
Министерство образования и науки Луганской Народной Республики – <https://minobr.su>

Народный совет Луганской Народной Республики – <https://nslnr.su>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант-студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Электронно-библиотечная система «StudMed.ru» – <https://www.studmed.ru>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

7. Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины (модуля)

Лекционные занятия проводятся в академических аудиториях.

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Практические занятия: проводятся с использованием раздаточного материала, наглядных пособий, демонстрационных плакатов. Прочее: комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме.

Лабораторные работы: лаборатория ДВС, оснащенная специализированными лабораторными стендами (Стенд «Всетин» с ДВС, стенды с дизелями 5Д2, 6ЧН12/14, 1Ч12/14, 5Д4, стенд СДТА, стенд «Motorpal», стенд с ДВС 4ЧН8,5/11 с волновым обменником давления, наглядное пособие двигатель ТВЗ-117 и СПГТ, лабораторные стенды 1, 2, 3, 4 по теплотехнике, лабораторное контрольно-измерительное оборудование, наглядные пособия), плакаты со схемами лабораторных работ, шаблоны отчетов по лабораторным работам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет (комплект электронных раздаточных материалов выдается студентам в электронной форме).

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/

		https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/

8. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**Паспорт
оценочных средств по учебной дисциплине
«Автоматическое регулирование ДВС»**

Описание уровней сформированности и критериев оценивания компетенций на этапах их формирования в ходе изучения дисциплины

Этап	Код компетенции	Уровни сформированности компетенции	Критерии оценивания компетенции
Начальный	ПК-4. Способен проводить анализ работы объектов профессиональной деятельности.	Базовый	знать конструкцию, методику расчета и испытаний, методы, способы анализа и критерии устойчивости режимов работы двигателя
Основной		Повышенный	уметь выполнять расчеты переходных процессов и определять устойчивость систем автоматического регулирования ДВС.
Заключительный		Высокий	владеть навыками по оценке динамических качеств и выбору основных параметров систем автоматического регулирования ДВС

Перечень компетенций (элементов компетенций), формируемых в результате освоения учебной дисциплины (модуля) или практики

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Формулировка контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Этапы формирования (семестр изучения)
1.				Тема 1 Введение. Цель и задачи курса.	8
				Тема2 Схемы систем	

	ПК-4	Способен проводить анализ работы объектов профессиональной деятельности.	ПК-4.2. Производит мониторинг режимных параметров работы оборудования.	регулирования.	
				Тема 3 Функционирование систем регулирования.	
				Тема 4 ДВС как объект регулирования скорости.	
				Тема 5 Типовые звенья САР.	
				Тема 6 Чувствительные элементы и усилители.	
				Тема 7 Анализ динамики САР.	
				Тема 8 Устойчивость САР.	
				Тема 9 Критерии устойчивости САР. Алгебраические.	

Показатели и критерии оценивания компетенций, описание шкал оценивания

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Индикаторы достижений компетенции (по реализуемой дисциплине)	Перечень планируемых результатов	Контролируемые разделы (темы) учебной дисциплины	Наименование оценочного средства
1.	ПК-4	ПК-4.2. Производит мониторинг режимных параметров работы оборудования.	знать конструкцию, методику расчета и испытаний, методы, способы анализа и критерии устойчивости режимов работы двигателя; уметь выполнять расчеты переходных процессов и определять устойчивость систем автоматического регулирования ДВС. владеть навыками по оценке динамических качеств и выбору основных параметров систем автоматического регулирования ДВС.	Тема 1, Тема 2, Тема 3, Тема 4, Тема 5, Тема 6, Тема 7, Тема 8, Тема 9	Практическая работа, лабораторная работа, индивидуальное задание, контрольная работа

Диагностическое контрольное тестирование:

Комплект тестовых заданий, позволяющих осуществить оценку компетенции

ПК-4. Способен проводить анализ работы объектов профессиональной деятельности.	ПК-4.2. Производит мониторинг режимных параметров работы оборудования.
--	--

образовательной программы 13.03.03 Энергетическое машиностроение, профиль «Двигатели внутреннего сгорания» дисциплина «Автоматическое регулирование ДВС»

ВАРИАНТ 1

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 1.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

По принципу регулирования САР разделяются на:

1) релейные

- 2) астатические
- 3) с регулированием по отклонению.
- 4) прямого действия
- 5) с регулированием по возмущению.

Ответ: 35

Обоснование: известны 2 принципа: с регулированием по отклонению - принцип Ползунова-Уатта (применяется в замкнутых САР); с регулированием по возмущению - принцип Понселе (применяется в незамкнутых САР); на практике применяется комбинированное регулирование, в этом случае САР содержит замкнутый и разомкнутый контуры регулирования.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 2.

Прочитайте текст, выберите все правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

По виду дифференциального уравнения САР разделяются на:

- 1) релейные
- 2) 3-го порядка.
- 3) астатические
- 4) линейные.
- 5) нелинейные.

Ответ: 245

Обоснование: 245 непосредственно связаны с видом дифференциального уравнения САР.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

Прочитайте текст, выберите все правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Выделить верные утверждения:

1. Если система устойчива, то коэффициенты характеристического уравнения имеют одинаковые знаки.
2. Если коэффициенты характеристического уравнения имеют различные знаки, то система неустойчива.
3. Если коэффициенты характеристического уравнения имеют одинаковые знаки, то система 3-го порядка устойчива
4. Если коэффициенты характеристического уравнения системы второго порядка имеют одинаковые знаки, то это является необходимым и достаточным условием устойчивости.
5. Если все коэффициенты характеристического уравнения системы 4-го порядка положительные, то эта система устойчива

Ответ: 124

Обоснование: для систем 3 и более высоких порядков одинаковость знаков характеристического уравнения САР не является достаточным условием устойчивости.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Выделить верные утверждения:

1. Для систем 2-го порядка положительность коэффициентов характеристического уравнения является достаточным условием устойчивости.
2. Для систем 2-го порядка положительность коэффициентов характеристического уравнения является необходимым условием устойчивости.
3. Для систем 3-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения является достаточным условием устойчивости
4. Для систем 3-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения является необходимым условием устойчивости.
5. Для систем 4-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения является необходимым условием устойчивости

Ответ:124

Обоснование: для систем 3-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения не является достаточным условием устойчивости.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Регулятор прямого действия может не иметь статической ошибки?

- 1) нет, не может не иметь статической ошибки.
- 2) да, всегда
- 3) да при определенных условиях
- 4) может не иметь статической ошибки в случае, если водитель умеет читать и писать
- 5) не правильного ответа

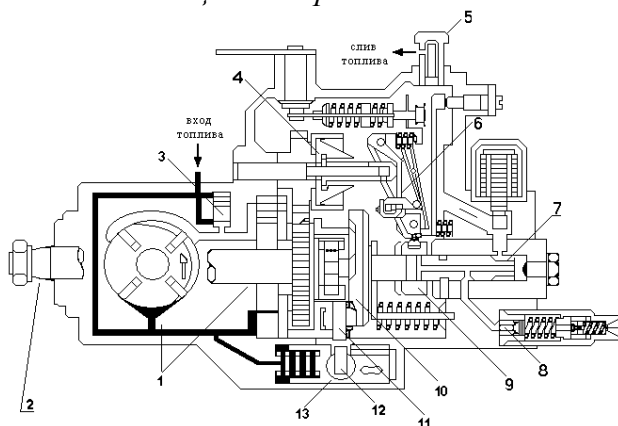
Ответ: 1

Обоснование: регулятор прямого действия не может не иметь статической ошибки, поскольку каждому значению регулируемого параметра соответствует свое значение регулирующего органа.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа



ПОЗИЦИЯ 4 НА РИС. ОЗНАЧАЕТ:

- 1)штуцер
- 2)упор рейки
- 3)рычаг управления
- 4)корпус регулятора
- 5)груз центробежного регулятора

Ответ: 5

Обоснование: практически во всех механических регуляторах автотракторных дизелей грузы регулятора имеют схожую форму, для регуляторов распределительных ТНВД с торцовым профилем кулачка типичный вид груза – поз. 4 на рис.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Заданы 4 набора значений корней характеристического уравнения. Указать, какой набор корней соответствует устойчивой системе:

- 1) $p_{1,2} = 1 \pm j5$, $p_3 = -0,125$, $p_4 = -5$
- 2) $p_{1,2} = -1 \pm j5$, $p_3 = -0,125$, $p_4 = -5$.
- 3) $p_{1,2} = 1 \pm j5$, $p_3 = 0,125$, $p_4 = 5$
- 4) $p_{1,2} = -1 \pm j5$, $p_3 = 0,125$, $p_4 = -5$
- 5) не правильного ответа

Ответ: 2

Обоснование: для устойчивой САР все действительные корни и все действительные части комплексных корней характеристического уравнения должны быть отрицательными.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Заданы 4 набора значений корней характеристического уравнения. Указать, какой набор корней соответствует устойчивой системе:

- 1) $p_1 = 1$, $p_2 = -0,9$, $p_3 = -6$, $p_4 = -1$
- 2) $p_1 = 1$, $p_2 = -0,9$, $p_3 = -6$, $p_4 = -1$
- 3) $p_1 = -1$, $p_2 = -1$, $p_3 = -1$, $p_4 = -1$.
- 4) $p_1 = 1$, $p_2 = 0,9$, $p_3 = 6$, $p_4 = 1$
- 5) не правильного ответа

Ответ: 3

Обоснование: для устойчивой САР все действительные корни и все действительные части комплексных корней характеристического уравнения должны быть отрицательными.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

При построении переходного процесса двигателя внутреннего сгорания, динамические свойства которого заданы линейным неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами:

$T_d \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = \mu_0$ необходимо получить общее решение неоднородного дифференциального уравнения.

- 1) Определить корни характеристического уравнения

- 2) Определить константу интегрирования
- 3) Составить характеристическое уравнение
- 4) Записать общее решение неоднородного дифференциального уравнения
- 5) Записать ответ

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	1	4	2	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность составления определителя Гурвица.

- 1) записать заданное характеристическое уравнение движения САР
- 4) выписать по диагонали сверху вниз и слева направо коэффициенты характеристического уравнения по убывающим степеням, начиная со второго и кончая предпоследним коэффициентом для формирования главного определителя Гурвица
- 3) дополнить полученные заготовки столбцов дописывая вниз коэффициенты характеристического уравнения по возрастающим степеням и дописывая вверх коэффициенты характеристического уравнения по убывающим степеням
- 2) заменить нулями несуществующие коэффициенты заданного характеристического уравнения
- 5) Записать ответ

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	4	3	2	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Укажите правильную последовательность выполнения работ по испытаниям САР дизеля для построения номинальной регуляторной характеристики.

- 1) дизель запускается и прогревается
- 2) увеличивается нагрузка двигателя до 25% от номинальной и замеряется частота вращения вала дизеля
- 3) повторяют увеличение нагрузка двигателя на 25% до достижения номинальной нагрузки 100% с замером частоты вращения вала дизеля, завершают экспериментальную часть работы остановом дизеля согласно инструкции по эксплуатации.
- 4) по полученным экспериментальным данным строят регуляторную характеристику
- 5) устанавливается режим холостого хода при номинальной частоте вращения вала дизеля, настройка скоростного режима при дальнейших испытаниях не изменяется.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	5	2	3	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Для определения вида (характера) переходного процесса САР 3-го порядка и степени ее устойчивости с помощью диаграммы проф. Вышнеградского необходимо выполнить следующие действия в определенной последовательности.

- 1) Выполнить нормирование уравнения движения САР.
- 2) Записать уравнение движения САР.
- 3) На диаграмме проф. Вышнеградского получить точку с координатами САР.
- 4) Определить вид (характер) переходного процесса САР 3-го порядка и степени ее устойчивости.
- 5) Записать ответ

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	1	3	4	5
---	---	---	---	---

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А		1	Автоколебательный процесс
Б		2	Расходящийся переходный процесс (сложная составляющая) при $\alpha > 0$ из-за расходимости колебательной составляющей
В		3	Расходящаяся колебательная составляющая переходного процесса при $\alpha > 0$
Г		4	Сходящаяся колебательная составляющая переходного процесса при $\alpha < 0$
		5	Апериодические составляющие переходных процессов: 1 — расходящаяся; 2, 3 и 4 — сходящаяся.

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
5	4	3	2

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Регулятор прямого действия	1	Статическая ошибка регулирования меньше нуля
Б	Регулятор с гибкой обратной связью	2	Статическая ошибка регулирования больше нуля
В	Регулятор с комбинированной положительной обратной связью	3	Двух импульсный регулятор
		4	Статическая ошибка регулирования равна нулю

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В
2	4	1

Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между участками скоростной характеристики топливоподачи (рис. 1) и конструкцией регулятора ТНВД Bosch-VE (рис. 2).

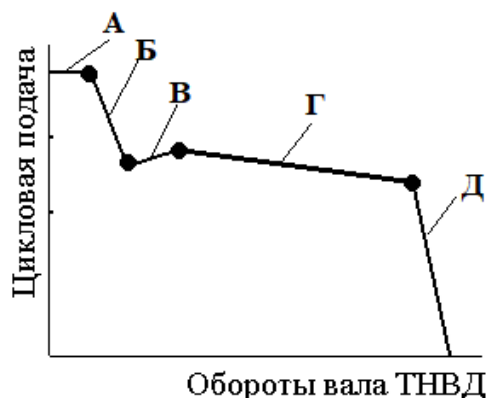


Рис. 1 - Скоростная характеристика

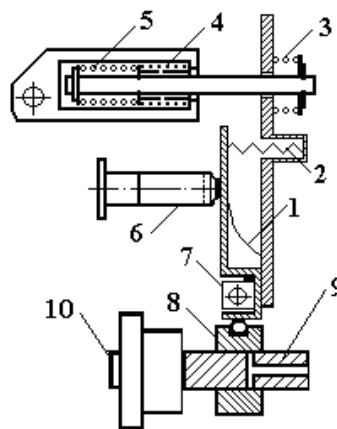


Рис. 2. - Конструкция регулятора

Выполняемая задача (рис. 1)		Показатель соответствия (рис. 2)	
А	Формируемый участок характеристики А	1	Пружина №1
Б	Формируемый участок характеристики Б	2	Пружина №4
В	Формируемый участок характеристики В	3	Пружина №3
Г	Формируемый участок характеристики Г	4	Пружина №2
		5	Пружина №5

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
1	2	3	4

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Дано: номинальная мощность $N_e = 60$ кВт; частота вращения коленчатого вала на номинальном режиме $n_o = 1600$ мин⁻¹; приведенный момент инерции ДВС $J_\partial = 1$ кг·м².
Вычислить постоянную времени двигателя T_∂ .

Ответ $T_\partial = 0,468$ с.

$$T_\partial = \frac{I_\partial \cdot \omega_0}{M_0} = \frac{I_\partial \cdot \omega_0^2}{N_e} = \frac{1 \cdot 167,46^2}{60000} = 0,468 \text{ с}$$

Решение.

$$\text{где } \omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,1416 \cdot 1600}{30} = 167,46 \text{ с}^{-1}.$$

Ответ: Постоянная времени двигателя $T_\partial = 0,468$ с.

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить фактор устойчивости двигателя, работающего на скоростном режиме $\omega = 105$ 1/сек, если статическая характеристика потребителя определяется формулой $M_c = 4 \cdot 10^{-4} n^2$ Нм, а крутящий момент двигателя принимается не зависящим от скорости вращения коленчатого вала.

Ответ. 7,64 Нм.

Решение. Фактор устойчивости двигателя определяется

$$F_\partial = \frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} = \frac{30}{\pi} \left(\frac{\partial M_c}{\partial n} - \frac{\partial M}{\partial n} \right)$$

формулой

По условию задачи крутящий момент двигателя принимается не зависящим от скорости

вращения коленчатого вала, поэтому $\frac{\partial M}{\partial n} = 0$.

$$\frac{\partial M_c}{\partial n} = 16 \cdot 10^{-4} n, n = \omega \cdot 30 / 3,141 = 1000 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда фактор устойчивости двигателя на этом режиме составит:
 $30 / 3,141 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 7,64$ Нм.

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить устойчивость САР 3-го порядка по критерию Гурвица, если коэффициенты характеристического уравнения равны:

$$A_3 = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 = 0,00001595 ;$$

$$A_2 = 1,45 \cdot 7 \cdot 10^{-3} + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,01015187 ;$$

$$A_1 = 1,45 \cdot 10 \cdot 10^{-2} + 7 \cdot 10^{-3} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,14619 ;$$

$$A_0 = 34 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,034$$

Ответ. САР устойчива согласно критерию Гурвица, его значение положительно и равно 5831547,675.

Решение. Главный определитель Гурвица для САР 3-го порядка будем искать в виде:

$$\Delta_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ 1 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0,$$

диагональные миноры отсутствуют.

Коэффициенты в выражении для главного определителя Гурвица для САР 3-го порядка будут равняться:

$$a_2 = \frac{0,01015187}{0,00001595} = 636,481; \quad a_1 = \frac{0,14619}{0,00001595} = 9165,52; \quad a_0 = \frac{0,034}{0,00001595} = 2131,66.$$

Числовое значение главного определителя Гурвица для исследуемой САР положительное и составляет: $636,481 \cdot 9165,52 - 2131,66 = 5831547,675$.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить частоту вращения двигателя «п» и ее отклонение Δn от номинального значения $n_0 = 1500 \text{ мин}^{-1}$, если относительная угловая скорость коленчатого вала в данный момент $\varphi = 0,02$.

Ответ. $n = 1470 \text{ мин}^{-1}$, $\Delta n = 30 \text{ мин}^{-1}$.

Решение: Используем известную формулу для относительной угловой скорости коленчатого

вала: $\varphi = \frac{\Delta n}{n_0}$. Здесь Δn – абсолютное отклонение текущей частоты вращения от заданного значения. Величина Δn вычисляется как $\Delta n = n - n_0$. Записав $\Delta n = \varphi \cdot n_0$ или $n - n_0 = \varphi \cdot n_0$, получим формулу связи абсолютной и относительной частоты вращения вала ДВС: $n = n_0 \cdot (1 + \varphi)$.

Теперь можно определить искомые величины:

$$n = 1500 \cdot (1 - 0,02) = 1470 \text{ мин}^{-1}, \quad \Delta n = 1500 - 1470 = 30 \text{ мин}^{-1}.$$

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Получить уравнение переходного процесс двигателя внутреннего сгорания, динамические свойства которого заданы линейным неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами: $T_d \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = \mu_0$ (1.1)

Дано: $T_d = 1,2$ секунды – постоянная времени ДВС, $K_d = 0,04$ – коэффициент самовыравнивания ДВС; $\mu_0 = -0,05$ – возмущение; $n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$ – начальная частота вращения коленчатого вала (до введения возмущения). φ – относительная угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя; t – время, от начала переходного процесса.

$$\text{Ответ. } \varphi = -1,25 \cdot (1 - e^{-0,0333t}). \quad (1.8)$$

Решение:

Решением дифференциального уравнения (1.1) является зависимость относительной угловой скорости коленчатого вала двигателя (φ), от времени (t), то есть функция $\varphi = \varphi(t)$, которая находится в виде суммы φ_v и $\varphi_{св}$:

$$\varphi = \varphi_v + \varphi_{св}, \quad (1.2)$$

где φ_v – вынужденная угловая скорость, определяемая величиной возмущения; $\varphi_{св}$ – свободная угловая скорость, определяемая свойствами только двигателя и потребителя:

$$\varphi_v = \mu_0 / K_g = \frac{(-0,05)}{0,04} = -1,25; \quad (1.3)$$

$$\varphi_{св} = C \cdot e^{P \cdot t}, \quad (1.4)$$

здесь C – константа интегрирования; P – корень характеристического уравнения (1.5); t – текущее время.

$$T_d \cdot P + K_d = 0, \quad (1.5)$$

откуда $P = -K_d / T_d$.

$$\text{После подстановки числовых значений: } P = -\frac{0,04}{1,2} = -0,0333.$$

При начальных условиях, когда $t = 0$ и $\varphi = 0$, уравнение (1.2) после подстановки в него (1.3) и (1.4) примет вид:

$$0 = \frac{\mu_0}{K_g} + C \cdot e^{-(K_d/T_d) \cdot 0}. \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) определяется константа интегрирования C :

$$C = -\frac{\mu_0}{K_g} = -\frac{(-0,05)}{0,04} = 1,25. \quad (1.7)$$

С учетом выражений (1.3), (1.4) и (1.7) решение исходного дифференциального уравнения динамики двигателя можно представить в окончательном виде:

$$\varphi = \frac{\mu_0}{K_g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_d}{T_d} t} \right) \quad \text{или} \quad \varphi = -1,25 \cdot (1 - e^{-0,0333t}). \quad (1.8)$$

Формула (1.8) является уравнением переходного процесса $\varphi(t)$, требуемый в задаче.

3. КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	35	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	245	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	124	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	124	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	7	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	31425	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи

10.	14325	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	15234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	21345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A5B4B3Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A2B4B1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A1B2B3Г4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	$T_{\dot{a}} = \frac{I_{\dot{a}} \cdot \omega_0}{M_0} = \frac{I_{\dot{a}} \cdot \omega_0^2}{N_e} = \frac{1 \cdot 167,46^2}{120000} = 0,234 \text{ с.}$ где $\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,1416 \cdot 1600}{30} = 167,46 \text{ с}^{-1}$. Ответ: Постоянная времени двигателя $T_{\dot{a}} = 0,234 \text{ с.}$	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Фактор устойчивости двигателя определяется формулой $F_{\partial} = \frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} = \frac{30}{\pi} \left(\frac{\partial M_c}{\partial n} - \frac{\partial M}{\partial n} \right)$ По условию задачи крутящий момент двигателя принимается не зависящим от скорости вращения коленчатого вала, $\frac{\partial M}{\partial n} = 0 \quad \frac{\partial M_c}{\partial n} = 16 \cdot 10^{-4} \text{ н}$ поэтому $\frac{\partial M}{\partial n} = 0$. $n = \omega \cdot 30 / 3,141 = 1000 \text{ мин}^{-1}$. Тогда фактор устойчивости двигателя на этом режиме составит: $30 / 3,141 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 15,28 \text{ Нм.}$	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Главный определитель Гурвица для САР 3-го порядка будем искать в виде: $\Delta_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ 1 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0,$ диагональные миноры отсутствуют. Коэффициенты в выражении для главного определителя Гурвица для САР 3-го порядка будут равняться: $a_2 = \frac{0,01015187}{0,00001595} = 636,481 ;$ $a_1 = \frac{0,14619}{0,00001595} = 9165,52 ;$ $a_0 = \frac{0,017}{0,00001595} = 1065,83 .$ Числовое значение главного определителя Гурвица для исследуемой САР положительное и составляет: $636,481 \cdot 9165,52 - 1065,83 = 5832613,5$.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
19.	Используем известную формулу для относительной угловой скорости коленчатого вала: $\varphi = \frac{\Delta n}{n_0}$ Здесь Δn – абсолютное отклонение текущей частоты вращения от заданного значения. Величина Δn вычисляется как $\Delta n = n - n_0$. Записав $\Delta n = \varphi \cdot n_0$ или $n - n_0 = \varphi \cdot n_0$, получим формулу связи абсолютной и относительной частоты вращения вала ДВС: $n = n_0 \cdot (1 + \varphi)$. Теперь можно определить искомые величины: $n = 1500 \cdot (1$	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

	$-0,04) = 1440 \text{ мин}^{-1}$, $\Delta n = 1500 - 1440 = 60 \text{ мин}^{-1}$.	
--	---	--

20.	Решением дифференциального уравнения (1.1) является зависимость относительной угловой скорости коленчатого вала двигателя (φ), от времени (t), то есть функция $\varphi = \varphi(t)$, которая находится в виде суммы φ_v и $\varphi_{св}$: $\varphi = \varphi_v + \varphi_{св}, \quad (1.2)$ где φ_v – вынужденная угловая скорость, определяемая величиной возмущения; $\varphi_{св}$ – свободная угловая скорость, определяемая свойствами только двигателя и потребителя: $\varphi_v = \mu_0 / K_g = \frac{0.5}{0.08} = 6,25; \quad (1.3)$ $\varphi_{св} = C \cdot e^{P \cdot t}, \quad (1.4)$ здесь C – константа интегрирования; P – корень характеристического уравнения (1.5); t – текущее время. $T_d \cdot P + K_d = 0, \quad (1.5)$ откуда $P = -K_d / T_d$. После подстановки числовых значений: $P = -\frac{0.08}{0.7} = -0,114286$ При начальных условиях, когда $t = 0$ и $\varphi = 0$,	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
-----	--	--

уравнение (1.2) после подстановки в него (1.3) и (1.4) примет вид: $0 = \frac{\mu_o}{Kg} + C \cdot e^{-(K_d/T_d) \cdot 0}. \quad (1.6)$ Из уравнения (1.6) определяется константа интегрирования C: $C = -\frac{\mu_o}{Kg} = -\frac{0.5}{0.08} = -6,25. \quad (1.7)$ С учетом выражений (1.3), (1.4) и (1.7) решение исходного дифференциального уравнения динамики двигателя можно представить в окончательном виде: $\varphi = \frac{\mu_o}{Kg} \cdot \left(1 - e^{-\frac{Kg}{T_d} t} \right) \quad \text{или}$ $\varphi = 6,25 \cdot (1 - e^{-0,114286t}). \quad (1.8)$ Формула (1.8) является уравнением переходного процесса $\varphi(t)$, требуемый в задаче.	
---	--

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

ВАРИАНТ 2

Задание с выбором ответа базовый уровень

Задание 1.

Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

По принципу регулирования САР разделяются на:

- 1) с регулированием по отклонению.
- 2) астатические
- 3) релейные
- 4) прямого действия
- 5) с регулированием по возмущению.

Ответ: 15

Обоснование: известны 2 принципа: с регулированием по отклонению- принцип Ползунова-Уатта (применяется в замкнутых САР); с регулированием по возмущению - принцип Понселе (применяется в незамкнутых САР); на практике применяется комбинированное регулирование, в этом случае САР содержит замкнутый и разомкнутый контуры регулирования.

Задание с выбором ответа базовый уровень

Задание 2.

Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

По виду дифференциального уравнения САР разделяются на:

- 1) 3-го порядка.
- 2) релейные
- 3) астатические

- 4) линейные.
- 5) нелинейные.

Ответ:145

Обоснование:145 непосредственно связаны с видом дифференциального уравнения САР.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 3.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Выделить верные утверждения:

1. Если коэффициенты характеристического уравнения имеют одинаковые знаки, то система 3-го порядка устойчива
2. Если коэффициенты характеристического уравнения имеют различные знаки, то система неустойчива.
3. Если система устойчива, то коэффициенты характеристического уравнения имеют одинаковые знаки.
4. Если коэффициенты характеристического уравнения системы второго порядка имеют одинаковые знаки, то это является необходимым и достаточным условием устойчивости.
5. Если все коэффициенты характеристического уравнения системы 4-го порядка положительные, то эта система устойчива

Ответ:234

Обоснование: для систем 3 и более высоких порядков одинаковость знаков характеристического уравнения САР не является достаточным условием устойчивости.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 4.

*Прочитайте текст, выберите **все** правильные варианты ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Выделить верные утверждения:

- 1) Для систем 3-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения является достаточным условием устойчивости
- 2) Для систем 2-го порядка положительность коэффициентов характеристического уравнения является необходимым условием устойчивости.
- 3) Для систем 2-го порядка положительность коэффициентов характеристического уравнения является достаточным условием устойчивости.
- 4) Для систем 3-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения является необходимым условием устойчивости.
- 5) Для систем 5-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения является необходимым условием устойчивости

Ответ:234

Обоснование: для систем 3-го и более высоких порядков положительность коэффициентов характеристического уравнения не является достаточным условием устойчивости.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 5.

*Прочитайте текст, выберите **один** правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа*

Регулятор прямого действия может не иметь статической ошибки?

- 1) да при определенных условиях
- 2) да, всегда
- 3) нет, не может не иметь статической ошибки.
- 4) может не иметь статической ошибки в случае, если водитель умеет читать и писать
- 5) нет правильного ответа

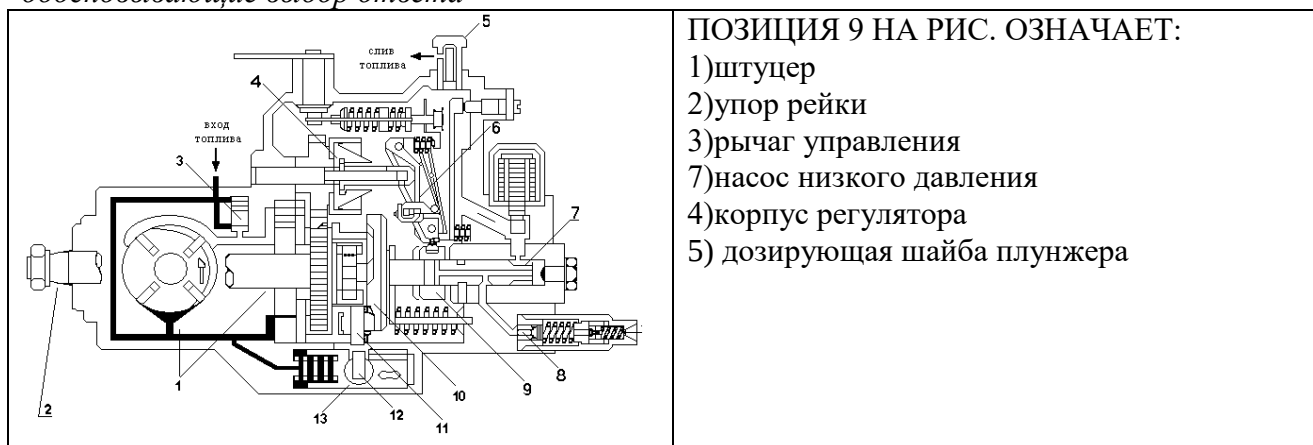
Ответ: 3

Обоснование: регулятор прямого действия не может не иметь статической ошибки, поскольку каждому значению регулируемого параметра соответствует свое значение регулирующего органа.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 6.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа



Ответ: 5

Обоснование: дозирующая шайба

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 7.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Заданы 4 набора значений корней характеристического уравнения. Указать, какой набор корней соответствует устойчивой системе:

- 1) $p_{1,2} = 1 \pm j5$, $p_3 = -0,125$, $p_4 = -5$
- 2) $p_{1,2} = 1 \pm j5$, $p_3 = 0,125$, $p_4 = 5$
- 3) $p_{1,2} = -1 \pm j5$, $p_3 = -0,125$, $p_4 = -5$
- 4) $p_{1,2} = -1 \pm j5$, $p_3 = 0,125$, $p_4 = -5$

5) нет правильного ответа

Ответ: 3

Обоснование: для устойчивой САР все действительные корни все действительные части комплексных корней характеристического уравнения должны быть отрицательными.

Задание с выбором ответа
базовый уровень

Задание 8.

Прочитайте текст, выберите один правильный вариант ответа и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Заданы 4 набора значений корней характеристического уравнения. Указать, какой набор корней соответствует устойчивой системе:

- 1) $p_1 = 1, p_2 = -0,9, p_3 = -6, p_4 = -1$
- 2) $p_1 = -1, p_2 = -1, p_3 = -1, p_4 = -1$
- 3) $p_1 = 1, p_2 = -0,9, p_3 = -6, p_4 = -1$
- 4) $p_1 = 1, p_2 = 0,9, p_3 = 6, p_4 = 1$
- 5) нет правильного ответа

Ответ: 2

Обоснование: для устойчивой САР все действительные корни все действительные части комплексных корней характеристического уравнения должны быть отрицательными.

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 9.

Прочитайте текст и установите последовательность.

При построении переходного процесса двигателя внутреннего сгорания, динамические свойства которого заданы линейным неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами:

$T_d \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = \mu_0$ необходимо получить общее решение неоднородного дифференциального уравнения.

- 1) Определить константу интегрирования
- 2) Определить корни характеристического уравнения
- 3) Составить характеристическое уравнение
- 4) Записать общее решение неоднородного дифференциального уравнения
- 5) Записать ответ

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

3	2	4	1	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 10.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Составьте последовательность составления определителя Гурвица.

- 1) записать заданное характеристическое уравнение движения САР
- 2) выписать по диагонали сверху вниз и слева направо коэффициенты характеристического уравнения по убывающим степеням, начиная со второго и кончая предпоследним коэффициентом для формирования главного определителя Гурвица
- 3) дополнить полученные заготовки столбцов дописывая вниз коэффициенты характеристического уравнения по возрастающим степеням и дописывая вверх коэффициенты характеристического уравнения по убывающим степеням
- 4) заменить нулями несуществующие коэффициенты заданного характеристического уравнения
- 5) записать полученный ответ

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 11.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Укажите правильную последовательность выполнения работ по испытаниям САР дизеля для построения номинальной регуляторной характеристики.

- 1) увеличивается нагрузка двигателя до 25% от номинальной и замеряется частота вращения вала дизеля
- 2) дизель запускается и прогревается
- 3) повторяют увеличение нагрузка двигателя на 25% до достижения номинальной нагрузки 100% с замером частоты вращения вала дизеля, завершают экспериментальную часть работы остановом дизеля согласно инструкции по эксплуатации.
- 4) по полученным экспериментальным данным строят регуляторную характеристику
- 5) устанавливается режим холостого хода при номинальной частоте вращения вала дизеля, настройка скоростного режима при дальнейших испытаниях не изменяется.

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

2	5	1	3	4
---	---	---	---	---

Задание на установление последовательности
повышенный уровень

Задание 12.

Прочитайте текст и установите последовательность.

Для определения вида (характера) переходного процесса САР 3-го порядка и степени ее устойчивости с помощью диаграммы проф. Вышнеградского необходимо выполнить следующие действия в определенной последовательности.

- 1) Записать уравнение движения САР.
- 2) Выполнить нормирование уравнения движения САР.
- 3) На диаграмме проф. Вышнеградского получить точку с координатами САР.
- 4) Определить вид (характер) переходного процесса САР 3-го порядка и степени ее устойчивости.
- 5) Записать ответ

Запишите соответствующую последовательность цифр слева направо:

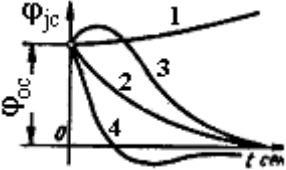
1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

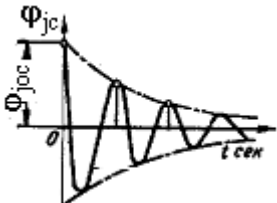
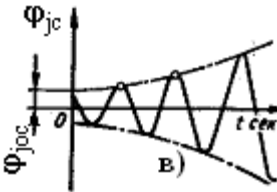
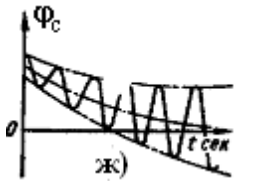
Задание на установление соответствия
повышенный уровень

Задание 13.

Прочитайте текст и установите соответствие

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А		1	Апериодические составляющие переходных процессов: 1 — расходящаяся; 2, 3 и 4 — сходящаяся.

Б		2	Расходящийся переходный процесс (сложная составляющая) при $\alpha > 0$ из-за расходимости колебательной составляющей
В		3	Расходящаяся колебательная составляющая переходного процесса при $\alpha > 0$
Г		4	Сходящаяся колебательная составляющая переходного процесса при $\alpha < 0$
		5	Автоколебательный процесс

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
1	4	3	2

Задание на установление соответствия повышенный уровень

Задание 14.

Прочитайте текст и установите соответствие

Что дает применение регуляторов в ДВС?

К каждой позиции, данной в левом столбце, подберите соответствующую позицию из правого столбца:

Выполняемая задача		Показатель соответствия	
А	Регулятор прямого действия	1	Статическая ошибка регулирования меньше нуля
Б	Регулятор с гибкой обратной связью	2	Устраняется статическая ошибка регулирования, время регулирования сокращается в 1,5 раза
В	Регулятор с комбинированной положительной обратной связью	3	Статическая ошибка регулирования больше нуля
Г	Двух импульсный регулятор	4	Статическая ошибка регулирования равна нулю
			Нет статической ошибки

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
3	4	1	2

Задание на установление соответствия повышенный уровень

Задание 15.

Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между участками скоростной характеристики топливоподачи (рис. 1) и конструкцией регулятора ТНВД Bosch-VE (рис. 2).



Рис. 1 - Скоростная характеристика

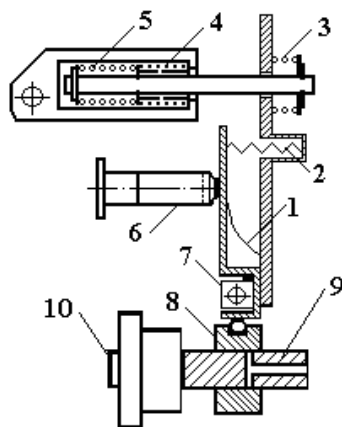


Рис. 2. - Конструкция регулятора

Выполняемая задача (рис. 1)		Показатель соответствия (рис. 2)	
А	Формируемый участок характеристики А	1	Пружина №5
Б	Формируемый участок характеристики Б	2	Пружина №4
В	Формируемый участок характеристики В	3	Пружина №3
Г	Формируемый участок характеристики Г	4	Пружина №2
		5	Пружина №1

Запишите выбранные цифры под соответствующими буквами:

А	Б	В	Г
1	2	3	4

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 16.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Дано: номинальная мощность $N_e = 60$ кВт; частота вращения коленчатого вала на номинальном режиме $n_0 = 1600$ мин⁻¹; приведенный момент инерции ДВС $J_0 = 1$ кг·м².
Вычислить постоянную времени двигателя T_0 .

Ответ $T_0 = 0,468$ с.

Решение.

$$T_0 = \frac{I_0 \cdot \omega_0}{M_0} = \frac{I_0 \cdot \omega_0^2}{N_e} = \frac{1 \cdot 167,46^2}{60000} = 0,468 \text{ с}$$

где $\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,1416 \cdot 1600}{30} = 167,46 \text{ с}^{-1}$.

Ответ: Постоянная времени двигателя $T_0 = 0,468$ с.

Задание с развернутым ответом
Высокий уровень

Задание 17.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить фактор устойчивости двигателя, работающего на скоростном режиме $\omega = 105$ 1/сек, если статическая характеристика потребителя определяется формулой $M_c = 4 \cdot 10^{-4} n^2$ Нм, а крутящий момент двигателя принимается не зависящим от скорости вращения коленчатого вала.

Ответ. 7,64 Нм.

Решение. Фактор устойчивости двигателя определяется формулой

$$F_d = \frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} = \frac{30}{\pi} \left(\frac{\partial M_c}{\partial n} - \frac{\partial M}{\partial n} \right)$$

По условию задачи крутящий момент двигателя принимается не зависящим от скорости

вращения коленчатого вала, поэтому $\frac{\partial M}{\partial n} = 0$.

$$\frac{\partial M_c}{\partial n} = 16 \cdot 10^{-4} n, n = \omega \cdot 30 / 3.141 = 1000 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда фактор устойчивости двигателя на этом режиме составит:
 $30 / 3.141 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 7,64$ Нм.

Задание с развернутым ответом
 Высокий уровень

Задание 18.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Определить устойчивость САР 3-го порядка по критерию Гурвица, если коэффициенты характеристического уравнения равны:

$$A_3 = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 = 0,00001595 ;$$

$$A_2 = 1,45 \cdot 7 \cdot 10^{-3} + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,01015187 ;$$

$$A_1 = 1,45 \cdot 10 \cdot 10^{-2} + 7 \cdot 10^{-3} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,14619 ;$$

$$A_0 = 34 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,034$$

Ответ. САР устойчива согласно критерию Гурвица, его значение положительно и равно 5831547,675.

Решение. Главный определитель Гурвица для САР 3-го порядка будем искать в виде:

$$\Delta_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ 1 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0,$$

диагональные миноры отсутствуют.

Коэффициенты в выражении для главного определителя Гурвица для САР 3-го порядка будут равняться:

$$a_2 = \frac{0,01015187}{0,00001595} = 636,481 ; a_1 = \frac{0,14619}{0,00001595} = 9165,52 ; a_0 = \frac{0,034}{0,00001595} = 2131,66$$

Числовое значение главного определителя Гурвица для исследуемой САР положительное и составляет: $636,481 \cdot 9165,52 - 2131,66 = 5831547,675$.

Задание с развернутым ответом
 Высокий уровень

Задание 19.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Вычислить частоту вращения двигателя «п» и ее отклонение Δn от номинального значения $n_0=1500 \text{ мин}^{-1}$, если относительная угловая скорость коленчатого вала в данный момент $\varphi = -0,02$.

Ответ. $n = 1470 \text{ мин}^{-1}$, $\Delta n = 30 \text{ мин}^{-1}$.

Решение:Используем известную формулу для относительной угловой скорости коленчатого

вала: $\varphi = \frac{\Delta n}{n_0}$. Здесь Δn – абсолютное отклонение текущей частоты вращения от заданного значения. Величина Δn вычисляется как $\Delta n = n - n_0$. Записав $\Delta n = \varphi \cdot n_0$ или $n - n_0 = \varphi \cdot n_0$, получим формулу связи абсолютной и относительной частоты вращения вала ДВС: $n = n_0 \cdot (1 + \varphi)$.

Теперь можно определить искомые величины:

$$n = 1500 \cdot (1 - 0,02) = 1470 \text{ мин}^{-1}, \Delta n = 1500 - 1470 = 30 \text{ мин}^{-1}.$$

Задание с развернутым ответом Высокий уровень

Задание 20.

Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ. В случае расчетной задачи, записать решение и ответ.

Получить уравнение переходного процесс двигателя внутреннего сгорания, динамические свойства которого который заданы линейным неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами: $T_d \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = \mu_0$ (1.1)

Дано: $T_d = 1,2$ секунды - постоянная времени ДВС, $K_d = 0,04$ - коэффициент самовыравнивания ДВС; $\mu_0 = -0,05$ - возмущение; $n_0 = 1000 \text{ мин}^{-1}$ -начальная частота вращения коленчатого вала (до введения возмущения). φ - относительная угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя; t – время, от начала переходного процесса.

Ответ. $\varphi = -1,25 \cdot (1 - e^{-0,0333t})$. (1.8)

Решение:

Решением дифференциального уравнения (1.1) является зависимость относительной угловой скорости коленчатого вала двигателя (φ), от времени (t), то есть функция $\varphi = \varphi(t)$, которая находится в виде суммы φ_v и $\varphi_{св}$:

$$\varphi = \varphi_v + \varphi_{св}, \quad (1.2)$$

где φ_v – вынужденная угловая скорость, определяемая величиной возмущения; $\varphi_{св}$ – свободная угловая скорость, определяемая свойствами только двигателя и потребителя:

$$\varphi_v = \mu_0 / K_g = \frac{(-0,05)}{0,04} = -1,25; \quad (1.3)$$

$$\varphi_{св} = C \cdot e^{P \cdot t}, \quad (1.4)$$

здесь C – константа интегрирования; P – корень характеристического уравнения (1.5); t – текущее время.

$$T_d \cdot P + K_d = 0, \quad (1.5)$$

откуда $P = -K_d / T_d$.

После подстановки числовых значений: $P = -\frac{0,04}{1,2} = -0,0333$.

При начальных условиях, когда $t = 0$ и $\varphi = 0$, уравнение (1.2) после подстановки в него (1.3) и (1.4) примет вид:

$$0 = \frac{\mu_0}{K_g} + C \cdot e^{-(K_d/T_d) \cdot 0}. \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) определяется константа интегрирования C :

$$C = -\frac{\mu_0}{K_g} = -\frac{(-0,05)}{0,04} = 1,25. \quad (1.7)$$

С учетом выражений (1.3), (1.4) и (1.7) решение исходного дифференциального уравнения динамики двигателя можно представить в окончательном виде:

$$\varphi = \frac{\mu_0}{K_g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_d}{T_d} t}\right) \quad \text{или} \quad \varphi = -1,25 \cdot (1 - e^{-0,0333t}). \quad (1.8)$$

Формула (1.8) является уравнением переходного процесса $\varphi(t)$, требуемый в задаче.

3. КЛЮЧИ К ОЦЕНИВАНИЮ ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ ПО ВАРИАНТУ 1

№ задания	Верный ответ	Критерии
1.	15	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
2.	145	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
3.	234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
4.	234	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
5.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
6.	5	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
7.	3	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
8.	2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
9.	32415	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
10.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
11.	25134	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
12.	12345	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
13.	A1B4B3Г2	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
14.	A3B4B1	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
15.	A1B2B3Г4	1б – полное правильное соответствие 0б – остальные случаи
16.	Ответ $T_d = 0,468$ с. Решение. $T_d = \frac{I_a \cdot \omega_0}{M_0} = \frac{I_a \cdot \omega_0^2}{N_e} = \frac{1 \cdot 167,46^2}{60000} = 0,468 \text{ с}$ где $\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,1416 \cdot 1600}{30} = 167,46 \text{ с}^{-1}$.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
17.	Ответ. 7,64 Нм. Решение. Фактор устойчивости двигателя определяется формулой $F_d = \frac{\partial M_c}{\partial \omega} - \frac{\partial M}{\partial \omega} = \frac{30}{\pi} \left(\frac{\partial M_c}{\partial n} - \frac{\partial M}{\partial n} \right)$ По условию задачи крутящий момент двигателя принимается не зависящим от скорости вращения коленчатого вала, $\frac{\partial M}{\partial n} = 0$ поэтому $\frac{\partial M_c}{\partial n} = 16 \cdot 10^{-4} n$ $n = \omega \cdot 30 / 3,141 = 1000 \text{ мин}^{-1}$. Тогда фактор устойчивости двигателя на этом режиме составит: $30 / 3,141 \cdot 8 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 = 7,64 \text{ Нм}$.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
18.	Ответ. САР устойчива согласно критерию Гурвица, его значение положительно и равно 5831547,675. Решение. Главный определитель Гурвица для САР 3-го порядка будем искать в виде:	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

	$\Delta_{\Gamma} = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ 1 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0,$ диагональные миноры отсутствуют. Коэффициенты в выражении для главного определителя Гурвица для САР 3-го порядка будут равняться: $a_2 = \frac{0,01015187}{0,00001595} = 636,481;$ $a_1 = \frac{0,14619}{0,00001595} = 9165,52;$ $a_0 = \frac{0,034}{0,00001595} = 2131,66$ Числовое значение главного определителя Гурвица для исследуемой САР положительное и составляет: $636,481 \cdot 9165,52 - 2131,66 = 5831547,675$.	
19.	Ответ. $n = 1470 \text{ мин}^{-1}$, $\Delta n = 30 \text{ мин}^{-1}$. Решение:Используем известную формулу для относительной угловой скорости коленчатого вала: $\varphi = \frac{\Delta n}{n_0}$. Здесь Δn – абсолютное отклонение текущей частоты вращения от заданного значения. Величина Δn вычисляется как $\Delta n = n - n_0$. Записав $\Delta n = \varphi \cdot n_0$ или $n - n_0 = \varphi \cdot n_0$, получим формулу связи абсолютной и относительной частоты вращения вала ДВС: $n = n_0 \cdot (1 + \varphi)$. Теперь можно определить искомые величины: $n = 1500 \cdot (1 - 0,02) = 1470 \text{ мин}^{-1}$, $\Delta n = 1500 - 1470 = 30 \text{ мин}^{-1}$.	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов
20.	Ответ. $\varphi = -1,25 \cdot (1 - e^{-0,0333t})$. Решением дифференциального уравнения является зависимость относительной угловой скорости коленчатого вала двигателя (φ), от времени (t), то есть функция $\varphi = \varphi(t)$, которая находится в виде суммы $\varphi_{\text{в}}$ и $\varphi_{\text{св}}$: $\varphi = \varphi_{\text{в}} + \varphi_{\text{св}}, \quad (1.2)$ где $\varphi_{\text{в}}$ – вынужденная угловая скорость, определяемая величиной возмущения; $\varphi_{\text{св}}$ – свободная угловая скорость, определяемая свойствами только двигателя и потребителя: $\varphi_{\text{в}} = \mu_0 / K_g = \frac{(-0.05)}{0.04} = -1,25; \quad (1.3)$ $\varphi_{\text{св}} = C \cdot e^{P \cdot t}, \quad (1.4)$ здесь C – константа интегрирования; P – корень характеристического уравнения (1.5); t – текущее время. $T_d \cdot P + K_d = 0$, (1.5)откуда $P = -K_d / T_d$. После подстановки числовых значений: $P = -\frac{0.04}{1,2} = -0,0333$ При начальных условиях, когда $t = 0$ и $\varphi = 0$, уравнение (1.2) после подстановки в него (1.3) и (1.4) примет вид: $0 = \frac{\mu_0}{K_g} + C \cdot e^{-(K_d/T_d) \cdot 0} \quad (1.6)$ Из уравнения (1.6) определяется константа интегрирования C:	Полный правильный ответ на задание оценивается 3 баллами; если допущена одна ошибка/неточность/ответ правильный, но не полный - 1 балл, если допущено более одной ошибки/ответ неправильный/ ответ отсутствует - 0 баллов

$C = -\frac{\mu_0}{Kg} = -\frac{(-0,05)}{0,04} = 1,25 \cdot \quad (1.7)$ С учетом выражений (1.3), (1.4) и (1.7) решение исходного дифференциального уравнения динамики двигателя можно представить в окончательном виде: $\varphi = -1,25 \cdot (1 - e^{-0,0333t}) \cdot$	
---	--

Шкала оценивания теста

шкала оценивания	интервал баллов
5	27-30
4	21-26
3	14-20
2	0-13

Оценочные средства по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС»

Задания к практической работе (повышенный уровень):

1. Получить уравнение переходного процесса муфты центробежного регулятора скорости при единичном возмущении по относительной скорости вращения вала ДВС -10% , если постоянная времени измерителя равна 10^{-6} с^2 , постоянная времени катаракта $5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$, степень неравномерности $0,05$.

2. Получить уравнение переходного процесса двигателя для случая мгновенного приема 25% нагрузки, если постоянная времени ДВС равна 1 с , коэффициент самовыравнивания $0,4$.

3. Получить уравнение переходного процесса двигателя для случая ступенчатого увеличения подачи топлива на 25% , если постоянная времени ДВС равна 2 с , коэффициент самовыравнивания $0,25$.

4. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида:

$$D(P) = P^4 + 2P^3 + 3P^2 + 2P + 1$$

5. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида:

$$D(P) = P^4 + 3P^3 + 2P^2 + 2P + 1$$

6. Определить с помощью критерия Вышнеградского устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида:

$$D(P) = P^3 + 3P^2 + 4P + 1$$

7. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида: $D(P) = P^4 + 8P^3 + P^2 + 2P + 1$

8. Получить собственный оператор САР, состоящей из ДВС и пневматического регулятора частоты вращения. Уравнения динамики элементов имеют вид:

$$2 \frac{d\varphi}{dt} + 0,5\varphi = -\mu + \lambda(t)$$

$$10^{-6} \frac{d^2\mu}{dt^2} + 10^{-4} \frac{d\mu}{dt} + 0,1\mu = \varphi$$

9. Используя метод Лапласа получить уравнение переходного процесса САРЧ ДВС. Дифференциальные уравнения элементов:

$$\frac{d\varphi}{dt} + 0,5\varphi = -\mu + \lambda(t) - \text{ДВС}$$

$$10^{-4} \frac{d\mu}{dt} + 0,1\mu = \varphi - \text{регулятор}$$

10. Собственный оператор двигателя имеет вид:

$$\frac{d\varphi}{dt} + 0,2\varphi$$

Получить его передаточную функцию.

11. Определить постоянную времени дизель-генератора при частоте вращения вала $3000/3.14$ мин⁻¹, если момент инерции ДВС равен $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, маховый момент генератора составляет $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, производная момента ДВС по ходу рейки равна 20 Нм/мм , выход рейки на номинальном режиме равен 10 мм .

12. Определить фактор устойчивости ДВС при частоте вращения 900π мин⁻¹, если момент потребителя изменяется по уравнению $M_c = \frac{\pi}{\pi} \text{ Нм}$, а момент двигателя не зависит от частоты

вращения и равен 900 Нм .

13. Определить устойчивость САР, если ее звенья описываются уравнениями:

$$2\frac{d\varphi}{dt} + 0,5\varphi = -\mu + \lambda(t)$$

$$10^{-6}\frac{d^2\eta}{dt^2} + 10^{-4}\frac{d\eta}{dt} + 0,1\eta = \varphi$$

$$0,5\frac{d\mu}{dt} + 0,4\mu = \eta$$

14. Получить уравнение переходного процесса звена 2-го порядка, описываемого дифференциальным уравнением $10^{-6}\frac{d^2\eta}{dt^2} + 10^{-4}\frac{d\eta}{dt} + 0,1\eta = 0,2$, при нулевых начальных условиях.

15. Построить график переходного процесса звена 1-го порядка, описываемого дифференциальным уравнением:

$$\frac{d\varphi}{dt} + 0,1\varphi = 0,2$$

16. Получить уравнение переходного процесса муфты центробежного регулятора скорости при единичном возмущении по относительной скорости вращения вала ДВС -10% , если постоянная времени измерителя равна 10^{-6} с^2 , постоянная времени катаракта $5\cdot 10^{-3} \text{ с}$, степень неравномерности $0,05$.

17. Получить уравнение переходного процесса двигателя для случая мгновенного приема 25% нагрузки, если постоянная времени ДВС равна 1 с , коэффициент самовыравнивания $0,4$.

18. Получить уравнение переходного процесса двигателя для случая ступенчатого увеличения подачи топлива на 25% , если постоянная времени ДВС равна 2 с , коэффициент самовыравнивания $0,25$.

19. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида:

$$D(P) = P^4 + 2P^3 + 3P^2 + 2P + 1$$

20. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида:

$$D(P) = P^4 + 3P^3 + 2P^2 + 2P + 1$$

21. Определить с помощью критерия Вышнеградского устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида:

$$D(P) = P^4 + 5P^3 + 3P^2 + 4P + 1$$

22. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, имеющей собственный оператор следующего вида: $D(P) = P^4 + 8P^3 + P^2 + 2P + 1$

23. Получить собственный оператор САР, состоящей из ДВС и пневматического регулятора частоты вращения. Уравнения динамики элементов имеют вид:

$$2 \frac{d\varphi}{dt} + 0,5\varphi = -\mu + \lambda(t)$$

$$10^{-6} \frac{d^2\mu}{dt^2} + 10^{-4} \frac{d\mu}{dt} + 0,1\mu = \varphi$$

24. Используя метод Лапласа получить уравнение переходного процесса САРЧ ДВС. Дифференциальные уравнения элементов:

$$\frac{d\varphi}{dt} + 0,5\varphi = -\mu + \lambda(t) - \text{ДВС}$$

$$10^{-4} \frac{d\mu}{dt} + 0,1\mu = \varphi - \text{регулятор}$$

25. Собственный оператор двигателя имеет вид:

$$\frac{d\varphi}{dt} + 0,2\varphi$$

Получить его передаточную функцию.

26. Определить постоянную времени дизель-генератора при частоте вращения вала $3000/3.14$ мин⁻¹, если момент инерции ДВС равен $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, маховый момент генератора составляет $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, производная момента ДВС по ходу рейки равна 20 Нм/мм , выход рейки на номинальном режиме равен 10 мм .

27. Определить фактор устойчивости ДВС при частоте вращения 900π мин⁻¹, если момент потребителя изменяется по уравнению $M_c = \frac{\pi}{\pi} \text{ Нм}$, а момент двигателя не зависит от частоты

вращения и равен 900 Нм .

28. Определить устойчивость САР, если ее звенья описываются уравнениями:

$$2 \frac{d\varphi}{dt} + 0,5\varphi = -\mu + \lambda(t)$$

$$10^{-6} \frac{d^2\eta}{dt^2} + 10^{-4} \frac{d\eta}{dt} + 0,1\eta = \varphi$$

$$0,5 \frac{d\mu}{dt} + 0,4\mu = \eta$$

29. Получить уравнение переходного процесса звена 2-го порядка, описываемого дифференциальным уравнением

$$10^{-6} \frac{d^2\eta}{dt^2} + 10^{-4} \frac{d\eta}{dt} + 0,1\eta = 0,2, \text{ при нулевых начальных условиях.}$$

30. Построить график переходного процесса звена 1-го порядка, описываемого дифференциальным уравнением:

$$\frac{d\varphi}{dt} + 0,1\varphi = 0,2.$$

Построить амплитудно-фазовую частотную характеристику ДВС, имеющего собственный оператор $P+0,1$.

Вопросы (пороговый уровень)

31. Составить схему гидравлического сервомотора двойного действия с отсечным золотником и имеющего жесткую кинематическую обратную связь. Описать принцип работы.

32. Составить схему центробежного регулятора непрямого действия с кинематической обратной связью и описать принцип работы.

40. Составить схему следящего пневматического сервомотора, управляемого устройством типа «сопло-заслонка» и описать принцип работы.

41. Составить схему гидравлического сервомотора с силовой обратной связью и описать принцип работы.

42. Составить схему изодромного регулятора частоты вращения дизеля и описать принцип работы.

43. Составить схему гидравлического сервомотора двойного действия с гибкой обратной связью и описать принцип работы.

Построить амплитудно-фазовую частотную характеристику ДВС, имеющего собственный оператор $P+0,1$.

43. Составить схему гидравлического сервомотора двойного действия с отсечным золотником и имеющего жесткую кинематическую обратную связь. Описать принцип работы.

44. Составить схему гидравлического сервомотора с силовым поршнем и описать принцип работы.

45. Составить схему центробежного регулятора непрямого действия с кинематической обратной связью и описать принцип работы.

46. Составить схему следящего пневматического сервомотора, управляемого устройством типа «сопло-заслонка» и описать принцип работы.

47. Составить схему гидравлического сервомотора с силовой обратной связью и описать принцип работы.

48. Составить схему изодромного регулятора частоты вращения дизеля и описать принцип работы.

49. Составить схему гидравлического сервомотора двойного действия с гибкой обратной связью и описать принцип работы.

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к практическим занятиям по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС» (для студентов направления подготовки «Энергетическое машиностроение» специальности 13.03.03 Двигатели внутреннего сгорания) /Сост.: С.И. Тырловой, А.И. Неменуций. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В.Даля, 2003.– 16с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству практическая работа

Шкала оценивания	Критерий оценивания
5	Практическая работа выполнена на высоком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 75-100 %, соответствуют правильному решению на 90-100 % вопросов/задач)
4	Практическая работа выполнена на среднем уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно на 50-75 %, соответствуют правильному решению на 75-89 % вопросов/задач)
3	Практическая работа выполнена на низком уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически правильно 40-50 %, соответствуют правильному решению на 50-74 % вопросов/задач)
2	Практическая работа выполнена на неудовлетворительном уровне (измерения, расчеты, оформление, представление итогового материала даны технически неправильно, соответствуют правильному решению менее чем на 50 %)

Вопросы к лабораторным работам (базовый уровень):

1. Что такое неустойчивость частоты вращения ДВС и как она определяется?
2. Что такое заброс частоты вращения ДВС и как он определяется?
3. Что такое длительность переходного процесса и как она определяется?
4. Какими устройствами должен быть оборудован стенд для определения показателей переходных процессов ДВС?
5. Каков порядок проведения эксперимента по определению показателей переходных процессов ДВС?
6. Каковы особенности определения показателей переходных процессов ДВС с газотурбинным наддувом?
7. Какие показатели определяются при испытаниях САРЧ дизелей?
8. По каким признакам классифицируются типы САРЧ дизелей?
9. Что такое характеристика настройки и как она определяется ее погрешность?
10. Как определить пределы настройки скоростных режимов САРЧ?

11. Что называется регуляторной характеристикой ДВС?
12. Какие существуют виды регуляторной характеристики ДВС?
13. Какие параметры регуляторной характеристики ДВС нормируются стандартом?
14. Как производится снятие регуляторной характеристики ДВС?
15. Вибрационный регулятор.
16. Регуляторные характеристики ДВС.
17. Регулятор Уатта. Вывод уравнения динамики.
18. Идеальное дифференцирующее звено.
19. Схема астатического регулятора скорости.
20. Регуляторы частоты вращения прямого действия.

Выполняется в соответствии с методическими указаниями к лабораторным работам по дисциплине «Автоматическое регулирование ДВС» (Определение показателей переходных процессов дизелей для студентов специальности двигателя внутреннего сгорания) /Сост. С.И. Тыловой. -Луганск: изд-во ЛНУ им.В.Даля 2015. - 16 с.

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству лабораторная работа

Шкала оценивания	Критерий оценивания
5	Лабораторная работа выполнена на высоком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Лабораторная работа выполнена на среднем уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Лабораторная работа выполнена на низком уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Лабораторная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (расчеты, оформление, представление итогового материала даны менее чем на 50 %)

Варианты к индивидуальному заданию (высокий уровень):

N_e , кВт	n , мин ⁻¹	J_d , кг*м ²	K_d	Возмущение	T_p^2, c^2 *10 ⁶	$T_{к,с}$, *10 ³	δ_p *10 ²
2	3	4	5	6	<u>7</u>	<u>8</u>	9
320	1000	0,8	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>5</u>	<u>7</u>	3
30	2000	0,6	0,06	$\lambda=0,02 \eta=0$	<u>6</u>	<u>7</u>	4
170	2000	1	0,07	$\lambda=0,03 \eta=0$	<u>8</u>	<u>7</u>	5
50	3000	0,4	0,08	$\lambda=0 \eta=0,2$	<u>7</u>	<u>7</u>	6
70	40000	0,3	0,1	$\lambda=0,05 \eta=0$	<u>8</u>	<u>7</u>	7
270	1000	1,2	0,04	$\lambda=0 \eta=0,05$	<u>7</u>	<u>7</u>	7
80	4000	0,2	0,1	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>4</u>	<u>7</u>	6
90	3000	0,26	0,1	$\lambda=0,05 \eta=0$	<u>5</u>	<u>7</u>	5
100	2000	0,7	0,08	$\lambda=0,05 \eta=0$	<u>6</u>	<u>8</u>	4
110	1500	0,8	0,07	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>7</u>	<u>8</u>	4
120	1600	1	0,06	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>8</u>	<u>9</u>	3
140	1400	1,2	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>3</u>	<u>9</u>	3
200	2000	1,5	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>4</u>	<u>10</u>	4
1000	1000	6	0,06	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>2</u>	8	4
30	1500	0,8	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	<u>5</u>	<u>5</u>	4
170	1600	0,6	0,06	$\lambda=0,02 \eta=0$	<u>6</u>	<u>6</u>	5
50	1400	1	0,07	$\lambda=0,03 \eta=0$	<u>8</u>	<u>8</u>	6

Пример выполнения индивидуального задания

1. Задача №1. Построение свободного переходного процесса двигателя

Требуется: построить переходной процесс двигателя внутреннего сгорания, динамические свойства которого заданы линейным неоднородным обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами:

$$T_d \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = \mu_0 \quad (1.1)$$

Дано: $T_d = 1.4$ секунды - постоянная времени ДВС, $K_d = 0.8$ - коэффициент самовыравнивания ДВС; $\mu_0 = 0.5$ -возмущение; $n_0 = 1000$ [мин⁻¹]-начальная частота вращения коленчатого вала (до введения возмущения). φ - относительная угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя; t – время, от начала переходного процесса

Решение:

Решением дифференциального уравнения (1.1) является зависимость относительной угловой скорости коленчатого вала двигателя (φ), от времени (t), то есть функция $\varphi = \varphi(t)$, которая находится в виде суммы φ_v и $\varphi_{св}$:

$$\varphi = \varphi_v + \varphi_{св}, \quad (1.2)$$

где φ_v – вынужденная угловая скорость, определяемая величиной возмущения; $\varphi_{св}$ – свободная угловая скорость, определяемая свойствами только двигателя и потребителя:

$$\varphi_v = \mu_0 / K_g = \frac{0.5}{0.8} = 0.625; \quad (1.3)$$

$$\varphi_{св} = C \cdot e^{P \cdot t}, \quad (1.4)$$

здесь C – константа интегрирования; P – корень характеристического уравнения (1.5); t – текущее время.

$$T_d \cdot P + K_d = 0, \quad (1.5)$$

откуда $P = -K_d / T_d$.

После подстановки числовых значений: $P = -\frac{0.8}{1.4} = -0.57143$.

При начальных условиях, когда $t = 0$ и $\varphi = 0$, уравнение (1.2) после подстановки в него (1.3) и (1.4) примет вид:

$$0 = \frac{\mu_0}{K_g} + C \cdot e^{-(K_d/T_d) \cdot 0}. \quad (1.6)$$

Из уравнения (1.6) определяется константа интегрирования C :

$$C = -\frac{\mu_0}{K_g} = -\frac{0.5}{0.8} = -0.625. \quad (1.7)$$

С учетом выражений (1.3), (1.4) и (1.7) решение исходного дифференциального уравнения динамики двигателя можно представить в окончательном виде:

$$\varphi = \frac{\mu_0}{K_g} \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_d}{T_d} t} \right) \quad \text{или} \quad \varphi = 0.625 \cdot (1 - e^{-0.57143t}). \quad (1.8)$$

По формуле (1.8) строится переходной процесс $\varphi(t)$, требуемый в задаче. Для облегчения построения в данном случае (при построении графика экспоненты) расчетный промежуток времени переходного процесса рационально разбить на 4-6 одинаковых по величине периодов “ T ” экспоненты; значение каждого из которых определяется по формуле:

$$T = \frac{T_d}{K_d} = \frac{1.4}{8 \cdot 10^{-1}} \approx 1.75 \text{ [с]}. \quad (1.9)$$

Тогда каждое текущее значение t_i , которое следует подставлять в формулу (1.8), начиная с нуля, будет равно сумме предыдущего t_{i-1} и “ T ”:

$$t_i = t_{i-1} + T. \quad (1.10)$$

Учитывая, что $\varphi = \frac{\Delta n}{n_0} = \frac{n - n_0}{n_0}$, частота вращения коленчатого вала n при каждом значении t будет определяться по формуле:

$$n = n_0 \cdot (1 + \varphi). \quad (1.11)$$

Результаты расчетов по вышеприведенным формулам (1.10), (1.8) и (1.11) приведены в таблице 1.1 и показаны на рис.1.1 в виде графика зависимости $n = f(t)$.

Таблица 1.1

Результаты расчета переходного процесса ДВС.

t	0	1,75	3,5	5,25	7	8,75
φ	0	0,395	0,54	0,594	0,614	0,621
n	1000	1395	1540	1594	1614	1621

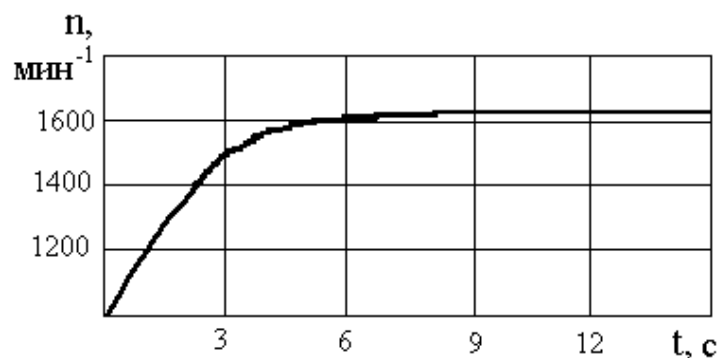


Рис. 1.1. Переходной процесс разгона двигателя

2. Задача №2. Построение переходного процесса центробежного регулятора

Требуется: построить переходной процесс муфты центробежного регулятора прямого действия (измерителя частоты вращения коленчатого вала).

Дано: уравнение динамики муфты измерителя:

$$T_p^2 \cdot \frac{d^2 \eta}{dt^2} + T_K \cdot \frac{d\eta}{dt} + \delta_p \cdot \eta = \alpha_p, \quad (2.1)$$

где $T_p^2 = 10 \cdot 10^{-5} \text{с}^2$ – постоянная времени измерителя; $T_K = 7 \cdot 10^{-3} \text{с}$ – постоянная времени катаракта; $\delta_p = 5 \cdot 10^{-2}$ – степень неравномерности (статическая ошибка) измерителя; η – относительная координата муфты измерителя; α_p – возмущение в виде увеличения относительного натяга главной пружины регулятора.

Общее решение данного дифференциального уравнения второго порядка (2.1) является суммой вынужденного η_v и свободного η_c движений муфты измерителя:

$$\eta = \eta_v + \eta_c. \quad (2.2)$$

Первое слагаемое в правой части уравнения (2.2) определяется по формуле:

$$\eta_v = \frac{\alpha_p}{\delta_p} = \frac{0,25}{5 \cdot 10^{-2}} = 5. \quad (2.3)$$

Для определения второго слагаемого η_c предварительно необходимо решить характеристическое уравнение, записанного в виде:

$$T_p^2 \cdot P^2 + T_K \cdot P + \delta_p = 0. \quad (2.4)$$

Корни уравнения (2.4) P_1 и P_2 определяются по формуле:

$$P_{1,2} = \frac{-T_K \pm \sqrt{T_K^2 - 4 \cdot T_p^2 \cdot \delta_p}}{2 \cdot T_p^2}. \quad (2.5)$$

После подстановки численных значения, получим следующие величины корней P_1 и P_2 :

$$P_1 \approx -8,07; \quad P_2 \approx -61,93. \quad (2.6)$$

Поскольку корни (2.6) получились действительными, то в данном случае имеем *апериодическое звено*. Поэтому выражение для свободного движения муфты η_c (второго слагаемого в правой части уравнения (2.2)) будет иметь вид:

$$\eta_c = C_1 \cdot e^{P_1 t} + C_2 \cdot e^{P_2 t}, \quad (2.7)$$

где C_1 и C_2 – константы интегрирования.

Согласно (2.2) запишем выражение для η :

$$\eta = 5 + C_1 \cdot e^{P_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{P_2 \cdot t} . \quad (2.8)$$

Для определения 2-х констант интегрирования необходимо получить второе уравнения, для чего следует продифференцировать выражение (2.8) один раз по времени:

$$\eta' = P_1 \cdot C_1 \cdot e^{P_1 \cdot t} + P_2 \cdot C_2 \cdot e^{P_2 \cdot t} . \quad (2.9)$$

При нулевых начальных условиях (при $t=0$ $\eta=0$ и $\eta'=0$) выражения (2.8) и (2.9) можно записать в виде системы двух уравнений с двумя неизвестными C_1 и C_2 :

$$\begin{cases} 0 = 5 + C_1 + C_2; \\ 0 = -8,07 \cdot C_1 - 61,93 \cdot C_2 \end{cases} . \quad (2.10)$$

Корни этой системы являются константами интегрирования:

$$\begin{cases} C_1 \approx -5,749165; \\ C_2 \approx 0,749165 . \end{cases} \quad (2.11)$$

Учитывая (2.6) и (2.11), выражение (2.8) для построения переходного процесса муфты измерителя окончательно примет вид:

$$\eta = 5 - 5,749165 \cdot e^{-8,07 \cdot t} + 0,749165 \cdot e^{-61,93t} . \quad (2.12)$$

Результаты расчетов по формуле (2.12) приводятся в виде таблицы 2.1 и графического отображения зависимости $\eta = f(t)$:

– Таблица 2.1

Результаты расчета переходного процесса муфты измерителя

t	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11
η	0	0,1	0,32	0,6	0,9	1,19	1,48	1,74	1,99	2,22	2,44	2,63
t	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23
η	2,82	2,99	3,14	3,29	3,42	3,54	3,65	3,76	3,86	3,94	4,03	4,1

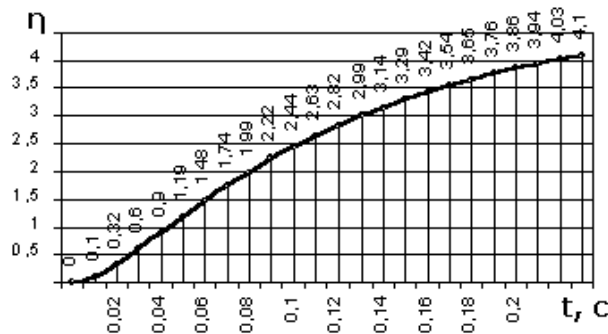


Рис.2. Переходной процесс муфты центробежного регулятора прямого действия

3. Задача №3. Определение устойчивости системы автоматического регулирования

Требуется: 1) получить уравнение движения САР; 2) определить устойчивость САР по критерию Гурвица.

Дано: Система дифференциальных уравнений, описывающая движение системы автоматического регулирования (САР), состоящую из двигателя и регулятора:

$$\begin{cases} T_d \cdot \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = -\eta + \lambda(t) - \text{двигатель} \\ T_p^2 \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + T_K \cdot \frac{d\eta}{dt} + \delta_p \cdot \eta = \varphi - \text{регулятор.} \end{cases} \quad (3.1)$$

Решение:

- Главный определитель системы уравнений (3.1):

$$\Delta = \begin{vmatrix} T_g \cdot P + K_g & 1 \\ -1 & T_p^2 \cdot P^2 + T_K \cdot P + \delta_p \end{vmatrix} =$$

$$= A_3 \cdot P^3 + A_2 \cdot P^2 + A_1 \cdot P + A_0 + 1,$$

где $A_3 = T_p^2 \cdot T_g$, $A_2 = T_g \cdot T_K + T_p^2 \cdot K_g$, $A_1 = T_g \cdot \delta_p + T_K \cdot K_g$, $A_0 = K_g \cdot \delta_p$ - коэффициенты

при величине P - символ дифференцирования: $P = \frac{d}{dt}$.

- Характеристическое уравнение движения САР можно записать в виде:

$$P^3 + a_2 \cdot P^2 + a_1 \cdot P + a_0 = 0, \quad (3.3)$$

$$\text{где } a_2 = \frac{A_2}{A_3}, \quad a_1 = \frac{A_1}{A_3}, \quad a_0 = \frac{A_0}{A_3}.$$

Об устойчивости САР можно судить по критерию Гурвица, согласно которому “Система устойчива, если все коэффициенты (a_0 , a_1 и a_2) характеристического уравнения положительны, главный определитель Δ_Γ и все его диагональные миноры, составленные должным образом из коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 - положительны”.

Главный определитель Гурвица для системы уравнений (3.1) имеет вид:

$$\Delta_\Gamma = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ 1 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0,$$

диагональные миноры отсутствуют.

При следующих данных: $T_d = 1,45$; $K_d = 17 \cdot 10^{-2}$; $T_p^2 = 11 \cdot 10^{-6}$; $T_k = 7 \cdot 10^{-3}$ и $\delta_p = 10 \cdot 10^{-2}$ - коэффициенты для определителя (3.2) будут равны:

$$A_3 = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 = 0,00001595;$$

$$A_2 = 1,45 \cdot 7 \cdot 10^{-3} + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,01015187;$$

$$A_1 = 1,45 \cdot 10 \cdot 10^{-2} + 7 \cdot 10^{-3} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,14619;$$

$$A_0 = 17 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,017.$$

Тогда коэффициенты в уравнении (3.3) соответственно будут равняться:

$$a_2 = \frac{0,01015187}{0,00001595} = 636,481; \quad a_1 = \frac{0,14619}{0,00001595} = 9165,52; \quad a_0 = \frac{0,017}{0,00001595} = 1065,83.$$

При таких значениях коэффициентов, главный определитель Гурвица оказывается положительным и равен $\Delta_\Gamma = 5832611$, диагональные миноры отсутствуют, все коэффициенты (a_0 , a_1 и a_2) характеристического уравнения положительны, откуда следует вывод: **система устойчива согласно критерию Гурвица.**

4. Задача №4. Численное моделирование переходного процесса системы автоматического регулирования

Требуется: построить переходной процесс САР на ЭВМ при следующих исходных данных: $T_d = 1,45$, $K_d = 0,17$, $K_{\alpha d} = 0,5$, $T_p^2 = 0,000011$, $T_k = 0,007$, $\delta_p = 0,1$. Начальная частота вращения вала двигателя $n_o = 1000 \text{ мин}^{-1}$; начальные условия при $t = 0$: $\varphi = 0$, $\eta' = \eta = 0$.

Дано: САР, состоит из двигателя и центробежного регулятора прямого действия, что задано системой 2-х дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} T_d \cdot \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = \eta - K_\alpha \cdot \alpha_d, \\ T_p^2 \cdot \frac{d^2\eta}{dt^2} + T_k \cdot \frac{d\eta}{dt} + \delta_p \cdot \eta = -\varphi. \end{cases} \quad (4.1)$$

Система этих уравнений решается наиболее простым численным методом интегрирования Эйлера. Для этого система уравнений (4.1) должна быть преобразована.

Бесконечно малые величины $d\varphi$, dt заменяются конечными: $d\varphi \cong \Delta\varphi$, $dt \cong \Delta t$. Тогда производная $\frac{d\varphi}{dt}$ заменяется отношением конечных величин: $\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$, Δt – называют шагом интегрирования по независимой переменной – времени.

Первое уравнение системы (4.1) представится в виде:

$$T_d \cdot \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} + K_d \cdot \varphi = \eta - K_\alpha \cdot \alpha_d,$$

или

$$\Delta\varphi = \frac{1}{T_d} (\eta - K_d \cdot \varphi - K_\alpha \cdot \alpha_d) \Delta t,$$

откуда относительная угловая скорость коленчатого вала определится как

$$\varphi = \varphi + \frac{1}{T_d} (\eta - K_d \cdot \varphi - K_\alpha \cdot \alpha_d) \Delta t. \quad (4.2)$$

В такой форме первое уравнение системы (4.1) пригодно к численному моделированию переходных процессов САР.

Аналогичным образом выполняется преобразование второго уравнения системы (4.1).

Обозначив $\frac{d\eta}{dt} = \frac{\Delta\eta}{\Delta t} = y$ и $\frac{d^2\eta}{dt^2} = \frac{dy}{dt} = \frac{\Delta y}{\Delta t}$,

второе уравнение системы (4.1) представится в виде двух уравнений:

$$\begin{cases} T_p^2 \cdot \frac{\Delta y}{\Delta t} + T_k \cdot y + \delta_p \cdot \eta = -\varphi; \\ \frac{\Delta\eta}{\Delta t} = y, \end{cases}$$

или в окончательном виде, пригодном для численного моделирования переходного процесса САР:

$$\begin{cases} y = y - \frac{1}{T_p^2} (T_k \cdot y + \delta_p \cdot \eta - \varphi) \Delta t; \\ \eta = \eta + y \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (4.3)$$

Уравнения (4.2) и (4.3) используются для численного моделирования переходных процессов САР, для чего составляется программа расчета на ЭВМ.

Таблица 4.1

Результаты расчета переходного процесса САР.

t, с	φ	η	n, мин ⁻¹
0	0	0	1000
0.1	0.03046	0.148334	969.5405
0.2	-0.04684	0.258541	953.1641
0.3	-0.05181	0.323533	948.1949
0.4	-0.05165	0.507669	948.3484
0.5	-0.05038	0.508570	949.6186
0.6	-0.04948	0.500379	950.5185
0.7	-0.04911	0.494135	950.8855
0.8	-0.04905	0.491444	950.9463
0.9	-0.04909	0.490916	950.9056
1.0	-0.04914	0.491153	950.8615
1.1	-0.04916	0.491451	950.8385
1.2	-0.04917	0.491615	950.8318
1.3	-0.04917	0.491667	950.8322
1.4	-0.04917	0.491667	950.8341
1.5	-0.04916	0.491654	950.8354
1.6	-0.04916	0.491645	950.8359
1.7	-0.04916	0.491642	950.8336
1.8	-0.04916	0.491641	950.8359
1.9	-0.04916	0.491641	950.8358
2.0	-0.04916	0.491642	950.8358

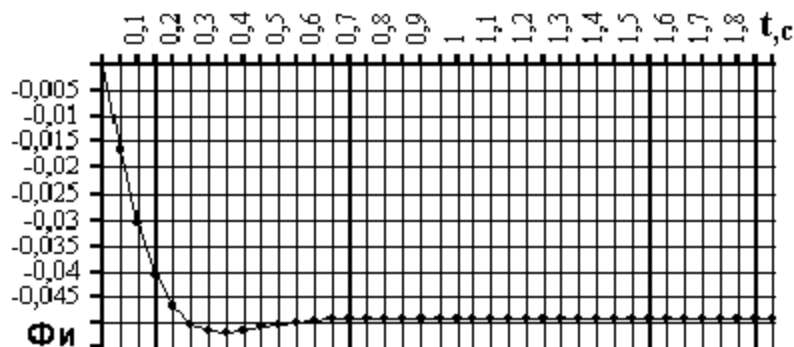


Рис. 4.1. Изменение относительной угловой скорости вала двигателя в переходном процессе

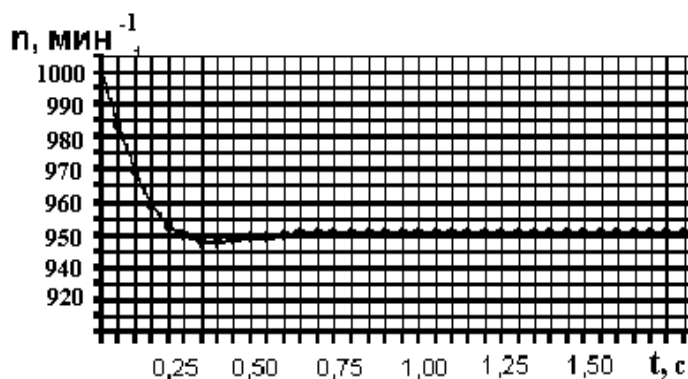


Рис. 4.2. Изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя в переходном процессе

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству индивидуальное задание

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Задание представлено на высоком уровне (студент полностью представил рассматриваемую проблематику, привел аргументы в пользу своих суждений, владеет профильным понятийным (категориальным) аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста полностью соответствует требованиям оформления технического текста
4	Задание представлено на среднем уровне (студент в целом изложил рассматриваемую проблематику, привел мало аргументов в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). Изложение и оформление текста в основном соответствует требованиям оформления технического текста
3	Задание представлено на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками, не владеет в достаточной степени профильным категориальным аппаратом и т.п.). Изложение и оформление текста частично соответствует требованиям оформления технического текста
2	Задание представлено на неудовлетворительном уровне или не представлено (студент не готов, не выполнил задание и т.п.). Изложение и оформление текста полностью не соответствует требованиям оформлению технического текста

Вопросы к контрольной работе (базовый уровень):

1. По закону воспроизведения регулируемой величины САР разделяются на

А - адаптивные

Б - **следающие**

В - релейные

Г - позиционные

Д - нет ни одного верного ответа

2. Регулятор прямого действия может не иметь статической ошибки?

А - **нет, не может не иметь статической ошибки**

Б - да, всегда

В - да при определенных условиях

Г - нет ни одного верного ответа

Д - может не иметь статической ошибки в случае, если водитель умеет читать и писать

3. Регулятор непрямого действия с комбинированной обратной связью может работать без ошибки?

А - нет никогда

Б - **да всегда**

В - да только в некоторых случаях

Г - нет ни одного верного ответа

4. Всережимный механический регулятор дизеля ЧН12/14 имеет такое же количество пружин по сравнению с однорежимным регулятором?

А - меньшее

Б - большее на 1 пружину

В - большее на 2 пружины

Г - **такое же**

Д - вообще не имеет пружин

5. По характеру изменения регулирующего воздействия во времени САР не разделяются на:

А - релейные

Б - **астатические**

В - позиционные

Г - непрерывного действия

Д - нет ни одного верного ответа

6. По методу регулирования САР разделяются на:

А - релейные

Б - астатические

В - **адаптивные**

Г - позиционные

Д - непрерывного действия

Е - нет ни одного верного ответа

7. По использованию энергии САР разделяются на:

А - релейные

Б - астатические

В - адаптивные

Г - **непрямого действия**

Д - непрерывного действия

Е - нет ни одного верного ответа

8. По принципу регулирования САР разделяются на:

А - релейные

Б - астатические

В - адаптивные

Г - непрямого действия

Д - непрерывного действия

Е - **нет ни одного верного ответа**

9. По виду дифференциального уравнения САР разделяются на:

А - релейные

Б - астатические

В - адаптивные

Г - непрямого действия

Д - с регулированием по принципу Понселе

Е - **нет ни одного верного ответа**

10. В САР непрямого действия с кинематической обратной связью используется принцип регулирования:

А - по возмущению

Б - принцип Понселе

В - **по отклонению**

Г - принцип Вышнеградского

Д - нет ни одного верного ответа

11. Зная относительное отклонение (δ) регулируемой величины (N) от ее заданного значения (N_0), укажите правильную формулу для определения текущего значения регулируемой величины N

А - $N = b \cdot N_0$

Б - $N = 1 + b \cdot N_0$

В - $N = 1 - b \cdot N_0$

Г - $N = N_0 \cdot (1 - b \cdot N_0)$

Д - не умею читать

Е - **нет ни одного верного ответа**

12. Применение катаракта (или регулятора давления прямого действия) позволяет для механического регулятора топливного насоса прямого действия:

А - **уменьшить ошибку регулирования**

Б - **увеличить точность регулирования**

В - **повысить устойчивость САР**

Г - **уменьшить колебания регулируемой величины в переходном процессе**

Д - увеличить максимальную частоту вращения дизеля

Е - увеличить мощность дизеля

Ж - нет ни одного верного ответа

13. Механический регулятор частоты вращения прямого действия никогда не имеет:

А - **бытового радиатора**

Б - измеритель

В - **усилителя**

Г - чувствительный элемент

Д - центробежных грузов

Е - нет ни одного верного ответа

14. Необходимые и достаточные условия устойчивости САР:

А - все коэффициенты характеристического уравнения положительны

Б - все коэффициенты характеристического уравнения отрицательны

В - один из корней характеристического уравнения положителен

Г - один из корней характеристического уравнения отрицателен

Д - **нет ни одного верного ответа**

15. Верно ли, что всережимные регуляторы

А - всегда применяются в вихрекамерных дизелях

Б - никогда не применяются в вихрекамерных дизелях

В - всегда применяются в автомобильных дизелях

Г - **всегда применяются в тракторных дизелях стран СНГ**

Д - никогда не применяются в дизелях с непосредственным впрыском

Е - нет ни одного верного ответа

16. Размерность фактора устойчивости ДВС:

А - $H \cdot m/s$

Б - $H \cdot s/m$

В - **$H \cdot s \cdot m$**

Г - $m \cdot s/H$

Д - $H/s/m$

Е - нет ни одного верного ответа

17. Центробежный астатический регулятор частоты вращения дизеля имеет обратную связь:

А - кинематическую

Б - силовую

В - жесткую

Г - **гибкую**

Д - **изодромную**

Е - комбинированную

Ж - нет ни одного верного ответа

18. Устойчива ли САР, имеющая характеристическое уравнение $3P^2 + 2P + 1 = 0$

А - **да, всегда**

Б - да, но не всегда, а при определенных условиях

В - нет, никогда

- Г - нет, но не всегда, а при определенных условиях
Д - по данному уравнению это невозможно определить
19. От чего зависит устойчивость системы автоматического регулирования 4-го порядка?
А - от успеваемости студента
Б - от величины корней характеристического уравнения по модулю
В - **от знака корней характеристического уравнения**
Г - от опыта шофера
Д - нет ни одного верного ответа
20. Какие из перечисленных показателей не являются параметрами качества переходных процессов САР?
А - число колебаний
Б - область допустимых отклонений
В - перерегулирование
Г - время регулирования
Д - статическая ошибка
Е - **нет ни одного верного ответа**
21. Будут ли устойчивыми режимы работы ДВС, имеющего собственный оператор $D(P)=P+0,1$?
А - **да, всегда**
Б - да, при определенных условиях
В - нет, никогда
Г - только если не выезжать из гаража
Д - в зависимости от опыта водителя
Е - нет ни одного верного ответа
22. Будут ли устойчивыми режимы работы ДВС, имеющего собственный оператор $D(P)=P - 0,1$?
А - да, всегда
Б - да, при определенных условиях
В - **нет, никогда**
Г - только если не выезжать из гаража
Д - в зависимости от опыта водителя
Е - нет ни одного верного ответа
23. Отличительным достоинством астатических САР является:
А - высокая скорость приема нагрузки
Б - высокое качество распыливания топлива
В - **отсутствие ошибки регулирования после окончания переходного процесса**
Г - их можно использовать вместо бетономешалки
Д - получение высокой удельной мощности дизеля
24. Для увеличения постоянной времени дизель-генератора необходимо:
А - увеличить удельную мощность ДВС
Б - **уменьшить удельную мощность ДВС**
В - снизить номинальную частоту вращения
Г - нажать на сцепление
Д - нанять опытного шофера
Е - нет ни одного верного ответа
25. Для характеристического уравнения колебательного звена 2-го порядка для дискриминанта D выполняется:
А - дискриминант $D>0$
Б - **дискриминант $D<0$**
В - дискриминант $D=0$
Г - величина дискриминанта D не имеет значения
Д - нет ни одного верного ответа
26. Регулятор дизеля ЯМЗ-38 является:
А - однорежимным

- Б - 2-х режимным
В - 3-х режимным
Г - **всережимным**
Д - нет ни одного верного ответа
27. По конструкции гидравлические сервомоторы не разделяются на:
А - двойного действия
Б - с отсечным золотником
В - с проточным золотником
Г - **тройного действия**
Д - с деревянной рукояткой
Е - нет ни одного верного ответа
28. Двигатель имеет положительное самовыравнивание, если:
А - характеристика $M(p)$ проходит круче, чем $M_c(p)$
Б - **характеристика $M_c(p)$ проходит круче, чем $M(p)$**
В - характеристика $M_c(p)$ совпадает с $M(p)$
Г - взаимное положение характеристик $M_c(p)$ и $M(p)$ не связано с самовыравниванием ДВС
Д - у водителя хорошее настроение и покладистый характер
29. От чего зависит мощность развиваемая дизелем?
А - **От частоты вращения и количества топлива**
Б - От количества топлива и количества воздуха
В - От генератора
Г - От частоты вращения и количества воздуха
30. Что произойдет с частотой вращения при увеличении нагрузки на дизель, если подача топлива останется неизменной?
А - **Уменьшится**
Б - Увеличится
В - Не изменится
31. Что произойдет с частотой вращения при уменьшении нагрузки на дизель, если подача топлива останется неизменной?
А. Уменьшится
Б. **Увеличится**
В. Не изменится
32. С помощью чего устанавливается частота вращения коленчатого вала дизеля?
А - рейки ТНВД
Б - **С помощью задающего устройства регулятор настраивают на частоту вращения вала**
В - педали газа
Г - Реверсора
33. Зависимость регулируемого параметра от нагрузки N при различных режимах работы дизеля называют
А - регуляторной характеристикой
Б - Скоростной характеристикой
В - Нагрузочной характеристикой
34. В каких координатах строится скоростная характеристика дизеля?
А - **параметры от частоты вращения двс**
Б - Сила тяги от скорости
В - Мощность от скорости движения
Г - Цикловая подача топлива от частоты вращения
35. Какое устройство служит для остановки дизеля в случае превышения им допустимой частоты вращения?
А - **Предельный регулятор**
Б - Объединенный регулятор
В - Регулятор частоты вращения
Г - Электронный регулятор частоты вращения
36. Что такое нагрузка дизеля?

А - Отбираемая от дизеля мощность на передачу и на привод вспомогательного оборудования

Б - Номинальная мощность, указанная в технических характеристиках В. Воспринимаемые деталями дизеля силы давления газов в цилиндре

Г - Сила, с которой он давит на раму тепловоза

37. На сколько процентов от номинальной должна превысить частота вращения дизеля, чтобы сработал предельный регулятор?

А - 10-20 %

Б - 1-5 %

В - 20-30 %

Г - Более 30 %

38. Что регулируется передвижением реек ТНВД?

А - Цикловая подача топлива в цилиндры

Б - Давление впрыска топлива

В - Угол опережения впрыска топлива

Г - Фазы газораспределения

39. На что в первую очередь воздействует предельный регулятор при срабатывании?

А - На ТНВД

Б - На форсунки

В - На топливopодкачивающий насос

Г - Сбрасывает позиции контролера машиниста

40. В зависимости от конструкции и системы двигателя регулирование может быть:

А – количественным

Б - качественным

В - пропусками вспышек в цилиндре

Г – все перечисленное

41. При количественном регулировании ..

А - изменяется количество смеси воздуха и топлива, подаваемого в цилиндр, без изменения состава смеси (желательно наивыгоднейшего).

Б – не изменяется количество смеси воздуха и топлива, подаваемого в цилиндр, без изменения состава смеси (желательно наивыгоднейшего).

В - количество - топлива без изменения количества воздуха.

Г – нет правильного ответа.

42. Количественный способ регулирования применяется в

А - в карбюраторных или газовых двигателях.

Б – в дизелях

В – в газовых двигателях.

Г – в калоризаторных двигателях

43. При количественном регулировании требуемое изменение количества горючей смеси достигается

А - прикрытием заслонки (дросселя) — дросселированием на всасывающей трубе при входе в цилиндр.

Б – преимуществом указанного регулирования является постоянство состава горючей смеси, а следовательно, хорошее качество сгорания при всех нагрузках

В – изменением количества топлива без изменения количества воздуха.

Г - ответы А , Б

44. При качественном регулировании изменяется

А - количество - топлива без изменения количества воздуха.

Б – не изменяется количество смеси воздуха и топлива, подаваемого в цилиндр, без изменения состава смеси (желательно наивыгоднейшего).

В - изменяется количество смеси воздуха и топлива, подаваемого в цилиндр, без изменения состава смеси (желательно наивыгоднейшего).

Г – нет правильного ответа.

45. Качественный способ регулирования применяется в

А - в карбюраторных или газовых двигателях.

Б – в дизелях

В – в газовых двигателях.

Г – в калоризаторных двигателях

46. При качественном регулировании ...

А - количество поступающего в цилиндр воздуха можно считать одним и тем же при всех нагрузках, количество же впрыскиваемого в цилиндр жидкого топлива (подаваемого насосом) меняется в зависимости от нагрузки.

Б - количество поступающего в цилиндр воздуха меняется при всех нагрузках, количество же впрыскиваемого в цилиндр жидкого топлива (подаваемого насосом) не меняется в зависимости от нагрузки.

В – нет правильного ответа

47. В газовых двигателях широко применяется..

А - смешанное регулирование, при котором в зависимости от величины нагрузки пользуются то количественным, то качественным регулированием. При этом используются преимущества обоих видов регулирования.

Б -качественный способ регулирования

В – количественный способ регулирования

Г- нет правильного ответа.

48. Регулирование пропусками вспышек в цилиндре состоит в

А - прекращении подачи топлива при возрастании числа оборотов двигателя; после того как произойдет несколько пропусков вспышек, число оборотов понижается и насос вновь автоматически включается в действие.

Б – прекращении подачи воздуха при возрастании числа оборотов двигателя; после того как произойдет несколько пропусков вспышек, число оборотов понижается и насос вновь автоматически включается в действие.

В - прекращении зажигания топливной смеси при возрастании числа оборотов двигателя

Г- нет правильного ответа.

49. Регулирование пропусками вспышек применяется в

А - в карбюраторных или газовых двигателях.

Б – в дизелях

В – в газовых двигателях.

Г – в калоризаторных двигателях

50. Автоматическое регулирование подачи топлива в цилиндры производится

А - центробежным регулятором, который воздействует на работу топливных насосов.

Б – водяным регулятором, который воздействует на работу топливных насосов.

Г- нет правильного ответа.

51. Регулирующее воздействие может (выберите какая строка первого столбца соответствует во втором столбце)

1. быть непосредственным	Б. как в регуляторах непрямого действия
2. так и посредством вспомогательного механизма	А. как в регуляторах прямого действия

52. Вспомогательный исполнительный механизм, называемый *сервомотором* он

А - усиливает воздействие регулятора.

Б – ослабляет воздействие регулятора.

В – не влияет на воздействие регулятора.

Г - нет правильного ответа

53. Регуляторы, предназначенные для поддержания заданного числа оборотов двигателя при любом изменении нагрузки, называются

А - однорежимными регуляторами.

Б – всережимными.

В – двухрежимными.

Г – нет правильного ответа.

54. Центробежные регуляторы прямого действия применяются

А - для всех двигателей небольшой мощности и у многих двигателей средней мощности (до 1000 л. е.).

Б - у двигателей большой мощности (свыше 1000 л. с.).

В – не применяются

Г- нет правильного ответа.

55. Регуляторы непрямого действия с гидравлическими сервомоторами применяются

А - для всех двигателей небольшой мощности и у многих двигателей средней мощности (до 1000 л. е.).

Б - у двигателей большой мощности (свыше 1000 л. с.)

В – не применяются вообще.

Г- нет правильного ответа.

56. Всережимные регуляторы применяются

А – только для автомобильных двс.

Б – только для автотракторных двс.

В – для всех видов дизелей.

Е - нет ни одного верного ответа

56. Всережимный регулятор способствует устойчивой работе двигателя на любом скоростном режиме от минимальной до максимальной частоты вращения коленчатого вала.

А – правильно.

Б - неправильно

57. На автомобильных двигателях регуляторы должны ограничивать, как минимум, максимальную и минимальную частоты вращения коленчатого вала. Такие регуляторы называются

А - двухрежимными.

Б – однорежимными.

В – всережимными.

Е - нет ни одного верного ответа

58. Верно ли утверждение.

Муфта опережения впрыска топлива служит для автоматического изменения угла опережения впрыска топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Муфта повышает экономичность дизеля при различных режимах работы и улучшает его пуск.

А – верно.

Б – не верно.

59. Где располагают регулятор в ДВС?

А - между баком и карбюратором.

Б - в топливном насосе высокого давления дизеля.

В - между фильтрами «тонкой» и «грубой» очистки.

Е - нет ни одного верного ответа

60. Какой регулятор меняет угол опережения зажигания при повышении частоты вращения коленчатого вала.

А - Вакуумный.

Б - Центробежный.

В - Октан –корректор.

Г- Всережимный.

Задача (повышенный уровень)

вар	N_e , кВт	n , мин ⁻¹	T_g , кг*м ²	K_g	Возмущение	T_p^2 , с ² *10 ⁻⁶	T_k , с *10 ⁻³	δ_p *10 ⁻²
1	320	1000	0,8	0,05	$\lambda=0$ $\eta=0,1$	5	7	3
2	30	2000	0,6	0,06	$\lambda=0,02$ $\eta=0$	6	7	4
3	170	2000	1	0,07	$\lambda=0,03$ $\eta=0$	8	7	5
4	50	3000	0,4	0,08	$\lambda=0$ $\eta=0,2$	7	7	6
5	70	40000	0,3	0,1	$\lambda=0,05$ $\eta=0$	8	7	7

6	270	1000	1,2	0,04	$\lambda=0 \eta=0,05$	7	7	7
7	80	4000	0,2	0,1	$\lambda=0 \eta=0,1$	4	7	6
8	90	3000	0,26	0,1	$\lambda=0,05 \eta=0$	5	7	5
9	100	2000	0,7	0,08	$\lambda=0,05 \eta=0$	6	8	4
10	110	1500	0,8	0,07	$\lambda=0 \eta=0,1$	7	8	4
11	120	1600	1	0,06	$\lambda=0 \eta=0,1$	8	9	3
12	140	1400	1,2	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	3	9	3
13	200	2000	1,5	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	4	10	4
14	1000	1000	6	0,06	$\lambda=0 \eta=0,1$	2	8	4
15	30	1500	0,8	0,05	$\lambda=0 \eta=0,1$	5	5	4
16	170	1600	0,6	0,06	$\lambda=0,02 \eta=0$	6	6	5
17	50	1400	1	0,07	$\lambda=0,03 \eta=0$	8	8	6

Определение устойчивости системы автоматического регулирования

Требуется: 1) получить уравнение движения САР; 2) определить устойчивость САР по критерию Гурвица.

Дано: Система дифференциальных уравнений, описывающая движение системы автоматического регулирования (САР), состоящую из двигателя и регулятора:

$$\begin{cases} T_d \cdot \frac{d\varphi}{dt} + K_d \cdot \varphi = -\eta + \lambda(t) - \text{двигатель} \\ T_p^2 \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} + T_K \cdot \frac{d\eta}{dt} + \delta_p \cdot \eta = \varphi - \text{регулятор.} \end{cases} \quad (3.1)$$

Решение:

- Главный определитель системы уравнений (3.1):

$$\Delta = \begin{vmatrix} T_g \cdot P + K_g & 1 \\ -1 & T_p^2 \cdot P^2 + T_K \cdot P + \delta_p \end{vmatrix} = \quad (3.2)$$

$$= A_3 \cdot P^3 + A_2 \cdot P^2 + A_1 \cdot P + A_0 + 1,$$

где $A_3 = T_p^2 \cdot T_g$, $A_2 = T_g \cdot T_K + T_p^2 \cdot K_g$, $A_1 = T_g \cdot \delta_p + T_K \cdot K_g$, $A_0 = K_g \cdot \delta_p$ - коэффициенты при величине P - символ дифференцирования: $P = \frac{d}{dt}$.

- Характеристическое уравнение движения САР можно записать в виде:

$$P^3 + a_2 \cdot P^2 + a_1 \cdot P + a_0 = 0, \quad (3.3)$$

$$\text{где } a_2 = \frac{A_2}{A_3}, \quad a_1 = \frac{A_1}{A_3}, \quad a_0 = \frac{A_0}{A_3}.$$

Об устойчивости САР можно судить по критерию Гурвица, согласно которому “Система устойчива, если все коэффициенты (a_0 , a_1 и a_2) характеристического уравнения положительны, главный определитель Δ_Γ и все его диагональные миноры, составленные должным образом из коэффициентов a_0 , a_1 и a_2 - положительны”.

Главный определитель Гурвица для системы уравнений (3.1) имеет вид:

$$\Delta_\Gamma = \begin{vmatrix} a_2 & a_0 \\ 1 & a_1 \end{vmatrix} = a_2 \cdot a_1 - a_0,$$

диагональные миноры отсутствуют.

При следующих данных: $T_g = 1,45$; $K_g = 17 \cdot 10^{-2}$; $T_p^2 = 11 \cdot 10^{-6}$; $T_K = 7 \cdot 10^{-3}$ и $\delta_p = 10 \cdot 10^{-2}$ - коэффициенты для определителя (3.2) будут равны:

$$A_3 = 11 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 = 0,00001595 ;$$

$$A_2 = 1,45 \cdot 7 \cdot 10^{-3} + 11 \cdot 10^{-6} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,01015187 ;$$

$$A_1 = 1,45 \cdot 10 \cdot 10^{-2} + 7 \cdot 10^{-3} \cdot 17 \cdot 10^{-2} = 0,14619 ;$$

$$A_0 = 17 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-2} = 0,017 .$$

Тогда коэффициенты в уравнении (3.3) соответственно будут равняться:

$$a_2 = \frac{0,01015187}{0,00001595} = 636,481 ; a_1 = \frac{0,14619}{0,00001595} = 9165,52 ; a_0 = \frac{0,017}{0,00001595} = 1065,83 .$$

При таких значениях коэффициентов, главный определитель Гурвица оказывается положительным и равен $\Delta_G = 5832611$, диагональные миноры отсутствуют, все коэффициенты (a_0 , a_1 и a_2) характеристического уравнения положительны, откуда следует вывод: **система устойчива согласно критерию Гурвица.**

Критерии и шкала оценивания по оценочному средству контрольная работа

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Контрольная работа выполнена на высоком уровне (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Контрольная работа выполнена на среднем уровне (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Контрольная работа выполнена на низком уровне (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач)
2	Контрольная работа выполнена на неудовлетворительном уровне (правильные ответы даны менее чем на 50 %)

Вопросы по оценочному средству промежуточная аттестация (экзамен):

1. Основные понятия и определения.
2. Дифференциальное уравнение движения системы автоматического регулирования частоты вращения ДВС.
3. Собственный оператор системы, характеристическое уравнение.
4. Уравнение динамики дизеля.
5. Отклонение и заданное значение регулируемой величины. Абсолютные и относительные значения переменных.
6. Характеристическое уравнение САР
7. Схема астатического регулятора скорости.
8. Алгебраические критерии устойчивости САР.
9. Интегрирование дифференциального уравнения движения САР.
10. Классификация чувствительных элементов.
11. Уравнение динамики гидравлического сервомотора двойного действия без обратной связи.
12. Уравнение динамики гидравлического сервомотора двойного действия с кинематической обратной связью.
13. Регуляторы частоты вращения прямого действия.
14. Системы прямого и непрямого регулирования. Статические и астатические регуляторы.
15. Классификация САР.
16. Устойчивость режимов работы ДВС.
17. Идеальное интегрирующее звено.
18. Уравнение динамики ДВС как объекта регулирования скорости вращения.
19. Нормирование характеристического уравнения САР.
20. Фактор устойчивости центробежного измерителя скорости вращения.
21. Характеристики потребителей.
22. Уравнение динамики впускного ресивера.
23. Относительные переменные в теории автоматического регулирования.
24. Аperiodическое звено II-го порядка.
25. Вибрационный регулятор.
26. Регуляторные характеристики ДВС.
27. Регулятор Уатта. Вывод уравнения динамики.
28. Идеальное дифференцирующее звено.
29. Критерий устойчивости Гурвица.
30. Исторические сведения о развитии теории САР.

31. Нормирование уравнений движения САР 3-го порядков.
 32. Диаграмма проф. Вышнеградского.
 33. Релейный регулятор.
 34. Принципы регулирования по отклонению и возмущению.
 35. Аperiodическое звено I-го порядка.
 36. Астатические регуляторы. Схема, принцип работы, регуляторная характеристика.
 37. Принцип Понселе.
 38. Фактор устойчивости центробежного измерителя скорости вращения.
 39. Характеристики ДВС и потребителей.
 40. Статические регуляторы. Схема и статическая ошибка.
 41. Критерий устойчивости Гурвица.
 42. Отклонение и заданное значение регулируемой величины. Регулирующее воздействие. Регулятор Ползунова.
 43. Устойчивость САР, виды устойчивых и неустойчивых переходных процессов, необходимые и достаточные условия устойчивости.
 44. Непрямое регулирование. Схема регулятора, область применения.
 45. Принципы регулирования по отклонению и по возмущению. Комбинированные регуляторы.
 46. Колебательное звено 2-го порядка. Дифференциальное уравнение и переходная функция.
- Критерии и шкала оценивания по оценочному средству промежуточная аттестация (экзамен)

Шкала оценивания (интервал баллов)	Критерий оценивания
5	Ответ представлен на высоком уровне (студент полностью изложил рассматриваемую проблему, привел аргументы и факты; владеет профильным понятийным (категориальным) набором знаний и т.п.). (правильные ответы даны на 90-100 % вопросов/задач)
4	Ответ представлен на среднем уровне (студент в целом представил рассматриваемую проблематику, привел не все аргументы в пользу своих суждений, допустив некоторые неточности и т.п.). (правильные ответы даны на 75-89 % вопросов/задач)
3	Ответ представлен на низком уровне (студент допустил существенные неточности, изложил материал с ошибками; не владеет в достаточной степени профильными категориальными сведениями и т.п.) (правильные ответы даны на 50-74 % вопросов/задач).
2	Ответ представлен на неудовлетворительном уровне или не представлен (студент не готов, не выполнил задание и т.п.) (правильные ответы даны менее чем на 50 %).

9. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости рабочая программа учебной дисциплины может быть адаптирована для обеспечения образовательного процесса инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

Для этого требуется заявление студента (его законного представителя) и заключение психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК). В случае необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося), а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

– создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;

- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников, например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения – аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной (модулем), за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение электронного обучения, дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительность сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, – не более чем на 90 минут;
- продолжительность подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, – не более чем на 20 минут;

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений с указанием страниц	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)
1.			
2.			
3.			
4.			