МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Ф. УТКИНА

Кафедра «Автоматики и информационных технологий в управлении»

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Направление 12.05.01

«Электронные и оптико-электронные приборы и системы специального назначения»

ОПОП

«Оптико-электронные информационно-измерительные приборы и системы»

Квалификация выпускника – специалитет

Форма обучения – очная

Рязань 2026 г.

Оценочные материалы – это совокупность учебно-методических материалов (контрольных заданий, описаний форм и процедур), предназначенных для оценки качества освоения обучающимися данной дисциплины как части основной образовательной программы.

Цель – оценить соответствие знаний, умений и уровня приобретенных компетенций, обучающихся целям и требованиям основной образовательной программы в ходе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Основная задача – обеспечить оценку уровня сформированности общекультурных и профессиональных компетенций, приобретаемых обучающимися в соответствии с этими требованиями.

Контроль знаний проводится в форме текущего контроля и промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости проводится с целью определения степени усвоения учебного материала, своевременного выявления и устранения недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по совершенствованию методики преподавания учебной дисциплины (модуля), организации работы обучающихся в ходе учебных занятий и оказания им индивидуальной помощи.

К контролю текущей успеваемости относятся проверка знаний, умений и навыков, приобретённых обучающимися на практических занятиях, лабораторных работах и выполнении курсовой работы. При выполнении лабораторных работ применяется система оценки «зачтено – не зачтено». Количество лабораторных работ по дисциплине определено графиком, утвержденным заведующим кафедрой.

На практических занятиях допускается использование либо системы «зачтено – не зачтено», либо рейтинговой системы оценки, при которой, например, правильно решенная задача оценивается определенным количеством баллов. При поэтапном выполнении учебного плана баллы суммируются. Положительным итогом выполнения программы является определенное количество набранных баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине осуществляется проведением экзамена и зачета. Форма проведения экзамена – устный ответ по утвержденным экзаменационным билетам, сформулированным с учетом содержания учебной дисциплины, либо сдача экзамена в форме ответов на тестовые задания. В экзаменационный билет включается два теоретических вопроса. В процессе подготовки к устному ответу экзаменуемый может составить в письменном виде план ответа, включающий в себя определения, выводы формул, рисунки и т.п. Форма сдачи зачёта аналогична форме проведения экзамена.

Паспорт оценочных материалов по дисциплине
Модуль 1

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или её части)	Вид, метод, форма оценочного мероприятия
1	2	3	4
1.1	Общие сведения о системах управления и технических средствах	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В	Зачёт Задание для сам. работы

1.2	Элементы САУ. Требования к элементам	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В	Зачёт Задание для сам. работы
1.3	Датчики и преобразователи	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В ОПК-1.2-З ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В	Зачёт Задание для сам. работы
1.4	Асинхронные машины	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В	Зачёт Задание для сам. работы
1.5	Двигатели постоянного тока	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В ОПК-1.2-З ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В	Зачёт Задание для сам. работы
1.6	Синхронные машины	ОПК-1.2-З ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В	Зачёт Задание для сам. работы

Модуль 2

№ п/п	**Контролируемые разделы (темы) дисциплины**	**Код контролируемой компетенции (или её части)**	**Вид, метод, форма оценочного мероприятия**
1	2	3	4
2.1	Введение. Состав технических средств систем управления. Государственная система приборов (ГСП)	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В	Экзамен Задание для сам. Работы Выполнение курс. проекта
2.2	Измерительные преобразователи	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В	Экзамен Задание для сам. работы Выполнение курс. проекта
2.3	Выбор типа исполнительного устройства	ОПК-1.2-З	Экзамен

		ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В	Выполнение курс. проекта Задание для сам. работы
2.4	Принципы построения современных аналоговых промышленных регуляторов	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В ОПК-1.2-З ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В	Экзамен Выполнение курс. проекта Задание для сам. работы
2.5	Выбор типа регулятора и расчет его настройки	ОПК-1.1-З ОПК-1.1-У ОПК-1.1-В ОПК-1.2-З ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В	Экзамен Выполнение курс. проекта Задание для сам. работы
2.6	Пневматические регуляторы	ОПК-1.2-З ОПК-1.2-У ОПК-1.2-В	Экзамен Задание для сам. работы

Критерии оценивания компетенций (результатов)

1) Уровень усвоения материала, предусмотренного программой.

2) Умение анализировать материал, устанавливать причинно-следственные связи.

3) Качество ответа на вопросы: полнота, аргументированность, убежденность, логичность.

4) Содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям и выполнении курсовой работы.

5) Использование дополнительной литературы при подготовке ответов.

Уровень освоения сформированности знаний, умений и навыков по дисциплине оценивается в форме бальной оценки:

«Отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебно-программного материала, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, изучивший основную, и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется студентам, усвоившим взаимосвязь основных понятий дисциплины в их значении для приобретаемой профессии, проявившим творческие способности в понимании, изложении и использовании учебно-программного материала.

«Хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе. Как правило, оценка «хорошо» выставляется студентам, показавшим систематический характер знаний по

дисциплине и способным к их самостоятельному пополнению и обновлению в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности.

«Удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знания основного учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справляющийся с выполнением заданий, предусмотренных программой, знакомый с основной литературой, рекомендованной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется студентам, допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя.

«Неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение или приступить к профессиональной деятельности по окончании вуза без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценка «зачтено» выставляется студенту, который прочно усвоил предусмотренный программный материал; правильно, аргументировано ответил на все вопросы, с приведением примеров; показал глубокие систематизированные знания, владеет приемами рассуждения и сопоставляет материал из разных источников: теорию связывает с практикой, другими темами данного курса, других изучаемых предметов; без ошибок выполнил практическое задание.

Обязательным условием выставленной оценки является правильная речь в быстром или умеренном темпе. Дополнительным условием получения оценки «зачтено» могут стать хорошие успехи при выполнении самостоятельной работы, а также уверенная защита лабораторных работ.

Оценка «не зачтено» выставляется студенту, который не справился с 50% вопросов и заданий билета, в ответах на другие вопросы допустил существенные ошибки. Не может ответить на дополнительные вопросы, предложенные преподавателем. Целостного представления об изучаемой дисциплине у студента нет. Оценивается качество устной речи и изложение письменного материала, как и при выставлении положительной оценки.

Типовые контрольные задания или иные материалы

Модуль 1

Вопросы к зачёту

1. Иерархическая структура распределения средств управления ГСП.

2. Состав локальных систем управления.

3. Статические характеристики элементов САУ.

4. Статические характеристики релейных элементов.

5. Классификация датчиков.

6. Конструкция и параметры потенциометрических датчиков.

7. Основные источники погрешностей потенциометрических преобразователей.

8. Основные свойства ёмкостных чувствительных элементов.

9. Простейшие схемы ёмкостных датчиков.

10. Конструкция и принцип функционирования индуктивных датчиков.

11. Термопары, как датчики температуры.

12. Металлические термометры сопротивления.

13. Полупроводниковые термометры сопротивления.

14. Цифровые тахометры.

15. Классификация усилителей мощности.

16. Широтно-импульсное управление двигателем постоянного тока.

17. Расчёт мостовой схемы усилителя мощности.

18. Расчёт мощности, рассеиваемой на силовом транзисторе в мостовой схеме усилителя мощности.

19. Конструкция асинхронных двигателей.

20. Принцип работы асинхронного двигателя.

21. Двигательный режим асинхронной машины.

22. Механические характеристики асинхронного двигателя.

23. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.

24. Способы регулирования скорости асинхронного двигателя.

25. Однофазные асинхронные микродвигатели.

26. Пуск однофазных асинхронных микродвигателей.

27. Однофазный конденсаторный асинхронный микродвигатель.

28. Исполнительные асинхронные микродвигатели.

29. Определение передаточной функции асинхронного микродвигателя.

30. Основные принципы функционирования машин постоянного тока.

31. Конструкция машин постоянного тока.

32. Уравнение механической характеристики двигателя постоянного тока.

33. Способы питания обмотки возбуждения двигателя постоянного тока.

34. Режимы работы ДПТ с независимым возбуждением.

35. Характеристики исполнительных ДПТ.

36. Определение передаточных функций ДПТ с независимым возбуждением.

37. Управление ДПТ. Система управляемый генератор-двигатель.

38. Управление ДПТ. Система электромашинный усилитель-двигатель.

39. Основные сведения о синхронных машинах.

40. Принцип работы синхронных генераторов.

41. Механизм взаимодействия между статором и ротором в синхронных машинах.

42. Структурная схема коллекторного ДПТ.

43. Бесконтактные двигатели постоянного тока.
44. Определение параметров передаточной функции коллекторного двигателя постоянного тока по паспортным данным.

45. Исполнительные устройства с электромагнитными порошковыми муфтами.

46. Диаграмма нагрузки двигателя.

47. Определение области располагаемых моментов и скоростей ДПТ.

48. Выбор электродвигателя при известных максимальных значениях скорости и ускорения движения нагрузки.

49. Определение оптимального передаточного отношения редуктора из условия получения максимального ускорения в нагрузке.

Типовые задания для самостоятельной работы

1. Оптические элементы датчиков.
2. Позиционные датчики. Датчики расстояния.
3. Характеристики и режимы ДПТ при последовательном возбуждении.
4. Регулирование угловой скорости ДПТ.
5. Регулирование угловой скорости в системе «Управляемый выпрямитель-двигатель постоянного тока независимого возбуждения».
6. Трёхфазные асинхронные двигатели.
7. Реверс и тормозные режимы асинхронного двигателя.
8. Характеристики асинхронной машины в переходных режимах, связанных с изменением скорости.
9. Уравнение вращающих моментов асинхронной машины и его анализ.
10. Характеристики синхронного генератора.
11. Мощность и электромагнитный момент синхронной машины.
12. Математическая модель явнополюсного синхронного двигателя с демпферной обмоткой.

Модуль 2
Вопросы к экзамену

1. Государственная система приборов ГСП. Назначение. Структура ГСП.

2. Условия оптимальной настройки регуляторов в одноконтурной САУ.

3. Датчики температуры.

4. Пневмо- и электросиловые преобразователи.

5. Классификация промышленных регуляторов.

6. Двухпозиционные регуляторы.

7. Автоматические мосты.
8. Графоаналитический метод расчета оптимальной настройки И-регулятора.

9. Структурные схемы регуляторов с линейными законами регулирования.

10. Графоаналитический метод расчета оптимальной настройки ПИ-регулятора.

11. Измерительные преобразователи температуры в унифицированный сигнал.
12. Графоаналитический метод расчета оптимальной настройки ПИД-регулятора.

13. Измерительные преобразователи давления в унифицированный сигнал.
14. Оптимальная настройка ПИ-регулятора при ограничении на степень колебательности замкнутой САР.

15. Пускатели электрических исполнительных механизмов.

16. Использование метода расширенных АФХ при расчете настройки регуляторов.

17. Импульсные регуляторы с исполнительными механизмами постоянной скорости.

18. Условие оптимальной настройки И-регулятора.

19. Регулирующий блок импульсного типа РБИ.

20. Оптимальный закон регулирования регулятора в системах высокой предельной точности регулирования.

21. Основные особенности пневматических регуляторов.

22. Оптимальная настройка ПИД-регулятора в одноконтурной САР.

23. Элементы УСЭППА (дроссель, емкость, элемент сравнения).

24. Основные положения синтеза регуляторов из условия МИН. СКО.

25. Элементы УСЭППА (усилитель мощности, повторитель сигналов).

26. Оптимальная настройка ПИ-регулятора с использованием расширенных АФХ.

27. Дроссельный сумматор.
28. Оптимальная настройка ПИ-регулятора при работе с одноемкостными объектами.

29. Мембранный сумматор.

30. Степень затухания, степень колебательности замкнутой САР.

31. Инерционное звено на элементах УСЭППА. Пневмоинтегратор.

32. Показатель колебательности линейной САР.

33. Пропорциональный регулятор ПР2.8.

34. Оптимальтная настройка И-регулятора при работе с одноемкостными объектами.

35. Пневматический ПИ-регулятор ПР3.31.

36. Условия оптимальной настройки регуляторов в одноконтурной САР.

37. Датчики расхода жидкости, газа.

38. Датчики уровня жидкости.

39. Пневматический регулятор ПР3.35.

40. Реализация пневматического усилителя мощности.

Тестовые задания к экзамену

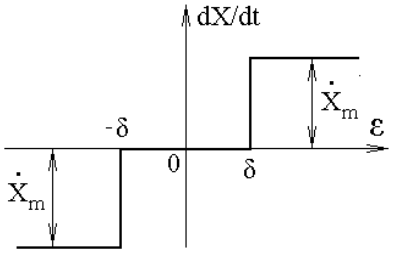
Разработано несколько вариантов тестов, каждый из которых содержит по 36 вопросов. Один из вариантов приведён ниже.

1. Какую из ветвей *не включает* в свой состав государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП):

а) электрическую; б) механическую;

в) пневматическую; г) гидравлическую;

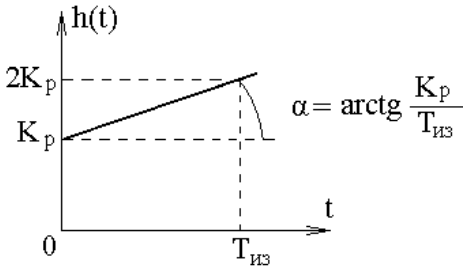
2. Какой из *типовых законов регулирования* показан на рисунке?



а) релейный постоянной скорости; б) релейный двухпозиционный;

в) пропорциональный; г) интегральный.

3. На рисунке показана *переходная характеристика*



а) П-регулятора; б) И-регулятора;

в) ПИ-регулятора; г) ПД-регулятора.

4. Определите *оптимальную* передаточную функцию регулятора, исходя из критерия минимума средней квадратической ошибки:

а) $W_{p.onm}(p) = \dfrac{W_o^o(p)}{\tau_o p}$; б) $W_{p.onm}(p) = \dfrac{p}{\tau_o W_o^o(p)}$;

в) $W_{p.onm}(p) = \dfrac{\tau_o}{p W_o^o(p)}$; г) $W_{p.onm}(p) = \dfrac{1}{\tau_o p W_o^o(p)}$,

где $W_o^o(p)$ - часть передаточной функции объекта без учета запаздывания, τ_0 - запаздывание в объекте.

5. Степень колебательности определяется как:

а) $m = \dfrac{\alpha}{\omega}$; б) $m = \dfrac{\omega}{\alpha}$; в) $m = \dfrac{\alpha + \omega}{2}$; г) $m = \dfrac{2}{\alpha + \omega}$,

где α - вещественная часть доминирующих полюсов, а ω - мнимая часть.

6. Определите *физический смысл* степени колебательности m:

а) показывает, как возрастает амплитуда колебаний за один период;

б) показывает, как возрастает амплитуда за время регулирования;

в) показывает, как затухает амплитуда за один период;

г) показывает, как затухает амплитуда за время регулирования.

7. *Показатель колебательности* М *замкнутой системы* определяется:

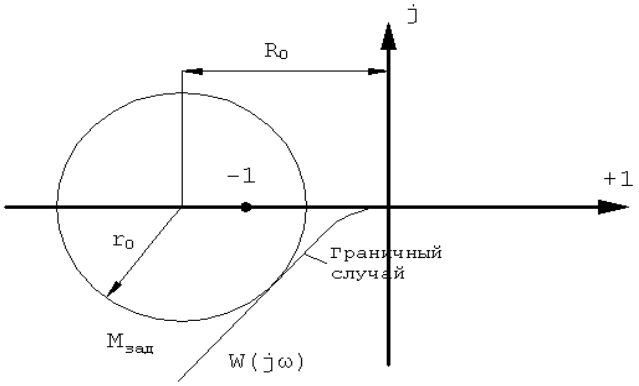
а) по переходной характеристике замкнутой системы;

б) по ФЧХ замкнутой системы;

в) по корневому годографу замкнутой системы;

г) по АЧХ замкнутой системы.

8. Для случая, показанного на рисунке, показатель колебательности замкнутой системы определяется как



а) $M = M_{зад}$; б) $M > M_{зад}$;

в) $M < M_{зад}$; г) $M = 1.$

9. *Расширенная* АФХ получается заменой в передаточной функции

а) $p \to j\omega$; б) $p \to (j + m)\omega$;

в) $p \to (j - m)\omega$; г) $p \to j\omega$ m.

10. Оптимальной настройке ПИ- регулятора *по критерию максимального подавления низкочастотных возмущений* соответствует значение $C_1 = K_p / T_{из}$

а) $C_1 = \min$; б) $C_1 = 1$; в) $C_1 = 10$; г) $C_1 = \max$.

11. *Одноёмкостной* объект описывается:

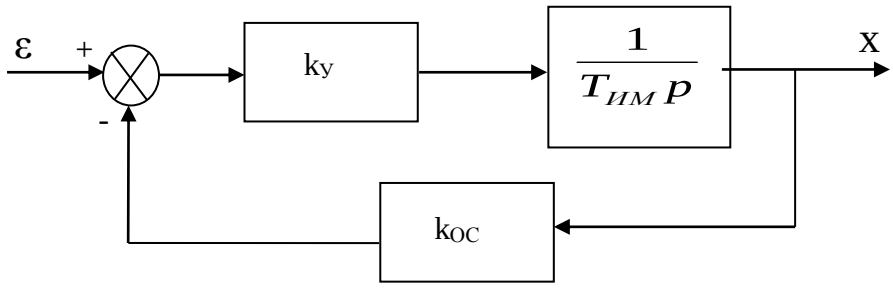
а) дифференциальным уравнением первого порядка;

б) дифференциальным уравнением второго порядка;

в) дифференциальным уравнением не выше второго порядка;

г) алгебраическим уравнением.

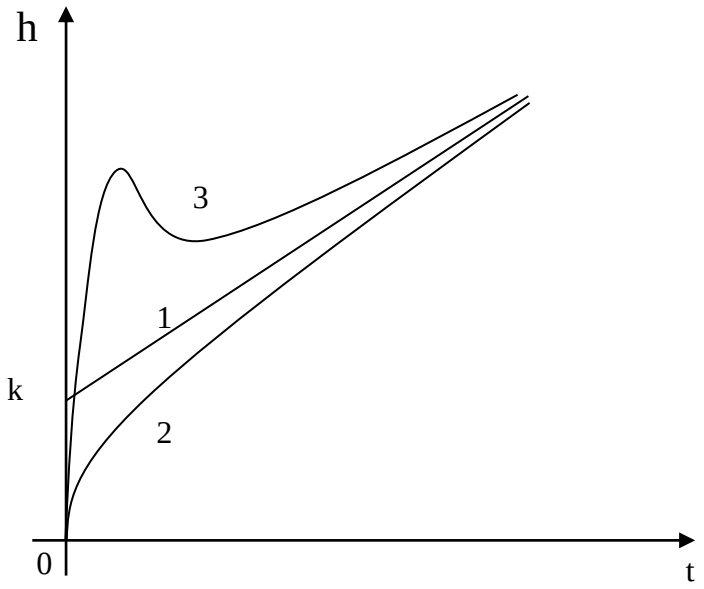
12. На рисунке представлена структурная схема



а) реального П-регулятора; б) реального И-регулятора;

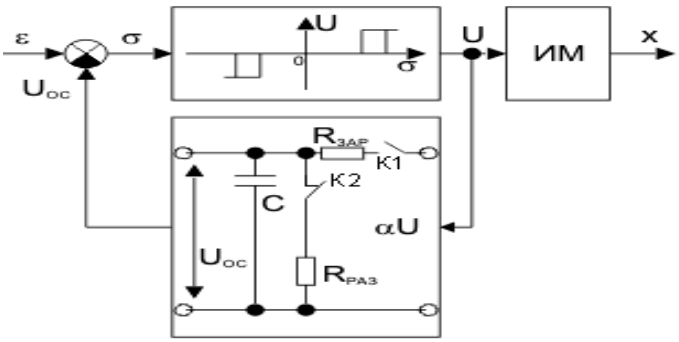
в) реального ПИ-регулятора; г) реального ПИД-регулятора.

13. Определите переходную характеристику *реального* ПИД-регулятора:



а) 1; б) 2; в) 3; г) на рисунке не показана.

14. На рисунке показана схема релейно-импульсного регулятора, приближённо реализующего



а) П-закон регулирования; б) ПИ- закон регулирования;

в) ПД- закон регулирования; г) ПИД- закон регулирования.

15. Какой из термометров *не относится* к термометрам *расширения*?

а) жидкостные стеклянные; б) дилатометрические;

в) манометрические; г) термоэлектрические.

16. Полупроводниковые термосопротивления имеют

а) положительный ТКС; б) отрицательный ТКС;

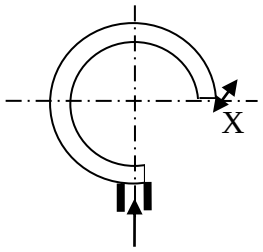
в) нулевой ТКС; г) ненормируемый ТКС.

17. В системе СИ за единицу давления принят

а) ньютон; б) паскаль;

в) кулон; г) кгс/м^2.

18. Манометрическая пружина предназначена для измерения



а) температуры; б) расхода вещества;

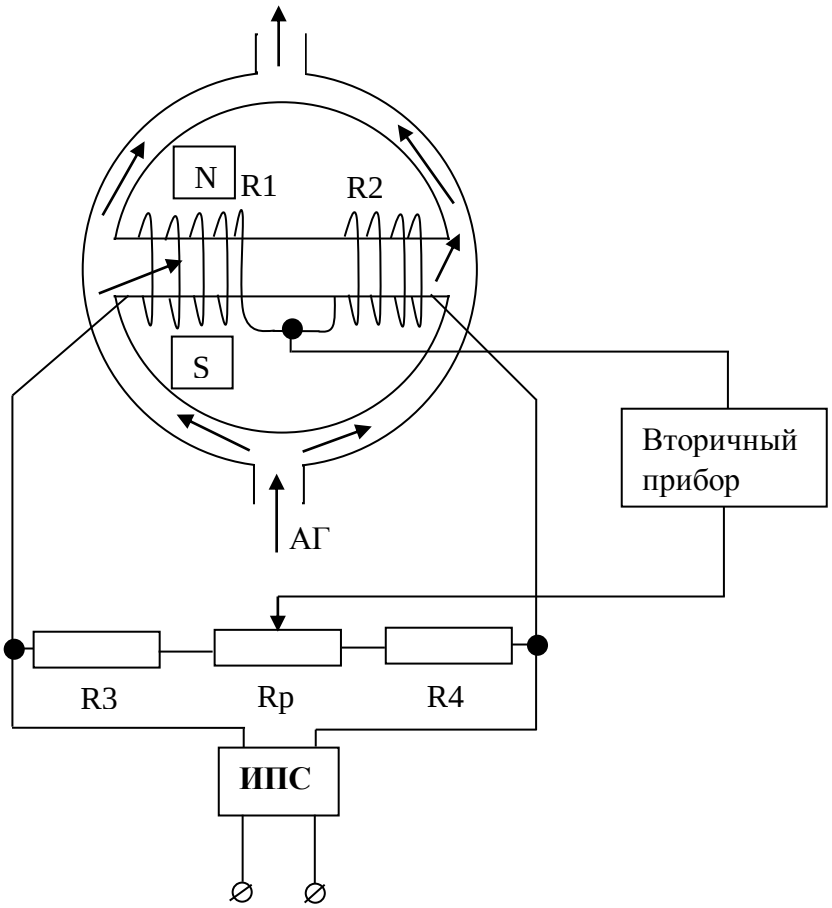
в) давления; г) влажности воздуха.

19. Какой из приборов *не относится* к расходомерам?

а) турбинный расходомер; б) индукционный расходомер;

в) ультразвуковой расходомер; г) электронный расходомер.

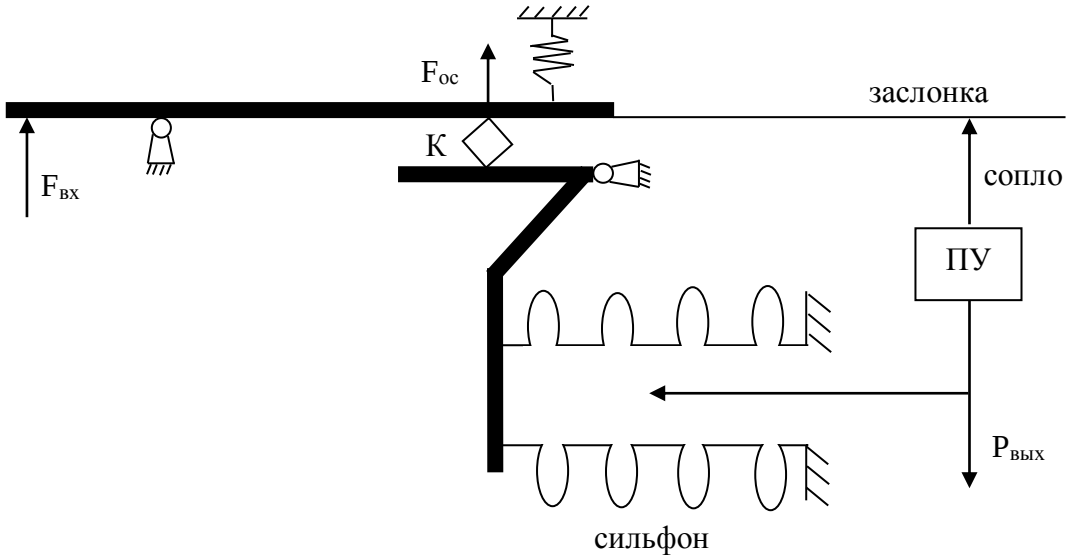
20. На рисунке показана схема



а) для измерения расхода газа; б) газоанализатора;

в) для измерения температуры газа; г) для измерения давления газа.

21. На рисунке показана схема



а) расходомера; б) газоанализатора;

в) пневмосилового преобразователя; г) пневматического усилителя.

22. Определите прибор, который *не относится* к вторичным приборам:

а) автоматический потенциометр; б) автоматический мост;

в) автоматический регулятор;
г) прибор с дифференциально – трансформаторной схемой сравнения.

23. Какой *закон регулирования* реализует блок РБИ системы АКЭСР совместно с исполнительным механизмом постоянной скорости:

а) П; б) ПИ; в) ПД; г) ПИД.

24. Расшифруйте аббревиатуру АКЭСР:

а) автоматический комплекс электронных систем регулирования;

б) автоматический комплекс электронных средств регулирования;

в) автономный комплекс электрических средств регулирования;
г) агрегатный комплекс электрических средств регулирования.

25. Выберите название, которое *не является* названием аппаратно-технических комплексов средств автоматизации, выпускаемых в РФ:

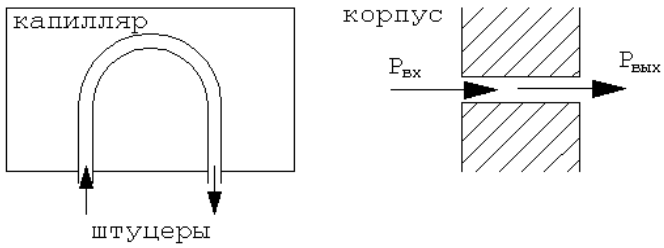
а) АКЭСР; б) Контакт; в) Каскад; г) Контур.

26. В *пневматических* регуляторах в качестве источника энергии и носителя сигналов выступает:

а) электрический ток; б) электрическое напряжение;

в) сжатый воздух; г) масляная смесь.

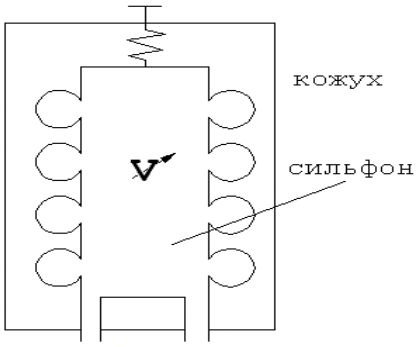
27. На рисунке показана схема



а) постоянного дросселя; б) переменного дросселя;

в) пневматического усилителя; г) пневматического регулятора.

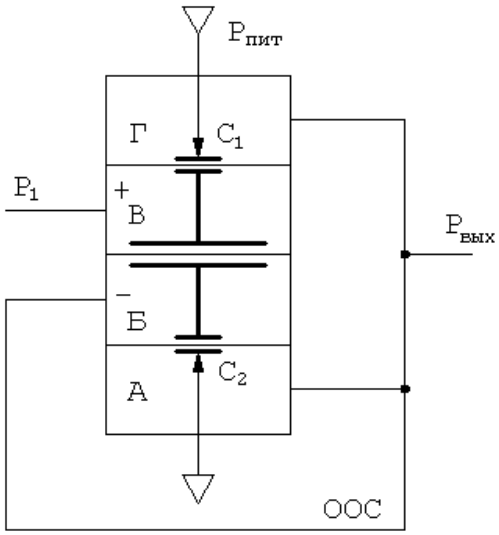
28. Какой элемент изображен на рисунке?



а) переменный дроссель; б) переменная пневмоёмкость;

в) пневматический усилитель; г) пневматический регулятор.

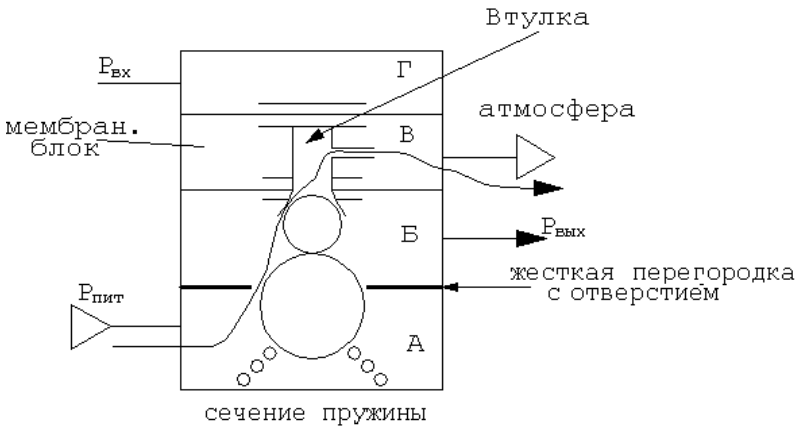
29. Данный пневматический элемент представляет собой



а) повторитель; б) усилитель;

в) сумматор; г) вычитатель.

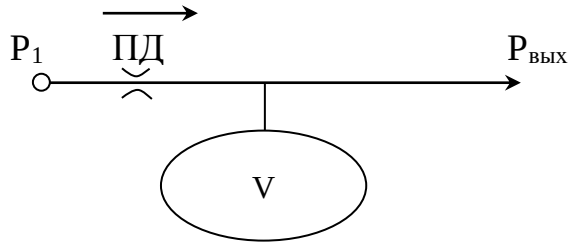
30. На рисунке показана схема:



а) четырёхкамерного повторителя; б) четырёхкамерного сумматора;

в) четырёхкамерного регулятора; г) четырёхкамерного усилителя мощности.

31. Приведённый элемент реализует:



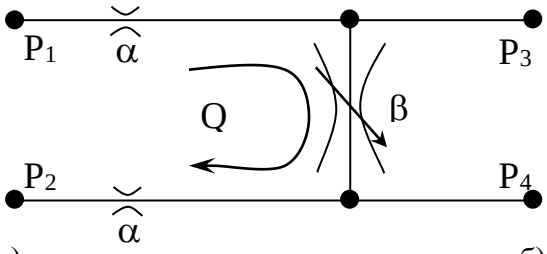
а) апериодическое звено первого порядка;

б) апериодическое звено второго порядка;

в) интегрирующее звено;

г) колебательное звено.

32. На рисунке приведена схема:



а) дроссельного сумматора; б) дроссельного усилителя;

в) дроссельного делителя давления; г) дроссельного регулятора.

33. *Передаточное отношение редуктора* определяется как:



а) $i = \frac{\omega_Д}{\omega_H}$; б) $i = \frac{\omega_H}{\omega_Д}$; в) $i = \frac{M_Д}{M_H}$; г) $i = \frac{M_H}{M_Д}$.

34. *Момент нагрузки*, приведенный к оси двигателя, определяется как:

а) $M_{НП} = \eta \times i \times M_Д$; б) $M_{НП} = \frac{M_Д}{\eta \times i}$;

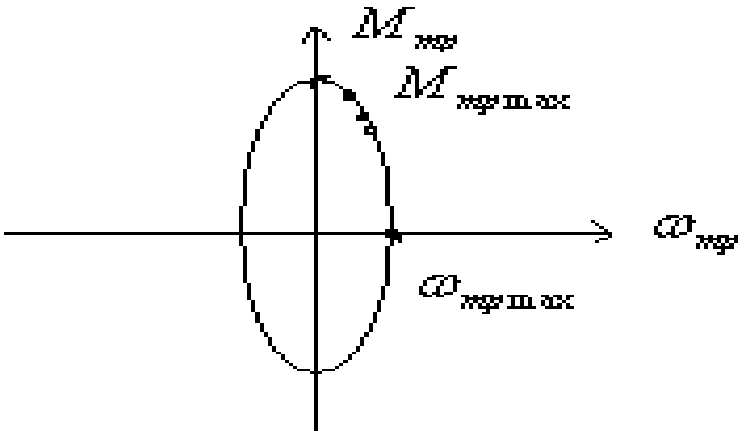
в) $M_{НП} = \eta \times i \times M_H$; г) $M_{НП} = \frac{M_H}{\eta \times i}$.

35. *Момент двигателя*, приведенный к оси нагрузки, определяется как:

а) $M_{ДП} = \eta \times i \times M_{Н}$; б) $M_{ДП} = \eta \times i \times M_{Д}$;

в) $M_{ДП} = \frac{M_{Н}}{\eta \times i}$; г) $M_{ДП} = \frac{M_{Д}}{\eta \times i}$.

36. На рисунке представлена:



а) механическая характеристика двигателя постоянного тока;

б) механическая характеристика асинхронного двигателя;

в) диаграмма нагрузки двигателя;

г) векторная диаграмма асинхронного двигателя.

Типовые задания для самостоятельной работы

1. Нормирующие измерительные преобразователи.
2. Жидкостные приборы давления.
3. Приборы для контроля расхода.
4. Расходомеры серии Метран.
5. Приборы для контроля разрежения.
6. Исполнительные устройства для реализации управляющих воздействий.
7. Состав и особенности регулирующей аппаратуры серии «Каскад».
8. Регулирующие блоки АКЭСР.
9. Пусковые устройства электрических двигателей.
10. Условия оптимальной настройки регуляторов в одноконтурных системах регулирования.
11. Пневматические регуляторы.

Методические указания к практическим занятиям

Практические занятия № 1, 2

МАШИННЫЙ РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ РЕГУЛЯТОРОВ В АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ (АСР)

(16 часов)

Целью практических занятий является изучение методов параметрической

оптимизации АСР, а также приобретение опыта практического использования пакета программ RR для расчета параметров настройки типовых линейных регуляторов в одноконтурных системах регулирования.

Методические указания к выполнению практических занятий с помощью пакета RR

Пакет программы RR позволяет упростить расчет оптимальных параметров настройки регулятора с помощью графоаналитического метода и метода расширенной комплексной частотной характеристики. С ее помощью можно построить следующие зависимости:

- амплитудно-фазовую характеристику разомкнутой системы W(jω);
- амплитудно-частотную характеристику замкнутой системы

$$|\Phi(j\omega)| = \frac{|W(j\omega)|}{|1+W(j\omega)|};$$

переходную характеристику h(t) замкнутой системы:

- зависимость $C_1(C_0)$ или $C_0(C_2)$ параметра регулятора для метода расширенной комплексной частотной характеристики.

В программе имеются возможности изменения масштабов построения графиков, в пределах которых строится тот или иной график. Передаточная функция объекта $W_0(p)$ описывается уравнением второго порядка и может включать звено запаздывания:

$$W_0(p) = \frac{a_0}{b_0 p^2 + b_1 p + b_2}\exp(-\tau p);$$

$$W_{0f}(p) = \frac{k_0 \exp(-\tau_{0f} p)}{d_0 p^3 + d_1 p^2 + d_2 p + d_3}\ .$$

Передаточная функция регулятора записывается в общем виде как

$$W_p(p) = k_p(k_1 + \frac{k_2}{T_{из} p} + T_n p).$$

Из нее могут быть получены различные типовые регуляторы. Для того, чтобы получить П- регуляторы, необходимо положить $k_1=1$, $k_2= T_n=0$, $k_p\neq0$, $T_{из}\neq0$. Если требуется ввести ПИД- регулятор, то необходимо ввести $k_1=k_2=1$ и $k_p\neq0$, $T_{из}\neq0$, $T_n\neq0$. Аналогично можно получить выражение и для других типовых регуляторов.

При построении той или иной зависимости следует вначале ввести исходные данные о параметрах объекта и регулятора и параметре, задающем ограничение на колебательность переходной характеристики для выбранного метода расчета. Кроме того, необходимо ввести диапазон частот (ω_0,ω_n) построение графиков АФХ, АЧХ, $C_1(C_0)$ и $C_0(C_2)$ или временной участок (0,t_k) на котором будет строиться график h(t).

При этом следует иметь в виду, что для астатических систем при построении АФХ следует выбрать начальную частоту $\omega_0>0$, т.к. при $\omega_0=0$ АФХ будет начинаться в бесконечности. При наличии запаздывания в объекте характеристики АФХ $C_1(C_0)$, $C_0(C_2)$ будут представлены спиралевидными кривыми. На практике бывает достаточно наблюдать низкочастотную часть этих характеристик. Исходя из этого соображения следует выбирать конечную частоту построения графика ω_n.

В программе реализована иерархическая структура меню, позволяющая задавать различные режимы работы программы. Для выбора нужного режима работы программы необходимо выбрать соответствующее меню. При этом перемещение в подменю “низшего” уровня осуществляется нажатием указанной функциональной клавиши F_1, А для возврата в подменю “высшего” уровня следует использовать “ESC”.

При вводе числовых значений отдельных параметров могут использовать клавиши 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,.,–,+, E,e. Исправление неправильно введенного символа осуществляется клавишей “BackSpace”. После окончания ввода всех символов нажать клавишу “Enter”. Для выбора вводимого параметра (в тех случаях, когда в одно меню вводится более одного параметра) можно пользоваться клавишей “↓”.

Для изменения масштаба построения графика необходимо выбрать подменю “масштаб” и ввести коэффициент относительного измерения масштаба $k_{макс}$. Если необходимо сжать график на экране, то следует вводить значения $k_{макс} < 1$. Для увеличения масштаба графика следует ввести $k_{макс} > 1$.

Порядок выполнения

1. Для указанных преподавателем вариантов задания рассчитать параметры регулятора методом расширенной КЧХ.

1.1. Запустить программу rr.exe. Ввести параметры $W_0(p)$, $W_{0f}(p)$ и значение степени колебательности m.

1.2. Рассчитать границу области выполнения ограничений по степени колебательности m и определить оптимальные параметры настройки регулятора.

1.3. Построить переходные характеристики замкнутой системы по заданию и возмущению для найденных в п.1.2 оптимальных параметров настройки $W_0(p)$. Оценить качество полученной переходной характеристики с точки зрения перерегулирования σ,%, времени регулирования t_p и m.

1.4. Проследить характер изменения переходных характеристик для нескольких вариантов настройки регулятора при движении вдоль границы заданного значения степени колебательности m.

2. Рассчитать параметры регулятора графоаналитическим методом.

2.1. Запустить программу rr. Exe. Ввести параметры $W_0(p)$, $W_{0f}(p)$, $W_p(p)$ и значение показателя колебательности M.

2.2. Рассчитать границу области выполнения ограничений по показателю колебательности M и определить оптимальные параметры настройки регулятора.

2.3. Построить переходные характеристики замкнутой системы для найденных оптимальных значений параметров регулятора. Оценить качество полученных переходных характеристик с точки зрения σ,%, t_p и m.

2.4. Построить АЧХ замкнутой системы с использованием найденных оптимальных значений параметров $W_p(p)$ и определить значение показателя колебательности M. Сравнить полученное значение M с заданным.

Варианты заданий для выполнения п. 1

№	a_0	τ_0	b_0	b_1	b_2	$K_{ов}$	d_0	d_1	d_2	d_3	$\tau_{ов}$	m	Тип

вар													рег.
1	1	5	0	100	1	0,1	0	0	100	1	15	0,3	ПИ
2	2000	3	0	5	1	10	0	0	5	1	4	0,35	ПИ
3	0,25	20	0	800	1	2,2	0	0	800	1	30	0,4	ПИ
4	5	0,1	0	0,2	1	0,5	0	0	0,2	1	1,1	0,45	ПИ
5	20	8	200	20	1	2	0	200	20	1	5	0,5	ПИД
6	10	0,2	4	2	1	1	0	4	2	1	0,5	0,55	ПИД
7	0,12	0,5	8	20	1	1,1	0	8	20	1	0,3	0,6	ПИД
8	650	40	1500	70	1	6,5	0	450	70	1	4	0,65	ПИД
9	320	4	55	1	1	2	0	55	1	1	2	0,7	ПД
10	45	1	4	1	0	4	0	4	1	0	5	0,75	ПД
11	0,65	3	60	1	0	0,05	0	60	1	0	1	0,8	ПД
12	4200	0,2	0,8	1	0	2	0	0,8	1	0	2	0,85	ПД

Варианты заданий для выполнения п. 2

№ вар	a_0	τ_0	b_0	b_1	b_2	$K_{ов}$	d_0	d_1	d_2	d_3	$\tau_{ов}$	m	Тип рег.
1	11	50	4000	100	1	1	0	2000	100	1	50	1,1	ПИД
2	250	1	20	5	1	25	0	20	5	1	1	1,15	ПИД
3	4	5	320	22	1	2	0	120	22	1	5	1,2	ПИД
4	1000	2	28	12	1	100	0	28	12	1	2	1,25	ПИД
5	15	0,5	0	4	1	1	0	0	2	1	0,5	1,3	ПИ
6	980	2	0	30	1	2	0	0	10	1	2	1,35	ПИ
7	0,08	50	0	420	1	0,05	0	0	20	1	50	1,4	ПИ
8	0,5	3	0	65	1	0,5	0	0	25	1	3	1,45	ПИ
9	1	2	12	1	0	0,4	0	12	1	0	2	1,5	ПД
10	10	10	88	1	0	1	0	88	1	0	10	1,55	ПД
11	55	30	700	1	0	5	0	500	1	0	30	1,6	ПД
12	110	1	6	1	0	2	0	6	1	0	1	1,65	ПД

Практическое занятие № 3

ИМПУЛЬСНЫЙ РЕГУЛЯТОР С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТИ

(8 часов)

Цель занятия: изучение принципа функционирования импульсного регулятора с исполнительным механизмом постоянной скорости, а также сравнительный анализ работы замкнутой системы автоматического регулирования для случаев использования в ней импульсного регулятора с исполнительным механизмом постоянной скорости и аналогового регулятора.

Описание схемы исследуемой на модели системы

Схема исследуемой модели системы представлена на рисунке. В систему входят два независимых замкнутых контура регулирования. Верхний контур представляет систему регулирования с импульсным ПИ- регулятором. Нижний контур включает в себя аналоговый ПИ- регулятор и дан для сравнения работы систем с указанными типами регуляторов. при одинаковой их настройке и одинаковом объекте регулирования (ОР). В качестве ОР взято апериодическое звено первого порядка с запаздыванием.

Импульсный регулятор включает в себя релейное устройство (РУ), реализующее релейную характеристику (рис.1), охваченное отрицательной местной обратной связью, роль которой выполняет устройство УМОС, в динамическом отношении реализующее функцию интегрирующей RC-цепочки с разделёнными цепями заряда и разряда конденсатора. В импульсный регулятор входит также исполнительный механизм ИМ постоянн скорости, представленный интегрирующим звеном, на вход которого могут подаваться лишь один из двух уровней напряжений: ноль или U_u. В исследуемой модели вышеуказанная интегрирующая RC-цепочка реализована в виде интегратора с коэффициентом передачи K, охваченного единичной отрицательной обратной связью, что в целом образует апериодическое звено с единичным коэффициентом передачи и постоянной времени, равной $1/K$. Величина K с учётом работы переключателя в цепи обратной связи, управляемого выходным напряжением релейного устройства, принимает значение K2 при срабатывании РУ регулятора и значение K1,если реле регулятора находится в отпущенном состоянии. В отношении к интегрирующей RC-цепочке с разделёнными цепями заряда и разряда конденсатора это означает, что $T^{зар} = 1/K2$, а $T^{раз} = 1/K1$.

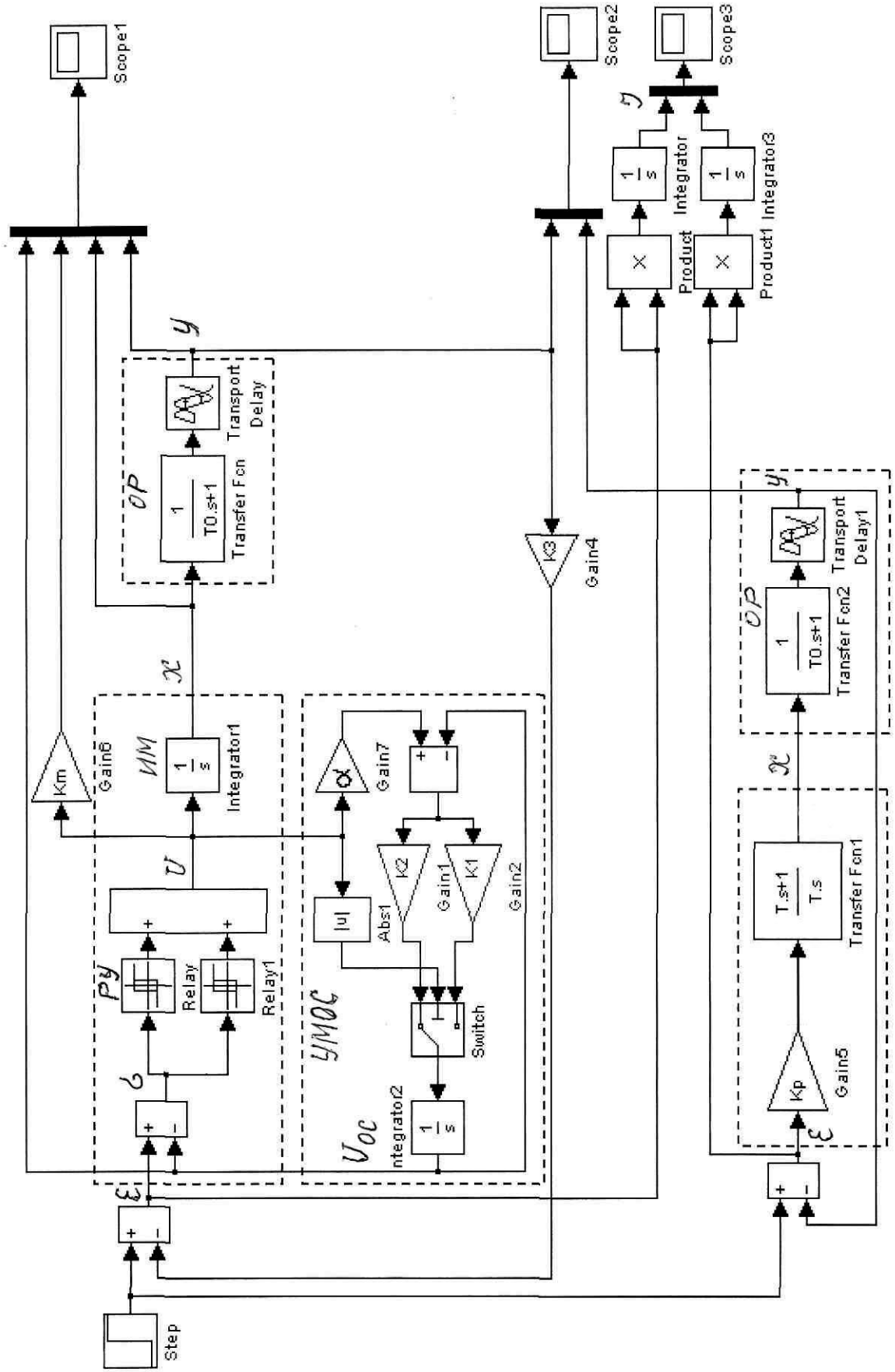


Рис.1. Схема исследуемой системы

Аналоговая замкнутая система, включённая в модель для сравнения характеристик аналоговой и импульсной систем регулирования, содержит в контуре объект

регулирования и регулятор, реализующий стандартный закон ПИ- регулирования, описываемый передаточной функцией

$$W(s) = K_p \frac{T_{из}s + 1}{T_{из}s} \quad .$$

На рис.1 постоянная времени изодрома $T_{из}$ обозначена как T.

Исходные данные исследуемой модели

S=24 c^{-1}- скорость изменения регулирующего воздействия на объект в импульсной системе регулирования;

$\Delta_н$=0,001, $\Delta_в$ =0,0005, $U_и$=24 – параметры релейной характеристики;

α=0,1; К$_m$ =0,01.

$K_О$=1, $T_О$=1c^{-1}- параметры объекта регулирования;

τ- запаздывание в объекте, устанавливаемое в зависимости от заданного отношения $(\tau / T_О)$=0,1 или 0,3;

К3=1 для замкнутой импульсной системы и К3=0 для разомкнутой импульсной системы.

Оптимальные значения К$_p$ и Т$_{из}$ определяются с использованием приведённой таблицы, а значения К1 и К2 в цепи УМОС модели вычисляются по выражениям:

К1=1/Т$_{из}$, К2=S/($K_p \alpha U_и$).

Величину входного скачка рекомендуется взять равной 0,1.

Порядок выполнения

1. Ознакомиться с описанием и схемой модели релейно-импульсного регулятора с исполнительным механизмом постоянной скорости.
2. Для значения $\tau/T_0 = 0{,}3$ и ψ=1,0…0,95 определить значения параметров настройки ПИ- регулятора, используя приведённую в описании таблицу и выражения для К1 иК2. Ввести значения параметров настройки в модель релейно-импульсного регулятора и в модель аналогового регулятора. Снять переходные процессы замкнутых систем регулирования и оценить степень их различия. Определить значения критериев J для обеих систем и оценить по переходным процессам степень затухания ψ.
3. Повторить пункт 2, положив ψ=0,85…0,75.
4. Повторить пункты 2 и 3 для значения $\tau/T_0 = 0{,}1$.
5. Разомкнуть главную обратную связь системы с релейно- импульсным регулятором и, используя индикатор Scope1, проследить работу регулятора при входном сигнале $\varepsilon(t) = 0{,}1 * 1(t)$. Зафиксировать графики $\varepsilon(t)$, 0,1U(t), x(t) и y(t). Объяснить поведение кривых на графиках.

6. Исследовать влияние К1, К2, $\Delta_{н,}$ $\Delta_{в}$ на значения параметров настройки регулятора, определяя их по графикам x(t) при ступенчатом изменении $\varepsilon(t)$.

Практическое занятие № 4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА SIMULINK DESIGN OPTIMIZATION / MATLAB ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ

(8 часов)

Цель занятия: знакомство с основными возможностями пакета *Simulink Design Optimization* и получение навыков работы с ним при настройке параметров регуляторов.

Порядок выполнения

1. **Оптимизация параметров ПИД–регулятора**.

1.1. Запустите систему *Matlab* и пакет *Simulink.*

Соберите схему модели, представленную на рис. 1

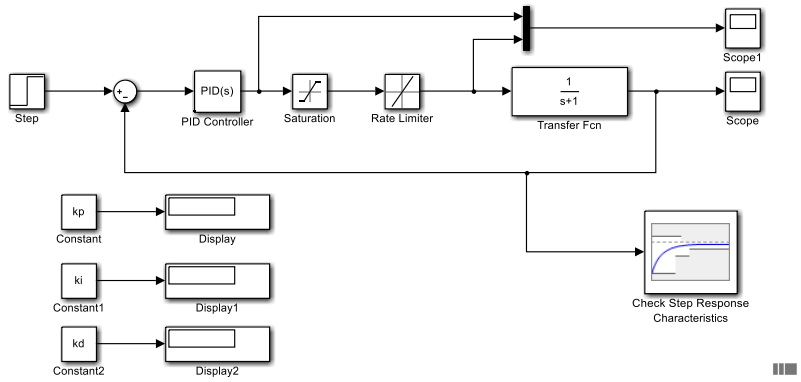


Рис. 1

1.2. Установите передаточную функцию объекта управления в блоке *Transfer Fcn* в виде

$$W(s) = \frac{1{,}2}{20{,}48s^3 + f2s^2 + f1s + 1},$$

где $f1$ и $f2$ – неопределенные параметры.

1.3. В блоке *PID Controller* установите оптимизируемые параметры регулятора, обозначив их kp, ki, kd, соответственно для пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

1.4. В блоке *Saturation* установите верхний уровень ограничения *Upper limit* = 3 и нижний уровень ограничения *Lower limit* = -3, а в блоке *Rate Limiter* задайте ограничение скорости нарастания *Rising slew rate* = 1 и ограничение скорости спада *Falling slew rate* = -1.

Данные нелинейные блоки предназначены для ограничения по уровню и скорости управляющего воздействия на объект управления. Установленные значения параметров в рассматриваемой системе управления являются нежесткими ограничениями на сигнал управления.

1.5. Установите выходной сигнал блока *Step* в виде единичного скачка с нулевой задержкой (*Step time* = 0). После этого задайте время окончания моделирования *Stop time* = 100 с.

1.6. Двойным щелчком на блоке *Check Step Response Characteristics* откройте окно настроек этого блока. Установите ограничения на переходную характеристику системы в соответствии с вариантом задания. Численные значения перерегулирования σ_1, %, времени нарастания t_{H1}, с, и времени регулирования t_{P1}, с, приведены в таблице. Установите уровни определения времени нарастания и времени регулирования соответственно % *Rise*=90 и % *Settling*=5, а также % *Undershoot*=1. После этого нажмите кнопку *Apply*.

1.7. В режиме командной строки *MATLAB* задайте номинальные значения неопределенных параметров

$$f1 = 2{,}3; \quad f2 = 41{,}86.$$

1.8. Рассчитайте начальные значения оптимизируемых параметров ПИД-регулятора по методу частотных характеристик Циглера-Николса следующим образом. В командном окне *Matlab* установите $kp = 1$, $ki = 0$, $kd = 0$. Запустите процесс моделирования (не оптимизации!) и наблюдайте за переходной характеристикой в блоке *Scope*. Увеличивая параметр kp и вновь запуская процесс моделирования, определите значение kp, при котором система находится на границе устойчивости. Обозначим такое значение как k_V. Для этого случая определите период колебаний P_V, с. Искомые параметры регулятора в соответствии с методом Циглера - Николса определяются как

$$kp = \frac{3k_V}{5}; \quad ki = \frac{6k_V}{5P_V}; \quad kd = \frac{3k_V P_V}{40}.$$

1.9. В режиме командной строки введите рассчитанные значения параметров регулятора в рабочую область *Matlab*.

1.10. Введите значения оптимизируемых параметров в модуль *Response Optimization*. Для этого в открытом окне *Sink Block Parameters*: *Check Step Response Characteristics* щёлкните по кнопке *Response Optimization*.

В открывшемся окне на вкладке *RESPONSE OPTIMIZATION* для ввода оптимизируемых параметров щёлкните в поле *Design Variables Set*: и выберите команду *New…* В открывшемся окне *Create Design Variables Set* последовательно выделяйте оптимизируемые переменные kp, ki, kd и, щёлкая по стрелке добавляйте их в левую таблицу. Поскольку искомые параметры регулятора не могут принимать отрицательные значения, установите минимальные значения этих параметров равными нулю в столбце *Minimum*. После задания последнего значения, щёлкните на любой из предыдущих строк, и только потом нажмите *OK*.

1.11. Введите значения неопределённых параметров в модуль *Response Optimization*. Щёлкните в поле *Uncertain Variables Set*: и выберите команду *New*… В открывшемся окне *Create Uncertain Variables Set* последовательно выделяйте неопределённые параметры $f1$ и $f2$. Затем, щёлкая по стрелке добавляйте их в левую таблицу. Оставьте установленными по умолчанию границы неопределённости (10% от номинальных значений). Нажмите *OK*.

1.12. Щёлкните в поле *Data to Plot*: на вкладке *RESPONSE OPTIMIZATION* и выберите *DesignVars*. Затем нажмите кнопку *Add Plot* и выберите график с названием *Iteration plot*. В результате в графическом окне с таким названием можно будет наблюдать численные значения оптимизируемых параметров на каждой итерации. После этого перейдите на вкладку *Time plot*1, где установлены ограничения на переходную характеристику.

1.13. Щёлкните по кнопке *Evaluate Requirements* и наблюдайте переходную характеристику при начальных значениях оптимизируемых параметров.

1.14. Выберите метод оптимизации. Для этого щёлкните по кнопке *Options*, и в открывшемся окне *Response Optimization Options* на вкладке *Optimization Options* выберите *Method*: *Gradient descent, Algorithm*: *Sequential Quadratic Programming*. Нажмите *OK*.

1.15. Запустите процесс оптимизации и наблюдайте её ход в графическом окне на вкладке *RESPONSE OPTIMIZATION*, а также в открывшемся окне *Optimization Progress Report*. Это может занять некоторое время.

По завершении оптимизации щёлкните по кнопке *Plot Model Response*, чтобы отобразить только конечную переходную характеристику. Зафиксируйте оптимальные значения параметров: $kp=, ki=, kd=$, которые отображены в подокне *MATLAB Workspace*. В графическом окне модуля оптимизации откройте вкладку *Iteration plot1*, где отображён процесс настройки параметров. Результаты сохраните.

1.16. Откройте блок-схему модели. С помощью кнопки *Run* запустите процесс моделирования. Наблюдайте за результатами моделирования в блоках *Scope* и *Scope*1. С помощью панели инструментов окна *Scope*1 выделите начальный участок характеристик. Поясните полученные результаты. Результаты оптимизации и моделирования сохраните.

2. **Оптимизация параметров ПИ-регулятора для объекта управления с запаздыванием.**

2.1. Соберите схему модели, представленную на рис. 4.7.

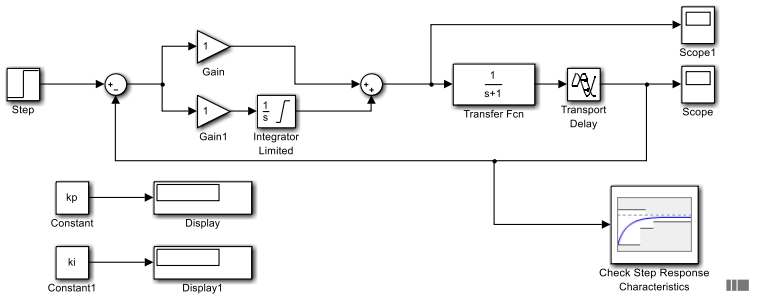


Рис. 2

Установите в блоке *Transfer Fcn* передаточную функцию объекта управления в следующем виде:

$$W(s) = \frac{1}{2{,}25s^2 + fs + 1},$$

где f – неопределенный параметр.

В блоке *Integrator Limited* задайте верхний и нижний уровни ограничения: *Upper saturation limit* = 2**,** *Lower saturation limit* = -2**.** Параметр τ (время запаздывания) выбирается из таблицы 1 в соответствии с номером варианта и задается в блоке *Transport Delay* в поле *Time delay***.**

2.2. Установите в блоках *Gain* и *Gain*1 оптимизируемые параметры ПИ-регулятора, обозначив их kp и ki соответственно для пропорциональной и интегральной составляющих.

2.3. Установите выходной сигнал блока *Step* в виде единичного скачка с нулевой задержкой (*Step time* = 0). После этого задайте время окончания моделирования *Stop time* = 50 с.

2.4. Двойным щелчком на блоке *Check Step Response Characteristics* откройте окно настроек этого блока. Установите ограничения на переходную характеристику системы в соответствии с вариантом задания. Численные значения перерегулирования σ_2, %, времени нарастания t_{H2}, с, и времени регулирования t_{P2}, с, приведены в таблице. Установите уровни определения времени нарастания и времени регулирования соответственно % *Rise*=90 и % *Settling*=5, а также % *Undershoot*=1. После этого нажмите кнопку *Apply***.**

2.5. В режиме командной строки *MATLAB* задайте номинальное значение неопределенного параметра $f = 1{,}5$, а также начальные значения оптимизируемых параметров, например, $kp = 1$, $ki = 0{,}2$.

Внимание. Для вариантов задания с большими значениями времени запаздывания, с целью получения приемлемого начального отклика, необходимо уменьшать значение kp.

2.6. Введите значения оптимизируемых параметров в модуль *Response Optimization*. Для этого в открытом окне *Sink Block Parameters*: *Check Step Response Characteristics* щёлкните по кнопке *Response Optimization***.** Проверьте правильность установленных ограничений в графическом окне. Если в окне сохранены ограничения для предыдущей оптимизации, то закройте модуль *Response Optimization* без сохранения установленных в нём ограничений. После этого запустите модуль оптимизации заново.

В открывшемся окне на вкладке *RESPONSE OPTIMIZATION* для ввода оптимизируемых параметров щёлкните в поле *Design Variables Set*: и выберите команду *New…* В открывшемся окне *Create Design Variables Set* последовательно выделяйте оптимизируемые переменные kp и ki, и, щёлкая по стрелке добавляйте их в левую таблицу. Поскольку искомые параметры регулятора не могут принимать отрицательные значения, установите минимальные значения этих параметров равными нулю в столбце *Minimum*. После задания последнего значения, щёлкните на предыдущей строке, и только потом нажмите *OK***.**

2.7. Введите значения неопределённого параметра в модуль *Response Optimization***.** Щёлкните в поле *Uncertain Variables Set*: и выберите команду *New…* В открывшемся окне

Create Uncertain Variables Set выделите неопределённый параметр f и, щёлкнув по стрелке добавьте его в левую таблицу. Оставьте установленными по умолчанию границы неопределённости (10% от номинального значения). Нажмите *OK*.

2.8. Щёлкните в поле *Data to Plot*: на вкладке *RESPONSE OPTIMIZATION* и выберите *DesignVars*. Затем нажмите кнопку *Add Plot* и выберите график с названием *Iteration plot*. В результате в графическом окне с таким названием можно будет наблюдать численные значения оптимизируемых параметров на каждой итерации. После этого перейдите на вкладку *Time plot*1, где установлены ограничения на переходную характеристику.

2.9. Щёлкните по кнопке *Evaluate Requirements* и наблюдайте переходную характеристику при начальных значениях оптимизируемых параметров.

2.10. Выберите метод оптимизации. Для этого щёлкните по кнопке *Options*, и в открывшемся окне *Response Optimization Options* на вкладке *Optimization Options* выберите *Method*: *Gradient descent, Algorithm*: *Sequential Quadratic Programming*. Нажмите *OK*.

2.11. Запустите процесс оптимизации и наблюдайте её ход в графическом окне на вкладке *RESPONSE OPTIMIZATION*, а также в открывшемся окне *Optimization Progress Report*. Это может занять некоторое время.

По завершении оптимизации щёлкните по кнопке *Plot Model Response*, чтобы отобразить только конечную переходную характеристику. Зафиксируйте оптимальные значения параметров: $kp=, ki=$, которые отображены в подокне *MATLAB Workspace*. В графическом окне модуля оптимизации откройте вкладку *Iteration plot1*, где отображён процесс настройки параметров. Результаты сохраните.

2.12. Откройте блок-схему модели. С помощью кнопки *Run* запустите процесс моделирования. Наблюдайте за результатами моделирования в блоках *Scope* и *Scope*1. Результаты моделирования сохраните.

Варианты заданий

№	1	2	3	4	5	6
σ_1, %	25	20	18	15	17	30
t_{H1}, с	8	9	10	15	12	9
t_{P1}, с	30	30	35	35	40	40
τ, с	0,7	1	1,5	2	2,5	3
σ_2, %	14	15	12	15	14	12
t_{H2}, с	7	8	8	10	10	9
t_{P2}, с	15	18	25	20	20	22

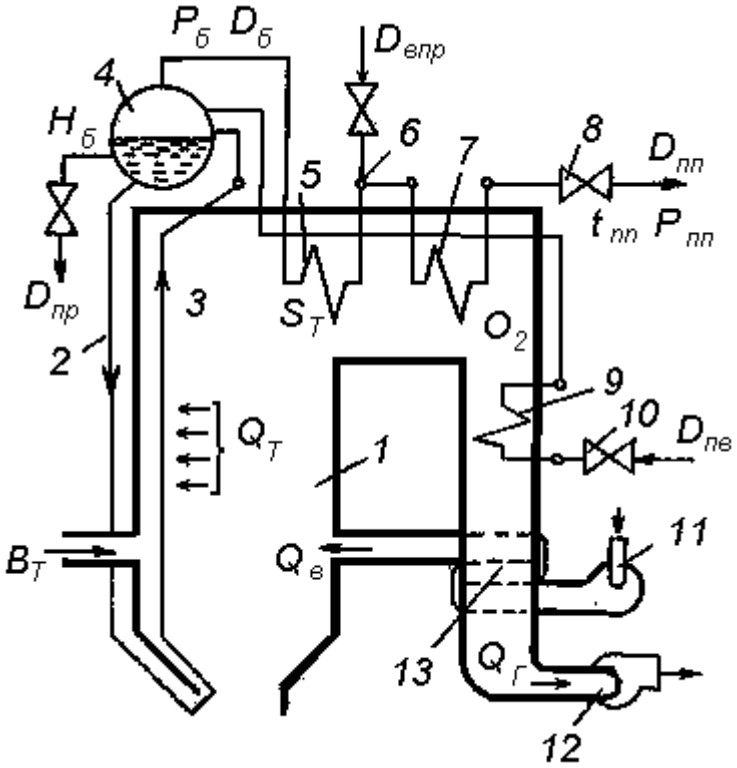
Типовые задания к курсовому проекту

Курсовой проект по данной дисциплине посвящен синтезу локальной системы регулирования технологического параметра объекта, включающей в себя выбор необходимого закона регулирования регулятора и разработку системы в целом на базе приборов ГСП.

В качестве объекта автоматизации предложен паровой барабанный котел, вырабатывающий пар для турбины тепловой электрической станции (ТЭС), отличающийся многообразием регулируемых технологических параметров, что позволило сочетать в задании различные по характеру регулируемой величины автоматические системы с единым объектом автоматизации.

Описание объекта автоматизации

Пар для турбин тепловых электрических станций вырабатывается паровыми котлами, которые подразделяют на барабанные и прямоточные. Рассмотрим процесс производства пара в барабанных котлах.



Принципиальная схема барабанного котла и его основные технологические параметры:

1 – топка; 2 – опускные трубы; 3 – подъемные трубы циркуляционного контура; 4 - барабан; 5,7 – пароперегреватели; 8 – главная паровая задвижка; 9 – водяной экономайзер; 10 – регулировочный питательный клапан; 11 – дутьевой вентилятор; 12 – дымосос; 13 – воздухоподогреватель; B_T, Q_B – расход топлива и воздуха; $D_{пр}, D_{впр}, D_{пв}$ - расход воды на продувку и впрыск, питательной воды; $H_б, P_б, D_б$ – уровень, давление и расход пара на барабане; $P_{пп}, D_{пп}, t_{пп}$ - давление, расход и температура перегретого пара; $Q_Г$ – количество уходящих газов; Q_T – тепловая нагрузка; O_2 – содержание кислорода в уходящих газах; S_T – разрежение в верхней части топки.

Технологическая схема барабанного котла показана на рисунке. Пар в котлах, используемый для вращения турбин электрических генераторов, получается за счет передачи теплоты от сжигаемого топлива рабочему телу – воде, в результате чего она нагревается до кипения и испаряется. Затем происходит перегрев пара до установленных технологических параметров. Эти стадии преобразования воды в перегретый пар проходят в поверхностях нагрева, которые подразделяют на подогревательные, испарительные и перегревательные.

Система подъемных 3 и опускных 2 труб с барабаном 4 и коллекторами образует циркуляционный контур. Барабан 4 котла является элементом контура, где совершается парообразование.

Топливо и воздух поступают в камеры сгорания через особые горелочные устройства, конструкция которых зависит от вида сжигаемого топлива. Теплота от горячих газов через систему многочисленных теплообменников отбирается питательной водой и идет на парообразование и нагрев пара до заданных параметров. Далее газы по газоходам направляются к дымососу 12 и выбрасываются в атмосферу.

В газоходах устанавливают теплообменники: пароперегреватели 5 и 7, экономайзеры 9 для подогрева питательной воды и воздухоподогреватели 13. Таким образом, возрастают процент использования теплоты органического топлива, а следовательно, и кпд котла.

Для правильной оценки свойств котлов как объектов управления рассмотрим особенности их работы.

В барабанном котле отклонение параметров от заданных может происходить при изменении нагрузки котла за счет изменения подачи пара на турбины генераторов, так и под воздействием других факторов

Увеличение нагрузки котла приводит к снижению давления в барабане 4 и паропроводах. Для восстановления давления необходимо увеличить подачу топлива, а значит, и воздуха, т.е. поддерживать оптимальное соотношение топливо – воздух. При этом изменяется тепловой режим как по газовоздушному тракту, так и по пароводяному.
Таким образом, поддержание нагрузки связано с регулированием давления пара, где регулирующим воздействием является изменение подачи топлива. Котел должен иметь регулятор тепловой нагрузки. Для обеспечения минимума потерь при сжигании топлива необходим также регулятор экономичности горения, поддерживающий заданное соотношение топливо – воздух изменением потока воздуха от дутьевого вентилятора. Подача питательной воды должна соответствовать расходу вырабатываемого пара. Промежуточным звеном между паром и водой служит барабан. Заданный уровень воды в барабане котла определяет не только это соответствие, но его безаварийную работу, поэтому уровень $H_б$ следует регулировать, воздействуя на регулировочный питательный клапан. Продукты сгорания в виде топочных газов выводятся в дымовую трубу, при этом в котле должна поддерживаться определенная степень разрежения $S_т$ в верхней части топки, что предохраняет от выброса продуктов сгорания в помещение. Топочные газы отсасываются дымососами. Оставшиеся после парообразования соли выводят из барабана непрерывной продувкой через продувочный клапан. Для повышения надежности и долговечности турбин, обеспечения экономичной работы тепловой установки необходимо также поддержание в заданных пределах температуры перегретого пара.

В рамках единого объекта автоматизации на проектирование предлагается следующие пять заданий.

Задание 1. Система регулирования давления пара перед турбиной.

Задание 2. Система регулирования уровня воды в барабане.

Задание 3. Система регулирования температуры пара.

Задание 4. Система регулирования подачи воздуха в топку.

Задание 5. Система регулирования разрежения в дымоходе.

Описание каждой системы регулирования и численные значения исходных данных приведены в соответствующих методических указаниях.

Необходимо разработать одну из пяти вышеприведенных локальных систем, используемых для поддержания на заданном уровне основных параметров парового барабанного котла. Номер проектируемой системы и номер варианта исходных данных к ней задаются преподавателем.

Общие требования

1. Регулируемый параметр должен поддерживаться на заданном уровне с допустимым отклонением, не превышающим значения, указанного в описании системы.
2. При проведении соответствующих расчетов считать, что возмущения, действующие на объект, носят низкочастотный характер и изменяются в пределах $\pm 50\%$ от их номинального абсолютного значения.
3. Показатель колебательности замкнутой системы регулирования не должен превышать значения M, указанного в исходных данных. Степень колебательности замкнутой системы должна быть не менее значения m, указанного там же. В расчетах использовать ограничение на тот параметр, который указан в варианте задания.
4. Спроектированный регулятор должен обеспечивать максимальное подавление низкочастотных возмущений, действующих на объект регулирования.
5. При разработке аппаратурных средств локальной системы регулирования использовать типовые унифицированные узлы и приборы, серийно выпускаемые отечественной промышленностью. Предусмотреть возможность ручного дистанционного управления регулируемым параметром объекта, а также возможностью дистанционного визуального контроля и записи изменений регулируемого параметра на диаграммной ленте. Считать, что объект управления удален от пункта управления, где сосредоточена контрольно- измерительная и регулирующая аппаратура, на расстояние 500 м.

Содержание и последовательность выполнения задания

Рекомендуется следующий порядок выполнения задания.

1. Выбрать для системы регулирования типовой датчик и нормирующий измерительный преобразователь. Если инерционность датчика значительно меньше инерционности объекта регулирования, то ею в дальнейших расчетах можно пренебречь. В противном случае датчик следует отнести к объекту регулирования, т.е. регулируемой величиной объекта удобнее считать выходной параметр датчика. Отметить особенности использования датчика и способ его подключения к объекту.
2. Определить оптимальный закон регулирования регулятора в одноконтурной системе, включающей в себя только объект и регулятор, исходя из критерия минимума среднеквадратической ошибки в системе. Построить переходные процессы системы по управляющему и возмущающему воздействиям для случая использования такого регулятора.
3. Приняв за основу вид закона регулирования, полученный в пункте 2, определить оптимальные значения параметров настройки регулятора из условия максимального подавления низкочастотных возмущений, действующих на объект регулирования, при наличии ограничений на параметр, характеризующий колебательность переходного процесса в системе.

4. Для найденных оптимальных значений параметров настройки регулятора построить переходные процессы замкнутой системы регулирования по управлению и возмущению, сравнить их с переходными характеристиками, полученными в пункте 2, и сделать окончательный вывод о численных значениях параметров настройки регуляторов.

5. Определить требуемую передаточную функцию устройства ввода возмущения в компенсирующий канал. При неполной компенсации оценить переходный процесс системы по возмущению.

6. С учетом требуемого закона регулирования регулятора и вида его аппаратурной реализации (электрический регулятор, пневматический или цифровой) выбрать типовой унифицированный промышленный регулятор для варианта аналогового исполнения или разработать структуру и схему алгоритма управления регулятора на базе выпускаемых промышленностью микропроцессорных устройств для варианта цифрового исполнения. Привести схему регулятора и дать описание его работы.

7. При использовании электрического регулятора выбрать исполнительный механизм и схему управления им с учетом следующих условий. Требуемый крутящий момент равен $\boldsymbol{N}$ [кгс м], где $\boldsymbol{N}$ численно равно номеру выполняемого варианта задания. Время полного хода исполнительного механизма не более 25 с. Полный ход вала исполнительного механизма – 90 угловых градусов.

При использовании пневматического регулятора выбрать пневматический исполнительный механизм из условия обеспечения перестановочного усилия на регулирующий орган 50 кгс при полном ходе штока, равном 2см.

8. Разработать схему дистанционного ручного управления объектом.

9. Выбрать вторичный прибор для контроля и регистрации регулируемого параметра объекта управления.

10. Дать описание общей схемы системы регулирования.

11. Сделать краткие выводы относительно полученного результата выполнения задания. Привести библиографический список.

Методические указания

Перед тем, как приступить к выполнению задания, необходимо тщательно ознакомиться с особенностями объекта автоматизации и исходными данными своего варианта задания.

Начать выполнение задания следует с выбора для разрабатываемой системы регулирования типового датчика, а также нормирующего измерительного преобразователя. Для некоторых типов датчиков (первичных измерительных преобразователей) и нормирующих преобразователей, широко используемых на тепловых электрических станциях, данные приведены в приложении методических указаний. Основными определяющими параметрами при выборе датчика являются измеряемый диапазон отклонения регулируемой величины и допустимая погрешность измерения.

Измерение расхода жидких или газообразных веществ удобно осуществлять с помощью дифференциальных манометров, измеряющих разность давлений (перепад давления) на специальном сужающем устройстве трубопровода.

Класс точности датчика и измерительного преобразователя должен соответствовать допустимой погрешности стабилизации регулируемой величины в установившемся режиме.

По п. 2 задания оптимальную передаточную функцию регулятора можно определить по приближенной формуле:

$$\boldsymbol{W_p(p) \cong \frac{1}{\tau_o p W_o^o(p)}},$$

где τ_o - запаздывание в объекте; $W_o^o(p)$ - передаточная функция объекта по регулирующему каналу без учета запаздывания. Выражение получено в предположении, что система имеет высокую предельную точность регулирования. Последнее возможно при малом запаздывании в объекте и при медленно меняющихся возмущениях.

Определение оптимальных значений параметров настройки регулятора в соответствии с п.3 задания включает в себя построение в пространстве параметров настройки области, внутри которой выполняется ограничение на показатель колебательности M (степень колебательности m). Затем в найденной области определяется точка, соответствующая максимуму подавления низкочастотных возмущений системой. Данная точка определяет оптимальную настройку регулятора. Для цифровых регуляторов в число параметров настройки входит также период квантования по времени, который выбирается из условия “малости” пульсаций в системе, вызванных временной дискретизацией сигнала.

По п. 5 задания передаточная функция дополнительного устройства ввода возмущения на вход регулятора может быть найдена из условия полной компенсации влияния данного возмущения на регулируемую величину.

Составил
старший преподаватель кафедры АИТУ А.М. Никитин

Заведующий кафедрой
АИТУ, к.т.н., доцент П.В. Бабаян

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
СОГЛАСОВАНО **ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ,** Бабаян Павел Вартанович, Заведующий кафедрой АИТУ **26.10.26** 16:08 (MSK) Простая подпись