

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ  
И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА  
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра физики и автоматики

# **ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**СБОРНИК ТЕСТОВЫХ ЗАДАНИЙ С КОММЕНТАРИЯМИ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ**

*Для контактной и самостоятельной работы студентов, обучающихся по  
направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,  
направленность (профиль) «Электроснабжение»  
очной и заочной форм обучения*

КАРАВАЕВО  
Костромская ГСХА  
2021

УДК 621.3.01  
ББК 32.965  
Т 33

*Составитель:* канд. техн. наук, доцент, декан электроэнергетического факультета, доцент кафедры физики и автоматики Костромской ГСХА *А.В. Рожнов.*

*Рецензент:* канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения и эксплуатации электрооборудования Костромской ГСХА *А.А. Васильков.*

*Рекомендовано методической комиссией электроэнергетического факультета в качестве учебного пособия для контактной и самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения*

**Т 33 Теория автоматического управления. Сборник тестовых заданий с комментариями :** учебное пособие / сост. А.В. Рожнов. — Каравеево : Костромская ГСХА, 2021. — 282 с. ; 20 см. — 50 экз. — Текст непосредственный.

Систематизированные сведения научно-теоретического, научно-практического и прикладного характера представлены в виде тестовых заданий с разбором и обоснованием правильных ответов. Способствует усвоению и закреплению пройденного материала и служит для проверки знаний студентов различными методами.

Предназначено для контактной и самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение», очной и заочной форм обучения при изучении дисциплины «Теория автоматического управления».

УДК 621.3.01  
ББК 32.965

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Принятые сокращения</b> .....	4
<b>Введение</b> .....	6
<b>Глава 1. Общие сведения о системах и элементах автоматики</b> .....	8
1.1. Основные понятия, определения и терминология автоматики.....	8
1.2. Математическое описание элементов САУ.....	27
1.3. Объекты управления.....	39
<b>Глава 2. Технические средства автоматики и телемеханики</b> .....	56
2.1. Основные понятия о государственной системе приборов (ГСП). .....	56
2.2. Датчики.....	61
2.3. Задающие и сравнивающие устройства.....	80
2.4. Усилители.....	84
2.5. Релейные элементы и специальные устройства.....	93
2.6. Исполнительные механизмы и регулирующие органы.....	111
2.7. Источники электропитания и стабилизаторы.....	119
2.8. Автоматические регуляторы.....	124
<b>Глава 3. Системы автоматического управления</b> .....	134
3.1. Общие свойства САУ .....	134
3.2. Устойчивость САУ .....	147
3.3. Качество САУ .....	158
3.4. Синтез САУ с заданными показателями качества регулирования .....	171
3.5. Нелинейные САУ.....	186
3.6. Понятие импульсных и цифровых САУ.....	195
3.7. Общие сведения о системах оптимального управления.....	203
3.8. Исследование САУ при случайных воздействиях.....	214
3.9. Анализ и синтез релейных схем систем автоматики.....	226
3.10. Микропроцессорные системы управления.....	242
3.11. Системы телемеханики .....	252
<b>Глава 4. Характеристика сельскохозяйственного производства как объекта автоматизации</b> .....	260
<b>Глава 5. Надежность и технико-экономические показатели работы систем автоматизации</b> .....	268
<b>Ответы</b> .....	275
<b>Список использованных источников</b> .....	281

## Принятые сокращения

АВМ	-	аналоговая вычислительная машина
АИМ	-	амплитудно-импульсная модуляция
АСУ	-	автоматизированная система управления
АСУП	-	автоматизированная система управления производством
АСУТП	-	автоматизированная система управления технологическим процессом
АФЧХ	-	амплитудно-фазовая частотная характеристика
АЧХ	-	амплитудно-частотная характеристика
ГСП	-	государственная система приборов
Д	-	Датчик
З	-	Задание
ЗУ	-	запоминающее устройство
И	-	операция логического умножения
И-регулятор	-	интегральный регулятор
ИЛИ	-	операция логического сложения
ИЛИ-НЕ	-	операция Пирса
ИМ	-	исполнительный механизм
ИН	-	индикатор нагрузки
И-НЕ	-	операция Шеффера
ИО	-	исполнительный орган
ИЭ	-	импульсный элемент
КП	-	контролируемый пункт
КУ	-	компенсирующее устройство
ЛАЧХ	-	логарифмическая АЧХ
ЛФЧХ	-	логарифмическая ФЧХ
МУ	-	магнитный усилитель
Н	-	нагрузка
НЕ	-	операция логического отрицания
ОЗУ	-	оперативное запоминающее устройство
ОС	-	обратная связь
П-регулятор	-	пропорциональный регулятор
ПД-регулятор	-	пропорционально-дифференциальный регулятор
ПЗУ	-	постоянное запоминающее устройство
ПИ-регулятор	-	пропорционально-интегральный регулятор

ПИД-регулятор	- пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор
ПИП	- передающий измерительный преобразователь
ПИЭ	- простейший импульсный элемент
ПНЧ	- приведенная непрерывная часть
ПУ	- пункт управления
РО	- регулирующий орган
САР	- система автоматического регулирования
САУ	- система автоматического управления
СО	- сравнивающий орган
СЭУ	- система экстремального управления
ТП	- технологический процесс
УО	- усилительный орган
УОИ	- устройство отображения информации
УСЭПА	- универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики
УЭ	- управляющий элемент
ФЧХ	- фазочастотная характеристика
ФЭ	- формирующий элемент
ЦСАУ	- цифровая система автоматического управления
ЧИМ	- частотно-импульсная модуляция
ЧЭ	- чувствительный элемент
ШИМ	- широтно-импульсная модуляция
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина
ЭДС	- электродвижущая сила
ЭЛМ	- магнито-полупроводниковый логический элемент

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация является ведущей линией технического прогресса сельского хозяйства, мощным средством повышения производительности труда, качества продукции, экономии материалов и энергоресурсов. Автоматизация – не только техническая, но и социально-политическая проблема. Она коренным образом изменяет характер труда, способствует повышению культурно-технического уровня тружеников, облегчает и улучшает условия труда. Целью освоения дисциплины «Теория автоматического управления» является формирование знаний, умений и практических навыков по анализу, синтезу, выбору и использованию современных средств автоматизации в сельскохозяйственном производстве и электроэнергетике.

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к обязательной части ОПОП ВО направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- знать состав и функциональное назначение структурных элементов управляющих устройств, их статические и динамические характеристики; методы определения устойчивости и качества систем автоматического управления; методы синтеза систем управления по заданным показателям качества; технические средства автоматизации, используемые в сельскохозяйственном производстве;

- уметь составлять структурные схемы систем управления технологическими объектами сельскохозяйственного производства; рассчитывать параметры настройки управляющих устройств и проводить оценку устойчивости, качества систем управления;

- владеть методикой выбора технических средств систем автоматизации технологических объектов и процессов сельскохозяйственного производства и электроэнергетики.

В сборник включено 928 тестовых заданий, охватывающих основные разделы программы.

Систематизированные сведения научно-теоретического, научно-практического и прикладного характера представлены в виде тестовых заданий с лаконичным разбором и обоснованием правильных ответов, комментариями. Приводятся дополнительные материалы, пояснения в виде определений, формул, графиков.

Учебное пособие предназначено для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения, самоконтроля знаний при изучении дисциплины с одновременным прохождением всех видов аудиторных занятий. Способствует усвоению и закреплению пройденного материала.

Пособие полезно преподавателям при организации учебного процесса и проведения проверки знаний студентов различными методами.

# ГЛАВА 1

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ И ЭЛЕМЕНТАХ АВТОМАТИКИ

### 1.1. Основные понятия, определения и терминология автоматике

1.1.1. Отрасль науки и техники, охватывающая теорию автоматического управления, принципы построения автоматических систем и технические средства, образующие эти системы, называется [4, с. 10]:

1. Телемеханика.    **2. Автоматика.**    3. Кибернетика.    4. Метрология.

Однако, в бытующем лексиконе слову «**автоматика**» придают более широкий смысл. Под автоматикой подразумевают собрание большого объема теоретических сведений о системах автоматического управления, их элементах, а также все устройства, функционирующие без участия человека, но под его непосредственным наблюдением, хотя и эпизодическим.

1.1.2. Различают основные виды автоматизации: автоматический контроль, автоматическая защита, автоматическое управление, телемеханическое управление в зависимости от [1, с. 5; 2, с. 10]:

1. Степени автоматизации.

**2. Функций, выполняемых специальными автоматическими устройствами.**

3. Алгоритма управления.

4. Алгоритма функционирования.

**Автоматизация производства** – процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам. Понятие «автоматизация» многозначно, оно включает научную, техническую и организационно-хозяйственную деятельность. Автоматизация – главное направление научно-технического прогресса на современном этапе развития сельскохозяйственного производства. Мировая практика и отечественный опыт показывают, что именно на этом направлении может быть обеспечен столь необходимый скачок в повышении эффективности производства.

1.1.3. Сигнализацию, измерение, сортировку и сбор информации включает в себя вид автоматизации [1, с. 5; 2, с. 10]:

**1. Автоматический контроль.**

2. Автоматическая защита.

3. Автоматическое управление.

4. Телемеханическое управление.

**Автоматическое измерение** преследует цель измерения и передачи на специальные указательные или регистрирующие приборы значений физических величин, характеризующих технологический процесс или работу машин. Обслуживающий персонал по показаниям приборов судит о качестве технологического процесса или о режиме работы машин и агрегатов.

**Автоматический сбор** информации предназначен для получения информации о ходе технологического процесса, о качестве и количестве выпускаемой продукции и для дальнейшей обработки, хранения и выдачи информации обслуживающему персоналу.

**Автоматическая сигнализация** предназначена для оповещения обслуживающего персонала о предельных или аварийных значениях каких-либо физических параметров, о месте и характере нарушений технологического процесса. Сигнальными устройствами служат лампы, звонки, сирены, специальные мнемонические указатели и др.

1.1.4. Для контроля и разделения продукции по размеру, массе, твердости, вязкости и другим показателям применяется [1, с. 5; 2, с. 10]:

- |                                 |                                      |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Автоматическая сигнализация. | <b>2. Автоматическая сортировка.</b> |
| 3. Автоматическое измерение.    | 4. Автоматический сбор информации.   |

**Автоматическая сортировка** выполняет функции контроля и разделения продукции по размеру, массе, твердости, вязкости и другим показателям (например, сортировка зерна, яиц, фруктов, картофеля и т.п.).

1.1.5. Совокупность технических средств, которые при возникновении ненормальных или аварийных режимов либо прекращают контролируемый производственный процесс, либо автоматически устраняют ненормальные режимы, относится к виду автоматизации [1, с. 5; 2, с. 10]:

- |                                  |                              |
|----------------------------------|------------------------------|
| 1. Автоматическое управление.    | 2. Дистанционное управление. |
| <b>3. Автоматическая защита.</b> | 4. Автоматический контроль.  |

**Автоматическая защита** очень тесно связана с автоматическим управлением и сигнализацией. Она воздействует на органы управления и оповещает обслуживающий персонал об осуществленной операции.

1.1.6. Автоблокировки относятся к виду автоматизации [2, с. 11]:

- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| 1. Автоматический контроль.   | <b>2. Автоматическая защита.</b> |
| 3. Автоматическое управление. | 4. Автоматическая сигнализация.  |

Устройства автоблокировки в основном предназначены для предотвращения неправильных включений и отключений и ошибочных действий обслуживающего персонала, тем самым они предупреждают возможные повреждения и аварии. Относятся к виду автоматизации – **автоматическая защита**.

1.1.7. Различают ручное, автоматизированное и автоматическое управление в зависимости от [2, с. 11]:

- |                                  |                          |
|----------------------------------|--------------------------|
| <b>1. Степени автоматизации.</b> | 2. Алгоритма управления. |
| 3. Алгоритма функционирования.   | 4. Вида автоматизации.   |

При ручном управлении все функции управления выполняет человек-оператор. При автоматизированном управлении часть функций выполняет человек, а часть – автоматические устройства. При автоматическом управлении все

функции управления выполняют автоматические устройства. Все определяется **степенью автоматизации** производственных процессов.

1.1.8. Различают частичную, комплексную и полную автоматизацию в зависимости от [1, с. 8]:

**1. Степени автоматического управления производственными ТП.**

2. Вида автоматизации. 3. Алгоритма управления.

4. Алгоритма функционирования.

**Частичная автоматизация** предполагает автоматизацию только отдельных производственных операций или установок. Она не освобождает человека от участия в производственном процессе, но существенно облегчает его труд.

**Комплексная автоматизация** технологического процесса означает автоматическое выполнение всего комплекса операций и установок по обработке материалов и их транспортировке по заранее заданным программам при помощи различных автоматических устройств, объединенных общей системой управления. Функции человека сводятся к наблюдению за ходом процесса, его анализу и изменению режима работы автоматических устройств с целью достижения наилучших технико-экономических показателей.

**Полная автоматизация** в отличие от комплексной возлагает выполнение функций выбора и согласования режимов работы отдельных машин и агрегатов как при нормальном режиме, так и в аварийных ситуациях не на человека, а на специальные автоматические устройства. В этом случае все основные и вспомогательные установки способны работать в автоматическом режиме в течение длительного периода без непосредственного участия человека. За обслуживающим персоналом остаются функции периодического осмотра, профилактического ремонта и перестройки всей системы на новые режимы работы.

1.1.9. Затраты на средства автоматики составляют от 10 до 25% капитальных вложений на установку в целом при автоматизации [1, с. 9; 2, с. 11]:

1. Частичной. 2. **Комплексной.** 3. Полной.

При частичной автоматизации затраты на средства автоматики составляют от 1 до 10% капитальных вложений на установку в целом, при **комплексной** – от 10 до 25% и при полной – свыше 25%.

1.1.10. Предписание, которое определяет содержание и последовательность операций, переводящих исходные данные в искомый результат, называется [1, с. 6]:

**1. Алгоритм.** 2. Закон управления.

3. Функциональная зависимость. 4. Закон регулирования.

Понимание сущности автоматических устройств базируется на математическом по своему происхождению понятии алгоритма. **Алгоритм** автоматического устройства (функционирования, управления, адаптации и т.п.)

представляет собой либо словесное описание заданного процесса и условий его выполнения, либо изображение его в виде графика, формулы, схемы и т.п. термин происходит от имени Ал-Хорезми.

1.1.11. Совокупность предписаний, определяющая характер воздействий извне на управляемый объект с целью осуществления им заданного алгоритма функционирования, называется [3, с. 15; 4, с. 2]:

1. **Алгоритм управления.**
2. Алгоритм функционирования.
3. Алгоритм адаптации.
4. Алгоритм поиска экстремума.

**Алгоритм управления** – совокупность предписаний, определяющих характер управляющих воздействий на объект управления с целью осуществления им заданного алгоритма функционирования с учетом динамических свойств системы.

1.1.12. Совокупность предписаний, ведущих к правильному выполнению технического процесса в каком-либо устройстве (в совокупности устройств, составляющих систему), называется [3, с. 15; 4, с. 2]:

1. Алгоритм адаптации.
2. Алгоритм оптимального управления.
3. **Алгоритм функционирования.**
4. Алгоритм управления.

Совокупность правил, предписаний или математических зависимостей, определяющих последовательность изменения выходной величины, соответствующая нормальному функционированию объекта, называется **алгоритмом функционирования**. Он отражает и представляет фактическую цель управления и определяется на основе технологических, экономических и других требований изменения выходной величины объекта в процессе его функционирования.

1.1.13. Процесс осуществления воздействий, соответствующих алгоритму управления, называется [4, с. 2]:

1. **Управление.**
2. Воздействие.
3. Связь.
4. Алгоритм.

**Управление** – совокупность воздействий, направленных на осуществление какого-либо процесса или группы процессов для достижения определенной цели. Управление необходимо для технических систем, живых организмов и социальных систем (экономических, административных, военных и т.п.).

1.1.14. Управление, осуществляемое без непосредственного участия человека, сознательно направленное на выполнение алгоритма управления, называется [4, с. 2]:

1. Дистанционное.
2. **Автоматическое.**
3. Ручное.
4. Логическое.

**Автоматическое управление**, осуществляемое с помощью автоматического управляющего устройства без непосредственного участия человека, направлено на выполнение алгоритма управления. Участие человека в операциях включения системы автоматического управления в работу и ее наладки при этом не

учитывается. Разновидностью автоматического управления является автоматическое регулирование, под которым понимают процесс автоматического поддержания какого-либо параметра на заданном уровне или изменение его по определенному закону.

1.1.15. Устройство, осуществляющее автоматическое управление, называется [4, с. 2]:

1. Управляемый объект.
2. Система автоматического управления.

**3. Автоматическое управляющее устройство.**

4. Исполнительный механизм.

**Автоматическое управляющее устройство (регулятор)** – устройство, воспринимающее выходные сигналы датчика и задатчика и преобразующее разность этих сигналов в перемещение регулирующего органа в соответствии с заложенным в регулятор законом управления (регулирования).

Задача автоматического управляющего устройства – выполнить алгоритм управления с тем, чтобы обеспечить алгоритм функционирования всей системы.

1.1.16. Устройство (совокупность устройств), осуществляющее технический процесс, которое нуждается в специально организованных воздействиях извне для осуществления его алгоритма функционирования, называется [1, с. 6; 4, с. 2]:

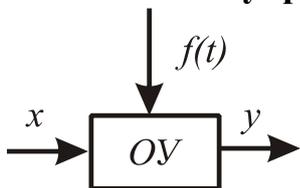
1. Автоматическое управляющее устройство.

2. Система автоматического управления.

**3. Управляемый объект.**

4. Исполнительный механизм.

**Объект управления или управляемый объект** – условно обособленная совокупность элементов материального мира, в которой процессы подвергаются целенаправленным воздействиям. Объект управления может быть техническим, биологическим, социально-экономическим. Независимо от его физической природы схематично изображают в виде прямоугольника и с помощью стрелок отражают его взаимодействие с внешней средой.



1.1.17. Совокупность управляемого объекта (нескольких объектов) и автоматического управляющего устройства (нескольких устройств), взаимодействующих между собой, называется [4, с. 2]:

1. Регулятор.

2. Автоматическое управляющее устройство.

3. Управляемый объект.

**4. Система автоматического управления.**

**Системы автоматического управления** служат для реализации автоматического управления как одного из основных видов автоматизации. Составными частями системы автоматического управления любой сложности являются управляемый объект (объекты) и автоматическое управляющее устройство (устройства).

1.1.18. Действие внешней среды на известную часть системы или одной части системы на другую, при котором изменяются явления в части, испытывающей это действие, называется [4, с. 2]:

1. Управление.
2. **Воздействие.**
3. Автоматическое управление.
4. Цепь воздействий.

**Воздействие** – какой-либо фактор, влияющий на работу системы автоматического управления.

1.1.19. Воздействие на САУ внешней среды или устройств, не являющихся частью этой системы, называется [4, с. 2]:

1. Внутреннее воздействие.
2. **Внешнее воздействие.**
3. Контрольное воздействие.
4. Выходное воздействие.

Под внешней средой понимается все то, что не входит в рассматриваемую систему автоматического управления. **Внешние воздействия** часто называют возмущающими воздействиями или возмущениями. Их подразделяют на нагрузку и помеху.

1.1.20. Воздействие управляющего устройства на управляемый объект называется [4, с. 3]:

1. **Управляющее воздействие.**
2. Контрольное воздействие.
3. Внешнее воздействие.
4. Выходное воздействие.

Воздействие на входе управляемого объекта, вырабатываемое управляющим устройством с учетом задающего воздействия, называют **управляющим воздействием**. Оно обеспечивает изменение управляемой величины по заданному закону.

1.1.21. Воздействие, приложенное к входу САУ или рассматриваемой части системы, называется [4, с. 4]:

1. Внешнее воздействие.
2. **Входное воздействие.**
3. Планируемое воздействие.
4. Управляющее воздействие.

Свойства и особенности объекта управления и системы автоматического управления в целом не могут быть правильно оценены и учтены без рассмотрения их связей с внешней средой. Величины, характеризующие внешнее влияние на систему или ее части, называют **входными воздействиями** (переменными).

1.1.22. Воздействие управляемого объекта на управляющее устройство называется [4, с. 3]:

1. Управляющее воздействие.
2. **Контрольное воздействие.**
3. Внешнее воздействие.
4. Внутреннее воздействие.

**Контрольное воздействие** (воздействие, соответствующее действительному значению управляемой величины) – информация о состоянии управляемого объекта, передаваемая с выхода системы на вход автоматического управляющего устройства.

1.1.23. Совокупность частей САУ, по которым происходит передача внешних и внутренних воздействий, называется [4, с. 3]:

1. Автоматическое управляющее устройство.
2. Канал связи.
3. **Цепь воздействий.**
4. Регулятор.

**Цепь воздействий** системы автоматического управления – совокупность частей системы автоматического управления, по которым происходит передача внешних и внутренних воздействий

1.1.24. Часть цепи воздействий САУ или входящего в нее устройства, блока, звена, на которую непосредственно подается воздействие извне, называется [4, с. 3]:

1. **Вход.**
2. Выход.
3. Начало цепи.
4. Связь.

**Вход** – точка системы автоматического управления, в которой приложено внешнее воздействие.

1.1.25. Связь структурной схемы САУ, образующая путь передачи воздействий в дополнение к основной цепи воздействий или какому-либо ее участку, называется [4, с. 6]:

1. **Дополнительная связь.**
2. Основная связь.
3. Главная связь.
4. Второстепенная связь.

**Дополнительная связь** – связь структурной схемы системы автоматического управления, образующая путь передачи воздействий в дополнение к основной цепи воздействий или какому-либо ее участку.

1.1.26. Связь структурной схемы САУ, образуемая основной цепью воздействия между участками этой цепи, называется [4, с. 5]:

1. Дополнительная связь.
2. **Основная связь.**
3. Обратная связь.
4. Вспомогательная связь.

**Основная связь** – связь структурной схемы системы автоматического управления, образуемая основной цепью воздействия между участками этой цепи.

1.1.27. Дополнительная связь структурной схемы САУ, направленная от выхода к входу рассматриваемого участка цепи воздействий, называется [4, с. 6]:

1. **Обратная связь.**
2. Основная связь.
3. Дополнительная связь.
4. Главная связь.

**Обратная связь** – передача входного сигнала системы на ее вход или вход предыдущего элемента.

1.1.28. Обратная связь, которая с увеличением сигнала на выходе элемента передает на его вход сигнал, вызывающий последующее увеличение сигнала, называется [2, с. 20; 6, с. 14]:

1. **Положительная связь.**
2. Отрицательная связь.
3. Вспомогательная связь.
4. Жесткая связь.

**Положительная обратная связь** – связь, которая с увеличением сигнала на выходе элемента передает на его вход сигнал, вызывающий последующее увеличение сигнала (характеризуется суммированием сигналов обратной связи и канала прямой связи). При положительной обратной связи сегменты элемента сравнения не штрихуются.

1.1.29. Обратная связь, которая при увеличении сигнала на выходе элемента передает на его вход воздействие, вызывающее уменьшение выходного сигнала, называется [2, с. 20; 6, с. 14]:

1. **Отрицательная связь.**
2. Положительная связь.
3. Гибкая связь.
4. Жесткая связь.

**Отрицательная обратная связь** – это связь, которая при увеличении сигнала на выходе элемента передает на его вход воздействие, вызывающее уменьшение выходного сигнала (сигнал обратной связи вычитается из заданного сигнала). Отрицательную обратную связь изображают на функциональной схеме в виде заштрихованного сегмента элемента сравнения.

1.1.30. Гибкая обратная связь действует [2, с. 20; 6, с. 14]:

1. Как в установившемся режиме, так и в переходном процессе.
2. В установившемся режиме.
3. **Только во время переходного процесса.**

Если сигнал обратной связи, подаваемый на вход системы, появляется не только при изменении выходной переменной объекта управления, но и ее производных, то обратная связь называется гибкой. Гибкая обратная связь действует **только в переходном режиме** работы системы, так как величина сигнала обратной связи зависит от времени.

1.1.31. Гибкая обратная связь, основанная на получении интеграла от входного сигнала (интегрирующая) необходима [5, с. 14]:

1. **Для устранения статической ошибки системы.**
2. Для ускорения процесса управления.
3. Для замедления процесса управления.
4. Для повышения чувствительности САУ.

Интегрирующая гибкая обратная связь основана на получении интеграла от входного сигнала системы (элемента), служит **для устранения статической ошибки системы.**

1.1.32. Гибкая обратная связь, основанная на получении производной от выходного сигнала системы (дифференцирующая) служит [5, с. 14]:

1. Для устранения статической ошибки системы.
2. **Для ускорения или замедления процесса управления.**
3. Для увеличения коэффициента передачи системы.
4. Для уменьшения коэффициента перерегулирования.

Дифференцирующая гибкая обратная связь основана на получении производных от выходного сигнала системы (элемента)  $dy/dt$  и  $d^2y/dt^2$ , служит для ускорения или замедления процесса управления.

1.1.33. Жесткая обратная связь действует [2, с. 20; 6, с. 14]:

1. Только во время переходного процесса.
2. Только в установившемся режиме.
- 3. Как в установившемся режиме, так и в переходном процессе.**

Если сигнал обратной связи, подаваемый на вход системы, пропорционален только значению выходной переменной объекта управления в любой момент времени, то обратная связь называется жесткой. Жесткая обратная связь действует **в переходном и установившемся режимах** работы системы, так как величина сигнала обратной связи не зависит от времени.

1.1.34. Изменение или состояние определенной величины, предназначенное отображать в соответствии с принятой условностью информацию, содержащуюся в воздействии, называется [3, с. 10; 4, с. 10]:

1. Связь.
- 2. Сигнал.**
3. Цепь воздействий.
4. Контрольная величина.

**Сигнал** – обусловленное (заранее договоренное) состояние или изменение состояния представляющего параметра, отображающее информацию, содержащуюся в воздействии.

Обычно сигнал выражается некоторой математической функцией, например  $x(t)$ ,  $y(t)$ , однозначно отображающей изменения во времени представляющего параметра.

1.1.35. Величина, посредством которой передается воздействие, называется [4, с. 4]:

1. Входное воздействие.
2. Выходное воздействие.
- 3. Несущая величина.**
4. Планируемое воздействие.

Величина – это то, что можно измерить, исчислить (насколько большим или маленьким является что-нибудь). Величина, посредством которой передается воздействие, называется **несущей**. Несущая величина характеризует природу сигнала.

1.1.36. Несущая величина, характеризующая планируемое воздействие на один из входов автоматической системы, называется [4, с. 4]:

1. Управляемая величина.
- 2. Задающая величина.**
3. Управляющая величина.
4. Контрольная величина.

**Задающая величина** – несущая величина, характеризующая планируемое воздействие на одном из входов системы автоматического управления.

1.1.37. Величина, характеризующая планируемое выходное воздействие управляемого объекта, называется [4, с. 4]:

1. Управляемая. 2. Управляющая. 3. Задающая. 4. Контрольная.

**Управляемая величина** – несущая величина, характеризующая планируемую составляющую выходного воздействия управляемого объекта или планируемую составляющую свойств материалов, изделий, энергий и т.п., выдаваемых управляемым объектом.

1.1.38. Совокупность частей САУ, на которые она может быть разделена по определенным признакам, и путей передачи воздействий между ними, образующая автоматическую систему, называется [4, с. 4]:

1. Устройство. 2. Блок. 3. Узел. 4. **Структура САУ.**

**Структура системы автоматического управления (части САУ)** – совокупность частей системы автоматического управления, на которые она может быть разделена по определенным признакам, и путей передачи воздействий между ними, образующая САУ (самостоятельную часть системы).

1.1.39. Структура системы автоматического управления, где каждая часть предназначена для выполнения определенной функции, называется [4, с. 5]:

1. Алгоритмическая. 3. Блочная.  
2. Конструктивная. 4. **Функциональная.**

**Функциональная структура САУ (части САУ)** – структура системы автоматического управления (части САУ), где каждая часть предназначена для выполнения определенной функции. Под функциями можно понимать как основные функции автоматического управляющего устройства – получение информации, переработка информации и т.п., так и более частные – передача сигналов, сравнение сигналов, преобразование формы представления информации.

1.1.40. Характер алгоритма управления, характер алгоритма функционирования, наличие (отсутствие) способности автоматической системы к самоприспособлению положены в основу классификации [4, с. 2]:

1. Функциональных элементов. 2. Объектов управления.  
3. Регуляторов. 4. **Систем автоматического управления.**

Классифицировать **системы автоматического управления** можно по самым различным признакам, но понимание их сущности базируется на понятии алгоритма.

1.1.41. САУ, которая может выбирать наиболее выгодный режим работы, приспособляясь к меняющимся условиям работы, или управлять сложным процессом, зависящим от большого количества случайных возмущающих воздействий, называется [2, с. 12; 6, с. 15]:

1. **Кибернетическая.** 2. Обыкновенная.  
3. Телемеханическая. 4. Микропроцессорная.

**Кибернетические системы** делятся на 2 группы: самонастраивающиеся (адаптивные) и игровые. В структуре таких систем есть дополнительное устройство (по существу второй регулятор), которое получает информацию о

внешней среде, объекте управления и корректирует работу задатчика и основного регулятора, изменяя их параметры.

1.1.42. САУ, структура которой и закон функционирования в процессе работы не меняются, называется [2, с. 12; 6, с. 15]:

**1. Обыкновенная.**

**2. Кибернетическая.**

**Обыкновенные системы** настраиваются в соответствии с условиями работы и задачами, которые они должны выполнять, и затем включаются в работу. Если условия работы выходят за пределы, предусмотренные настройкой, такие системы теряют работоспособность и нуждаются в дополнительной настройке, а иногда и в переделке.

1.1.43. Принципы: разомкнутого управления, компенсации возмущения, управления по отклонению лежат в основе построения [2, с. 17]:

1. Объектов автоматического управления.

**2. Систем автоматического управления.**

3. Объектов автоматического регулирования.

Принципы:

- обратной связи – принцип управления по отклонению (принцип Уатта-Ползунова);

- компенсации – принцип управления по возмущению (принцип Понселе-Чиколева);

- комбинированного управления (по отклонению и по возмущению);

- разомкнутого управления

являются функциональными при построении **систем автоматического управления.**

1.1.44. Обыкновенные САУ делятся на САУ с разомкнутой цепью воздействий и САУ с замкнутой цепью воздействий в зависимости от [2, с. 17; 4, с.6]:

1. Алгоритма функционирования.

**2. Алгоритма управления.**

3. Характера воздействия на регулирующий орган.

4. Алгоритма адаптации.

**Алгоритм управления** – совокупность предписаний, определяющая характер воздействий извне на управляемый объект с целью осуществления им заданного алгоритма функционирования.

1.1.45. САУ, в которой входными воздействиями управляющего устройства являются только внешние воздействия, называется [4, с. 6]:

**1. САУ с разомкнутой цепью воздействий.**

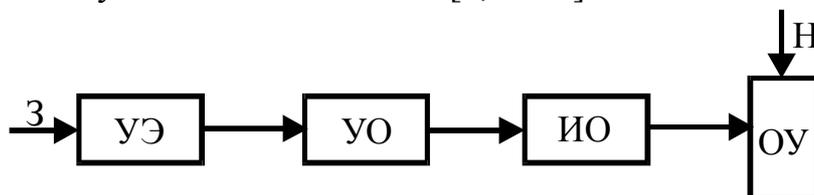
2. САУ с замкнутой цепью воздействий.

3. САУ с обратной связью.

4. Стабилизирующая САУ.

**САУ с разомкнутой цепью воздействий** – система, в которой входными воздействиями управляющего устройства являются только внешние воздействия (информация о возмущающих воздействиях на объект управления).

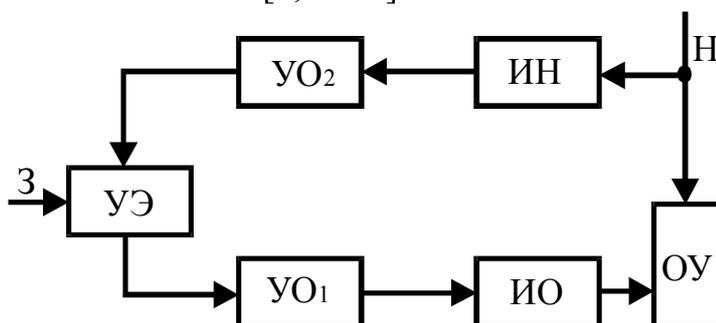
1.1.46. Функциональная схема [2, с. 17]:



1. **Разомкнутой САУ с жесткой программой.**
2. Разомкнутой САУ с воздействием по возмущению.
3. САУ с воздействием по отклонению и по возмущению.
4. САУ с воздействием по отклонению.

На управляющий элемент УЭ подается **жесткое задание З**, которое после усиления УО передается исполнительному элементу ИО, осуществляющему воздействие на объект управления ОУ в соответствии с заданием. Входная величина системы не сопоставляется с выходной величиной объекта управления.

1.1.47. Функциональная схема [2, с. 28]:



1. Разомкнутой САУ с жесткой программой.
2. Замкнутой САУ с воздействием по отклонению и по возмущению.
3. Замкнутой САУ с воздействием по отклонению.
4. **Разомкнутой САУ с воздействием по возмущению.**

**Разомкнутая САУ с воздействием по возмущению** отличается тем, что управляющее воздействие формируется в зависимости от величины основного возмущающего воздействия, например нагрузки Н. На второстепенные возмущения (помехи) такая система не реагирует. Отсутствует контроль управляющей величины (нет обратной связи).

1.1.48. Высокое быстродействие, поскольку система непосредственно реагирует на причину, вызывающую нежелательные изменения управляемой величины, – основное преимущество принципа управления [5, с. 13]:

1. По отклонению.
2. **По возмущению.**
3. Ползунова-Уатта.

Основное преимущество принципа управления **по возмущению** – высокое быстродействие, поскольку система непосредственно реагирует на причину, вызывающую нежелательные изменения управляемой величины. Однако в работе системы не учитываются неконтролируемые возмущения.

1.1.49. САУ, в которой входными воздействиями для управляющего устройства являются как внешние, так и контрольные воздействия, называется [4, с. 6]:

1. **САУ с замкнутой цепью воздействий.**
2. САУ с разомкнутой цепью воздействий.
3. САУ с воздействием по возмущению.

**САУ с замкнутой цепью воздействий** – система, в которой входными воздействиями для управляющего устройства являются как внешние, так и контрольные воздействия (информация об изменении управляемого параметра объекта управления).

1.1.50. САУ с замкнутой цепью воздействий, в которой управляющие воздействия вырабатываются в результате сравнения истинного значения управляемой величины с предписанным значением, называется [4, с. 6]:

1. Автоматическая система поиска.
2. Самоприспосабливающаяся система управления.
3. **Система автоматического регулирования.**

**Система автоматического регулирования** – система, у которой имеется внешняя обратная связь, обеспечивающая контроль управляемой величины и уменьшение отклонения действительного значения управляемой величины от заданного.

1.1.51. САУ, алгоритм функционирования которой содержит предписание изменять управляемую величину в соответствии с заранее заданной последовательностью изменений во времени, называется [2, с. 16; 4, с. 6]:

1. Стабилизирующая.
2. **Программная.**
3. Следящая.
4. Экстремальная.

Примером **программной системы** может служить САУ дополнительным искусственным освещением и облучением в теплицах и птичниках. Строго по программе включаются или отключаются группы осветительных ламп в определенные часы суток.

1.1.52. САУ, алгоритм функционирования которой содержит предписание поддерживать значение управляемой величины постоянным, называется [4, с. 6]:

1. Следящая.
2. Программная.
3. **Стабилизирующая.**
4. Адаптивная.

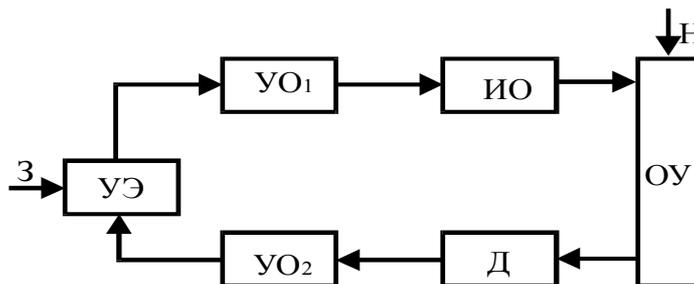
Примерами **стабилизирующей САУ** могут служить системы стабилизации температуры, уровня жидкости, частоты вращения теплового двигателя, электродвигателя и т.п.

1.1.53. САУ, алгоритм функционирования которой содержит предписание изменять управляемую величину в зависимости от неизвестного заранее значения переменной величины на входе автоматической системы, называется [4, с. 6]:

1. Программная.
2. Следящая.
3. Стабилизирующая.
4. Обучаемая.

Наиболее часто встречаются **следящие системы** для воспроизводства угла, частоты вращения, момента, напряжения, тока и т.п. В пропашных орудиях следящая система используется для управления положением рабочих органов в зависимости от направления рядков растений.

1.1.54. Функциональная схема [2, с. 28]:



1. **Замкнутой САУ с воздействием по отклонению.**
2. Разомкнутой САУ с воздействием по возмущению.
3. Замкнутой САУ с воздействием по отклонению и по возмущению.
4. Разомкнутой САУ с жесткой программой.

В управляющем элементе УЭ происходит сравнение результатов измерения управляемой величины (элементы Д и УО<sub>2</sub>) объекта управления ОУ с заданием З и в зависимости от величины и знака рассогласования формируется управляющее воздействие, которое передается объекту ОУ (элементы УО<sub>1</sub> и ИО). Управляемая величина стремится к заданному значению с целью устранения возникающего **отклонения**.

1.1.55. Высокая точность управления при возмущающих воздействиях (даже при неконтролируемых) – основное преимущество принципа управления [5, с. 13]:

1. По отклонению.
2. По возмущению.
3. По нагрузке.
4. Понселе-Чиколева.

Однако, быстродействие систем с принципом управления **по отклонению** сравнительно низкое, так как они реагируют не на причину (возмущающие воздействия), а лишь на следствие (отклонение управляемой величины от заданного значения), то есть с некоторым запаздыванием.

1.1.56. САУ разделяются на одномерные и многомерные (многосвязные) по [1, с. 12]:

1. Характеру воздействий во времени.
2. Характеру использования информации.
3. **Числу управляемых величин.**
4. Виду дифференциального уравнения.

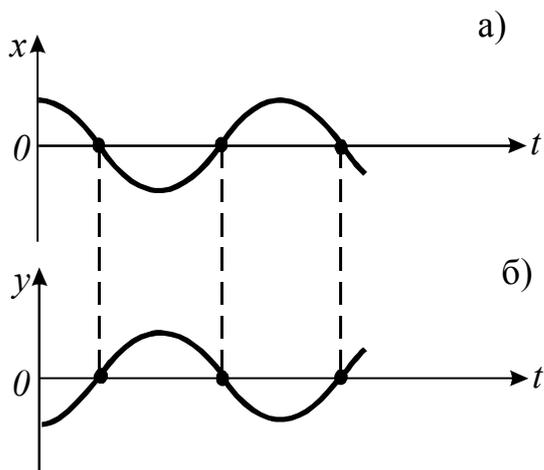
Одномерная САУ – если в системе автоматического управления выделяют **одну входную и одну выходную величины**. Многомерная САУ – система автоматического управления с **несколькими входными и выходными величинами**.

1.1.57. САУ могут быть непрерывного, прерывистого и релейного действия в зависимости от [2, с. 18]:

1. Алгоритма управления.
2. Алгоритма функционирования.
- 3. Характера воздействия на регулируемый орган.**
4. Алгоритма адаптации.

Системы автоматического управления делятся **по характеру изменения управляющего воздействия** на объект управления во времени: непрерывного и дискретного (импульсного, цифрового, позиционного) действия.

1.1.58. Диаграмма изменения во времени  $t$  входной величины  $x$  (а) и выходной величины  $y$  (б) в системе управления [2, с. 18]:



1. Прерывистого действия.
- 2. Непрерывного действия.**
3. Трехпозиционной.
4. Двухпозиционной.

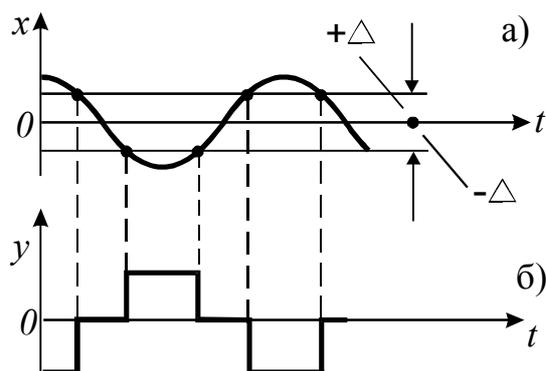
**САУ непрерывного действия** – система, состоящая только из элементов непрерывного действия, то есть элементов, выходная величина которых изменяется плавно при плавном изменении входной величины. Управляющее воздействие непрерывно и пропорционально изменению входной величины во времени.

1.1.59. Системы двухпозиционного и трехпозиционного управления относятся к системам [2, с. 19]:

1. Непрерывного действия.
2. Прерывистого действия.
- 3. Релейного действия.**
4. Дискретного действия.

В **релейных (позиционных) системах** один из элементов имеет существенно нелинейную (релейную) характеристику, в соответствии с которой управляющее воздействие изменяется скачкообразно при определенном значении управляемой величины.

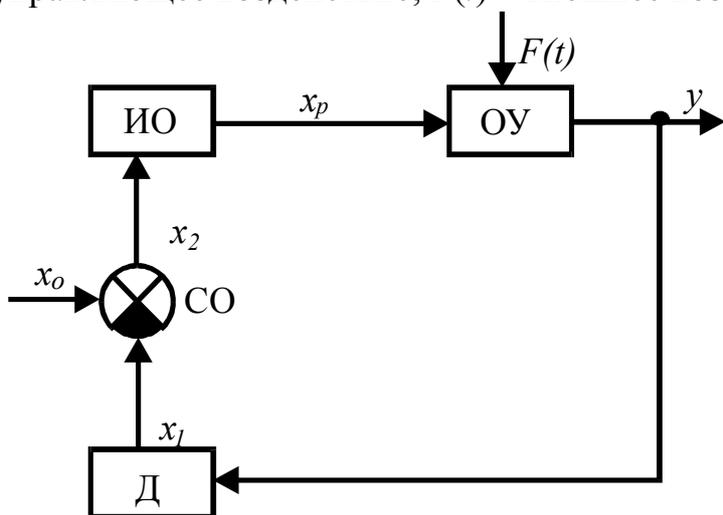
1.1.60. Диаграмма изменения во времени  $t$  входной величины  $x$  (а) и выходной величины  $y$  (б) в системе управления [2, с. 19]:



1. Непрерывного действия.
2. Прерывистого действия.
3. Двухпозиционной.
4. **Трехпозиционной.**

В **трехпозиционной системе** управления управляющее воздействие принимает одно из трех значений.

1.1.61. Функциональная схема САУ с регулятором ( $x_0$  – задание;  $y$  – выходная величина;  $x_1$  – сигнал с датчика;  $x_2$  – сигнал рассогласовывания;  $x_p$  – управляющее воздействие;  $F(t)$  – внешнее возмущающее воздействие) [2, с. 19]:



1. **Прямого действия.**
2. Непрямого действия.
3. Косвенного действия.

В регуляторах **прямого действия** для питания исполнительного и регулирующего органов достаточно энергии, получаемой от датчика или непосредственно от управляемой среды. Усилительный орган не требуется.

1.1.62. В основу деления САУ на статические, астатические и изодромные положен [2, с. 15]:

1. **Характер формирования регулирующего воздействия.**
2. Алгоритм функционирования.
3. Алгоритм управления.
4. Алгоритм адаптации.

**Стабилизирующие САУ** делятся по изменению выходной величины в функции от внешнего воздействия (нагрузки системы) при работе в статическом режиме на астатические и статические системы. Астатические САУ работают без статической ошибки, статические САУ – со статической ошибкой. В изодромной системе имеется гибкая обратная связь, благодаря которой регулирующее воздействие пропорционально отклонению регулируемой величины и его

интегралу. Изодромная система в начале переходного процесса соответствует по свойствам статической, а в конце – астатической.

1.1.63. САУ делятся на линейные и нелинейные по [1, с. 12]:

1. Методу управления. 2. Характеру воздействий во времени.

**3. Виду дифференциального уравнения.**

4. Характеру использования информации.

К линейным относят системы, поведение которых описывается **линейными дифференциальными уравнениями**, к нелинейным – **нелинейными дифференциальными уравнениями**. Причем в системе достаточно иметь один нелинейный элемент, чтобы вся она стала нелинейной.

1.1.64. САУ, поведение которой описывается дифференциальным уравнением, если переменные и их производные входят в него в первой степени, называется [1, с. 17]:

1. **Линейная.**

2. Нелинейная.

**Линейными САУ** называют такие системы, которые можно описать с достаточной точностью линейными уравнениями (алгебраическими, дифференциальными, уравнениями в конечных разностях и т.д.). Различают стационарные системы (параметры неизменны во времени) и нестационарные (параметры переменны во времени).

1.1.65. САУ с замкнутой цепью воздействий, в которой управляющие воздействия вырабатываются с помощью пробных воздействий автоматического управляющего устройства на управляемый объект и анализа результатов пробных воздействий, называется [4, с. 7]:

1. Экстремальная.

2. Обучаемая.

3. Самоприспосабливающаяся.

**4. Автоматическая система поиска.**

**Автоматическая система поиска** – САУ с пробными воздействиями, в которой цепь самоприспосабливания является замкнутой и управляющее воздействие вырабатывается с помощью пробных воздействий дополнительного автоматического управляющего устройства на управляемый объект и анализа результатов этих воздействий.

1.1.66. САУ, обеспечивающая отыскание и поддержание таких наивыгоднейших управляющих воздействий на входе управляемого объекта, при которых выходная величина управляемого объекта достигает наибольшего или наименьшего значения (например, максимальная производительность, наименьший расход топлива и т.п.), называется [6, с. 18]:

1. Игровая.

**2. Экстремальная.**

3. Автоматическая система поиска.

4. Самоприспосабливающаяся.

Задачей **экстремального** регулирования является автоматическое поддержание одного или нескольких показателей производственного процесса на

экстремальном уровне (наиболее высоком или наиболее низком) при непрерывном изменении возмущающих воздействий на данную систему. Такие системы относятся к одному из видов оптимальных систем.

1.1.67. Наука о целенаправленном управлении сложными развивающимися системами и процессами, изучающая общие математические законы управления объектами различной природы, называется [1, с. 7]:

1. Автоматика.
2. Телемеханика.
3. **Кибернетика.**
4. Метрология.

**Кибернетика** (от гр. *Kybernetike* – искусство управления) – область науки, изучающая законы получения, хранения, передачи и переработки информации сложными развивающимися системами (в том числе техническими, биологическими и др.) и разрабатывающая общие принципы построения систем управления.

1.1.68. Часть устройства САУ, в которой происходят качественные или количественные преобразования физической величины, называется [2, с. 22; 3, с.11]:

1. Элементарное звено.
2. **Элемент автоматки.**
3. Блок.
4. Узел.

Каждый **функциональный элемент** (материализованная часть системы) выполняет элементарную функцию, которая заключается в получении, преобразовании и передаче информации в виде сигналов определенной физической природы.

1.1.69. В устройствах автоматки выделяют элементы: датчики, усилители, стабилизаторы, реле, распределители, исполнительные элементы, двигатели по [2, с. 23; 3, с.12]:

1. Виду используемой энергии.
2. Конструктивному признаку.
3. Динамическим свойствам.
4. **Функциональному назначению.**

Любую САУ можно расчленить на отдельные составляющие различными способами. Один из способов (широко применяемый в практике) заключается в расчленении системы на отдельные элементы по их **назначению**, функциональным признакам.

1.1.70. Зависимость выходного сигнала  $y$  от входного  $x$  в установившемся режиме работы, то есть  $y=f(x)$ , – это характеристика элемента [5, с. 19]:

1. Динамическая.
2. **Статическая.**
3. Переходная.
4. Частотная.

**Статическая характеристика элемента автоматки** – зависимость выходного сигнала  $y$  от входного  $x$  в установившемся режиме работы, то есть  $y=f(x)$ . Статическая характеристика может быть представлена аналитически, графически или в виде таблиц.

1.1.71. Элемент называется линейным, если он имеет статическую характеристику [3, с. 17]:

1. Релейную.
2. Нелинейную.
3. Гистерезисную.
4. **Линейную.**

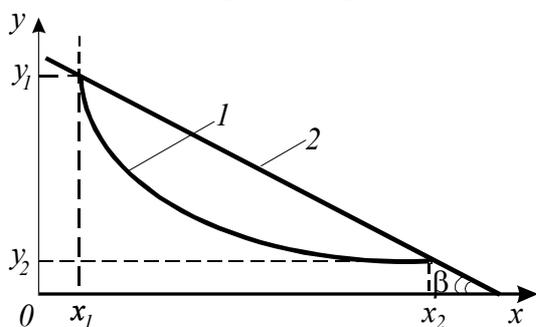
Статические характеристики **линейных** элементов могут быть представлены и уравнениями прямых  $y=a\pm bx$ , не проходящих через начало координат.

1.1.72. Передаточный коэффициент, представляющий собой отношение выходного сигнала элемента с линейной характеристикой к его входному сигналу, называется [3, с. 17]:

1. **Статический.**
2. **Динамический.**
3. **Относительный.**
4. **Дифференциальный.**

**Статический передаточный коэффициент**  $k_c=y/x$  может иметь размерность, если входной и выходной сигналы выражают различные физические величины, и быть безразмерным, если величины  $y$  и  $x$  имеют одинаковые размерности.

1.1.73. В графической форме показано определение параметров статической характеристики [5, с. 20]:



1. **Статического коэффициента передачи.**
2. **Динамического коэффициента передачи методом секущей.**
3. **Динамического и относительного коэффициентов передачи методом касательной.**
4. **Погрешности измерения (экспериментально).**

**Динамический коэффициент передачи**  $k_D = \frac{dy}{dx} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \text{tg} \beta$ .

1.1.74. По формуле  $k^* = \frac{\Delta y x_H}{\Delta x y_H}$  определяется коэффициент передачи [5, с. 21]:

1. **Статический.**
2. **Динамический.**
3. **Относительный.**
4. **Дифференциальный.**

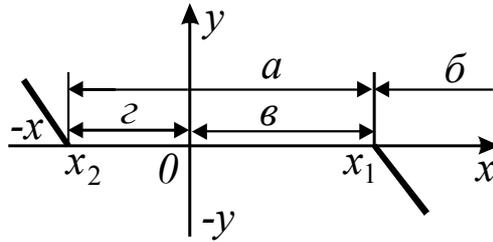
**Относительный коэффициент передачи элемента** – отношение выходной величины к входной, представленное в относительных единицах измерения.

1.1.75. Минимальное значение входной величины, которое вызывает изменение выходной величины элемента, называется [3, с. 18]:

1. **Относительная погрешность.**
2. **Абсолютная статическая погрешность.**
3. **Зона нечувствительности.**
4. **Порог чувствительности.**

**Порог чувствительности** – минимальное значение входной величины, на которое элемент реагирует. Все реальные элементы автоматики обладают тем или иным порогом чувствительности.

1.1.76. Укажите зону нечувствительности элемента [2, с. 26]:



1. а.
2. б.
3. в.
4. з.

Диапазон изменения  $x$  от  $x_1$  до  $x_2$  (**зона а**) называют зоной нечувствительности. Элемент не реагирует на изменения входной величины.

1.1.77. Разность между номинальным значением выходной величины элемента  $y_n$  и ее фактическим значением  $y_i$  ( $\Delta y = y_n - y_i$ ) называется [3, с. 18]:

1. Относительная погрешность.
2. Динамическая погрешность
- 3. Абсолютная статическая погрешность.**

**Абсолютная погрешность** элемента  $\Delta y = y_n - y_i$ . Относительная погрешность, %:  $\varepsilon = \Delta y / y_n \cdot 100\%$ .

1.1.78. Характеристики временная, амплитудно-частотная (АЧХ), фазочастотная (ФЧХ), амплитудно-фазовая частотная (АФЧХ), передаточная функция относятся к [3, с. 18]:

1. Статическим характеристикам.
- 2. Динамическим характеристикам.**

**Динамические характеристики** определяют свойства как отдельных звеньев, так и системы в целом в переходном процессе, то есть в функции времени, и записываются в виде дифференциальных уравнений или передаточных функций, а также в форме частотных характеристик, могут быть представлены графически.

## 1.2. Математическое описание элементов САУ

1.2.1. Искусственно выделяемая часть САУ, соответствующая какому-нибудь элементарному алгоритму, т.е. такому алгоритму, который не может быть заменен комбинацией других алгоритмов, называется [2, с. 213; 5, с. 29]:

1. Элемент.
- 2. Элементарное звено.**
3. Узел.
4. Блок.

**Элементарное звено** – простейшая составная часть системы, поведение которой описывается алгебраическим уравнением или дифференциальным уравнением не выше второго порядка. Элементарные звенья служат основой для построения любых других звеньев и систем автоматического управления.

1.2.2. При исследовании динамических свойств САУ их составные части заменяют звеньями [2, с. 213; 5, с. 29]:

1. По функциональному назначению.
2. По конструктивному признаку.

### 3. По виду математического уравнения, связывающего выходную величину с входной каждого звена.

Звено – составная часть системы автоматического управления, искусственно выделенная по виду математического уравнения, с помощью которого описываются все процессы в этой части; используется при исследовании динамических свойств системы.

1.2.3. Переходные процессы в типовых звеньях описываются дифференциальными уравнениями [2, с. 213; 5, с. 29]:

1. Не выше второго порядка.
2. Третьего порядка.
3. Четвертого порядка.
4. Выше четвертого порядка.

Типовые звенья служат основой для построения САУ и различаются между собой по виду переходного процесса, возникающего в них при подаче на вход единичной ступенчатой функции в момент времени  $t=0$ . При этом переходные процессы описываются дифференциальными уравнениями **не выше второго порядка**.

1.2.4. Какая форма записи дифференциальных уравнений позволяет производить алгебраические операции [2, с. 208; 5, с. 24]?

1. Безразмерная.
2. Операционная.
3. **Операторная.**
4. С указанием размерности переменных.

Дифференциальные уравнения, с помощью которых описываются все переходные процессы при исследовании динамических свойств САУ, могут быть представлены в **операторной** (алгебраической) форме, весьма компактной и позволяющей выполнять алгебраические операции.

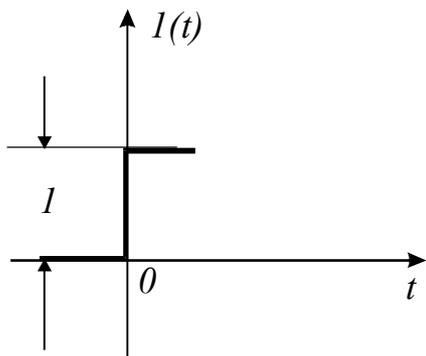
1.2.5. Типовые звенья являются звеньями направленного действия. Сигналы передаются звеном в направлении [2, с. 213; 5, с. 29]:

1. **С входа на выход.**
2. С выхода на вход.
3. Безразлично.

Типовые динамические звенья: пропорциональное, апериодическое первого и второго порядков, идеальные интегрирующее и дифференцирующее, звено транспортного запаздывания – это звенья направленного действия. Сигналы в них передаются в направлении **с входа на выход**. На схемах звенья изображаются в виде прямоугольников, внутри которых записывают передаточную функцию, соответствующую данному звену.



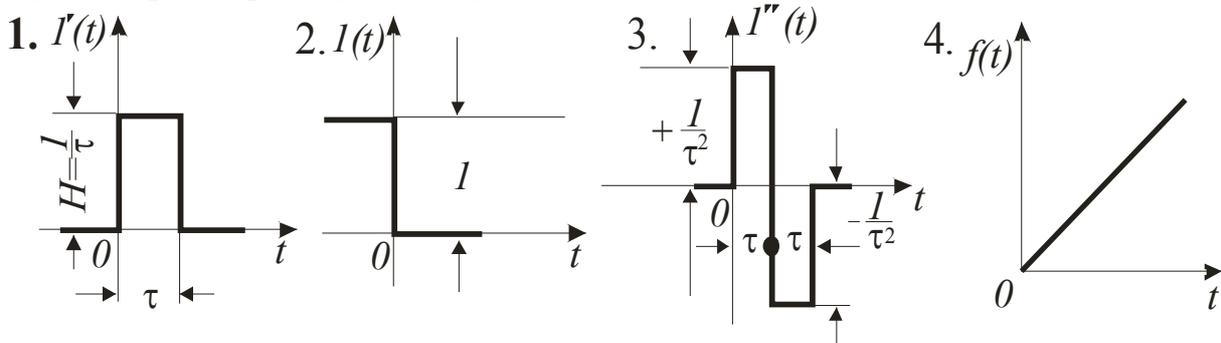
1.2.6. Единичная ступенчатая функция представляет типовое внешнее воздействие [2, с. 210; 5, с. 26]:



1. Единичный мгновенный импульс первого рода.
- 2. Единичный скачок.**
3. Единичный мгновенный импульс второго рода.

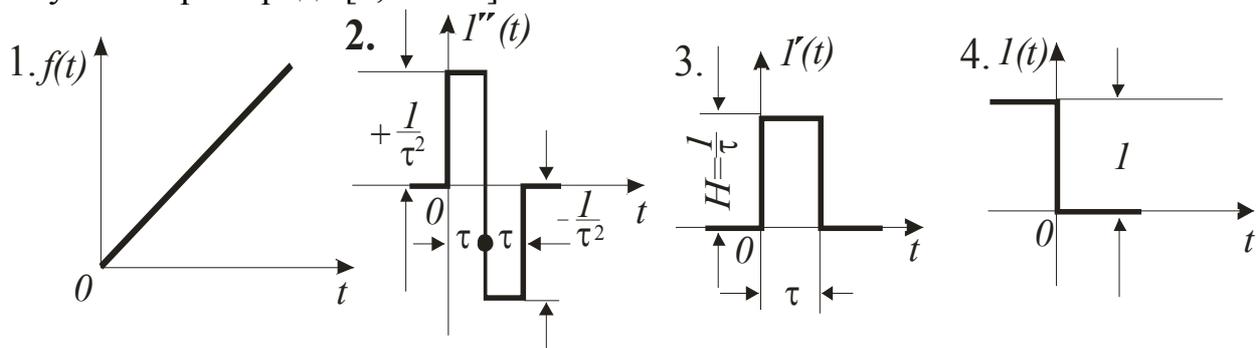
**Единичный мгновенный скачок** – типовое внешнее воздействие, которому соответствуют внезапные сбросы или набросы нагрузки, снятие или включение напряжения и т. д. Обозначается символом  $1(t)$ , может происходить в начальный момент времени и с запаздыванием.

1.2.7. Укажите типовое внешнее воздействие – единичный мгновенный импульс первого рода [2, с. 210]:



**Единичный мгновенный импульс первого рода** – типовое внешнее воздействие, представляющее предельно короткий импульс (рис. 1). Импульсная функция при  $t=0$  бесконечно велика, а при  $t>0$  и при  $t<0$  равна нулю, но площадь ее конечна и равна 1. Импульсную функцию можно рассматривать как предел прямоугольного импульса, у которого высота стремится к бесконечности, а время действия к нулю. Обозначается символом  $\delta(t)$  или  $1'(t)$ , может происходить в начальный момент времени или с запаздыванием.

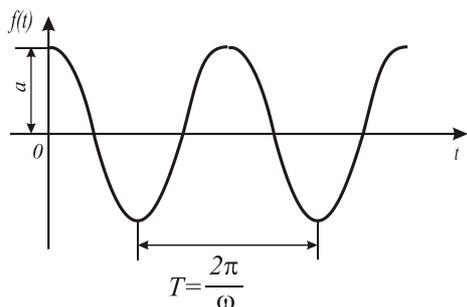
1.2.8. Укажите типовое внешнее воздействие – единичный мгновенный импульс второго рода [2, с. 210]:



**Единичный мгновенный импульс второго рода** – типовое внешнее воздействие, представляющее функцию времени с длительностью скачка, стремящейся к нулю (рис. 2). По отношению к единичному мгновенному импульсу первого рода данная функция представляет собой первую производную. Обозначается символом  $\delta'(t)$  или  $1''(t)$ , может происходить в начальный момент времени или с запаздыванием.

1.2.9. При исследовании САУ частотными методами наибольшее распространение получило типовое внешнее воздействие [2, с. 211]

1. Единичный мгновенный импульс первого рода.
2. Единичный скачок.
3. Линейное.
4. Гармоническое.



**Гармоническое колебание** – типовое внешнее воздействие, выражается зависимостью  $f(t) = a \sin \omega t$ , широко используется при исследовании систем автоматического управления частотными методами.

1.2.10. При различных формах входного воздействия (возмущения) решение одного и того же уравнения будет [2, с. 208]

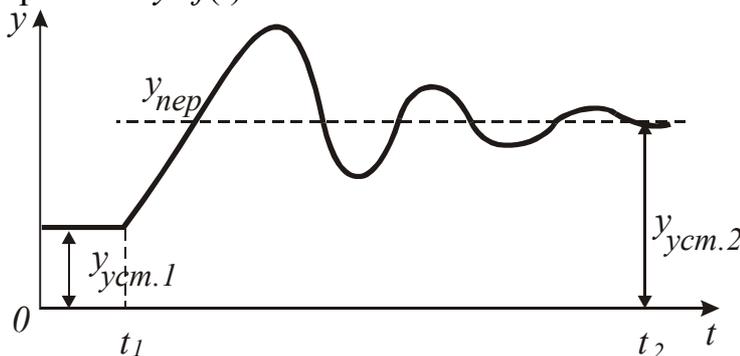
1. Различное.
2. Одинаковое.

1.2.11. Графическая зависимость изменения выходной величины в функции времени при переходе системы из одного равновесного состояния в другое вследствие подачи на вход системы типового воздействия называется [2, с. 207]:

1. Передаточная функция.
2. Фазочастотная характеристика.
3. Амплитудно-частотная характеристика.
4. **Временная (переходная, разгонная) характеристика.**

Существуют различные способы описания динамических свойств как отдельных звеньев, так и системы в целом. Чаще других в этих целях применяют дифференциальные уравнения, передаточные функции, **временные (переходные, разгонные)** и частотные характеристики.

1.2.12. Характеристика  $y=f(t)$

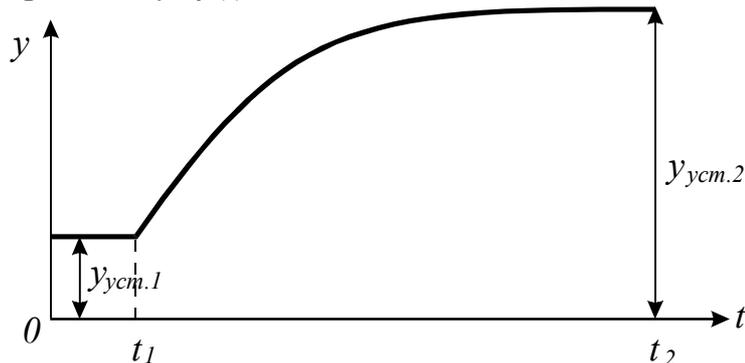


отражает переходный процесс [1, с. 100; 2, с. 207]:

1. Монотонный.
2. Колебательный расходящийся.
3. С незатухающими гармоническими колебаниями.
4. **Колебательный затухающий.**

**Колебательный затухающий** переходный процесс – когда контролируемый параметр возвращается к заданному значению лишь после ряда постепенно затухающих колебаний. Такой процесс характеризуется периодом, амплитудой и степенью затухания колебаний.

### 1.2.13. Характеристика $y=f(t)$



отражает переходный процесс [2, с. 207]:

1. **Монотонный.**
2. С незатухающими гармоническими колебаниями.
3. Колебательный расходящийся.
4. Колебательный затухающий.

**Монотонный процесс** характерен тем, что знак производной в переходном режиме не меняется.

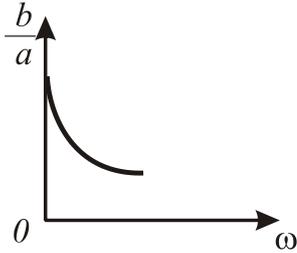
1.2.14. Зависимость амплитуды и фазы от частоты синусоидальных колебаний при прохождении этих колебаний через звено или систему отражает характеристика [2, с. 211; 5, с. 27]:

1. Переходная.
2. **Частотная.**
3. Весовая функция.
4. Передаточная функция.

**Частотные характеристики** представляют зависимости амплитуд и фаз от частоты  $\omega$  в установившемся режиме работы системы. Тем не менее, их относят к динамическим характеристикам, так как они позволяют определять устойчивость системы в переходном режиме.

1.2.15. Зависимость отношения амплитуды колебаний  $b$  на выходе к амплитуде колебаний  $a$  на входе от частоты синусоидальных колебаний  $\omega$  при прохождении их через звено или систему  $A(\omega) = \frac{b}{a} = f(\omega)$  называется характеристикой [2, с. 211; 5, с. 29]:

1. Фазочастотной.
2. **Амплитудно-частотной.**
3. Амплитудно-фазовой частотной.
4. Переходной.

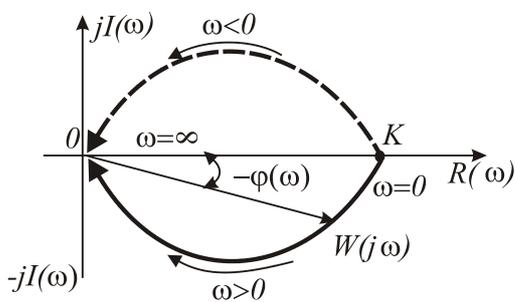


**Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ)** – зависимость отношения амплитуды колебаний  $b$  на выходе к амплитуде колебаний  $a$  на входе от частоты синусоидальных колебаний  $\omega$  при прохождении их через звено или систему:  $A(\omega) = b/a = f(\omega)$ .

1.2.16. На плоскости комплексного переменного изображается кривой, которая называется годографом вектора  $W(j\omega)$  при изменении  $\omega$  от  $-\infty$  до  $+\infty$ , характеристика [2, с. 212; 5, с. 28]:

1. АФЧХ.    2. ФЧХ.    3. АЧХ.    4. ЛАЧХ.

**Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ)** представляет



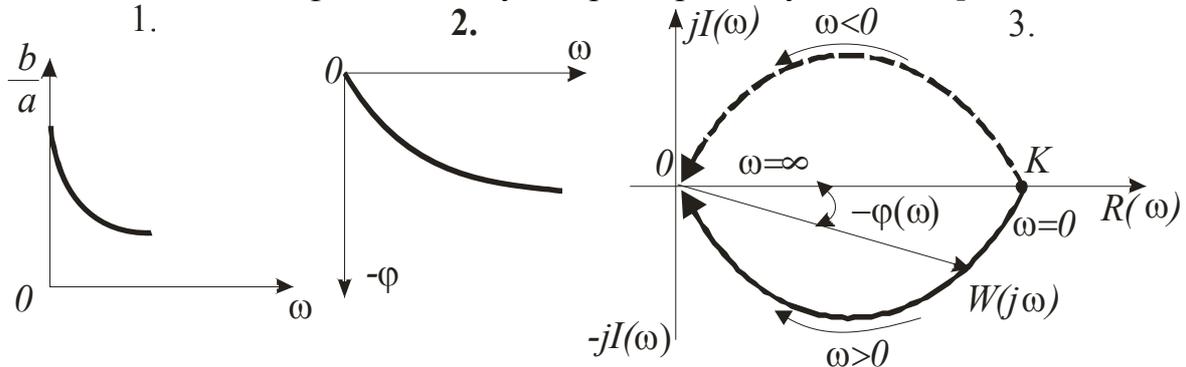
собой зависимость  $W(j\omega) = \frac{b}{a} e^{-j\varphi}$ , является векторной величиной, на плоскости комплексного переменного изображается кривой, которая называется годографом вектора  $W(j\omega)$ , при изменении  $\omega$  от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

1.2.17. Зависимость  $W(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$  отображает характеристику [5, с. 28]:

1. ЛАЧХ.    2. АЧХ.    3. АФЧХ.    4. ФЧХ.

В общем случае **амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ)** состоит из вещественной  $R(\omega)$  и мнимой  $jI(\omega)$  частей частотной характеристики  $W(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega) = W(\omega)e^{j\varphi(\omega)}$ .

1.2.18. Укажите фазочастотную характеристику системы [2, с. 213; 5, с. 28]:



**Фазочастотная характеристика (ФЧХ)** представляет собой зависимость  $\varphi = f(\omega)$  разности фаз (фазовый сдвиг) между входными и выходными колебаниями от частоты синусоидальных колебаний при прохождении их через звено или систему (рис. 2).

1.2.19. Зависимость  $W(j\omega) = \frac{b}{a} e^{-j\varphi}$  отображает характеристику [2, с. 212; 5, с. 27]:

1. ФЧХ.                      2. АФЧХ.                      3. АЧХ.                      4. ЛАЧХ.

**Амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ)** отображается отношением вектора колебания выходной величины  $\dot{y} = be^{j(\omega t - \varphi)}$  к вектору колебания входной величины  $\dot{x} = ae^{j\omega t}$ , то есть  $W(j\omega) = \frac{\dot{y}}{\dot{x}} = \frac{be^{j(\omega t - \varphi)}}{ae^{j\omega t}} = \frac{b}{a} e^{-j\varphi}$ .

1.2.20. Зависимость фазовой частотной функции  $\varphi(\omega)$  от логарифма частоты  $\lg\omega$  называется [3, с. 21]:

1. Логарифмическая АЧХ.                      2. Логарифмическая ФЧХ.  
3. АФЧХ.                      4. ФЧХ.

**Логарифмические частотные характеристики** отличаются от частотных характеристик только логарифмическим масштабом. Вместо  $\omega$  берется  $\lg\omega$ , вместо  $\frac{b}{a} - 20 \lg \frac{b}{a}$ , значение фазы откладывают в градусах. Это позволяет упростить расчеты и в лучшей наглядной форме строить и сравнивать частотные характеристики в широких пределах изменения частоты  $\omega$ .

1.2.21. Если на вход элемента подается дельта-функция  $\delta(t)$ , то временная характеристика называется [3, с. 18]:

1. АЧХ.                      2. ФЧХ.                      3. АФЧХ.                      4. Импульсная.

Реакция на импульсную функцию называется импульсной переходной функцией или весовой функцией. Графическое изображение весовой функции называют **импульсной** переходной (временной) характеристикой.

1.2.22. Для преобразования определенного класса функций вещественной переменной в функции комплексной переменной служит [2, с. 209]:

1. Преобразование Лапласа.                      2. Метод Солодовникова.  
3. Метод Воронова.                      4. Признак Даламбера.

**Преобразование Лапласа** – решение линейных дифференциальных уравнений упрощается при использовании методов, в основу которых положено преобразование функций вещественной переменной в функции комплексной переменной (преобразования Лапласа, Карсона-Хевисайда и Фурье). Преобразовываются как различные функции воздействий, так и математические действия. Интегрально-дифференциальные уравнения заменяются алгебраическими, решение которых значительно проще. Это правило справедливо только при нулевых начальных условиях.

1.2.23. Критерием для преобразования функции вещественной переменной в функцию комплексной переменной служит ( $\sigma$  – некоторое положительное число) [2, с. 209]:

1. Только ее определенность.
2. Только ее непрерывность и однозначность для всей области  $t \geq 0$ .

3. Только выполнение неравенства  $\int_0^{\infty} f(t)e^{-\sigma t} dt < \infty$

**4. Совокупность условий 1, 2 и 3.**

Преобразование Лапласа является функциональным и служит для преобразования определенного класса функций вещественной переменной  $f(t)$  (оригинала) в функции комплексной переменной  $f(p)$  (изображения). Критерием для преобразуемости функции времени служит ее **определенность, непрерывность, однозначность для всей области  $t \geq 0$  и выполнение неравенства**  $\int_0^{\infty} f(t)e^{-\sigma t} dt < \infty$ .

1.2.24. Укажите прямое преобразование Лапласа ( $p$  – оператор Лапласа;  $\tau$  – запаздывание;  $j = \sqrt{-1}$ ) [2, с. 209]:

1.  $x(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt$ .

2.  $W(j\omega) = e^{-j\omega\tau}$ .

3.  $\int_0^{\infty} f(t)e^{-\sigma t} dt < \infty$ .

4.  $W(p) = e^{-p\tau}$ .

**Прямое преобразование Лапласа** описывается уравнением

$$x(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt, \text{ где } p \text{ – комплексная переменная, действительная часть которой}$$

больше величины  $\sigma$ .

Пределы интегрирования определяются границами процесса регулирования. Функция  $x(t)$  называется оригиналом, функция  $x(p)$  – изображением. С оператором  $p$  можно производить различные алгебраические действия.

1.2.25. В выражении  $x(p) = \int_0^{\infty} x(t)e^{-pt} dt$  изображением является [2, с. 209]:

1.  $e^{-pt}$ .

2.  $\int_0^{\infty} x(t)dt$ .

3. Функция  $x(t)$ .

4. Функция  $x(p)$ .

**Функция комплексного переменного  $x(p)$** , полученная в результате прямого преобразования Лапласа функции вещественного переменного  $x(t)$ , называется изображением.

1.2.26. В выражении  $y(p) = \int_0^{\infty} y(t)e^{-pt} dt$  оригиналом является [2, с. 209]:

1.  $e^{-pt}$ .
2.  $\int_0^{\infty} y(t) dt$ .
3. **Функция  $y(t)$ .**
4. Функция  $y(p)$ .

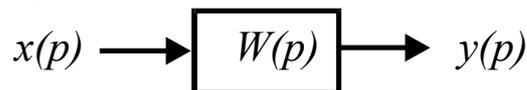
**Функция вещественного переменного  $y(t)$** , которая подлежит прямому преобразованию Лапласа в функцию комплексного переменного  $y(p)$ , называется оригиналом.

1.2.27. Отношение Лапласова изображения соответствующей выходной величины звена (системы) к Лапласову изображению его (ее) входной величины при нулевых начальных условиях называется [2, с. 209; 5, с. 25]:

1. **Передаточная функция.**
2. Переходная характеристика.
3. Статическая характеристика.
4. Частотная характеристика.

При оценке динамических свойств звеньев (систем) широко используют **передаточную функцию  $W(p) = y(p)/x(p)$** .

1.2.28. Передаточная функция звена

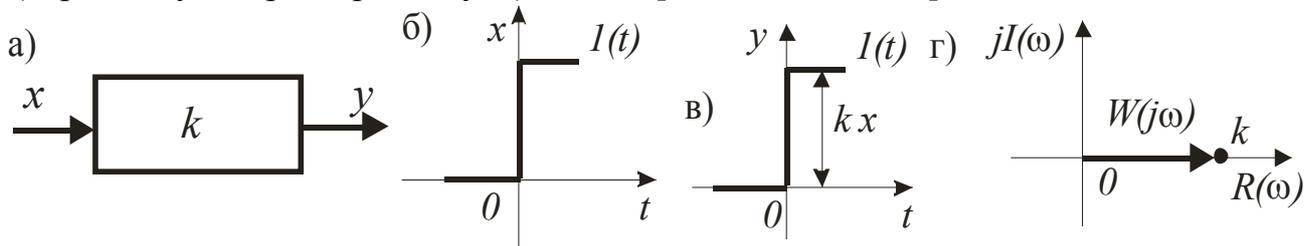


равна [2, с. 209; 5, с. 25]:

1.  $W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$ .
2.  $W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$ .
3.  $W(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_{oc}(p) \cdot W_1(p)}$ .
4.  $W(p) = \frac{y(p)}{x(p)}$ .

**Передаточная функция звена  $W(P)$**  – отношение изображения выходной величины  $y(p)$  к изображению входной величины  $x(p)$  при начальных нулевых условиях.

1.2.29. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) входное воздействие; в) временную характеристику; г) АФЧХ [2, с. 213; 5, с. 30]?

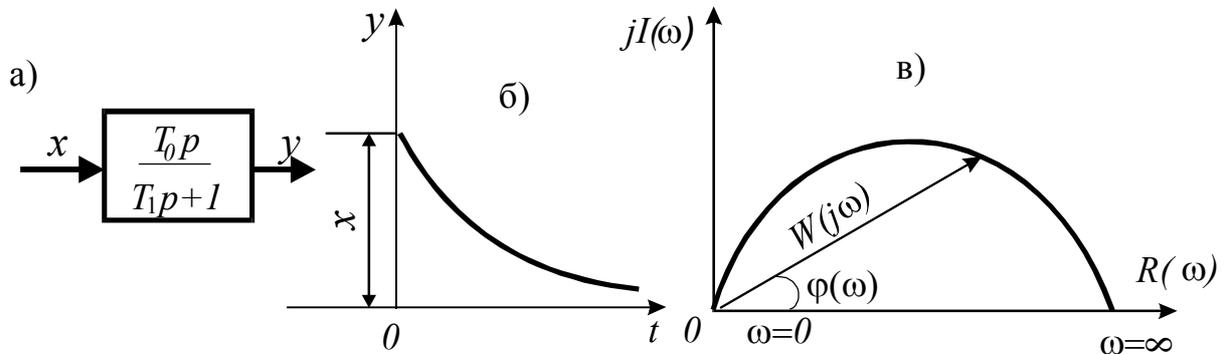


1. Колебательное.
2. Аперiodическое I-го порядка.
3. **Пропорциональное.**
4. Интегрирующее.

**Пропорциональное звено** описывается и в статике, и в динамике алгебраическим уравнением  $y=kx$ , где  $k$  – коэффициент передачи. Такое звено является безынерционным. В нем передача сигнала от входа к выходу происходит

мгновенно. Примеры: потенциометр, усилитель постоянного тока, зубчатый редуктор, рычаг и др.

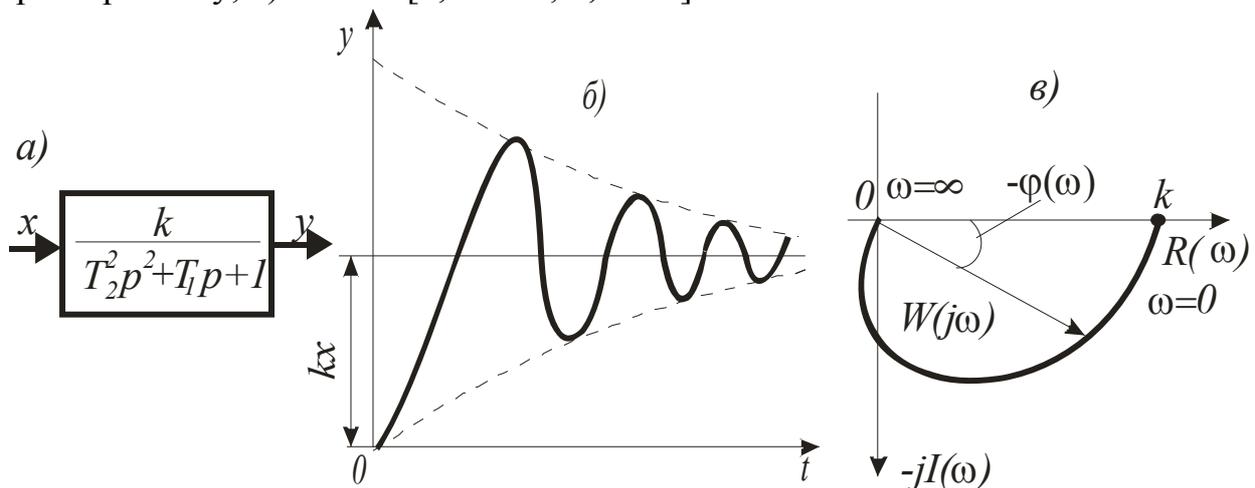
1.2.30. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) временную характеристику; в) АФЧХ ( $T$  – постоянная времени) [2, с. 219; 5, с. 34]?



1. Интегрирующее.
2. Дифференцирующее гибкое без статизма.
3. Колебательное.
4. С запаздыванием по времени.

**Дифференцирующее гибкое без статизма реальное звено**, чаще всего встречающееся на практике, выполняет дифференцирующее действие более или менее приближенно к идеальному звену и описывается уравнением  $(T_1 p + 1)y = T_0 p x$ . Примеры: тахогенератор, конденсатор, гидравлический демпфер с пружиной и т.д.

1.2.31. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) временную характеристику; в) АФЧХ [2, с. 217; 5, с. 32]?

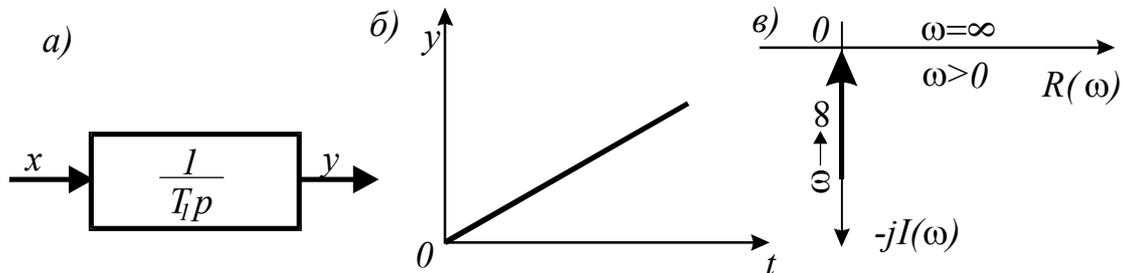


1. Аперiodическое I-го порядка.
2. С запаздыванием по времени.
3. Устойчивое колебательное.
4. Интегрирующее.

**Колебательное звено (устойчивое)** описывается уравнением  $(T_2^2 p^2 + T_1 p + 1)y = kx$  при  $T_1 < 2T_2$ . Колебательное звено можно рассматривать как соединение двух емкостей, способных запастись энергией или веществом и взаимно обмениваться этими запасами. При возмущениях, нарушающих равновесие звена, возникают колебания. Если при этом происходит потеря энергии в звене, то

колебания затухают, а само звено называют устойчивым. Примеры: упругая механическая система, пневматический (мембранный) исполнительный механизм, электрический RLC-контур и др.

1.2.32. Какое звено имеет: а) условное обозначение; б) временную характеристику; в) АФЧХ[2, с. 218; 5, с. 33]?

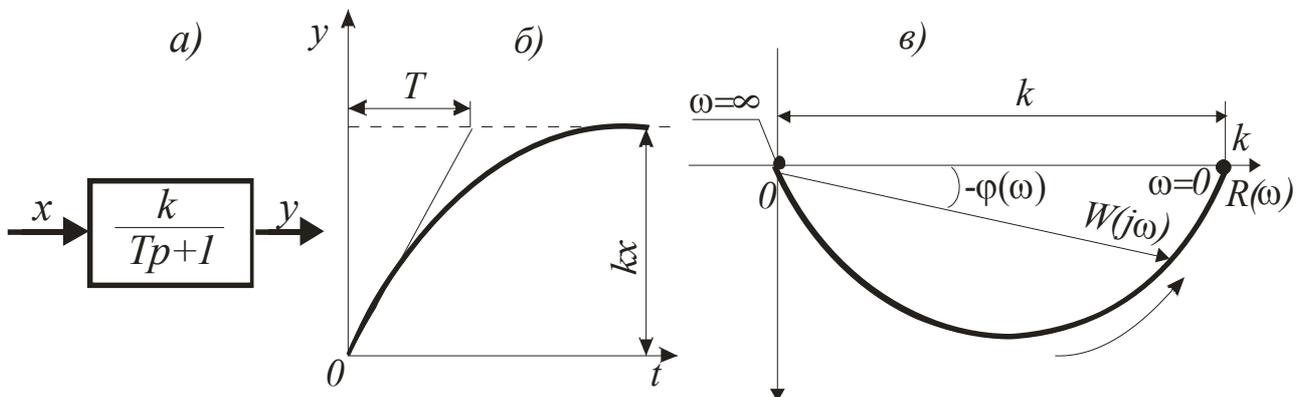


1. Аperiodическое I-го порядка.
2. Колебательное.
3. Безынерционное.
4. Интегрирующее.

**Интегрирующее звено:** выходная величина звена пропорциональна

интегралу по времени от входной величины  $y = k \int_0^t x dt$  или скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине  $dy/dt = kx$ . Примеры: емкость без самовыравнивания, паровой котел, гидравлический усилитель и др.

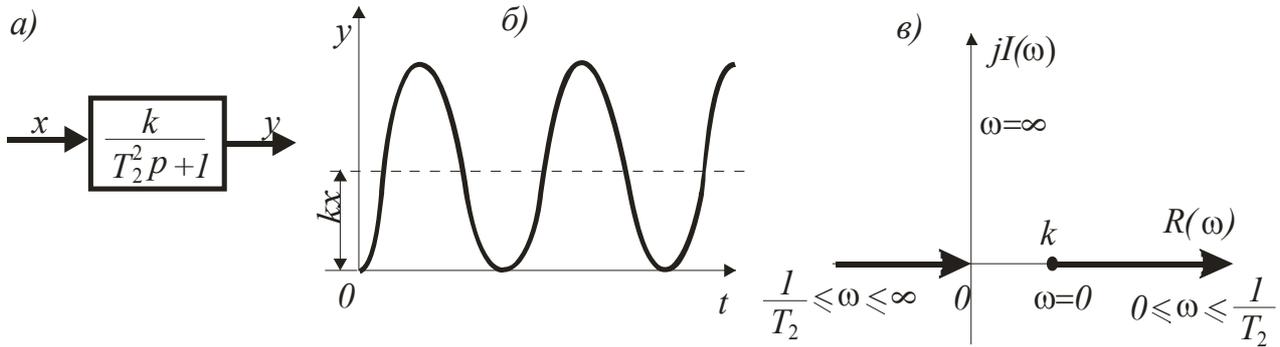
1.2.33. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) временную характеристику; в) АФЧХ [2, с. 215; 5, с. 30]?



1. Интегрирующее.
2. С запаздыванием по времени.
3. Устойчивое аperiodическое.
4. Колебательное.

**Аperiodическое звено первого порядка (устойчивое)** описывается уравнением  $(T_1 p + 1)y = kx$ . Это звено можно рассматривать состоящим из двух элементов: один аккумулирует вещество или энергию, а другой препятствует аккумуляции. Примеры: емкость с самовыравниванием, контактный теплообменник, термopара, электрические двигатели и др.

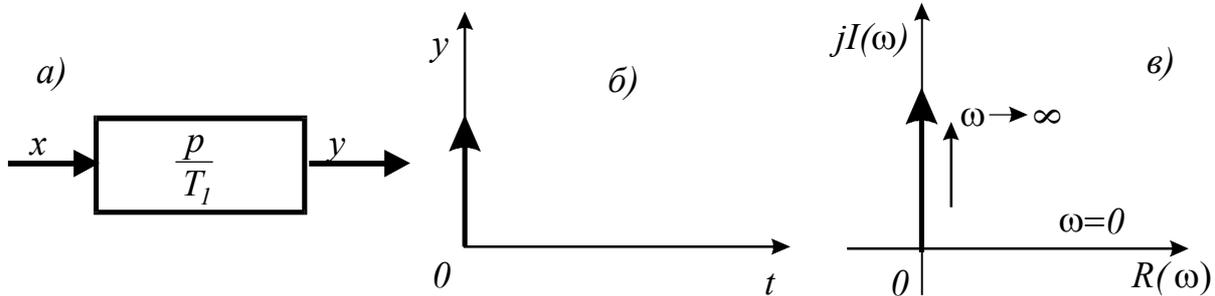
1.2.34. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) временную характеристику; в) АФЧХ [2, с. 218; 5, с. 32]?



1. Интегрирующее.
2. Аperiodическое I-го порядка.
3. Дифференцирующее.
4. **Гармоническое колебательное.**

**Колебательное звено (гармоническое, консервативное)** описывается уравнением  $(T_2^2 p^2 + 1)y = kx$ . Если при колебаниях отсутствуют потери энергии в звене, то его называют гармоническим колебательным (консервативным). Мерой этих потерь является коэффициент затухания  $\xi$ . При отсутствии потерь энергии  $\xi = 0$ .

1.2.35. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) временную характеристику; в) АФЧХ [2, с. 219; 5, с. 34]?

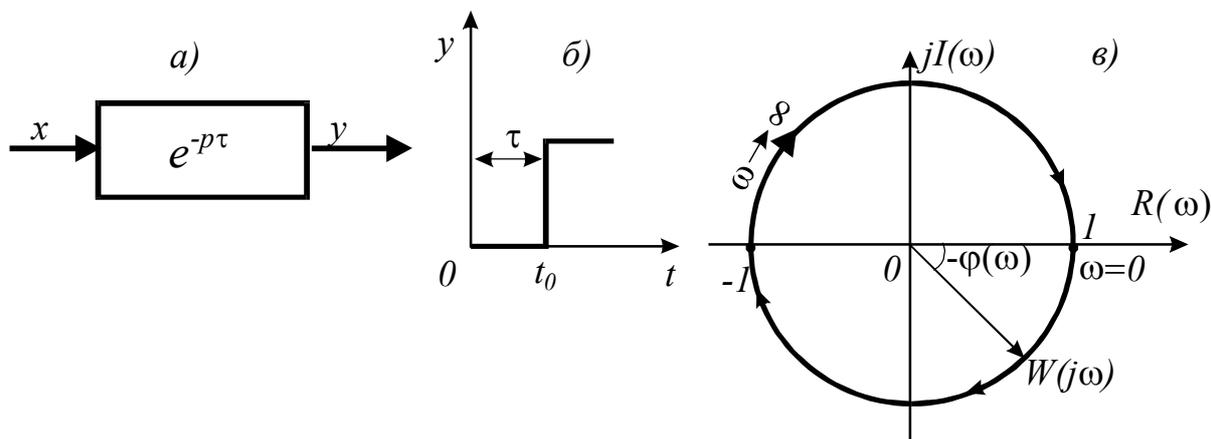


1. Дифференцирующее гибкое без статизма.
2. Колебательное.
3. **Идеальное дифференцирующее.**
4. Безынерционное.

**Идеальное дифференцирующее звено:** выходная величина звена пропорциональна скорости изменения входной величины  $y = k \frac{dx}{dt}$  или  $T_1 y = px$ .

Кроме идеального есть дифференцирующее звено гибкое без статизма и дифференцирующее звено гибкое со статизмом. Примеры: индуктивность, электрический конденсатор и т.д.

1.2.36. Какое звено имеет: а) условное изображение; б) временную характеристику; в) АФЧХ [2, с. 221; 5, с. 35]?



1. С запаздыванием по времени.
2. Дифференцирующее.
3. Гармоническое колебательное.
4. Аperiodическое II-го порядка.

**Звено с запаздыванием по времени (звено запаздывания):** выходная величина звена воспроизводит без искажения входную величину, но с отставанием во времени. Это отставание характеризуется временем  $\tau$  транспортного запаздывания. Звено описывается уравнением  $y=x(t-\tau)$ , а в операторной форме  $y(p) = x(p)e^{-p\tau}$ . Примеры: транспортеры, трубопроводы и т.д.

### 1.3. Объекты управления

1.3.1. Устройство (совокупность устройств), осуществляющее технический процесс, которое нуждается в специально организованных воздействиях извне для осуществления его алгоритма функционирования, называется [4, с. 2]:

1. **Объект управления.**
2. Система автоматического управления.
3. Автоматическое управляющее устройство.

**Объект управления или управляемый объект** – условно обособленная совокупность элементов материального мира, в которой процессы подвергаются целенаправленным воздействиям. Объект управления может быть техническим, биологическим, социально-экономическим. К техническим объектам управления относят шахтную зерносушилку, мобильный агрегат, поточную линию, животноводческое помещение и т.п.

1.3.2. Зависимость управляемого параметра объекта  $y$  от управляющего воздействия  $x$  в установившемся режиме  $y=f(x)$  называется характеристикой [2, с. 87]:

1. **Статической.**
2. Динамической.
3. Переходной.
4. АЧХ.

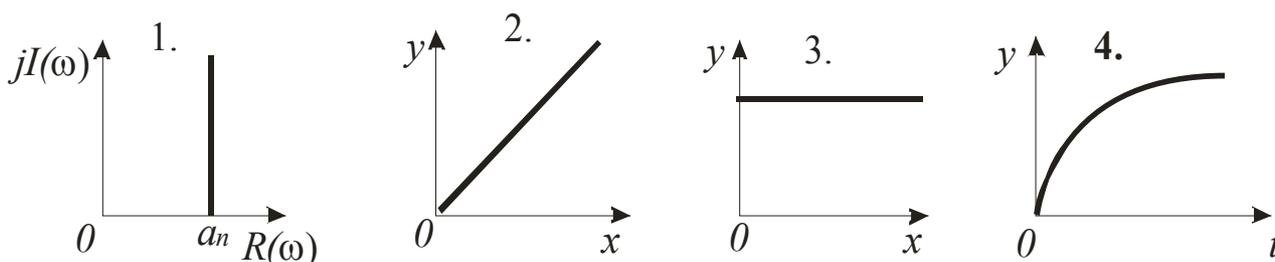
**Статическая характеристика объекта управления  $y=f(x)$ .** Если выходная величина зависит еще и от некоторой другой величины  $F$ , то объект имеет семейство статических характеристик при различных значениях  $F$ . Статические характеристики разных объектов отличаются друг от друга, они могут быть линейными и не линейными.

1.3.3. Зависимость управляемого параметра объекта  $y$  от времени  $t$  в переходном режиме  $y=f(t)$  называется характеристикой [2, с. 89]:

1. Динамической.
2. Статической.
3. АФЧХ
4. ФЧХ.

**Динамическая (переходная, временная) характеристика  $y=f(t)$**  наряду с дифференциальными уравнениями, передаточной функцией, частотными характеристиками служит для представления и исследования динамических свойств объекта управления.

1.3.4. Укажите кривую разгона объекта [2, с. 89]:



Временная (динамическая) характеристика объекта управления – зависимость управляемого параметра объекта  $y$  от времени  $t$  в переходном режиме; в общем виде записывается  $y=f(t)$  и графически выражается так называемой **кривой разгона объекта** (рис. 4).

1.3.5. Способность объекта накапливать вещество или энергию называется [2, с. 89; 5, с. 38]:

1. Аккумулирующая способность.
2. Самовыравнивание.
3. Запаздывание.
4. Саморегулирование.

**Аккумулирующая способность объекта управления** – свойство объекта накапливать вещество или энергию. В зависимости от аккумулирующей способности объекты разделяют на беземкостные, одноемкостные, многоемкостные. Чем больше аккумулирующая емкость объекта, тем медленнее изменяется управляемый параметр при нарушении баланса между притоком (входом) и расходом (выходом) вещества или энергии. Емкость объекта существенно влияет на выбор типа регулятора и в ряде случаев облегчает процесс управления параметрами.

1.3.6. В зависимости от аккумулирующей способности данный объект относится к [2, с. 90; 5, с. 38]:



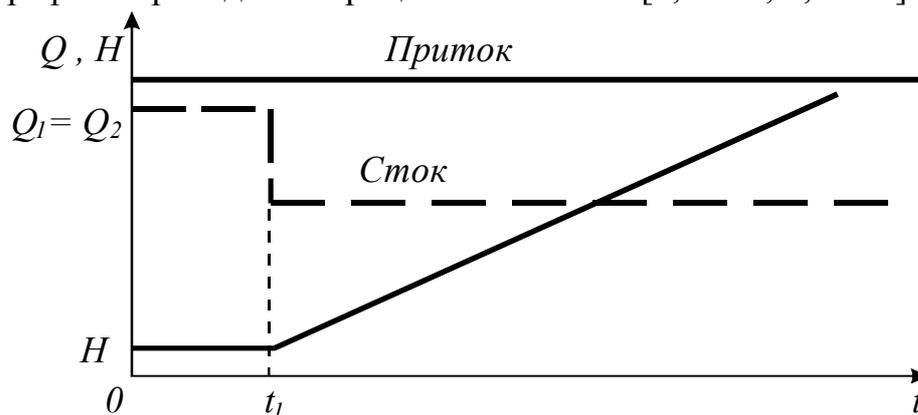
Чем больше емкость объекта, тем выше кривая разгона этого объекта. Кривая разгона объектов с различными емкостями: *a* – беземкостного; *b* – малоемкостного; *c* – многоемкостного.

1.3.10. Способность объекта приходить в новое установившееся состояние после нанесения возмущения без вмешательства регулятора называется [2, с. 91; 5, с. 39]:

1. Запаздывание.
2. Самовыравнивание.
3. Аккумулирующая способность.
4. Инерционность объекта.

**Самовыравнивание объекта управления** – свойство объекта, благодаря которому несоответствие между притоком и стоком управляемой среды устраняется самостоятельно, без внешних воздействий. Для количественной оценки самовыравнивания объекта управления служит коэффициент самовыравнивания  $\rho = \frac{d(\Delta q)}{dy}$ . Он равен первой производной от приращения возмущения  $q$  по управляемой величине  $y$ , определяется в относительных единицах.

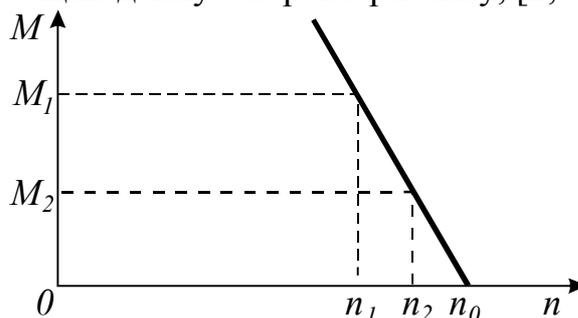
1.3.11. График переходного процесса в объекте [2, с. 92; 5, с. 39]:



1. Не обладающем способностью к самовыравниванию.
2. Обладающем способностью к самовыравниванию.

Если приток управляемой среды  $Q_1$  не изменяется, а сток  $Q_2$  уменьшен, то управляемый параметр  $H$  растет неограниченно. Такой объект **не обладает способностью к самовыравниванию**.

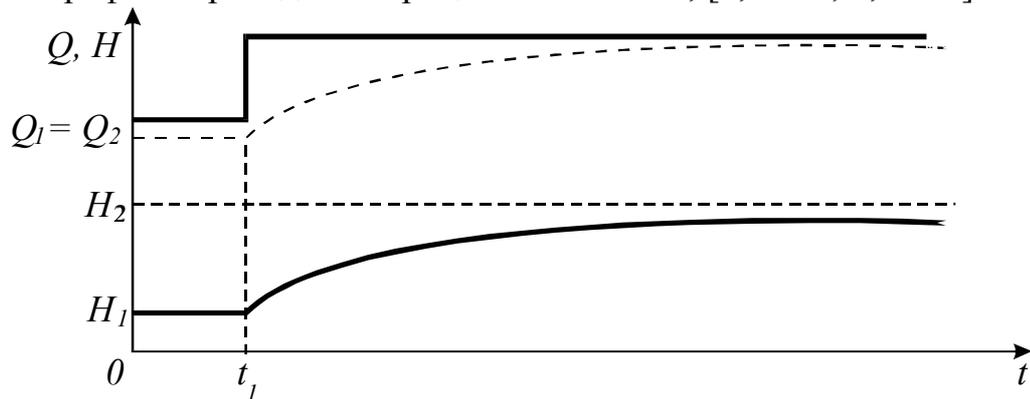
1.3.12. Объект, имеющий данную характеристику, [2, с. 92; 5, с. 39]:



1. Обладает способностью к запаздыванию.
2. Не обладает способностью к самовыравниванию.
- 3. Обладает способностью к самовыравниванию.**

На графике показана рабочая ветвь механической характеристики электродвигателя. Двигатель работает в точке с координатами  $(n_2, M_2)$ . При увеличении нагрузки (момента сопротивления) уменьшатся обороты  $n$  до значения  $n_1$ , а момент, развиваемый двигателем, увеличится до значения  $M_1$ , двигатель будет работать в точке с координатами  $(n_1, M_1)$ . Следовательно, **объект обладает способностью к самовыравниванию (саморегулированию).**

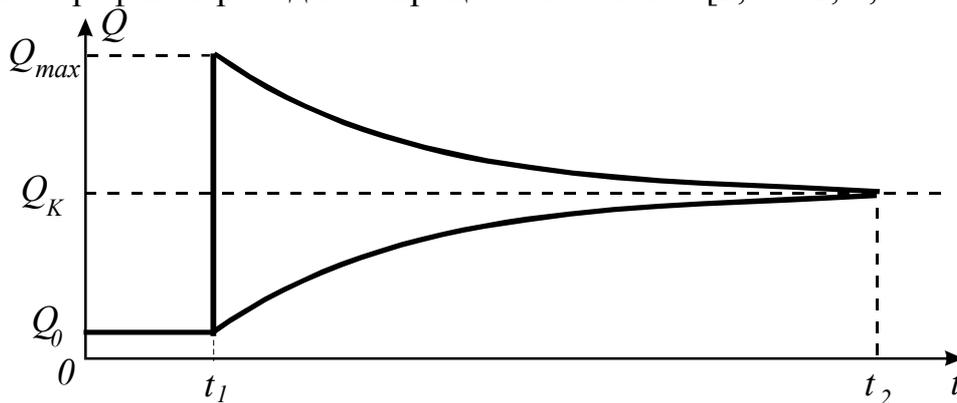
1.3.13. График переходного процесса в объекте, [2, с. 92; 5, с. 39]



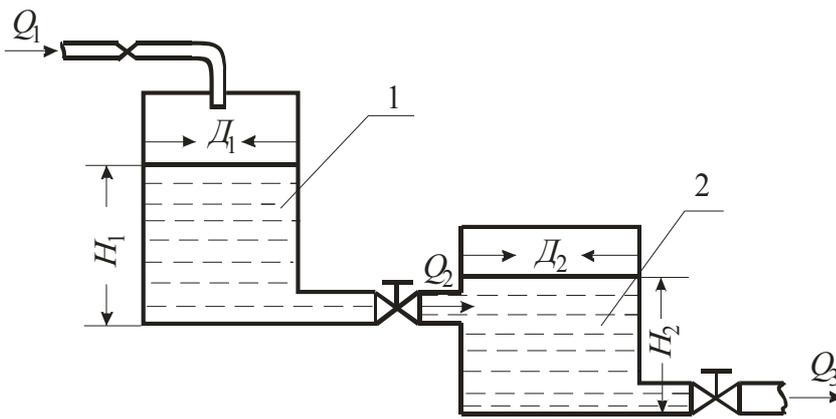
1. Не обладающем способностью к самовыравниванию.
- 2. Обладающем способностью к самовыравниванию.**

Если в момент времени  $t_1$  увеличить приток управляемой среды  $Q_1$ , то будет увеличиваться значение управляемого параметра  $H_1$ , и это приведет к увеличению стока  $Q_2$  до значения, соответствующего новому установившемуся значению  $Q_1$ . **Объект обладает способностью к самовыравниванию.**

1.3.14. График переходного процесса в объекте [2, с. 92; 5, с. 39]:



1. С самовыравниванием на стоке.
2. Без самовыравнивания.
- 3. С самовыравниванием на притоке и стоке.**
4. С самовыравниванием на притоке.



Для бака 2 уровень жидкости  $H_1$  влияет на приток  $Q_2$ , а уровень  $H_2$  – на сток  $Q_3$ . такому объекту свойственно самовыравнивание на притоке и стоке.

1.3.15. Объект с самовыравниванием называется [2, с. 92; 5, с. 39; 9, с. 83]:

- |                  |                        |
|------------------|------------------------|
| 1. Астатический. | <b>2. Статический.</b> |
| 3. Изодромный.   | 4. Комбинированный.    |

При коэффициенте самовыравнивания  $\rho > 0$  объект обладает положительным самовыравниванием и называется устойчивым **статическим** объектом.

1.3.16. Объект является астатическим, если коэффициент самовыравнивания будет [2, с. 92; 5, с. 39; 9, с. 83]:

- |                 |                 |                 |                 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. $\rho > 0$ . | 2. $\rho < 0$ . | 3. $\rho = 0$ . | 4. $\rho > 0$ . |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

При коэффициенте самовыравнивания  $\rho = 0$  объект автоматического управления является астатическим.

1.3.17. Объект, представленный интегрирующим звеном, [2, с. 92; 9, с. 83]

1. **Не обладает свойством самовыравнивания.**
2. Обладает свойством самовыравнивания.

Характерным свойством интегрирующего звена является непрерывное изменение во времени выходной величины при наличии входного воздействия. Поэтому объект, представленный интегрирующим звеном, не придет в равновесное состояние, то есть **не обладает свойством самовыравнивания.**

1.3.18. Объект с самовыравниванием представляется звеном [2, с. 92; 9, с. 85]:

- |                      |                           |
|----------------------|---------------------------|
| 1. Пропорциональным. | 2. Дифференцирующим.      |
| 3. Интегрирующим.    | <b>4. Апериодическим.</b> |

**Апериодическое звено 1-го порядка** (инерционное, одноемкостное, статическое) можно рассматривать состоящим из двух элементов: один аккумулирует вещество или энергию, а другой препятствует аккумуляции. Таким звеном представляется объект с самовыравниванием.

1.3.19. Может ли объект с отрицательным самовыравниванием или без самовыравнивания работать без автоматического регулятора [2, с. 92; 5, с. 39; 9, с. 85]?

- |        |                |
|--------|----------------|
| 1. Да. | <b>2. Нет.</b> |
|--------|----------------|

Объекты управления с отрицательным самовыравниванием и без самовыравнивания **не могут** работать без автоматических регуляторов. Поэтому самовыравнивание – одно из важнейших свойств объектов, определяющее эффективность управления.

1.3.20. Если изменение выходной величины объекта вызывает действие внутренних сил, уменьшающих внешнее воздействие аналогично отрицательной обратной связи, то такой объект характеризуется положительным самовыравниванием и является [2, с. 92; 9, с. 85]:

1. **Устойчивым статическим.**
2. Неустойчивым статическим.
3. Астатическим.
4. Изотропным.

При коэффициенте самовыравнивания  $\rho > 0$  в **устойчивом статическом** объекте увеличение выходной величины вызывает увеличение потерь энергии или уменьшение притока вещества.

1.3.21. Чем больше величина коэффициента самовыравнивания  $\rho$ , тем осуществить процесс автоматического управления [2, с. 92; 5, с. 39]:

1. Сложнее.
2. **Проще.**
3. Безразлично.
4. Невозможно.

Чем больше значение  $\rho$ , тем большим самовыравниванием обладает объект управления и тем **проще (легче)** им управлять.

1.3.22. Свойство элемента системы передавать воздействия от входа к выходу без искажений, но с отставанием во времени, называется [2, с. 93]:

1. Самовыравнивание.
2. **Запаздывание.**
3. Аккумулирующая способность.
4. Инерционность.

**Запаздывание** – свойство элемента системы передавать воздействия от входа к выходу без искажений, но с отставанием во времени. Для многих объектов управления характерно замедление протекания процессов, приводящее к запаздыванию изменения управляемого параметра. В зависимости от причин запаздывание разделяют на передаточное и переходное.

1.3.23. Время от момента подачи возмущения до момента, когда управляемый параметр достигнет своего нового установившегося значения, называется [2, с. 93]:

1. **Время разгона.**
2. Время запаздывания.
3. Постоянная времени.
4. Время регулирования.

**Время разгона  $T_p$**  – время от момента подачи возмущения до момента, когда управляемый параметр достигнет своего нового установившегося значения (практически 99%), служит для сравнения объектов между собой по динамическим свойствам.

1.3.24. Время, в течение которого регулируемый параметр после нанесения возмущения не изменяется, называется [2, с. 93]:

1. **Чистое запаздывание (передаточное, транспортное, дистанционное).**
2. Переходное (емкостное) запаздывание.
3. Полное запаздывание.

**Передаточное (транспортное) запаздывание  $\tau_0$**  объясняется наличием в объекте передаточных каналов (трубопроводов, транспортеров, теплопроводов и т.п.) между управляющим устройством и выходом объекта. Для прохождения передаточного канала требуется время, равное отношению длины канала к скорости движения вещества (энергии). Иногда это запаздывание называют **чистым**.

1.3.25. С увеличением постоянной времени объекта длительность переходного процесса [1, с. 99; 2, с. 93]:

1. **Пропорционально возрастает.**
2. Пропорционально уменьшается.
3. Не изменяется.
4. Резко уменьшается.

При расчетах чаще пользуются понятием постоянной времени  $T_0$  объекта, которая равна времени разгона объекта без самовыравнивания. При наличии в объекте емкости и самовыравнивания  $T_p = 4,6T_0$ .

1.3.26. При увеличении постоянной времени  $T_0$  условия управления объектом [1, с. 99; 2, с. 93]:

1. Не зависят.
2. Улучшаются.
3. **Ухудшаются.**
4. Значительно улучшаются.

Обычно увеличение постоянной времени  $T_0$  **ухудшает** условия управления объектом, поэтому при выборе систем стремятся к уменьшению как переходного, так и передаточного запаздывания.

1.3.27. Свойства объекта регулирования в первом приближении могут быть оценены по отношению времени запаздывания  $\tau$  к постоянной времени объекта  $T_0$ . Чем это отношение больше, тем задача автоматизации [1, с. 99; 2, с. 93]:

1. **Сложнее.**
2. Проще.
3. Безразлично.
4. Не решается.

Запаздывание принято оценивать временем передаточного запаздывания  $\tau_0$ , переходного (емкостного) запаздывания  $\tau_e$  и полного запаздывания  $\tau$ . Их определяют по кривым разгона:  $\tau = \tau_0 + \tau_e$ . Чем отношение  $\tau/T_0$  больше, тем задача автоматизации **сложнее**.

1.3.28. Характер поставленной задачи, условия проведения опытов, характер эксплуатационных возмущений, допустимые по технологическим требованиям отклонения исследуемой величины определяют выбор [1, с. 45]:

1. **Метода идентификации объекта.**
2. Регулятора.
3. Метода исследования САУ на качественные показатели работы.
4. Критерия устойчивости САУ.

В практике синтеза САУ нашли применение два **метода экспериментального определения (идентификации)** статических и

динамических характеристик объектов автоматизации – активный и пассивный. В первом случае испытательное воздействие стандартной формы задается искусственно, во втором – объект исследуется путем сопоставления выходных и входных величин в условиях нормальной эксплуатации объекта.

1.3.29. Идентификация объекта автоматизации может быть выполнена [1, с. 60]:

1. Только экспериментальными методами.
2. Только численными методами с применением ЭВМ.
- 3. Как экспериментальными, так и численными методами.**

Идентификация объекта управления может быть выполнена **как экспериментально, так и численными методами** с применением ЭВМ. При этом укрупненно должны быть решены две задачи: определение структуры дифференциального уравнения; определение коэффициентов этого уравнения.

1.3.30. Модель, под которой подразумевается совокупность уравнений и граничных условий, описывающих зависимость выходных величин от входных в установившемся и переходном режимах, называется [1, с. 41]:

1. Физическая.
- 2. Математическая.**
3. Электронная.

Различают **математическую** модель переходного режима (модель динамики) и **математическую** модель установившегося режима (модель статики).

1.3.31. В основе подобия модели и оригинала лежит [1, с. 41]:

1. Принцип действия.
- 2. Идентичность математического описания процессов в модели и оригинале.**
3. Конструктивное исполнение.
4. Основное назначение.

Подобие модели и оригинала основано на **идентичности математического описания процессов в модели и оригинале.**

1.3.32. Метод построения модели объекта, применимой для всего класса однотипных объектов, позволяющей оценить влияние конструктивно-технологических параметров объекта на его статические и динамические характеристики при невысокой точности описания, называется [1, с. 62]:

- 1. Аналитический.**
2. Экспериментальный.
3. Экспериментально-аналитический.

Недостаток **аналитического** метода, как правило, невысокая точность описания, поскольку его использование требует существенных упрощений задачи.

1.3.33. Метод построения модели, которая характеризуется большой точностью, а при использовании активного эксперимента и значительно меньшими трудозатратами, называется [1, с. 62]:

1. Аналитический.
- 2. Экспериментальный.**
3. Экспериментально-аналитический.

Недостаток **экспериментального** метода – невозможность применить модель для другого объекта и оценить влияние отдельных конструктивно-технологических параметров на характеристики объекта.

1.3.34. Большие перспективы имеет экспериментально-аналитический метод построения модели объекта, при котором [1, с. 62]:

**1. Уравнения статики и динамики составляют аналитическим методом, а коэффициенты этих уравнений находят экспериментально на реально существующих объектах.**

2. Статические и динамические характеристики снимают экспериментально, значения коэффициентов определяют аналитически.

При построении модели объекта весьма перспективным является **экспериментально-аналитический метод**. Критерий адекватности модели и объекта – близость результата численного решения дифференциального уравнения и экспериментальной переходной характеристики.

1.3.35. Модель объекта, полученная экспериментальным методом при условии, когда выходная величина однозначно определяется входной, называется [1, с.42]:

1. Статистическая.

**2. Детерминированная.**

Математическая модель может быть получена аналитическим или экспериментальным методом. В последнем случае она может быть **детерминированной**, когда выходная величина однозначно определяется входной, или статической, когда входные воздействия носят случайный характер.

1.3.36. Близость результата численного решения дифференциального уравнения и экспериментальной переходной характеристики является критерием [1, с.62]:

1. Оптимальности.

2. Михайлова.

**3. Адекватности модели и объекта.**

4. Гурвица.

**Критерий адекватности модели и объекта** используется при построении математической модели объекта экспериментально-аналитическим методом, когда уравнения статики и динамики составляют аналитическим методом, а коэффициенты этих уравнений находят экспериментально на реально существующих объектах.

1.3.37. Поэтапный порядок

- подготовка и планирование эксперимента. Изучается ТП, оборудование и устанавливаются взаимные связи между выходными и входными параметрами;
- проведение эксперимента. Каждая входная величина изменяется ступенчато в пределах рабочего диапазона и спустя  $(2-3)T_y$ , где  $T_y$  – длительность переходного процесса, фиксируется значение выходной величины  $y$ ;
- обработка результатов эксперимента. Метод четвертых разностей применяется для определения характеристики объекта [1, с.45]:

1. **Статической (активный эксперимент).**
2. Статической (пассивный эксперимент).
3. Динамической (активный эксперимент).
4. Динамической (пассивный эксперимент).

Для определения **статической характеристики** объекта управления используется активный эксперимент, включающий в себя три этапа: подготовку и планирование, проведение, обработку результатов эксперимента.

1.3.38. Линеаризация нелинейных статических характеристик осуществляется несколькими методами. Метод, основанный на разложении аналитической функции  $y=f(x)$  в ряд Тейлора и отбрасывании членов высшего порядка малости, называется [1, с.43]:

1. Метод касательной.
2. Метод секущей.

**3. Метод малых отклонений.**

Линеаризация нелинейных статических характеристик может быть осуществлена:

- 1) **методом малых отклонений;**
- 2) методом касательной;
- 3) методом секущей.

Первый из методов применяют, когда статическая характеристика задана аналитически, второй и третий – графически.

1.3.39. Для определения временной характеристики (кривой разгона) объекта надо провести [1, с.53]:

1. **Активный эксперимент с использованием периодического входного воздействия.**

**2. Активный эксперимент с использованием аperiodического входного воздействия.**

3. Пассивный эксперимент.

В качестве **aperiodического входного воздействия** используется ступенчатое возмущение (скачок) или прямоугольный импульс (единичный импульс первого рода), которые реализуются перестановкой регулирующего органа на 5...15% от величины его полного хода. Нагрузка объекта соответствует середине рабочего диапазона. Начало и конец **активного эксперимента** должны соответствовать установившемуся значению выходной величины. По результатам эксперимента находят единичную временную (переходную) характеристику.

1.3.40. Для определения комплексной частотной характеристики объекта надо провести [1, с.53]:

1. Пассивный эксперимент.

2. **Активный эксперимент с использованием аperiodического входного воздействия.**

### **3. Активный эксперимент с использованием периодического входного воздействия.**

Сущность **активного эксперимента с использованием периодического входного воздействия** заключается в подаче на вход объекта периодического воздействия  $x(t)$  определенной амплитуды  $A_{вх}$  и частоты  $\omega = 2\pi/T$  (здесь  $T$  – период воздействия) и фиксации колебаний выходной величины  $y(t)$  с целью определения зависимости амплитуды выходных колебаний  $A_{вых}(\omega)$  и сдвига фаз  $\varphi(\omega)$  между входными и выходными колебаниями от частоты  $\omega$ .

1.3.41. Сущность какого эксперимента заключается в подаче на вход объекта периодического воздействия  $x(t)$  определенной амплитуды  $A_{вх}$  и частоты  $\omega = 2\pi/T$  ( $T$  – период воздействия) и фиксации колебаний выходной величины  $y(t)$  с целью определения зависимости амплитуды выходных колебаний  $A_{вых}(\omega)$  и сдвига фаз  $\varphi(\omega)$  между входными и выходными колебаниями от частоты  $\omega$  [1, с.58]?

1. Активный эксперимент для определения статической характеристики объекта.

2. Пассивный эксперимент для определения статической характеристики объекта.

3. Активный эксперимент с использованием аperiodического входного воздействия для определения динамической характеристики объекта.

#### **4. Активный эксперимент для определения динамической характеристики объекта.**

Проведение **активного эксперимента с использованием периодического входного воздействия** для определения динамической характеристики объекта связано с техническими трудностями, поскольку продолжительность опыта на одной и той же частоте  $\omega$  определяется моментом стабилизации параметров выходных колебаний, на что уходит от 5 до 15  $T$  ( $T$  – период воздействия); кроме того, требуется максимально возможным образом исключить влияние других возмущений и контролировать смещение оси выходных колебаний.

1.3.42. При высоком уровне помех и в случае невозможности организовать требуемое детерминированное воздействие для построения модели объекта целесообразно применить [1, с.62]:

**1. Экспериментальный метод с пассивным экспериментом.**

2. Аналитический метод.

3. Экспериментальный метод с активным экспериментом.

Для определения динамических характеристик объектов автоматизации нашли применение два экспериментальных метода: активный и пассивный. **Пассивный эксперимент** применим при высоком уровне помех и в случае отсутствия возможности организовать требуемое детерминированное воздействие. В остальных случаях предпочтительнее активный эксперимент.

1.3.43. Для выполнения идентификации объекта автоматизации численными методами с применением ЭВМ необходимо [1, с.60]:

1. Только определить структуру дифференциального уравнения.
2. Только определить коэффициенты дифференциального уравнения.

**3. Определить структуру дифференциального уравнения и его коэффициенты.**

Решаются две задачи: **определение структуры дифференциального уравнения и определение коэффициентов этого уравнения.**

Сложнее вторая задача. Порядок ее решения таков: сначала численным методом решают дифференциальное уравнение (метод Рунга-Кутты), затем решают оптимизационную задачу (метод Розенброка) подбора коэффициентов уравнения, обеспечивающих  $\min E$ . При этом в качестве критерия адекватности принимается

функционал  $E = \int_0^t [y_0(t) - y(t)]^2 dt \rightarrow \min$ , где  $y_0(t)$  и  $y(t)$  соответственно

экспериментально полученная кривая разгона (служит эталоном) и решение дифференциального уравнения.

1.3.44. Графическая форма представления установки, поясняющая принцип действия и взаимодействия различных ее элементов, устройств или в целом системы автоматики, называется [2, с. 27; 3, с. 23]:

1. **Схема.**
2. Чертеж.
3. Эскиз.
4. График.

**Схема** служит для концентрированного и достаточно полного представления о составе и связях любого устройства или системы.

1.3.45. Схемы подразделяются на виды: электрические, гидравлические, пневматические, кинематические, комбинированные в зависимости от [2, с. 27; 3, с. 23]:

1. Основного назначения.
2. **Видов элементов и связей, входящих в состав установки.**
3. Конструктивного исполнения.
4. Принципа управления.

Комплекс различных технических устройств и элементов, входящих в **состав системы** управления и соединенных электрическими, механическими и другими **связями**, на чертежах изображают в виде различных схем: электрических, гидравлических, пневматических, кинематических и комбинированных.

1.3.46. Схемы подразделяются на типы структурные, функциональные, принципиальные, соединений (монтажные), подключения, общие, расположения в зависимости от [2, с. 28; 3, с. 23]:

1. **Основного назначения.**
2. Видов элементов и связей, входящих в состав установки.
3. Вида энергии.
4. Конструктивного исполнения.

Схемы, в зависимости от **основного назначения**, подразделяются на типы: структурные, функциональные, принципиальные, соединений (монтажные),

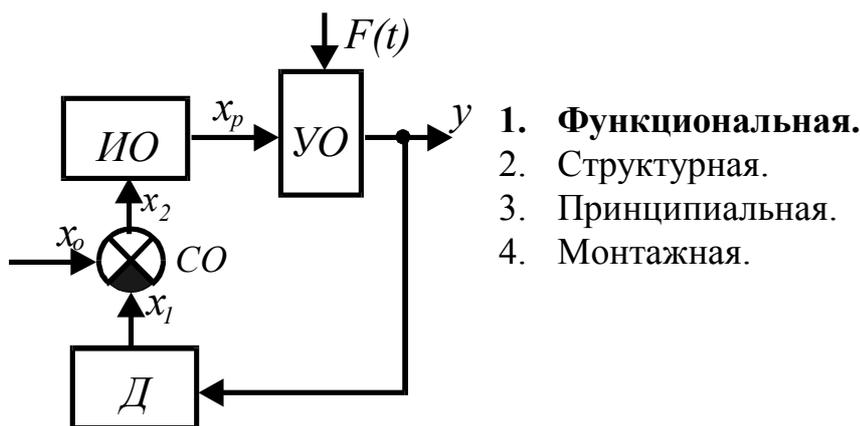
подключения, общие, расположения в зависимости от основного назначения. Для изготовления, настройки, регулировки, эксплуатации и ремонта системы (установки) необходимо иметь комплект схем.

1.3.47. Схема, отражающая взаимодействие устройств, блоков, узлов и элементов автоматики в процессе их работы, называется [2, с. 28; 3, с. 23]:

- |                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 1. Монтажная.      | 2. Структурная.           |
| 3. Принципиальная. | 4. <b>Функциональная.</b> |

**Функциональная схема** отражает взаимодействие элементов, блоков, узлов и устройств системы, характеризует их функциональные возможности. Элементы автоматики, в том числе и объект управления, на функциональных схемах изображают в виде четырехугольников, указывают начальные буквы названий этих элементов или функций, выполняемых ими. Входные и выходные сигналы элементов и объекта управления изображают в виде стрелок с соответствующим буквенным обозначением.

1.3.48. Изображена схема САУ с регулятором прямого действия [2, с. 28; 3, с. 24]:



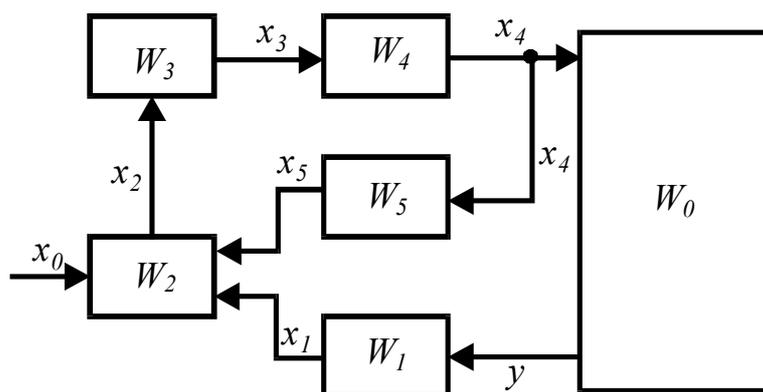
**Функциональная схема** предназначена для разъяснения процессов, протекающих в отдельных функциональных цепях или установке в целом, используется для анализа работы системы в статических режимах.

1.3.49. Схема, показывающая взаимосвязь составных частей САУ и характеризующая ее динамические свойства, называется [2, с. 29; 3, с. 25]:

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| 1. Функциональная. | 2. <b>Структурная.</b> |
| 3. Принципиальная. | 4. Монтажная.          |

**Структурная схема** – графическое изображение структуры системы автоматического управления (части системы). Схема отражает взаимосвязь составных частей системы (звеньев) и характеризует ее динамические свойства. Эта схема служит для анализа работы системы в переходных режимах.

1.3.50. Схема системы регулирования температуры теплоносителя зерносушилки [2, с. 29; 3, с. 24]:



1. Монтажная.
2. Принципиальная.
3. Функциональная.
4. Структурная.

**Структурная схема** составляется на основании функциональной схемы. Вначале определяют связи, по которым сигналы могут проходить только в одном (прямом) направлении. Звенья при этом соединяют определенным образом, указывая стрелками направление прохождения сигналов. Затем находят связи обратного происхождения сигналов и также наносят их на структурную схему. После этого в схему вводят возмущающие воздействия.

1.3.51. Схема, показывающая соединения составных частей установки и определяющая провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединения и ввода, называется [2, с. 30; 3, с. 28]:

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| 1. Монтажная.    | 2. Подключения.    |
| 3. Расположения. | 4. Принципиальная. |

**Монтажная схема** иллюстрирует соединения составных частей установки (системы) с помощью проводов, кабелей, трубопроводов и используется при ее монтаже, ремонте и эксплуатации.

1.3.52. Все аппараты и цепи имеют определенную цифровую и буквенную маркировки на схемах [2, с. 30; 3, с. 28]:

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| 1. Монтажных.      | 2. Структурных.  |
| 3. Функциональных. | 4. Расположения. |

Для правильного соединения проводов при монтаже и для облегчения эксплуатации все аппараты и цепи на схеме **соединений (монтажной)** получают определенную цифровую и буквенную маркировки. Маркировка обозначает в условном виде функциональное назначение и положение проводов и аппаратов в схеме.

1.3.53. Схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними, и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы установки, называется [2, с. 29; 3, с. 27]:

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| 1. Подключения.    | 2. Расположения. |
| 3. Принципиальная. | 4. Монтажная.    |

**Принципиальная электрическая схема** иллюстрирует порядок электрического соединения отдельных элементов установки между собой, дает основное представление о принципе ее работы. Является незаменимой при эксплуатации установки, часто называется универсальной схемой. Принципиальные схемы разделяют на совмещенные и разнесенные.

1.3.54. Выделяются цепи силовые, управления, контроля, сигнализации на схемах [2, с. 29; 3, с. 27]:

1. **Принципиальных.**
2. **Функциональных.**
3. **Структурных.**
4. **Расположения.**

**Принципиальную схему** обычно изображают в условных обозначениях без соблюдения масштаба и зачастую без учета действительного пространственного расположения составных элементов. Для удобства чтения выделяют цепи: силовые, управления, контроля, сигнализации.

1.3.55. На схемах должно быть количество изломов и пересечений линий связи [2, с. 29; 3, с. 27]:

1. Не должно быть.
2. Безразлично.
3. Наибольшее.
4. **Наименьшее.**

Чтобы не затруднялось восприятие (чтение) схемы, количество изломов и пересечений линий связи должно быть **минимальным**.

1.3.56. Все элементы одного аппарата на принципиальной схеме получают буквенное обозначение [2, с. 29; 3, с. 27]:

1. Различное.
2. **Одинаковое.**
3. Допускается и то и другое.

В системе (установке), как правило, задействован ряд однотипных изделий (узлов), поэтому все элементы одного аппарата на принципиальной схеме получают **одинаковое** буквенное значение.

1.3.57. Все элементы на электрической принципиальной схеме изображаются в положении, когда на нее [2, с. 29; 3, с. 27]:

1. Подано напряжение.

**2. Отсутствует напряжение и на отдельные элементы не действуют никакие механические воздействия.**

3. На отдельные элементы схемы действуют механические воздействия.

Элементы автоматики на электрической принципиальной схеме должны обозначаться в соответствии с ГОСТ. Изображение элементов обязано отвечать **обесточенному состоянию** всех цепей схемы и **отсутствию внешних механических воздействий на аппаратуру** (так называемое нормальное состояние). Это является отправной точкой при чтении схемы.

1.3.58. Пуск и остановка электродвигателей всех машин и механизмов поточной линии производится [3, с. 27]:

1. **Пуск – против движения продукта, остановка – по ходу его движения.**
2. Пуск – по ходу движения продукта, остановка – против его движения.

3. Пуск и остановка – против движения продукта.
4. Пуск и остановка – по ходу движения продукта.

Схема автоматического управления поточной линией в рабочем режиме должна обеспечить **пуск** электродвигателей всех машин и механизмов – **против движения продукта** (с последней машины), **остановку** – **по ходу его движения** (с головной машины).

1.3.59. Схемой автоматического управления поточной линией должна быть предусмотрена производственная остановка ее в такой последовательности [3, с. 27]:

**1. Сначала останавливается головной механизм, а затем с выдержкой времени все остальные машины, освободившиеся от продукта.**

2. Все машины останавливаются одновременно.

3. Машины останавливаются в последовательности против движения продукта.

Схема автоматического управления поточной линией должна обеспечить производственную остановку линии в такой последовательности: **сначала останавливается головной механизм** (прекращается поступление продукта), **а затем с выдержкой времени все остальные машины, освободившиеся от продукта.**

1.3.60. При аварийном отключении одной из машин поточной линии должны останавливаться без выдержки времени [3, с. 27]:

1. Все машины поточной линии.

**2. Все машины, работающие на ее загрузку.**

3. Все машины, работающие на ее разгрузку.

Схема автоматического управления поточной линией должна обеспечить остановку без выдержки времени **всех машин, работающих на загрузку аварийной** (выведенной из работы) машины. Это исключит завал аварийной машины продуктом.

1.3.61. Принципиальные электрические схемы читают [2, с. 29; 3, с. 27]:

1. Справа налево, сверху вниз.

**2. Слева направо, сверху вниз.**

3. Справа налево, снизу вверх.

4. Безразлично.

Принципиальная электрическая схема должна быть логически последовательной и читаться **слева направо, сверху вниз.**

1.3.62. Для изготовления, настройки, регулировки, эксплуатации и ремонта установки необходимо иметь [2, с. 29; 3, с. 23]:

**1. Комплект схем.**

2. Только принципиальную схему.

3. Только монтажную схему.

4. Только функциональную схему.

Чтобы получить детальное представление о принципе работы установки (системы), выполнить ее монтаж и настройку, осуществить обслуживание и ремонт при определенных регламентируемых условиях эксплуатации необходимо иметь **полный комплект схем.**

## ГЛАВА 2

### ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

#### 2.1. Основные понятия о государственной системе приборов (ГСП)

2.1.1. Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется [7, с. 6]:

1. Автоматика. 2. Телемеханика. 3. Кибернетика. 4. **Метрология.**

**Метрология** – отрасль науки и техники, рассматривающая все вопросы, связанные с измерениями.

2.1.2. Совокупность изделий (на основе базовых конструкций с унифицированными структурами и конструктивными параметрами), предназначенных для получения, обработки и использования информации, называется [13, с.10]:

1. **Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации.**

2. Система единиц физических величин.

3. Международная система единиц (СИ). 4. Измерительная система.

В целях унификации технических систем контроля и регулирования ТП создана **государственная система промышленных приборов и средств автоматизации ГСП**. Метрологические показания, термины и определения стандартизованы, и их применение обязательно в литературе и практической деятельности в области измерений.

2.1.3. Нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств называется [7, с.6]:

1. **Измерение.**

2. Экспериментальная операция.

3. Наблюдение.

4. Измерительная информация.

Все **измерения** независимо от времени и места их осуществления должны обеспечивать единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

2.1.4. Точное предписание о выполнении в определенном порядке совокупности операций, обеспечивающих измерение значения физической величины, называется алгоритм [7, с.6]:

1. Управления.

2. Функционирования.

3. **Измерения.**

4. Адаптации.

**Алгоритм измерения** – точное предписание о выполнении в определенном порядке совокупности операций, обеспечивающих измерение значения физической величины.

2.1.5. Воспроизведение единицы физической величины, преобразование исследуемого сигнала, сравнение значения измеряемой физической величины с единицей, воспроизводимой мерой и фиксация результата сравнения являются основными слагаемыми [7, с.7]:

1. Наблюдения.
2. Экспериментальной операции.
- 3. Измерения.**
4. Измерительной информации.

**Единицей физической величины** является физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице.

2.1.6. Техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства, называется [7, с.7]:

1. Вспомогательное средство.
- 2. Средство измерений.**
3. Измерительная система.
4. Измерительный комплекс.

**Средства измерений** в зависимости от их назначения делятся на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и измерительные системы. В свою очередь, каждое из средств измерений может быть образцовым или рабочим.

2.1.7. Информация о значениях измеряемых физических величин, полученная при помощи средств измерений, называется [7, с.8]:

1. Мера.
2. Наблюдение.
- 3. Измерительная информация.**
4. Отсчет.

**Измерительная информация** – информация о значениях измеряемых физических величин, полученная при помощи средств измерений.

2.1.8. Средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера, называется [7, с.8]:

1. Измерительный прибор.
- 2. Мера.**
3. Измерительный преобразователь.
4. Измерительная система.

По назначению **меры** разделяются на образцовые и рабочие. По воспроизводимым значениям – на однозначные (воспроизводят физическую величину одного размера), многозначные (воспроизводят ряд одноименных величин разного разряда) и наборы (набор мер содержит комплект мер, применяемых как в отдельности, так и в различных сочетаниях).

2.1.9. Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем, называется [7, с.7]:

1. Измерительный преобразователь.
- 2. Измерительный прибор.**
3. Передающий преобразователь.
4. Измерительная система.

**Измерительные приборы** состоят из измерительных преобразователей и отсчетного устройства. Измерительные приборы различают по: принципу действия преобразователей, роду тока, диапазону частот, виду информации, форме информации, применению, условиям работы и т.д.

2.1.10. Приборы прямого действия и приборы сравнения различают в зависимости от [7, с.15]:

1. Принципа действия.
2. Назначения.

**3. Вида преобразования измерительной информации.**

4. Устойчивости к механическим воздействиям.

В приборе прямого действия предусмотрено одно или несколько **преобразований сигнала измерительной информации** в одном направлении без применения обратной связи. Прибор сравнения предназначен для сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно.

2.1.11. Измерительные приборы делятся на аналоговые, цифровые, показывающие, регистрирующие, самопишущие, печатающие, интегрирующие и суммирующие в зависимости от [7, с.15]:

1. Назначения.
2. **Способа представления показаний.**
3. Конструктивного исполнения.
4. Принципа действия.

Измерительные приборы имеют различные **способы представления показаний.**

Аналоговый прибор. Показания являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины.

Цифровой прибор вырабатывает дискретные сигналы измерительной информации. Его показания представлены в цифровой форме.

Показывающий прибор позволяет только отсчитывать показания.

Регистрирующий прибор дает возможность регистрировать величину.

Самопишущий прибор предусматривает запись показаний в форме диаграммы.

Печатающий прибор печатает показания в цифровой форме.

Интегрирующий прибор. Подводимая величина подвергается интегрированию по времени или по другой независимой переменной.

Суммирующий прибор. Показания функционально связаны суммой двух или нескольких величин, подводимых к нему по различным каналам.

2.1.12. Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем, называется [7, с.7]:

1. Передающий преобразователь.
2. Измерительная система.
3. **Измерительный преобразователь.**
4. Измерительный прибор.

**Измерительный преобразователь** является составной частью измерительного прибора. Их различают в зависимости от функций, выполняемых в измерительной цепи (первичные, промежуточные, передающие и т.д.) и назначения (электромеханические, термоэлектрические и т.д.).

2.1.13. Измерительные преобразователи подразделяются на первичные, промежуточные, передающие и масштабные в зависимости от [7, с.7]:

1. Конструктивного исполнения.
2. Принципа работы.
3. Вида преобразования измерительной информации.

**4. Функций, выполняемых преобразователями в измерительной цепи.**

**Масштабные преобразователи** предназначены для изменения значения электрической величины в заданное число раз. К ним относятся делители напряжения, измерительные трансформаторы, измерительные усилители.

2.1.14. Выделяют измерительные преобразователи механических, тепловых, химических, биологических и других физических величин по [7, с.158]:

1. Принципу действия.
2. Конструктивному исполнению.
3. Назначению.
4. Динамическим свойствам.

Измерительные преобразователи подразделяют в зависимости от их назначения: преобразователи механических, тепловых, химических, биологических и других физических величин.

2.1.15. Технические средства непосредственного взаимодействия с объектом автоматизации, осуществляющие преобразование параметров в унифицированный электрический сигнал или унифицированного сигнала в управляющее воздействие на процесс входят в группу электрической ветви ГСП [1, с.63]:

1. I.
2. II.
3. III.
4. IV.
5. V.

Электрическая ветвь ГСП делится на пять уровней (групп) технических средств:

1. I.
2. II.
3. III.
4. IV.

5. V – средства вычислительной техники для решения задач автоматизации процессов организационно-экономического управления производством и предприятиями.

2.1.16. Средства контроля, регулирования и управления для централизованных АСУ ТП на базе управляющей вычислительной техники, телемеханики входят в группу электрической ветви ГСП [1, с.63]:

1. I.
2. II.
3. III.
4. IV.

Электрическая ветвь ГСП делится на пять уровней (групп) технических средств:

1. I.

2. II – вторичные приборы и регуляторы со встроенным датчиком для простых локальных систем автоматизации.

3. III.
4. IV.
5. V.

2.1.17. Кроме приборов, входящих в ГСП, в сельскохозяйственной автоматике применяется большое количество технических средств, оперирующих неунифицированными сигналами измерительной информации. Эти технические средства вписываются в группу функционально-целевой структуры [1, с.65]:

1. **Только I и II.**
2. III.
3. IV.
4. V.

Электрическая ветвь ГСП делится на пять уровней (групп) технических средств:

1. I.
2. II.

3. III – средства централизованного контроля, регулирования и управления для сложных систем автоматизации (АСУ ТП), отличающиеся наличием цифровой обработки информации.

4. IV.
5. V.

2.1.18. Входные и выходные сигналы приборов, входящих в ГСП унифицированы. Укажите сигнал напряжения постоянного тока [1, с.64]:

1. 0...5; 5...0...5; 0...20 mA.
2. **0...1; 1...0...1; 0...10; 10...0...10 В.**
3. 0,25...0...0,25; 0...0,5; 1...0...1; 0...2 В.
4. 0,02...0,1 МПа.

1. Сигнал постоянного тока.

2. **Сигнал напряжения постоянного тока.**

3. Сигнал напряжения переменного тока частотой 50 и 400 Гц.

4. Пневматический сигнал с пределами изменения давления.

2.1.19. Измерения делятся на прямые, косвенные, совокупные и совместные в зависимости от [7, с.20]:

1. **Приемов получения результатов.**
2. Назначения измерительных приборов.
3. Вида измеряемой величины.
4. Типа измерительных приборов.

Измерения, в зависимости от **приемов получения результатов**, бывают прямые (измерение напряжения при помощи вольтметра), косвенные (измерение электрической мощности постоянного тока при помощи вольтметра и амперметра,  $P=UI$ ), совокупные (одновременно измеряют одноименные величины) и совместные (измерения двух или нескольких неоднородных величин с одновременным нахождением зависимости между ними).

2.1.20. Прием, или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с используемым принципом измерений называется [7, с.19]:

1. **Метод измерений.**
2. Методика измерений.
3. Отсчет.
4. Показание средства измерений.

Основными **методами измерений** являются методы непосредственной оценки и сравнения с мерой. Совокупность приемов использования принципов и средств измерений оказывают основное влияние на метод измерения. Физические явления, на которых основаны измерения, определяют принцип измерений.

2.1.21. Методы: противопоставления, дифференциальный, нулевой, замещения и совпадений входят в группу методов измерений [7, с.19]:

1. Непосредственной оценки.
2. Сравнения с мерой.

Метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой, называется методом **сравнения с мерой** (например, измерение сопротивления при помощи моста).

2.1.22. Совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи и предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, которая удобна для автоматической обработки, передачи и использования в системах автоматического управления, называется [7, с.8]:

1. **Информационная измерительная система.**
2. Система автоматического контроля.
3. Система технической диагностики.
4. Система распознавания образов (идентификации).

Средства измерений, используемые для построения **измерительных систем**, характеризуются совместимостью, унификацией элементной базы и конструктивным единообразием. Дальнейшее развитие автоматизации технологических процессов производства и автоматизированных систем управления связано с использованием измерительных систем.

## 2.2. Датчики

2.2.1. Устройство, которое обеспечивает восприятие и функциональное преобразование изменений входной величины в изменения выходной величины, удобной для измерения, усиления и передачи на расстояние, называется [2, с. 23; 3, с. 29]:

1. **Датчик.**
2. Усилитель.
3. Стабилизатор.
4. Распределитель.

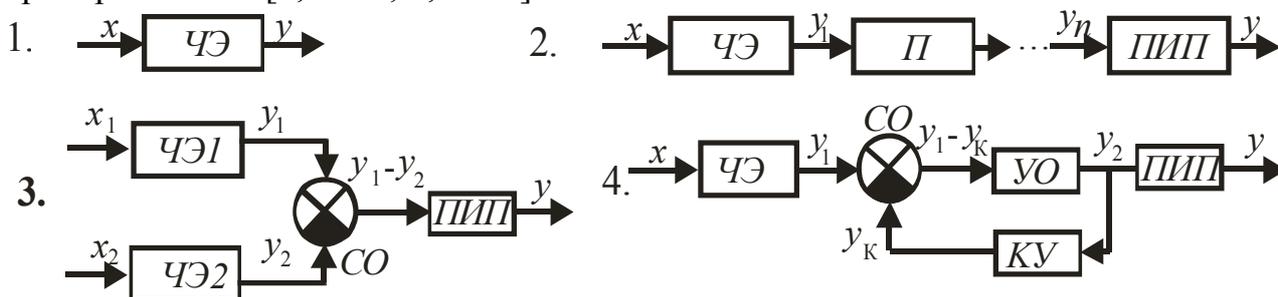
Необходимую для управления информацию о состоянии объекта и внешних воздействиях получают в виде значений отдельных физических величин с помощью соответствующих **технических устройств (измерительных преобразователей)**. Эту физическую величину, удобную для передачи и дальнейшего преобразования в системе автоматики называют сигналом. Он однозначно связан с контролируемой физической величиной или параметром того или иного технологического процесса.

2.2.2. По схемам компенсационной, сравнения (дифференциальной), каскадной, с непосредственным преобразованием выполняют [2, с.96]:

1. Стабилизаторы.
2. Усилители.
3. Распределители.
4. Датчики.

Простейший датчик представляется одним преобразователем. Последовательное соединение измерительных преобразователей (каскадная схема) применяют в том случае, когда однократное преобразование не дает удобного для использования выходного сигнала. Схема измерительного преобразователя с обратной связью (компенсационная) характеризуется высокой точностью, универсальностью и малой зависимостью коэффициента преобразования от внешних возмущений.

2.2.3. Укажите датчик, построенный по дифференциальной схеме преобразования [2, с. 96; 3, с. 30]:



При **дифференциальной схеме** устраняется влияние на результат преобразования искажающих внешних факторов благодаря сопоставлению (сравнению) преобразованной и некоторой эталонной величин, одинаково подверженных действию этих факторов (примеры: датчик давления с пружинным задающим устройством, датчик движения сока в стебле растения и т.п.).

2.2.4. Датчики делятся на параметрические и генераторные по [2, с. 95; 3, с. 29]:

1. Принципу действия.
2. Виду входной величины.
3. Виду выходной величины.
4. Конструктивному исполнению.

Особенностью схем **параметрических датчиков** является наличие в них источников питания, которые необходимы для выявления изменений параметра электрической цепи под воздействием входной (регулируемой или контролируемой) величины. **Генераторные датчики** осуществляют непосредственное преобразование различных видов энергии в электрическую.

2.2.5. Датчики, осуществляющие восприятие и непосредственное преобразование различных видов энергии в электрическую, относятся к группе [2, с. 95; 3, с. 30]:

1. Параметрических.
2. Генераторных.

К **генераторным датчикам** относятся электромагнитные (индукционные), основанные на эффекте Холла, пьезоэлектрические, оптические, термоэлектрические преобразователи. При воздействии входной величины

(магнитное поле, температура, световой поток и т.д.) на выходе генерируется сигнал в виде напряжения или тока.

2.2.6. Величина  $x$  преобразуется в величину  $y$  за счет энергии дополнительного источника в датчиках [2, с. 96; 3, с. 30]:

1. Генераторных.

2. **Параметрических.**

**Параметрическими** являются резистивные (контактные, реостатные и тензопреобразователи), электростатические, электромагнитные (индуктивные магнитоупругие и другие преобразователи).

2.2.7. Различают датчики механического перемещения, скорости, ускорения, температуры, момента вращения, уровня жидкости, давления, влажности и т.п. в зависимости от [3, с. 30]:

1. Динамических свойств.

2. Вида используемой энергии.

3. Вида выходной величины.

4. **Вида входной величины.**

В качестве **входной величины** датчика может быть любой параметр технологического процесса (уровень жидкости, температура, давление, влажность и т.д.).

2.2.8. Различают датчики постоянного тока, амплитуды переменного тока, частоты переменного тока, фазы переменного тока в зависимости от [3, с. 30]:

1. **Вида выходной величины.**

2. Динамических свойств.

3. Конструктивного исполнения.

4. Функционального назначения.

Датчики различают в зависимости от **вида выходной величины**: постоянного тока, амплитуды переменного тока, частоты переменного тока, фазы переменного тока.

2.2.9. Статическим передаточным коэффициентом  $k$  датчика как

элемента автоматики является [2, с. 26; 3, с. 31]:



1.  $k = \frac{y}{x}$ .

2.  $k = \sum_{i=1}^n k_i$ .

3.  $k = \frac{\Delta y}{\Delta x}$ .

4.  $k = \frac{dy}{dx}$ .

Статический передаточный коэффициент датчика ( $k=y/x$ ) как элемента автоматики представляет собой отношение выходной величины  $y$  и входной величины  $x$ .

2.2.10. Условия работы датчиков по сравнению с другими элементами автоматики [2, с. 95]:

1. **Наиболее тяжелые.**

2. Наиболее легкие.

3. Одинаковые.

Датчик работает в **наиболее тяжелых** условиях по сравнению с другими элементами автоматики. При непосредственном контакте с контролируемой средой датчик подвергается воздействию различного рода (механических, электрических,

магнитных, термических, химических и др.) факторов, которые изменяют его параметры и характеристики.

2.2.11. Способность датчика реагировать на изменения только того параметра, для восприятия которого он предназначен, называется [2, с.95]:

1. **Избирательность.**
2. Стабильность.
3. Направленность действия.
4. Чувствительность.

В зависимости от конкретных условий применения датчиков к ним предъявляются самые различные требования. Одно из них – **высокая избирательность**, то есть датчик должен реагировать только на изменения той величины, для восприятия которой он предназначен (датчик температуры должен реагировать на изменения температуры и т.д.).

2.2.12. Какой принцип положен в основу работы термодатчика [2, с. 118]?

1. Появление электрических зарядов на поверхности датчика под действием механических напряжений или деформаций.

2. Увеличение электрического сопротивления проводников и полупроводников в магнитном поле.

3. Изменение активного сопротивления в зависимости от величины усилия сжатия.

**4. Температурная зависимость сопротивлений металлов и полупроводников.**

**Температурная зависимость сопротивлений металлов**

$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$  и **полупроводников**  $R_T = R_\infty e^{\frac{B}{T}}$ , где  $\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления, 1/град;  $B$  – постоянный коэффициент, характеризующий термочувствительность полупроводникового резистора.

2.2.13. Термодатчики служат для восприятия изменений, их функционального преобразования при измерении [2, с. 116]:

1. **Температуры.**
2. Влажности.
3. Частоты вращения.
4. Освещенности.

**Датчики температуры**, принцип работы первичных измерительных преобразователей которых основан на различных явлениях: изменении линейных размеров твердых и объема жидких и газообразных тел под действием температуры; изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников, возникновении термоЭДС в разнородных проводниках. К этой группе датчиков относятся: контактные термометры расширения, дилатометрические преобразователи, биметаллические преобразователи, манометрические датчики температуры, термопары, металлические преобразователи, термисторы, позисторы и др.

2.2.14. Из какого материала изготавливаются термометры сопротивления [2, с. 119; 3, с. 69]?

1. Медь, нихром.
2. Нихром, железо.
3. Железо, алюминий.
4. Из чистых металлов.

У металлических термометров сопротивления (терморезисторов) проволока, изготавливаемая из **чистых металлов** (медь, железо, никель, платина) намотана на изоляционный каркас и закрыта защитным кожухом. Выводы закреплены в изоляционной колодке.

2.2.15. Какая зависимость справедлива для термодатчика ( $E$  – ЭДС;  $R$  – сопротивление;  $T$  – температура;  $I$  – ток) [2, с. 120; 3, с. 67]?

1.  $E = f(T)$ .
2.  $R = f(T)$ .
3.  $T = f(I)$ .
4.  $I_{\phi} = f(\Phi)$ .

В основе работы термометров сопротивления (терморезисторов) используется зависимость электрического сопротивления  $R$  металлов и полупроводников от температуры  $T$   $R=f(T)$ .

2.2.16. Электрическое сопротивление термистора в широком интервале температур может быть выражено зависимостью ( $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления;  $B$  – постоянный коэффициент, характеризующий термочувствительность полупроводникового резистора) [2, с. 119; 3, с. 70]:

1.  $R_T = R_{\infty} e^{\frac{B}{T}}$ .
2.  $R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$ .

Нелинейность характеристик ограничивает применение **термисторов** при измерениях температуры в узких пределах. Большой разброс по номинальному сопротивлению затрудняет их взаимозаменяемость.

2.2.17. Может ли термистор работать на переменном токе [2, с. 119]?

1. Да.
2. Нет.

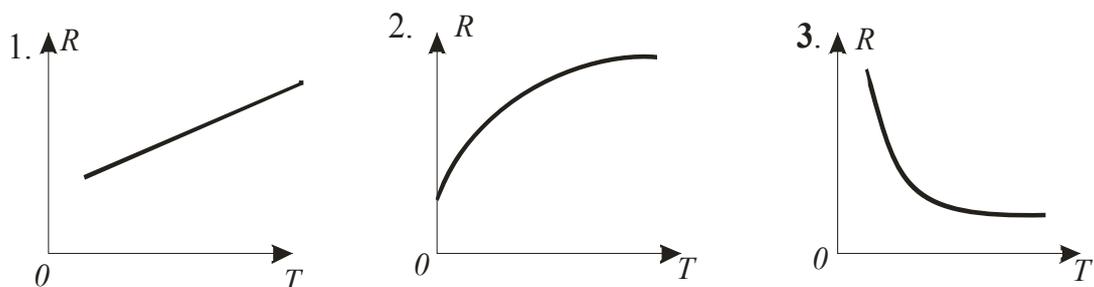
Терморезисторы могут включаться в простейшие неперверсивные, дифференциальные и мостовые схемы.

2.2.18. Какая зависимость справедлива для термопары [2, с. 113; 3, с. 69]?

1.  $R = f(T)$ .
2.  $E = f(T)$ .
3.  $T = f(I)$ .
4.  $I_{\phi} = f(U)$ .

**Термопара** преобразователь температуры генераторного типа, у которого при нагревании горячего спая на свободных концах (холодных) возникает термо-ЭДС, пропорциональная температуре нагрева,  $E = f(T)$ . Термопары применяются в диапазоне температур от 373 до 3000°К. Чувствительность их обычно невелика и составляет 0,01-0,07 мВ на 274°К.

2.2.19. Какая кривая соответствует зависимости  $R = f(T)$  полупроводникового термосопротивления [2, с. 119]?



**Термистор** полупроводниковое термосопротивление, у которого при повышении температуры сопротивление уменьшается, имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Характеристика  $R = f(T)$  терморезисторов подчиняется убывающему экспоненциальному закону.

2.2.20. В каких случаях может возникнуть в термопаре термо-ЭДС [2, с. 113; 3, с. 69]?

1. При двух разнородных термоэлектродах и различных температурах рабочего и свободных концов.

2. При двух разнородных термоэлектродах и одинаковых температурах рабочего и свободных концов.

3. При двух одинаковых (однородных) термоэлектродах и различных температурах рабочего и свободных концов.

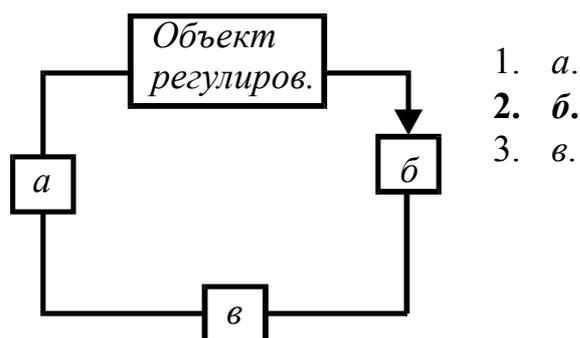
Конструктивно термопара состоит из двух разнородных, специально подобранных проводников, одни концы которых сварены между собой, а другие подсоединены на вторичный прибор. Рабочий (горячий) спай помещают в защитный кожух и устанавливают в месте контроля температуры. Если температура свободных холодных спаев термопары отличается от температуры горячего спаев, то вследствие термоэлектрического эффекта на электродах возникает термо-ЭДС, пропорциональная разности температур.

2.2.21. Для измерения каких температур нельзя использовать ртуть [2, с. 118]?

1. +613°K.
2. +413°K.
3. 233°K.
4. +373°K.

Термометры сопротивления (терморезисторы) широко применяют в технике для измерения температур в пределах от 73° до +973°K.

2.2.22. Укажите место включения термодатчика в замкнутой системе регулирования [2, с. 28]:



1. а.
2. б.
3. в.

Датчик служит для восприятия изменений выходной величины (регулируемой, контролируемой) объекта, которая одновременно является входной величиной датчика (**б**).

2.2.23. Чувствительность  $k_D$  полупроводникового терморезистора равна ( $a_0$  – коэффициент пропорциональности;  $C$  – емкость датчика;  $a$  – постоянный коэффициент;  $F$  – усилие сжатия;  $m$  – масса;  $r$  – радиус;  $\omega$  – угловая скорость) [2, с. 120; 3, с. 70]:

$$1. k_D = 2amr\omega. \quad 2. k_D = -\frac{a}{F^2}. \quad 3. k_D = \alpha R_T. \quad 4. k_D = \frac{a_0}{C}.$$

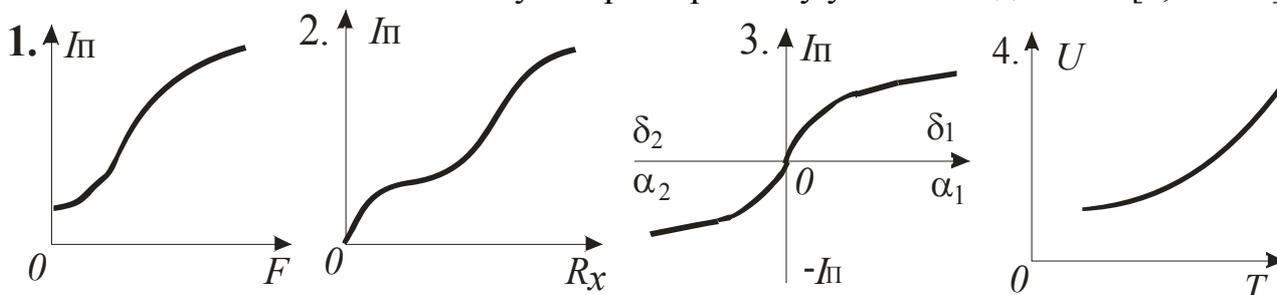
Чувствительность полупроводникового терморезистора  $k = dR_T/dT = \alpha R_T$ , где  $\alpha$  – температурный коэффициент термистора ( $\alpha = -B/T^2$ ). Чувствительность термисторов в 5-30 раз выше чувствительности металлических терморезисторов.

2.2.24. Размерность коэффициента чувствительности полупроводникового термодатчика [2, с. 120; 3, с. 70]:

1. В/Н.                      2. Ом/Н.                      3. Нрад/с.                      4. **Ом/°К.**

Промышленность выпускает медно-марганцевые (ММТ), кобальтомарганцевые (КМТ), косвенного подогрева (ТКП) и другие термисторы для температуры от  $-230^\circ\text{К}$  до  $523^\circ\text{К}$ . Коэффициент чувствительности термистора  $k = dR_T/dT$  (Ом/°К).

2.2.25. Укажите статическую характеристику угольного датчика [2, с. 100]:



**Угольные датчики** используют принцип изменения собственного электрического сопротивления  $R$  (Ом) в зависимости от усилия сжатия  $F$  (Н). Основные недостатки: нестабильность сопротивления, наличие гистерезиса и нелинейность характеристики.

2.2.26. Какое физическое явление положено в основу работы фотоэлектрического преобразователя [2, с. 107]?

1. Пьезоэлектрический эффект.                      2. **Фотоэлектрический эффект.**  
3. Эффект Холла.    4. Явление термоэлектричества.

**Фотоэлектрический эффект** – физическое явление, положенное в основу работы фотоэлектрического преобразователя. Повышение электропроводности полупроводника под действием световой энергии носит название внутреннего



сопротивлений затемненного и освещенного резисторов, размеры) приводится и **удельная чувствительность**.

2.2.32. Каков порядок величины темнового сопротивления фоторезисторов [2, с. 108; 14, с. 168]?

1.  $10^1-10^3$  Ом.    2.  $10^4-10^8$  Ом.    3.  $10^9-10^{12}$  Ом.    4.  $10^{13}-10^{16}$  Ом.

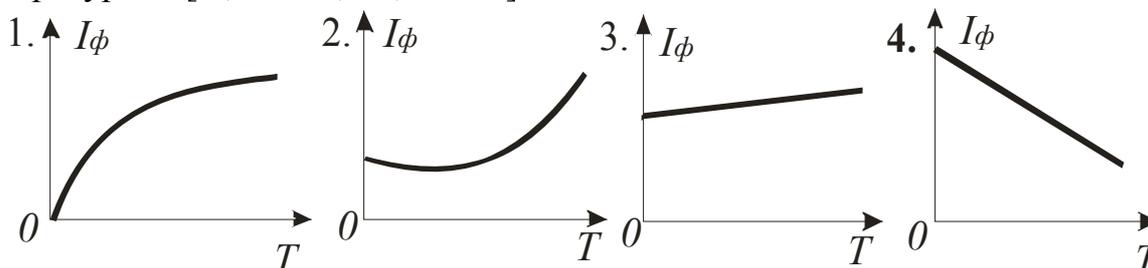
Сопротивление неосвещенных фоторезисторов (темновое сопротивление) колеблется в пределах  $10^4-10^8$  Ом. Наличие темнового тока является недостатком фоторезисторов.

2.2.33. Как изменяется темновой ток фоторезистора с увеличением температуры [2, с. 111; 14, с. 166]?

1. Уменьшается незначительно.    2. Увеличивается.  
3. Не изменяется.    4. Резко уменьшается.

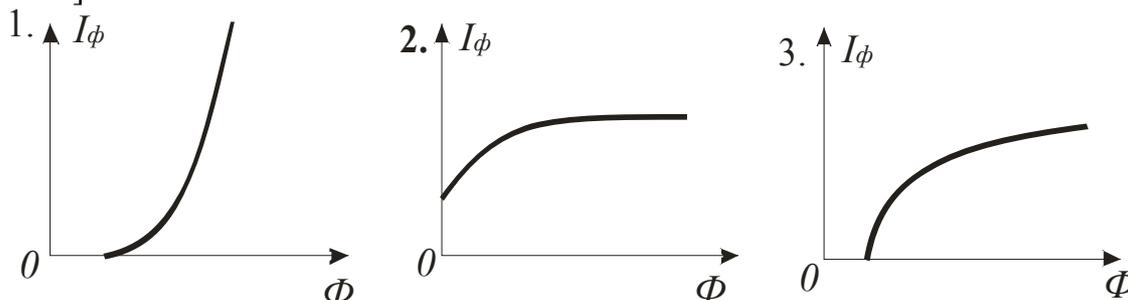
Для полупроводниковых фотовоспринимающих органов характерно наличие темнового тока, обусловленного конечным значением сопротивления элемента при отсутствии освещенности. Зависимость темнового тока от температуры следует из зависимости от температуры концентрации носителей заряда в полупроводнике.

2.2.34. Укажите типовую зависимость фототока фоторезистора  $I_\phi$  от температуры  $T$  [2, с. 111; 14, с. 169]:



Недостатки фоторезисторов: **зависимость их параметров от температуры**, нелинейная зависимость силы фототока от светового потока, относительно высокая инерционность (постоянная времени у них порядка  $3 \cdot 10^{-3}-3 \cdot 10^{-5}$  с при световом потоке  $10^{-5}$  лм).

2.2.35. Укажите типовую световую характеристику фоторезистора. [2, с. 111; 14, с. 166]:



**Световая характеристика фоторезистора (при наличии темнового тока)** обладает существенной нелинейностью. Нелинейность объясняется тем, что с ростом светового потока увеличивается не только количество носителей зарядов, но, в еще большей степени, и их рекомбинация.

2.2.36. Какой порядок величины удельной чувствительности фото-резистора [2, с. 112; 14, с. 168]?

1. 1...300 мкА/лм·В.
2. **500...30000 мкА/лм·В.**
3. 1...10 А/лм·В.
4.  $10^{-2} \dots 10^{-5}$  с.

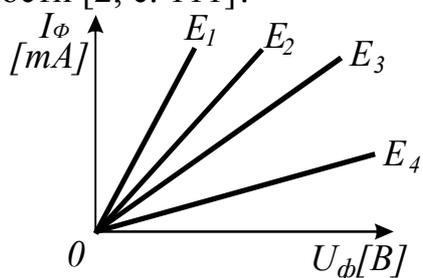
Достоинствами фоторезисторов являются большая чувствительность, простота конструкции и использования. Удельная чувствительность фоторезисторов находится в пределах **500...30000 мкА/лм·В**.

2.2.37. Интегральная чувствительность фоторезистора определяется по формуле [2, с. 112; 14, с. 167]:

1.  $S_{y\partial} = \frac{1}{U} \frac{\partial I}{\partial \Phi}$ .
2.  $v_{\min} = \frac{e\varphi_0}{h}$ .
3.  $S_u = \frac{\partial I}{\partial \Phi}$ .
4.  $k_D = -\frac{a}{F^2}$ .

**Интегральная чувствительность (мкА/лм)** численно равна силе фототока, протекающего по короткозамкнутой цепи фотовоспринимающего элемента под действием единицы светового потока, не разложенного в спектр.

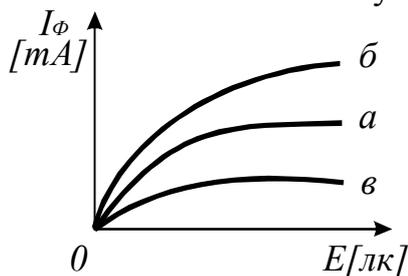
2.2.38. Какая из вольтамперных характеристик получена при наименьшей освещенности [2, с. 111]?



1.  $E_1$ .
2.  $E_2$ .
3.  $E_3$ .
4.  **$E_4$ .**

Вольтамперная характеристика  $I_\phi = f(U)$  представляет собой зависимость тока  $I_\phi$  фотовоспринимающего органа от напряжения  $U$  при постоянной освещенности  $E$ . Наиболее мягкая характеристика получена при **наименьшей освещенности  $E_4$** .

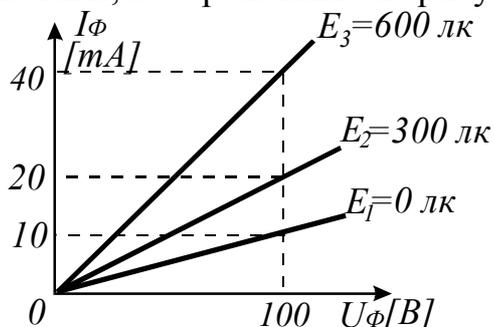
2.2.39. По световым характеристикам определите, какое из фото-сопротивлений имеет наибольшую чувствительность. [2, с. 111]:



1.  $a$ .
2.  **$б$ .**
3.  $в$ .

Световая характеристика отражает зависимость фототока  $I_\phi$  от светового потока  $\Phi$  (освещенности  $E$ ) при неизменном приложенном напряжении. **Чем жестче характеристика, тем выше чувствительность фотоэлемента.**

2.2.40. Чему равно темновое сопротивление фоторезистора, имеющего В-А характеристики, изображенные на рисунке [2, с. 111]?



1. 10000 Ом.
2. 2500 Ом.
3. 5000 Ом.
4.  $\infty$ .

Темновое сопротивление элемента определяется по В-А характеристике **при отсутствии освещенности ( $E_1=0$ )** по значениям величин  $U_\phi$  и  $I_\phi$ .

2.2.41. Какой порядок величины темнового тока фотоэлементов с внешним фотоэффектом [2, с. 108; 14, с. 161]?

1.  $<10^{-7}$  А.
2.  $\sim 10^{-5}$  А.
3.  $>10^{-2}$  А.
4.  $10^{-5} \dots 10^{-2}$  А.

Значение темнового тока увеличивается при выполнении точных измерений. У вакуумных и газоразрядных фотоэлементов темновой ток находится в пределах  $10^{-11} \dots 10^{-7}$  А.

2.2.42. Определите чувствительность фотоэлемента по напряжению  $k_U$ , если его интегральная чувствительность равна 100 мкА/лм, внутреннее сопротивление 1 МОм и нагрузка  $R_H=12$  МОм [2, с. 112]:

1.  $k_U \approx 12$  В/лм.
2.  $k_U \approx 120$  В/лм.
3.  $k_U \approx 92$  В/лм.
4.  $k_U \approx 1200$  В/лм.

**Чувствительность фотоэлемента по напряжению  $k_U$**  связана с его интегральной чувствительностью  $k_H$  и сопротивлением нагрузки  $R_H$  выражением

$$k_U = k_H R_H / \left( 1 + \frac{R_H}{R_i} \right).$$

2.2.43. Чем объясняется возрастание тока при освещении фоторезистора [2, с. 107]?

1. Выходом электронов за пределы светочувствительного материала.
2. **Изменением проводимости фоторезистора из-за увеличения числа электронов в зоне проводимости.**

Фоторезисторы – фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, принцип действия которых состоит в том, что свободные электроны, образующиеся под действием светового потока в слое светочувствительного проводника, остаются (перераспределяются) в веществе, **резко изменяя его сопротивление.**

2.2.44. Что такое вентильный режим фотодиода [2, с. 108; 14, с. 174]?

1. Режим работы фотодиода с источником напряжения и нагрузкой во внешней цепи.

2. Режим работы фотодиода с источником напряжения, но без нагрузки во внешней цепи.

**3. Режим работы фотодиода без источника напряжения во внешней цепи.**

Фотодиод – полупроводниковый приемник лучистой энергии, в котором происходит направленное движение носителей тока при воздействии энергии оптического излучения. Режим работы фотодиода с внешним источником питания называют фотопреобразовательным, а без него – **фотогенераторным**.

2.2.45. Какова причина увеличения тока через фотодиод при увеличении абсолютного значения напряжения и постоянном значении светового потока [2, с. 109; 14, с. 171]?

**1. Уменьшение толщины базы в результате увеличения ширины перехода.**

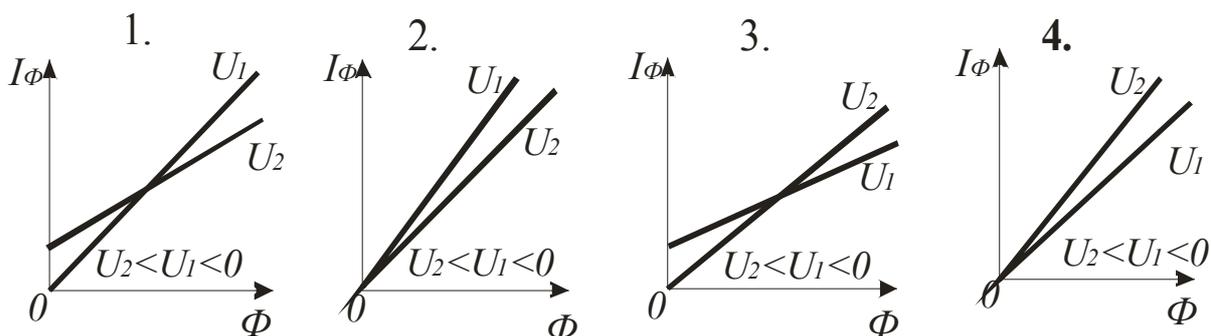
2. Уменьшение сопротивления перехода.

3. Уменьшение сопротивления объема базы.

4. Увеличение интенсивности генерации электронов и дырок.

С увеличением приложенного напряжения при  $\Phi = \text{const}$  наблюдается **увеличение ширины  $p$ - $n$ -перехода**, уменьшение толщины базы, увеличение тока, проходящего через фотодиод.

2.2.46. Укажите световые характеристики фотодиода при двух значениях напряжения. [2, с. 111; 14, с. 171]:



При равных условиях (отсутствует темновой ток) и соотношении  $U_2 < U_1 < 0$  световая характеристика при  $U_2$  будет более жесткой, чем при  $U_1$ .

2.2.47. Как изменяется ток через фотодиод с увеличением температуры [2, с. 109; 14, с. 174]?

1. Не изменяется.

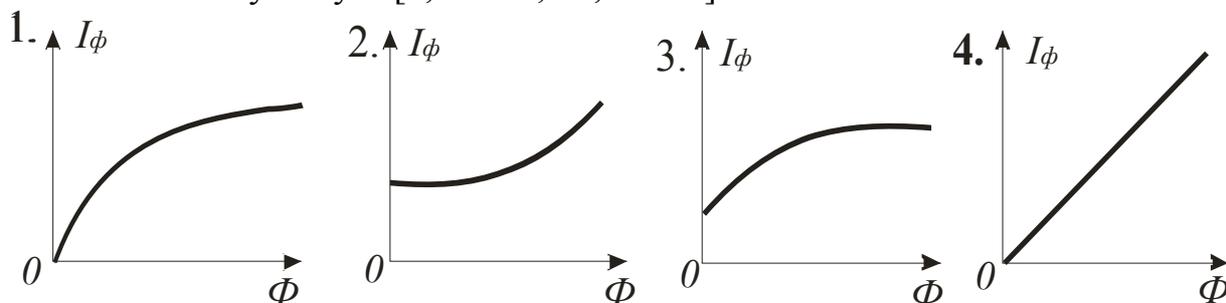
**2. Увеличивается.**

3. Уменьшается незначительно.

4. Резко уменьшается.

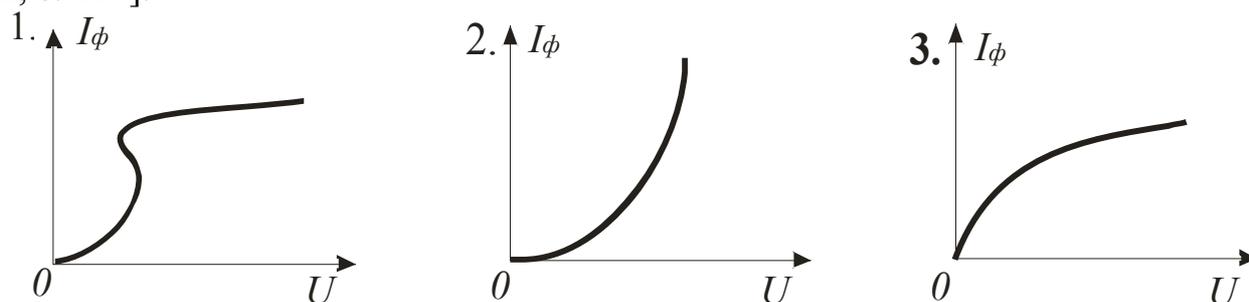
При повышении температуры  $p$ - $n$ -перехода число носителей заряда увеличивается, будет наблюдаться и **увеличение тока через фотодиод**. Для уменьшения разогрева мощных диодов принимаются специальные меры для их охлаждения (монтаж на радиаторах, обдув и т.д.).

2.2.48. Укажите световую характеристику  $I(\Phi)$  фотодиода. Считается, что темновой ток отсутствует [2, с. 111; 14, с. 170]:



Световые характеристики фотодиодов практически **линейны** в широких пределах.

2.2.49. Укажите вольтамперную характеристику электронного фотоэлемента [2, с. 111]:



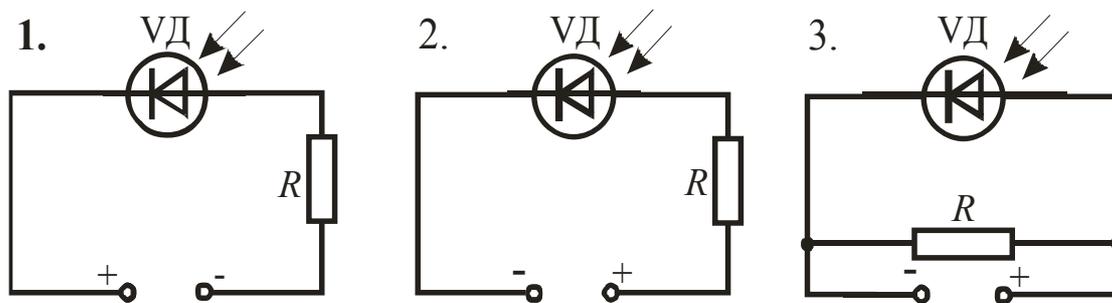
Характеристика  $I_\phi = f(U)$  при  $\Phi = \text{const}$  электронного фотоэлемента имеет ярко выраженный **экспоненциальный** характер.

2.2.50. Проходит ли ток через фотодиод при отсутствии светового потока [2, с. 109; 14, с. 173]?

1. Наблюдается протекание небольшого тока.
2. Нет.
3. Для ответа данных недостаточно.

При отсутствии светового потока наблюдается **прохождение незначительного тока** через фотодиод (характеристики  $I_\phi = f(\Phi)$ ,  $I_\phi = f(U)$ ).

2.2.51. Укажите схему включения фотодиода в фотодиодном режиме. [2, с. 169; 14, с. 169]:



Приемники излучений, предназначенные для преобразования слабых потоков излучения, например, в измерительных устройствах, **работают в фотодиодном режиме, то есть с внешним источником питания.** Их называют фотодиодами.

2.2.52. Сколько электронно-дырочных переходов имеет фототранзистор [2, с. 110; 14, с. 175]?

1. Один.      2. Два.      3. Три.      4. Не имеет переходов.

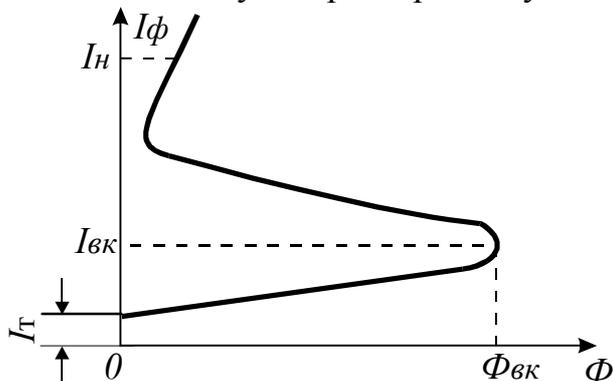
Фототриод – полупроводниковый приемник лучистой энергии, имеющий направленное движение носителей тока и обладающий свойством усиления фототока при действии энергии оптического излучения. Его работой можно управлять не только световым потоком, но и одновременно электрическим сигналом. Конструктивно фототриод представляет собой полупроводниковую пластинку с тремя чередующимися **областями p-n-p-проводимостей.**

2.2.53. Какая размерность коэффициента чувствительности фотореле [2, с. 107]?

1.  $\frac{В}{лк}$ .      2.  $\frac{Ом}{В}$ .      3.  $\frac{лк}{В}$ .      4.  $\frac{mA}{лк}$ .

Фотореле состоит из слаботочного реле, транзистора и фотодиода, который является фотовоспринимающим элементом. При увеличении **освещенности** сопротивление фотодиода уменьшается, а **ток**, проходящий через фотодиод и базо-эмиттерный переход транзистора, увеличивается. Транзистор открывается, в результате чего срабатывает реле.

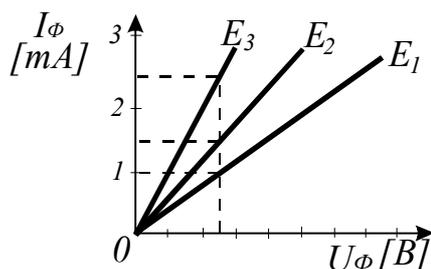
2.2.54. Световую характеристику вида имеет [2, с. 111]:



1. Фоторезистор.  
2. Фотодиод.  
3. Фототриод.  
4. **Фототиристор.**

**Фототиристор** – четырехслойный полупроводниковый прибор *p-n-p-n*-структуры, управляемый светом и сочетающий в себе положительные свойства тиристора и преобразователя оптической энергии в электрическую. Под влиянием освещенности в полупроводниковых слоях происходит генерация пар электрон-дырка, которые под влиянием приложенного электрического поля участвуют в увеличении тока, протекающего через структуру фототиристора. Имеет **нелинейные световую** и **вольтамперную** характеристики.

2.2.55. К фотореле приложено напряжение  $U=25$  В. При какой освещенности сработает фотореле, если сопротивление его в момент срабатывания  $R=10^4$  Ом [2, с. 107]?



1.  $E_1$ .
2.  $E_2$ .
3.  $E_3$ .

Фотореле с сопротивлением  $10^4$  Ом при подведенном напряжении 25 В срабатывает (ток срабатывания 2,5 мА) при **освещенности  $E_3$**  (показывает В-А характеристика).

2.2.56. Чему равен коэффициент возврата  $k_B$  фотореле [2, с. 107]?

1.  $k_B > 1$ .
2.  $k_B < 1$ .
3.  $k_B = 1$ .
4.  $k_B = 0$ .

Параметры срабатывания и отпускания реле связаны между собой **коэффициентом возврата  $k_B$** , который равен отношению параметра (напряжения  $U_{omn}$ , тока  $I_{omn}$ ) отпускания к параметру (напряжению  $U_{cp}$ , току  $I_{cp}$ ) срабатывания  $k_B = U_{omn} / U_{cp} = I_{omn} / I_{cp}$ .

2.2.57. Широкие возможности определения качественных показателей семян, овощей, фруктов, яиц, мяса и других продуктов имеет метод измерения [3, с. 81]:

1. Дистилляционный.
2. Экстракционный.
3. Кондуктометрический.
4. **Оптический.**

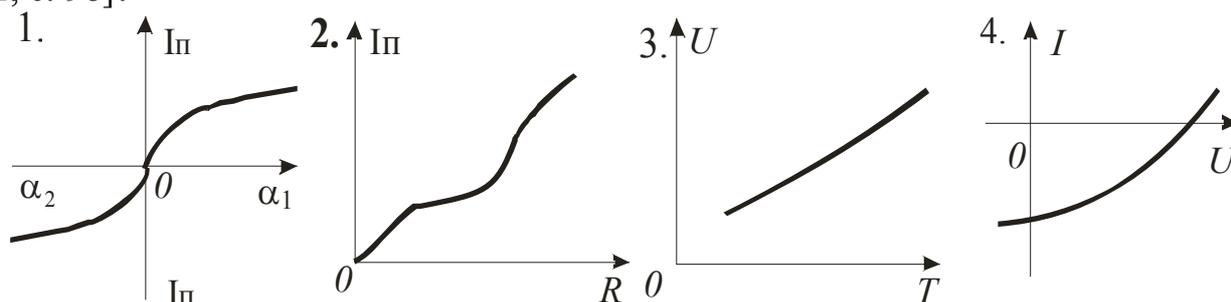
При **оптических** методах измерения в большинстве датчиков используется зависимость спектральной характеристики плода, то есть значения коэффициента отражения от качества его поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах спектра. Это датчики с интегральным контролем качества плода, датчики с фотометрической камерой, сканирующие датчики и др.

2.2.58. Какой из датчиков применяется для контроля линейных перемещений [2, с. 97]?

1. Тензометрический.
2. Термоэлектрический.
3. Гидростатический.
4. **Потенциометрический.**

**Потенциометрический ПИП** конструктивно представляет собой каркас прямоугольной (для линейных перемещений) или кольцевой (для угловых перемещений) формы с обмоткой из проволоки. Наиболее распространены пленочные потенциометры, в которых функцию обмотки из проволоки выполняет пленка из радия, нанесенного на стекло. Если движок потенциометра конструктивно соединить с перемещающимся механизмом, то при перемещении движка вдоль обмотки снимаемое напряжение будет соответствовать перемещению.

2.2.59. Какую статическую характеристику имеет реостатный датчик [2, с. 98]?



Характеристику **потенциометрического датчика**  $I_{\text{П}}=f(R)$  стремятся получить близкой к прямолинейной, задавая потенциометру соответствующий режим работы, применяя тот или иной способ намотки проволочного реостата, а также согласуя сопротивление вторичного прибора ( $R_{\text{П}} \gg R$ ).

2.2.60. Какой принцип положен в основу работы индуктивного датчика [2, с. 102]?

1. Изменение активного сопротивления.
2. Изменение емкости конденсатора.
3. **Изменение индуктивности катушки.**
4. Тепловое расширение газа.

Индуктивные датчики используют в своей работе явление **изменения индуктивности катушки** со стальным сердечником при перемещении подвижной части магнитной системы. Получают питание от сети переменного тока на частотах от 50 Гц до нескольких килогерц и способны измерять перемещения в диапазоне от десятых долей микрона до нескольких десятков миллиметров.

2.2.61. Из какого материала изготавливаются тензодатчики [2, с. 100]?

1. Железо.
2. Медь.
3. **Константан.**
4. Алюминий.

Наибольшее распространение получили **нихромовые** и **константановые** проволочные тензодатчики. Основная их характеристика – коэффициент тензочувствительности  $k$ , определяемый как отношение изменения сопротивления  $\Delta R/R$  к изменению деформации  $\Delta l/l$ , находится в пределах 1,9...2,2. Малая чувствительность и некоторая температурная погрешность являются недостатками датчиков такого типа. У полупроводниковых тензодатчиков  $k \approx 100$ .

2.2.62. Чувствительность  $k$  потенциометрического датчика определяется по формуле ( $\rho$  – сопротивление обмотки, отнесенное к единице длины окружности;  $r$  – радиус каркаса;  $w$  – число витков катушки;  $S$  – поперечное сечение магнитопровода) [2, с. 101]:

$$1. k = \frac{U_{CT}}{R \cdot R_n} r \rho, \text{ А/рад.}$$

$$2. k = -\frac{a}{F^2}, \text{ Ом/Н.}$$

$$3. k = \frac{U \cdot 10^7}{2\pi w^2 \omega S}, \text{ А/м.}$$

$$4. k = \frac{a_0}{C}, \text{ В/Н.}$$

Чувствительность потенциометрического датчика рассчитывается аналитически, имеет **размерность А/м** (датчик с прямым каркасом) или **А/рад** (датчик с кольцевым каркасом).

2.2.63. Какой датчик может работать без усилителя [2, с. 97]?

1. Емкостной. 2. Тензометрический. **3. Индуктивный.** 4. Оптический.

**Индуктивные** датчики получили широкое распространение благодаря простоте и надежности конструкции, **большой мощности** на выходе и отсутствию подвижных контактов.

2.2.64. Выходная величина потенциометрического датчика по своей природе [2, с. 97; 3, с. 38]:

1. Механическая. 2. Тепловая. 3. Световая. **4. Электрическая.**

Для потенциометрического датчика справедлива зависимость  $I_{II}=f(R)$ . Такие датчики отличает высокая точность характеристик, простота конструкции и малые габариты. Кроме того, они обычно не нуждаются в усилителях, поскольку их выходная мощность достаточна для работы вторичных приборов.

2.2.65. Какой датчик применяется для измерения напряжения кручения [2, с. 100; 3, с. 41]?

**1. Тензометрический.**

2. Контактный.

3. Потенциометрический.

4. Пьезоэлектрический.

**Тензометрические датчики** используют в своей работе зависимость электрического сопротивления материала от его деформации. Тензодатчики представляют собой тонкую проволоку, определенным образом уложенную и обклеенную с двух сторон пленкой. Тензодатчик приклеивают прочным клеем к испытываемой детали, при деформации которой изменяется электрическое сопротивление проволоки в результате изменения ее геометрических размеров и удельного сопротивления. Такие датчики применяют для измерения усилий, давления и моментов.

2.2.66. Какой принцип положен в основу работы емкостного датчика [2, с. 106; 3, с. 50]?

1. Изменение активного сопротивления.

2. Изменение индуктивности катушки.

3. Пьезоэлектрический эффект.

**4. Изменение емкости конденсатора.**

Емкостные датчики преобразуют разнообразные входные воздействия (механические усилия, линейные или угловые перемещения) в **изменение своей электрической емкости**. Емкостной датчик представляет собой конденсатор, у которого под действием входных величин изменяется расстояние между обкладками  $\delta$  или площадь обкладок  $S$ . Может изменяться диэлектрическая проницаемость  $\varepsilon$  межобкладочного пространства. Емкость датчика:  $C = \varepsilon_0 \varepsilon S / \delta$ , где  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  ф/м – диэлектрическая проницаемость вакуума (воздуха).

2.2.67. Чувствительность  $k$  емкостного датчика определяется по формуле ( $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума;  $\delta$  – расстояние между обкладками) [2, с. 106; 3, с. 52]:

1.  $k = R_0 \alpha$ , Ом/град.

2.  $k = \frac{a_0}{C}$ , В/Н.

3.  $k = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{\delta^2}$ , Ф/м.

4.  $k = \frac{U \cdot 10^7}{2\pi w^2 \omega S}$ , А/м.

С целью увеличения **чувствительности емкостных датчиков** используют дифференциальные и резонансные схемы их включения. Потребность в источниках питания повышенной частоты и большое влияние паразитных емкостей являются недостатками емкостных датчиков.

2.2.68. Для измерения быстро меняющихся величин (колебания, вибрации, ускорения и т.п.) применяют практически **безынерционный датчик** [2, с. 106; 3, с. 50]:

1. Оптический.

2. Магнитоупругий.

3. Потенциометрический.

**4. Емкостной.**

**Емкостные датчики** практически безынерционны, и поэтому их применяют для измерения быстро меняющихся величин. Поскольку мощность выходного сигнала этих датчиков мала, применяют усилители.

2.2.69. В основу работы датчика жирности молока положен принцип [3, с.79]:

**1. Измерение емкостной проводимости.**

2. Изменение активного сопротивления.

3. Пьезоэлектрический эффект.

4. Изменение индуктивности катушки.

Датчик жирности молока работает на принципе **измерения емкостной проводимости**, поскольку относительная диэлектрическая проницаемость жировых шариков молока составляет единицы, а воды – десятки единиц (81 при  $T=293$  °К).

2.2.70. Влажность (%) определяется по формуле ( $M$  – масса влаги в материале, продукте;  $M_0$  – масса абсолютно сухого материала, продукта;  $a$  – фактическая абсолютная влажность;  $a_n$  – влажность насыщения) [3, с.71]:

$$1. u = \frac{M}{M_0} \cdot 100. \quad 2. w = \frac{M}{M_0 + M} \cdot 100. \quad 3. \varphi = \frac{a}{a_n} \cdot 100.$$

Количественная оценка содержания влаги в твердых и сыпучих телах определяется двумя величинами – влагосодержанием ( $u$ ) и влажностью ( $w$ ). При измерении влажности почв определяют объемную влажность ( $w_{об}$ ). Влажность воздуха или газов определяется содержанием водяного пара в них. Различают абсолютную и относительную влажность ( $\varphi$ ).

2.2.71. Методы: термогравиметрический, дистилляционный, экстракционный, химический, Фишера, кондуктометрический, диэлькометрический, сверхвысокочастотный, нейтронный, рентгеновский, ядерный магнитный резонанс, оптический применяются для измерения [3, с.72]:

1. Расхода.
2. Уровня.
3. Давления.
4. Влажности.

Датчики влажности служат для измерения **влажности** – одного из важнейших параметров, определяющих качество сельскохозяйственной продукции. Прямые методы измерения влажности твердых и сыпучих тел, газов и других сред предполагают непосредственное разделение материала на сухое вещество и влагу, а затем их взвешивание и подсчет влажности. Косвенные методы позволяют определить влажность по вспомогательным физическим величинам, имеющим тесную количественную связь с влажностью материала. К подобным методам относят электрические методы, метод замера теплопроводности, зависящей от влагосодержания контролируемой среды, и некоторые другие.

2.2.72. На две большие группы: электрические и электрофизические разделяются по принципу действия в зависимости от измеряемой электрической характеристики вещества датчики [2, с. 129; 3, с. 72]:

1. Давления.
2. Влажности.
3. Расхода.
4. Уровня.

Группа электрофизических **датчиков влажности** объединяет радиационные датчики, работа которых основана на измерении степени поглощения влагой инфракрасных излучений, электромагнитных колебаний высокой частоты, нейронных излучений. К электропараметрическим датчикам относятся кондуктометрические, которыми определяют влажность по результатам измерения электрической проводимости; гигрометрические, позволяющие оценить влажность среды по изменениям электрических или механических характеристик вспомогательного гигроскопического вещества; диэлькометрические.

2.2.73. Какой метод применяется для определения влажности вещества по величине тангенса угла диэлектрических потерь [2, с. 130; 3, с. 73]?

1. Кондуктометрический.
2. Диэлькометрический.
3. Гигрометрический.
4. Дистилляционный.

**Диэлькометрический метод** основан на измерении диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь влажных материалов и веществ в широком диапазоне частот – от звуковых до СВЧ. Достоинства: быстрое действие, высокая точность (погрешность около 0,5%), малая чувствительность к уплотнению и температуре материала.

### 2.3. Задающие и сравнивающие устройства

2.3.1. Устройство, служащее для установки заданного значения управляемой величины или требуемого закона изменения управляемой величины, называется [3, с. 85; 5, с. 115]:

1. Распределитель.
2. Регулирующий орган.
3. **Задающее устройство.**
4. Сравнивающий орган.

**Задающий орган (задатчик)** – устройство, предназначенное для установки заданного значения управляемой величины или требуемого закона изменения управляемой величины. Нередко элементы задающего и сравнивающего органов в конструктивном плане представляют единое целое устройство.

2.3.2. Какие функциональные элементы автоматики разделяют на электрические, электромеханические, гидравлические и пневматические в зависимости от физической природы сигнала датчика и задающего сигнала управления [3, с. 86; 5, с. 115]?

1. **Задающие и сравнивающие устройства.**
2. Распределители.
3. Воспринимающие органы.
4. Логические элементы.

**Задающие и сравнивающие органы** разделяются на электрические, электромеханические, гидравлические и пневматические в зависимости от физической природы сигнала датчика и задающего сигнала управления. В качестве аналоговых и цифровых задающих и сравнивающих органов можно использовать и вычислительные устройства автоматики.

2.3.3. Какие функциональные элементы автоматики делят на аналоговые (непрерывные и дискретные) и цифровые по виду вырабатываемого сигнала [3, с. 86; 5, с. 115]?

1. Стабилизаторы.
2. Усилители.
3. Исполнительные элементы.
4. **Задающие устройства.**

Электрические аналоговые **задающие устройства** непрерывного действия представляют собой потенциометры переменного сопротивления, индуктивности с подвижным сердечником, воздушные конденсаторы переменной емкости, обмотки магнитных усилителей и др. Заданное значение управляемой величины устанавливается вручную или с помощью программных устройств.

2.3.4. Закон формирования какого сигнала определяется соответствующим профилем потенциометра, сердечника, обкладок конденсатора, перфорированной лентой [3, с. 86; 5, с. 115]?

1. Управляющего.
2. Контрольного.
- 3. Задающего.**
4. Рассогласовывания.

Закон формирования **задающего** сигнала определяется соответствующим профилем потенциометра, сердечника, обкладок конденсатора, перфорированной лентой.

2.3.5. Заданную величину устанавливают путем изменения усилий противодействующих пружин, изменением положения заслонок и задвижек, изменением проходных сечений сопел, золотников в задающих устройствах [3, с. 87; 5, с. 115]:

1. Электрических.
2. Электромеханических.
- 3. Гидравлических и пневматических.**

В **гидравлических и пневматических** задающих органах заданную величину устанавливают путем изменения усилий противодействующих пружин, изменением положения заслонок и задвижек, изменением проходных сечений сопел, золотников.

2.3.6. Устройство, сравнивающее фактическое значение управляемой величины с заданным значением и при их рассогласовании выдающее сигнал в систему управления с целью устранения возникшего рассогласования, называется [5, с. 115]:

- 1. Сравнивающий орган.**
2. Исполнительный орган.
3. Регулирующий орган.
4. Распределитель.

В **сравнивающем устройстве** управляемая величина, контролируемая датчиком, сравнивается с сигналом задания, формируемым задатчиком. На выходе сравнивающего устройства сигнал рассогласования поступает в систему управления с целью устранения возникшего рассогласования.

2.3.7. Нередко элементы сравнения как самостоятельная часть системы не применяются, а являются частью и входят в состав [5, с. 115]:

- 1. Задающих устройств.**
2. Усилителей.
3. Исполнительных элементов.
4. Распределителей.

Нередко элементы сравнения и **задающего органа** в конструктивном плане представляют единое целое устройство и на функциональных схемах обычно изображаются одним символом.

2.3.8. Два принципа сравнения электрических величин: по абсолютному значению и по фазе применяются в сравнивающих устройствах [3, с.87]:

1. Цифровых.
2. С непрерывным выходом.
- 3. С дискретным выходом.**
4. Безразлично.

В сравнивающих органах с **дискретным выходом** используются два принципа сравнения электрических величин: по абсолютному значению и по фазе. Сравнение двух электрических величин по абсолютному значению применяется как для постоянного, так и для синусоидального тока. Сравнение двух электрических величин по фазе применяется лишь для синусоидальных величин одной и той же частоты.

2.3.9. Сравнение двух электрических величин по абсолютному значению применяется [3, с.87]:

1. Только для постоянного тока.
2. Только для синусоидального тока.

**3. Как для постоянного, так и для синусоидального тока.**

Сравнение двух электрических величин по абсолютному значению применяется **как для постоянного, так и для синусоидального тока**. Могут сравниваться синусоидальные величины разных частот или действующие значения (средние значения, амплитуды) синусоидальной и постоянной величин.

2.3.10. Программные реле, шаговые искатели можно использовать в качестве электромеханического задающего устройства [3, с.87]:

1. Непрерывного действия.
2. Дискретного действия.

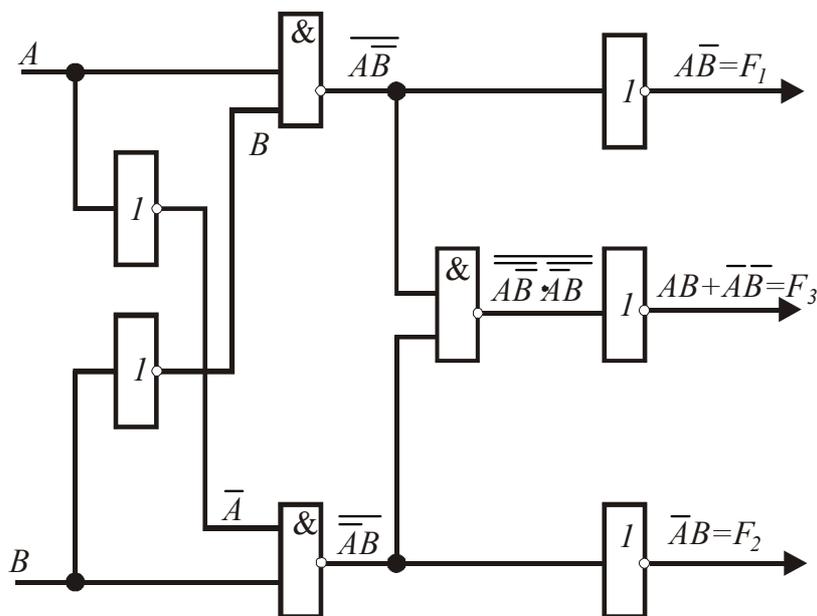
В качестве электромеханического задающего органа **дискретного действия** используются программные реле и шаговые искатели. Программное реле представляет собой разновидность реле выдержки времени и обычно дает возможность задавать несколько независимых сравнительно больших выдержек времени. Шаговый искатель представляет собой электромагнитный многопозиционный и многорядный переключатель.

2.3.11. Можно ли использовать вычислительные устройства автоматики в качестве аналоговых и цифровых задающих и сравнивающих средств [3, с.87]?

1. Нет.
2. Да.

В качестве аналоговых и цифровых задающих и сравнивающих органов **можно** использовать и вычислительные устройства автоматики.

2.3.12. На рисунке представлена схема сравнения [3, с.88]:



1. Двух одноразрядных чисел.

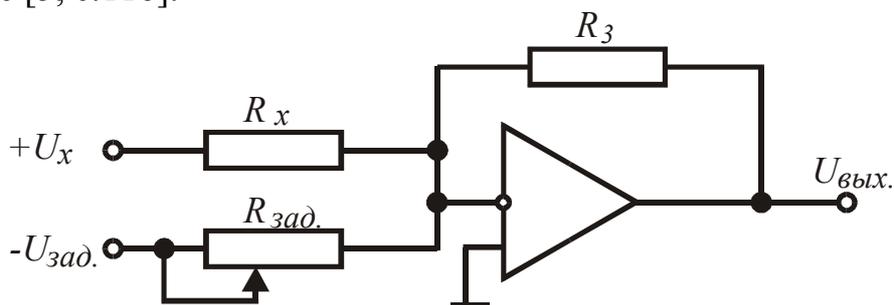
2. Многоразрядных чисел.

Для установления соотношения (сравнения) чисел  $A$  и  $B$  составляется логическая схема с тремя выходными функциями:  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$ , соответствующими случаям  $A > B$ ,  $A < B$  и  $A = B$ . При сравнении **двух одноразрядных** чисел эти функции имеют вид  $F_1 = \overline{AB}$ ;  $F_2 = \overline{A}B$ ;  $F_3 = AB + \overline{A}B$ .

Значения выходных функций будут

A	B	$F_1$	$F_2$	$F_3$
		$A > B$	$A < B$	$A = B$
0	0	0	0	1
1	0	1	0	0
1	1	0	0	1
0	1	0	1	0

2.3.13. На рисунке представлено электрическое устройство сравнения, выполненное [5, с.116]:



1. По дифференциально-трансформаторной схеме.

2. По мостовой схеме

3. На базе операционного усилителя.

4. По потенциометрической схеме.

Если на датчик  $R_x$  подать напряжение  $U_x$ , а на задатчик  $R_{зад}$  – напряжение обратной полярности  $U_{зад}$ , то выходное напряжение усилителя  $U_{вых} = -R_0(U_x/R_x - U_{зад}/R_{зад})$ , где  $R_0$  – сопротивление обратной связи усилителя.

**Операционный усилитель** может быть использован для сравнения напряжений  $U_x$  и  $U_{зад}$ . Для этого принимают  $R_x = R_{зад} = R_0$  и получают  $U_{вых} = U_{зад} - U_x$ . Операционный усилитель может быть использован для сравнения сопротивлений  $R_x$  и  $R_{зад}$ . Тогда при  $U_x = [U_{зад}]$  получим значение  $U_{вых}$ , зависящее от изменения  $R_x$ .

## 2.4. Усилители

2.4.1. Устройство, которое, не изменяя физической природы входного сигнала, производит лишь усиление его, то есть увеличивает его до требуемых значений, называется [2, с. 23; 3, с. 170]:

1. Исполнительный элемент.
2. Распределитель.
3. Стабилизатор.
4. **Усилитель.**

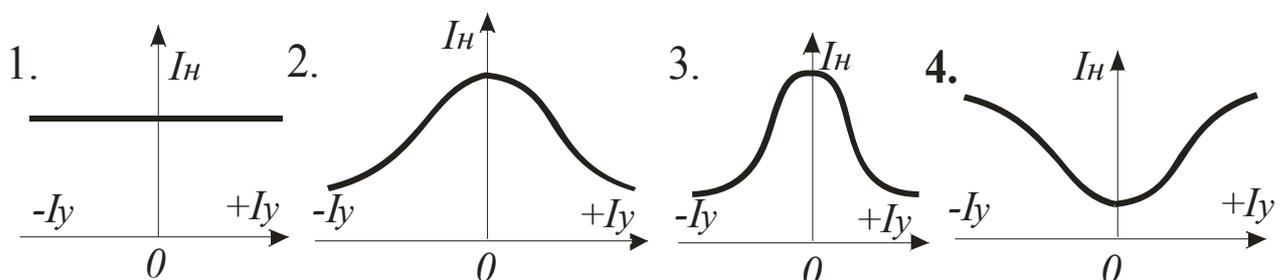
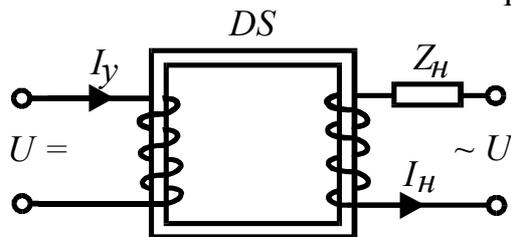
**Усилитель** – устройство, которое, не изменяя физической природы входного сигнала (сигнала рассогласования сравнивающего органа или сигнала датчика), производит лишь усиление его, то есть увеличивает его до требуемых значений (сигнал на выходе используется для питания исполнительного органа). Усиление сигнала осуществляется за счет энергии постороннего источника.

2.4.2. Что положено в основу деления усилителей на электрические, гидравлические и пневматические [2, с. 132; 3, с. 171]?

1. Вид используемой энергии.
2. Конструктивное исполнение.
3. Назначение.
4. Принцип действия.

Усилители делятся на электрические, гидравлические, пневматические и механические в зависимости от **вида используемой энергии**.

2.4.3. Как зависит ток нагрузки от тока подмагничивания в простейшем магнитном усилителе (дросселе насыщения) [2, с. 135]?



Работа МУ основана на использовании зависимости магнитной проницаемости ферромагнитных материалов на переменном токе от постоянного подмагничивающего тока. **График зависимости  $I_n = f(I_y)$  называется основной характеристикой управления МУ.** Характерным является наличие

незначительного  $I_n$  (ток холостого хода МУ) при  $I_y=0$  и при отсутствии начального подмагничивания постоянным магнитным потоком.

2.4.4. У магнитного усилителя коэффициент усиления по мощности определяется по формуле [2, с. 137]:

$$1. \quad k_i = k_f \frac{w_1}{w_2}. \quad 2. \quad k_u = k_i \frac{Z_H}{r_1}. \quad 3. \quad k_p = k_i^2 \frac{Z_H}{r_1}. \quad 4. \quad k_3 = \frac{I_0}{I_{cp}}.$$

У магнитных усилителей различают коэффициенты усиления по току  $k_i$ , напряжению  $k_u$  и **мощности**  $k_p$ .

2.4.5. При введении обмотки смещения коэффициент усиления МУ [2, с. 138]:

1. Увеличивается.
2. Уменьшается незначительно.
3. Не изменяется.
4. Резко уменьшается.

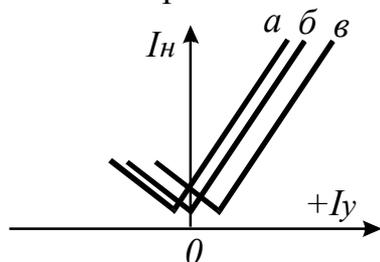
МУ только с одной обмоткой управления одинаково реагирует на оба направления тока подмагничивания. На практике часто требуется, чтобы ток в нагрузке в зависимости от полярности сигнала управления изменялся различным образом. Такой эффект можно получить, создав начальное подмагничивание постоянным магнитным потоком (добавить обмотку смещения). Если  $I_{см} > 0$ , а  $I_y = 0$ , то МУ будет работать на более крутой части характеристики. **Коэффициент усиления МУ будет выше.**

2.4.6. Если  $I_{см} > 0$ , а  $I_y = 0$ , то  $I_n$  будет [2, с. 138]:

1. Иметь промежуточное значение.
2. Максимальным.
3. Минимальным.
4. Равен среднему значению.

Если  $I_{см} > 0$ , а  $I_y = 0$ , то  $I_n$  **будет иметь промежуточное значение.** Значение смещения выбирают таким, чтобы при отсутствии входного сигнала через нагрузку  $Z_n$  проходил ток, соответствующий середине прямолинейного участка характеристики МУ.

2.4.7. Какая из нагрузочных характеристик МУ получена при введении отрицательной обратной связи по току [2, с. 140]?



1. *а*.
2. *б*.
3. *в*.

Одним из способов увеличения коэффициента усиления МУ является введение в схему усилителя обратных связей при помощи специальной обмотки обратной связи. При согласном включении обмоток управления и внешней обратной связи последняя усиливает действие первой и, таким образом, увеличивает коэффициент усиления МУ (положительная обратная связь по току,

кривая *a*). При встречном включении обмотка внешней обратной связи ослабляет действие обмотки управления и уменьшает коэффициент усиления (**отрицательная обратная связь по току, кривая *b***).

2.4.8. Если магнитные потоки обмоток смещения и управления в МУ равны по величине и направлены встречно, то ток нагрузки будет [2, с. 140]

1. Максимальным.
2. Минимальным.
3. Иметь промежуточное значение.
4. Равен среднему значению.

Если  $I_{см}$  и  $I_y$  равны по величине и направлены встречно, то  $I_n$  будет **минимальным** (ток холостого хода МУ).

2.4.9. Схемы включения двух одноконтурных МУ: дифференциальная, мостовая, трансформаторная применяются для получения [2, с. 143]

**1. Статической характеристики, при которой изменение полярности управляющего сигнала вызывает изменение фазы выходного напряжения на 180°.**

2. Наибольшего коэффициента усиления по напряжению.
3. Наибольшей выходной мощности.

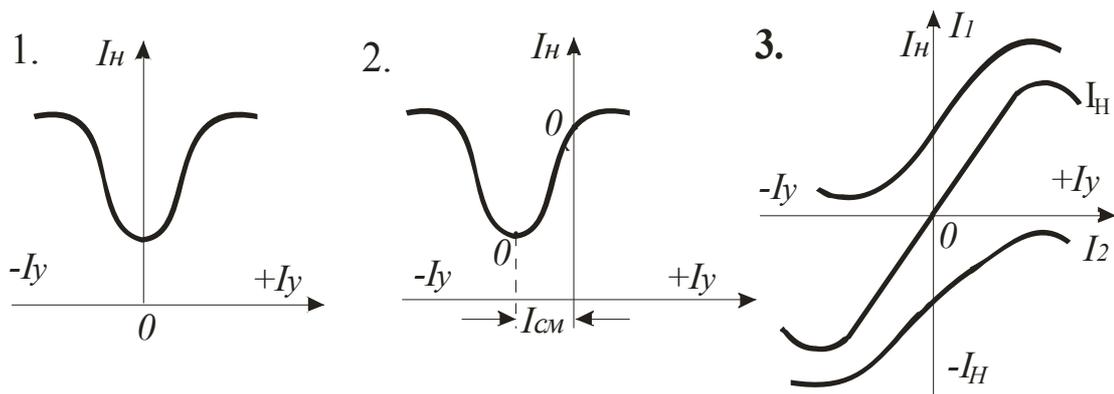
В практике возникает необходимость в том, чтобы усилительные устройства имели **статическую характеристику, при которой изменение полярности управляющего сигнала вызывает изменение фазы выходного напряжения на 180°**. Такой характеристикой обладает двухконтурный МУ, который получают из двух определенным образом соединенных одноконтурных.

2.4.10. Если необходимо, чтобы выходное напряжение на нагрузке превышало напряжение источника питания или когда требуется осуществить электрическое разделение выходной цепи и цепи источника питания, применяется схема включения двух одноконтурных МУ [2, с. 143]:

1. Дифференциальная.
2. Мостовая.
3. Трансформаторная.
4. Безразлично.

**Двухконтурные трансформаторные МУ** состоят из двух трансформаторов насыщения, четыре секции первичных обмоток которых включаются последовательно и присоединяются к источнику питания  $U_n$ , а нагрузка  $Z_n$  подключена к вторичным обмоткам. Вторичные обмотки включены встречно, то есть при  $I_y=0$  напряжение на нагрузке отсутствует. При подаче сигнала (+) полярности взаимная индуктивность первичной и вторичной обмоток одного трансформатора уменьшается, а другого – увеличивается. В результате на нагрузке появляется напряжение, значение и фаза которого зависят от силы и полярности тока управления.

2.4.11. Статическая характеристика, полученная при дифференциальной, мостовой, трансформаторной схемах включения двух одноконтурных МУ, имеет вид [2, с. 143]:



Двухтактный МУ имеет статическую характеристику, которая представляет собой **симметричную кривую, проходящую через начало координат**. При изменении полярности тока управления фаза тока нагрузки изменяется на  $180^\circ$ .

2.4.12. Если коэффициент положительной обратной связи  $k_{OC} = \frac{1}{k_i}$ , то

магнитный усилитель можно использовать в качестве [2, с. 142]:

1. **Бесконтактного реле.**
2. Стабилизатора.
3. Распределителя.
4. Датчика.

Если у МУ увеличивать коэффициент положительной обратной связи, то одна из ветвей его нагрузочной характеристики будет приобретать все большую крутизну, коэффициент усиления увеличивается. При  $k_{oc}k_i = 1$  МУ переходит в релейный режим. Это будет магнитное поляризованное **бесконтактное реле**.

2.4.13. МУ обладает значительной инерционностью, которая характеризуется постоянной времени  $T$ . Для снижения инерционности следует [2, с. 135]:

1. **Увеличить частоту источника питания.**
2. Увеличить коэффициент усиления.
3. Уменьшить частоту источника питания.

Постоянная времени  $T$  магнитного усилителя связана с коэффициентом усиления по мощности  $k_p$  выражением  $T \approx k_p/4f$ . Для снижения инерционности следует либо увеличить частоту источника питания  $f$ , либо уменьшить коэффициент усиления.

2.4.14. Постоянная времени  $T$  магнитного усилителя при  $f=50$  Гц и  $k_p=1$  равна [2, с. 138]:

1. **0,005 с.**
2. 0,01 с.
3. 0,02 с.
4. 0,5 с.

При  $k_p=1$  и  $f=50$  Гц постоянная времени МУ равна четверти периода напряжения питания,  **$T=0,005$  с.**

2.4.15. Что положено в основу деления электрических усилителей на ламповые, полупроводниковые, магнитные, электромагнитные, электромеханические [2, с. 132]?

1. Назначение.

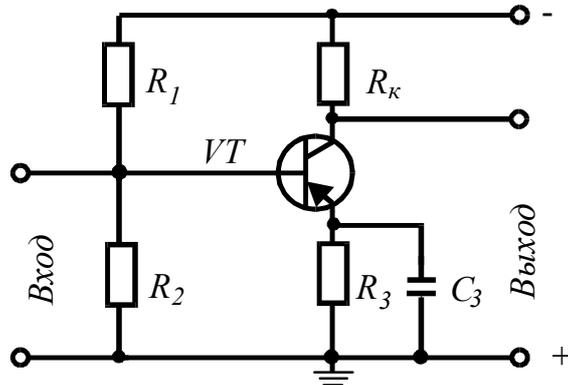
2. Тип усилительного элемента.

3. Принцип действия.

4. Конструктивное исполнение.

В практике автоматического управления широко применяют самые различные усилители. Все многообразие электрических усилителей можно разделить на несколько групп, положив в основу деления **тип усилительного элемента**.

2.4.16. Усилительный элемент включен по схеме [2, с. 133]:



1. С общим коллектором.
2. С общей базой.
3. С **общим эмиттером**.

В качестве усилительного элемента обычно используется полупроводниковый прибор – триод, по способу включения которого усилители делятся на три типа: с общим эмиттером, с общей базой и с общим коллектором. В схеме с **общим эмиттером** источник входного сигнала включается в цепь базы, а выходной сигнал снимается с коллектора. Вывод эмиттера является общей точкой для входной и выходной цепей.

2.4.17. Какая из схем включения полупроводникового триода позволяет получить высокий  $k_P$  (порядка  $10^3$ ) и  $k_i$ , обладает сравнительно большим сопротивлением (около  $10^3$  Ом), выходное напряжение сдвинуто по фазе на  $180^\circ$  относительно входного [2, с. 133]?

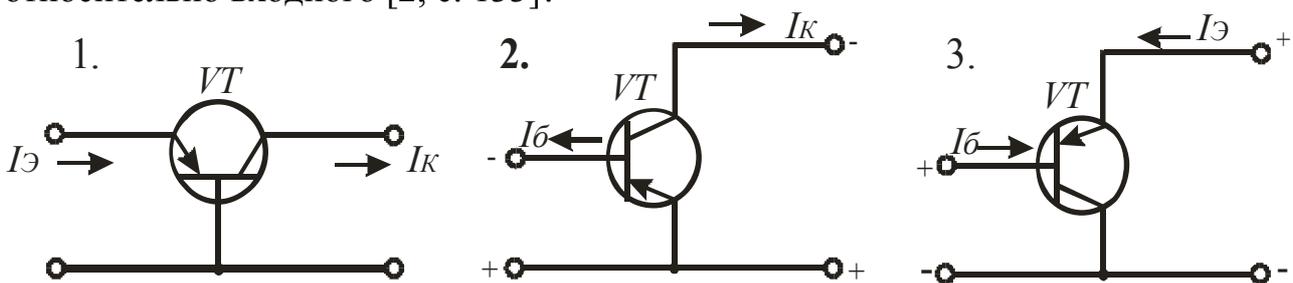


Схема включения полупроводникового триода с **общим эмиттером** наиболее распространена в практике. Здесь имеет место усиление тока, напряжения и мощности.

2.4.18. Двухэлектродный прибор с четырехслойной структурой и участком отрицательного сопротивления на статической вольтамперной характеристике называется [3, с.179]:

1. Симистор.

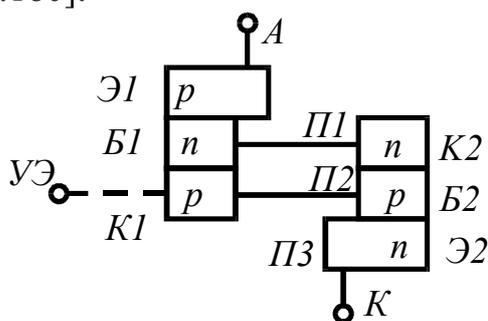
2. Триодный тиристор.

3. **Динистор (диодный тиристор)**.

4. Транзистор.

**Динистор (диодный тиристор)** – двухэлектродный прибор с четырехслойной структурой и участком отрицательного сопротивления на статической вольтамперной характеристике. Для включения динистора необходимо, чтобы напряжение на нем превысило так называемое напряжение включения. Отключение динистора происходит при снятии напряжения питания или уменьшении тока нагрузки до уровня тока выключения.

2.4.19. На рисунке представлена структура транзисторного эквивалента [3, с.180]:



1. Динистора.
2. Симистора.
3. Триодного тиристора.
4. Двухоперационного тиристора.

**Динистор** имеет четырехслойную структуру ( $p-n-p-n$ ) с тремя  $p-n$  переходами. Крайние области называют  $p$ - и  $n$ -эмиттерами, а в середине –  $p$ - и  $n$ -базы. Предпочтительным материалом для изготовления динисторов (тиристоров) считается кремний. Динистор имеет нелинейную ВАХ с участком отрицательного сопротивления, что обуславливает регенеративный процесс в приборе при переходе его из запертого состояния в открытое.

2.4.20. Отключение тринистора происходит [5, с.119]:

1. При снятии напряжения питания или уменьшении тока нагрузки до уровня тока выключения.

**2. При изменении полярности напряжения питания или уменьшении тока нагрузки до значения тока выключения.**

Тринистор – это тиристор с тремя выводами. Он включается при подаче напряжения включения или тока управления  $I_y$  на специальный управляющий электрод. Ток управления сдвинут по фазе относительно тока нагрузки  $I_n$  с помощью специального фазосдвигающего устройства. Отключение тринистора происходит **при изменении полярности его напряжения питания или уменьшении тока нагрузки  $I_n$  до значения тока выключения.**

2.4.21. В широком диапазоне тока (от сотен миллиампер до сотен ампер) и напряжения (от десятков до тысяч вольт) применяются усилители [3, с.171]:

- |                        |                                     |
|------------------------|-------------------------------------|
| 1. Вакуумные.          | 2. Полупроводниковые транзисторные. |
| <b>3. Тиристорные.</b> | 4. Магнитные.                       |

**Тиристор** – полупроводниковый прибор многослойной структуры с тремя и более  $p-n$  переходами, который может переключаться из закрытого состояния в открытое и наоборот. Используется тиристор в качестве основного усиливающего

элемента в тиристорных усилителях, работает в широком диапазоне тока и напряжения.

2.4.22. Тиристорный регулятор мощности с импульсным управлением особенно целесообразно использовать при работе на нагрузку [3, с.180]:

1. Активную.
2. Индуктивную.
3. **Активно-индуктивную.**

На базе тиристоров создают станции управления, которые используются для управления работой **асинхронных короткозамкнутых электродвигателей трехфазного тока**. Изменяя частоту тока на выходе станции от нескольких килогерц до долей герца, регулируют скорость вращения ротора электродвигателя в широких пределах.

2.4.23. Тиристорный усилитель используется в схемах регулятора мощности с фазовым управлением при работе на нагрузку [3, с.182]:

1. Индуктивную.
2. **Активную.**
3. Активно-индуктивную.

Тиристорный усилитель можно использовать в схемах регулятора мощности с фазовым управлением, которая может применяться в устройствах с **активной нагрузкой**, например, для изменения яркости ламп накаливания, для изменения температуры нагревательных приборов и др.

2.4.24. Усилитель постоянного тока, предназначенный для работы с глубокой отрицательной обратной связью и выполнения ряда математических операций над входным сигналом, называется [3, с.172]:

1. Полупроводниковый транзисторный.
2. Тиристорный.
3. Диэлектрический.
4. **Операционный.**

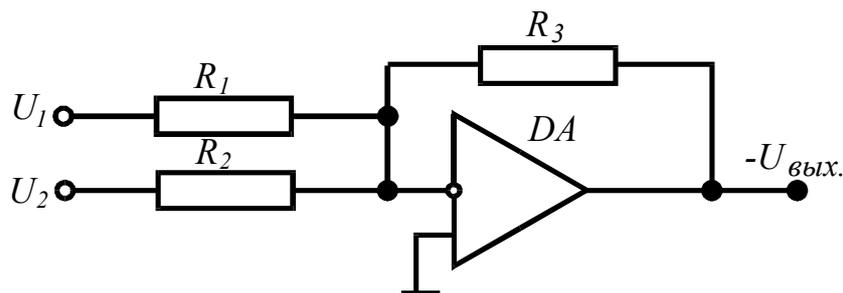
**Операционный усилитель** может выполнять ряд математических операций над входным сигналом (умножение на постоянный коэффициент, суммирование, вычитание, интегрирование, дифференцирование, нелинейное преобразование и др.). Свойства и параметры операционного усилителя определяются, преимущественно, параметрами цепи обратной связи.

2.4.25. Выполняются в виде монолитных интегральных схем, характеризуются большим коэффициентом усиления, высоким входным и низким выходным сопротивлением, практически идеальными характеристиками усилителя [3, с.172]:

1. Тиристорные.
2. **Операционные.**
3. Диэлектрические.
4. Транзисторные.

Универсальность **операционного усилителя** гарантируется запасами по коэффициенту усиления и по диапазону усиливаемых частот. Охватывая его внешней обратной связью, можно синтезировать передаточную функцию, имеющую как точное числовое значение, так и размерность, а также линеаризовать в заданных пределах передаточные характеристики.

2.4.26. На рисунке представлена измерительная схема с операционным усилителем [3, с.178]:



**1. Суммирующий усилитель, не требующий балансировки**

$$U_{\text{вых}} = -(U_1 + U_2).$$

**2. Дифференциальный усилитель**

$$U_{\text{вых}} = 2(U_1 - U_2).$$

**3. Преобразователь сопротивления в напряжение**

$$U_{\text{вых}} = \pm 2U\Delta R.$$

**4. Преобразователь  $I \rightarrow U$**

$$U_{\text{вых}} = IR.$$

Измерительная схема с **суммирующим усилителем, не требующим балансировки**, применяется для сложения напряжений.

2.4.27. Управление с помощью механического перемещения каких-либо элементов потоками жидкости или газа в исполнительных устройствах положено в основу принципа управления [3, с.183]:

**1. Гидравлическими и пневматическими усилителями.**

2. Распределителем.                      3. Регулирующим органом.

4. Сравнивающим органом.

Принципиальные схемы **гидравлических и пневматических усилителей** мало различаются. В единую конструкцию объединены устройство управления, задающее и сравнивающее устройства, усилитель, служащий одновременно приводом рабочего органа. В гидравлических усилителях положение рабочего органа изменяется за счет энергии жидкости, нагнетаемой насосами, а в пневматических – за счет энергии воздуха, нагнетаемого компрессорами.

2.4.28. Что положено в основу деления гидравлических и пневматических усилителей на дроссельные и струйные [2, с. 145]?

1. Конструктивное исполнение.

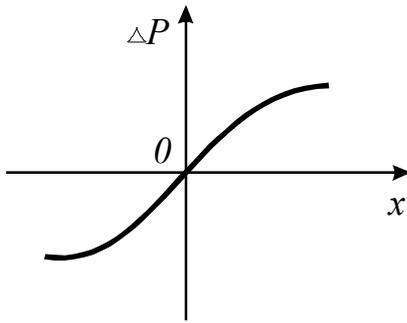
2. Назначение.

**3. Тип усилительного элемента.**

4. Вид используемой энергии.

В практике автоматического управления широко применяются самые различные гидравлические и пневматические усилители. Все их многообразие можно разделить на дроссельные (усилители с золотником, с соплом-заслонкой) и струйные (усилители со струйной трубкой), положив в основу деления **тип усилительного элемента**.

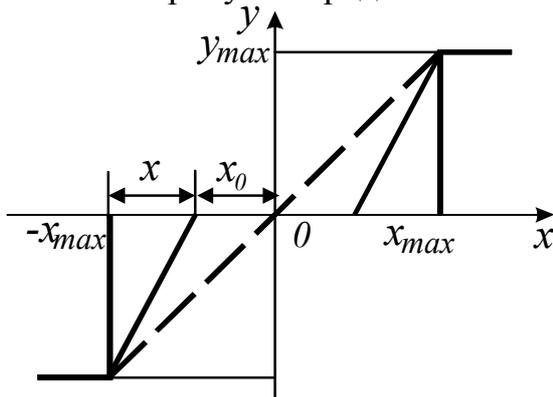
2.4.29. Статическую характеристику имеет [2, с. 148]:



1. **Усилитель со струйной трубкой.**
2. Дроссельный усилитель с золотником.
3. Дроссельный усилитель с соплом-заслонкой.

Работа **усилителя со струйной трубкой** основана на преобразовании давления жидкости или газа в кинетическую энергию струи, которая перемещением струйной трубки направляется в приемные сопла усилителя и обратно преобразуется в энергию давления. Гидравлический или пневматический механизм преобразует энергию давления в линейное или угловое перемещение выходного вала.

2.4.30. На рисунке представлена статическая характеристика усилителя [3, с.185]:



1. Типа сопло-заслонка.
2. Со струйной трубкой.
3. **Золотникового.**

Поршневой гидравлический усилитель с обратной связью с **ЗОЛОТНИКОВЫМ управлением** представляется апериодическим звеном, имеющим передаточную функцию  $W(P) = k/(T_p + 1)$ , где  $k$  – коэффициент усиления;  $T = T_1/k_{oc}$  – постоянная времени;  $T_1$  – постоянная времени усилителя без жесткой ОС;  $k_{oc}$  – коэффициент ОС.

2.4.31. Большую выходную мощность (до 200 кВт) и значительный коэффициент усиления по мощности (до  $3 \cdot 10^5$ ) имеют усилители [2, с. 145; 3, с. 183]:

1. **Гидравлические.**
2. Магнитные.
3. Ионные.
4. Электронные.

Наряду с достоинствами **гидравлические** усилители имеют недостатки: необходимость промежуточного источника энергии для создания давления в гидросистеме; многочисленные эксплуатационные неудобства, характерные для герметизированных систем; влияние изменения вязкости жидкости в системе на характеристики усилителя; большая постоянная времени ( $10^{-1} \dots 10^{-3}$  с).

2.4.32. Динамика золотникового гидроусилителя при постоянной нагрузке в пределах линейного участка характеристики описывается передаточной функцией звена [3, с.185]:

1. Пропорционального.
2. **Интегрирующего.**
3. Дифференцирующего.
4. Апериодического.

Передаточная функция **интегрирующего звена**:  $W(P) = 1/T_1 p$ , где

$$T_1 = \frac{S_{II}}{h\beta} \sqrt{\frac{\nu}{q\Delta p}}$$

– постоянная времени;  $S_{II}$  – площадь силового поршня;  $h$  – ширина окна золотника (по окружности);  $\beta$  – коэффициент, учитывающий утечку жидкости;  $\nu$  – удельный вес жидкости;  $q$  – ускорение свободного падения;  $\Delta p$  – перепад давления на силовом цилиндре.

## 2.5. Релейные элементы и специальные устройства

2.5.1. Устройство, в котором при достижении определенного значения входной величины  $x$  выходная величина  $y$  изменяется скачкообразно и принимает свое конечное значение, называется [2, с. 24]:

1. Реле.
2. Стабилизатор.
3. Датчик.
4. Сравнивающий орган.

**Реле** – устройство, имеющее ярко выраженную релейную статическую характеристику  $y=f(x)$ . Реле конструктивно содержит:

- воспринимающий орган, на который воздействуют сигналы, подаваемые извне;
- исполнительный орган, предназначенный для передачи сигналов от реле во внешнюю цепь;
- замедляющий орган, обеспечивающий замедление действия реле;
- регулировочный орган, при помощи которого изменяют параметры срабатывания реле.

В различных конструкциях реле эти органы могут быть или явно выражены, или объединены друг с другом.

2.5.2. По функциональному назначению в устройствах автоматики реле является [2, с. 174; 3, с. 120]:

1. Логический элемент.
2. **Исполнительный элемент.**
3. Формирующее устройство.
4. Распределитель.

В системах автоматического управления реле выполняют, как правило, функцию **исполнительного элемента**.

2.5.3. Реле делятся на классы: механические, электрические, оптические, температуры, давления и др. в зависимости от [2, с. 174; 3, с. 120]:

1. **Физической природы входного сигнала.**
2. Принципа действия и конструкции воспринимающих органов.
3. Характера воздействия на управляемую цепь.
4. Величины коммутируемой мощности.

На воспринимающий орган реле может воздействовать сигнал, подаваемый извне (входной сигнал) самой различной **физической природы** (температура, давление и др.).

2.5.4. Реле делятся на высокочувствительные, чувствительные и нормальные в зависимости от [2, с. 174; 3, с. 121]:

1. Рода тока.
2. Величины времени срабатывания.
3. Величины коммутируемой мощности.
4. **Мощности, потребляемой при срабатывании.**

Реле в зависимости от **мощности, потребляемой при срабатывании  $P_{cp}$** , разделяют на: высокочувствительные ( $P_{cp}$  до 10 мВт), чувствительные ( $P_{cp}$  до 0,1 Вт) и нормальные ( $P_{cp} > 0,1$  Вт).

2.5.5. Реле различают малой мощности, средней мощности, повышенной мощности, контакторы в зависимости от [2, с. 175; 3, с. 121]:

1. Характера воздействия на управляемую цепь.
2. Конструктивного исполнения.
3. Мощности, потребляемой при срабатывании.
4. **Величины коммутируемой мощности.**

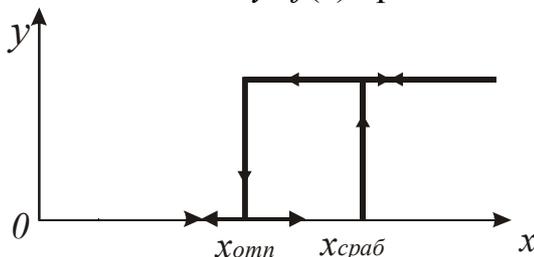
Реле в зависимости от величины **коммутируемой мощности  $P_y$** , различают: малой мощности ( $P_y$  до 50 Вт= или до 120 Вт~), средней мощности ( $P_y$  до 150 Вт= или до 500 Вт~), повышенной мощности ( $P_y > 150$  Вт= или 500 Вт~), контакторы ( $P_y > 500$  Вт).

2.5.6. Воспринимающим органом электромагнитного реле служит [2, с. 175; 3, с. 125]:

1. **Обмотка электромагнита.**
2. Якорь.
3. Контактная система.
4. Сердечник.

У электромагнитного реле на **обмотку электромагнита** (воспринимающий орган) воздействует сигнал, подаваемый извне.

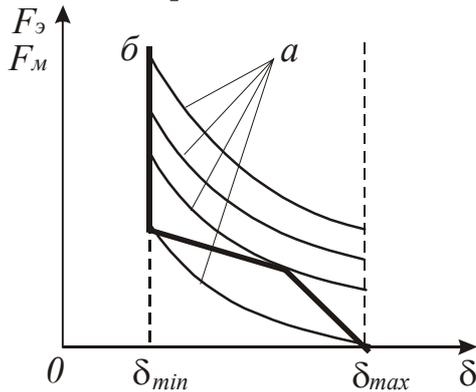
2.5.7. Зависимость  $y=f(x)$  представляет собой характеристику реле [2, с. 24]:



1. **Статическую.**
2. Механическую.
3. Тяговую.
4. Нагрузочную.

**Статическая характеристика электромагнитного реле  $y=f(x)$**  – зависимость изменения выходного сигнала  $y$  (ток, коммутируемый контактами) от изменения входного сигнала  $x$  (ток в воспринимающем органе – обмотке электромагнита) в установившемся режиме.

2.5.8. Укажите тяговую характеристику электромагнитного реле [2, с. 79; 3, с. 126]:



1. а.
2. б.

**Тяговая характеристика электромагнитного реле  $F_{\text{э}}=f(\delta)_{i\omega=\text{const}}$**  — зависимость тяговых усилий  $F_{\text{э}}$ , развиваемых якорем электромагнитной системы реле, от величины воздушного зазора  $\delta$  между якорем и сердечником при постоянной величине намагничивающей силы  $i\omega$ .

2.5.9. Зависимость сил сопротивления перемещению якоря реле  $F_M$ , приведенных к точке, где действуют тяговые усилия, от величины воздушного зазора  $\delta$  между якорем и сердечником  $F_M=f(\delta)$ , называется характеристикой реле [2, с. 179; 3, с. 126]:

1. Статическая.
2. Тяговая.
3. Нагрузочная.
4. **Механическая.**

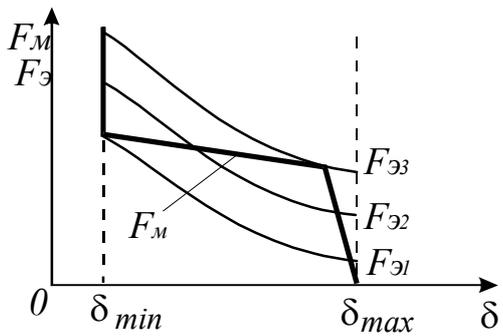
Форма **механической характеристики** зависит от числа и вида контактных групп реле, их конфигурации, величины контактного усилия, степени уравновешенности якоря, величины сил трения.  $F_M=f(\delta)$  представляется обычно в виде ломаной линии (см. п. 2.58).

2.5.10. Зависимость электромагнитного усилия  $F_{\text{э}}$ , действующего на якорь реле, от намагничивающей силы  $i\omega$  его обмотки при постоянной величине рабочего воздушного зазора  $\delta F_{\text{э}}=f(i\omega)_{\delta=\text{const}}$  называется характеристикой реле [2, с. 179; 3, с. 126]:

1. **Нагрузочная.**
2. Тяговая.
3. Механическая.
4. Статическая.

При проектировании электромагнитных реле как **электромеханическая**, так и механическая его характеристики определяются в результате расчета. Для готовых реле указанные характеристики могут быть сняты экспериментально.

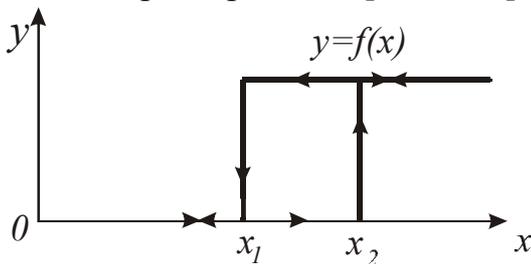
2.5.11. На рисунке показаны семейство тяговых  $F_{\text{э}}=f(\delta)$  и механическая  $F_M=f(\delta)$  характеристики реле. При какой тяговой характеристике произойдет срабатывание реле [2, с. 179; 3, с. 126]?



1.  $F_{Э1}$ .
2.  $F_{Э2}$ .
3.  $F_{Э3}$ .

Тяговые характеристики  $F_{Э}=f(\delta)$  представляют собой семейство гипербол для различного числа ампер-витков в пределах изменения зазора от  $\delta_{min}$  до  $\delta_{max}$ , механическая  $F_M=f(\delta)$  – ломаную линию. Надежная работа реле во многом зависит от надлежащего согласования этих характеристик. Реле работает при  $F_{Э3}$ .

2.5.12. При каком значении входной величины происходит отпускание реле по статической характеристике [2, с. 176]?



1.  $x = x_1$ .
2.  $x = x_2$ .
3.  $x = 0$ .

Параметр срабатывания  $x_{cp}$  – это минимальное значение входного сигнала  $x_2$ , при котором срабатывает реле, то есть переключаются его контакты. **Параметр отпускания  $x_{omn}$**  – максимальное значение входного сигнала  $x_1$ , при котором контакты реле возвращаются в исходное состояние. Параметр срабатывания характеризует чувствительность реле.

2.5.13. Передаточный коэффициент реле определяется зависимостью [2, с. 176]:

$$1. k = \frac{y}{x_{cp}}. \quad 2. k_g = \frac{x_{omn}}{x_{cp}}. \quad 3. k_3 = \frac{I_0}{I_{cp}}. \quad 4. \tau_{min} = \frac{L_{min}}{R}.$$

Передаточный коэффициент определяется зависимостью  $k = y/x_{cp}$ . Для реле это коэффициент усиления по мощности  $k_p$ , который определяется отношением предельно допустимой мощности  $P_{II}$  (коммутируемой контактами) к мощности, соответствующей срабатыванию реле  $P_{cp}$ :  $k_p = P_{II}/P_{cp}$ . У электромагнитных реле его значение может достигать 100, у электронных –  $10^9$ .

2.5.14. Чему равен коэффициент возврата реле [2, с. 176; 3, с. 122]?

$$1. k = \frac{x_{omn}}{x_{cp}}. \quad 2. k = \frac{y}{x_{cp}}. \quad 3. \tau_{max} = \frac{L_{max}}{R}. \quad 4. k_3 = \frac{I_0}{I_{cp}}.$$

Параметры срабатывания  $x_{ср}$  и отпускания  $x_{отп}$  реле связаны между собой коэффициентом возврата  $k_в = x_{отп}/x_{ср}$ . Коэффициент возврата у электромагнитных реле находится в пределах 0,4...0,9, а электронных – 0,98...0,99.

2.5.15. Для уменьшения потерь на перемагничивание и вихревые токи сердечник и якорь реле переменного тока [2, с. 180]:

1. **Набирают из пластин листовой электротехнической стали.**
2. Изготавливаются цельными.

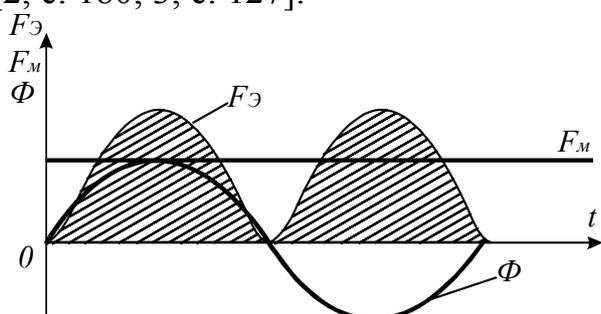
В реле переменного тока применяют специальные меры для уменьшения потерь на перемагничивание и вихревые токи. Сердечник электромагнита **набирают из пластин листовой электротехнической (трансформаторной) стали.**

2.5.16. Особенностью электромагнитного реле переменного тока является [2, с. 180]:

1. Выполнение магнитной системы из электротехнической стали, обладающей большой остаточной намагниченностью.
2. Наличие бифилярной обмотки.
3. **Наличие медного короткозамкнутого витка (экрана) на части полюса электромагнита.**

В реле переменного тока применяют специальные меры для устранения вибрации контактов, которая вызывается периодическим изменением силы и направления переменного синусоидального тока. Тяговое усилие реле меняется с двойной частотой от нуля до максимума в течение каждого полупериода. Следовательно, и якорь реле будет отходить и притягиваться также с двойной частотой, что ухудшает работу контактов реле. Для устранения вибраций на часть полюса электромагнита насаживают **медный короткозамкнутый виток (экран).**

2.5.17. Изображен график изменения тягового усилия реле переменного тока [2, с. 180; 3, с. 127]:



1. С короткозамкнутым витком.
2. **Без короткозамкнутого витка.**

На графике показано изменение магнитного потока  $\Phi$ , тягового усилия  $F_Э$  (с двойной частотой) и противодействующего усилия (пружин)  $F_M$ . При таком соотношении  $F_Э$  и  $F_M$  наблюдается недопустимая вибрация контактов. Реле **не имеет короткозамкнутого витка** на части полюса электромагнита.

2.5.18. В каких цепях условия коммутации (размыкание и замыкание электрической цепи) будут наиболее благоприятны для контактов реле [2, с. 176]?

1. Безразлично.
2. В цепи постоянного тока.
3. В цепи переменного тока, содержащей активно-индуктивную нагрузку.
4. **В цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление.**

**В цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление, условия коммутации будут наиболее благоприятны для контактов реле.**

2.5.19. Наиболее тяжелым режимом работы контактов реле является [2, с. 176]:

1. Процесс замыкания.
2. **Процесс размыкания.**
3. Длительная работа в замкнутом состоянии.

**Процесс размыкания** является наиболее тяжелым режимом работы контактов реле.

2.5.20. Можно ли использовать электромагнитное реле постоянного тока в цепях переменного тока [2, с. 176]?

1. Да.
2. Нежелательно.
3. **Нет.**

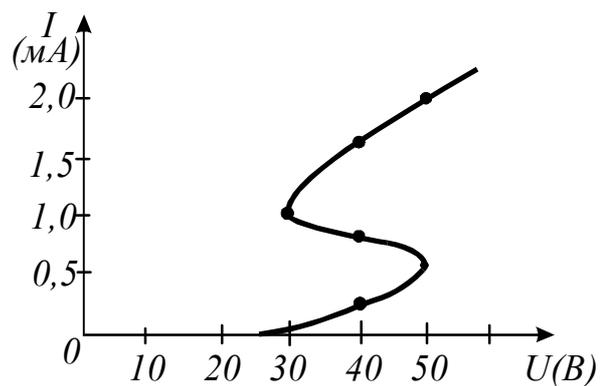
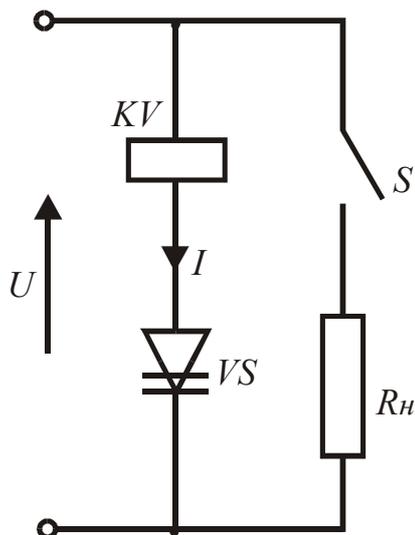
Электромагнитное реле постоянного тока в цепях переменного тока **не используется.**

2.5.21. Какое конструктивное изменение или дополнение делает электромагнитное реле поляризованным [2, с. 176; 3, с. 128]?

1. Изменение катушки реле.
2. **Дополнение его постоянным магнитом.**
3. Изменение контактной системы.
4. Наличие медного короткозамкнутого витка на части полюса электромагнита.

В ряде устройств необходимо, чтобы реле реагировало не только на величину тока или напряжения, но и на знак входного сигнала. Поляризованное реле отличается от обычного наличием **дополнительного постоянного магнита** и зависимостью направления перемещения якоря от полярности намагничивающего тока.

2.5.22. Реле  $KV$  размыкает контакт  $S$  при токе 1,5 мА и замыкает контакт при токе 0,25 мА. Последовательно с реле соединен диностор  $VS$ . Вольтамперная характеристика последовательно соединенных реле и диностора показана на рисунке. Определить, при каком напряжении  $U$  реле размыкает контакт  $S$  [2, с. 176; 15, с. 69].



1. 25 В.                      2. 30 В.                      3. 45 В.                      4. **50 В.**

Динистор – неуправляемый двухэлектродный прибор с четырехслойной структурой. Происходящие в динисторе электрические процессы определяются ВАХ. На вертикальной оси нанесены значения прямых токов, а на горизонтальной – прямых напряжений. Реле *KV* разомкнет контакт *S* при напряжении **50 В**.

2.5.23. По данным задачи 2.5.22 определить, при каком напряжении *U* реле замыкает контакт *S*. [2, с. 176; 15, с. 69]:

1. 25 В.                      2. **30 В.**                      3. 36 В.                      4. 50 В.

Согласно ВАХ динистора реле *KV* замыкает контакт *S* при напряжении **30 В**.

2.5.24. Величина времени срабатывания нормальных реле находится в пределах [2, с. 175; 3, с. 123]:

1. Единиц секунд.                      2. От 0,005 с до 0,05 с.  
 3. **От 0,05 с до 0,15 с.**                      4. 0,001 с.

Реле, в зависимости от величины времени срабатывания, делятся на быстродействующие ( $t_{cp}=1...50$  мс), **нормальнодействующие** ( $t_{cp}=50...150$  мс) и медленнодействующие ( $t_{cp}=0,15...1$  с). Реле с временем срабатывания менее 1 мс называют безынерционными, а с  $t_{cp}>1$  с – реле выдержки времени.

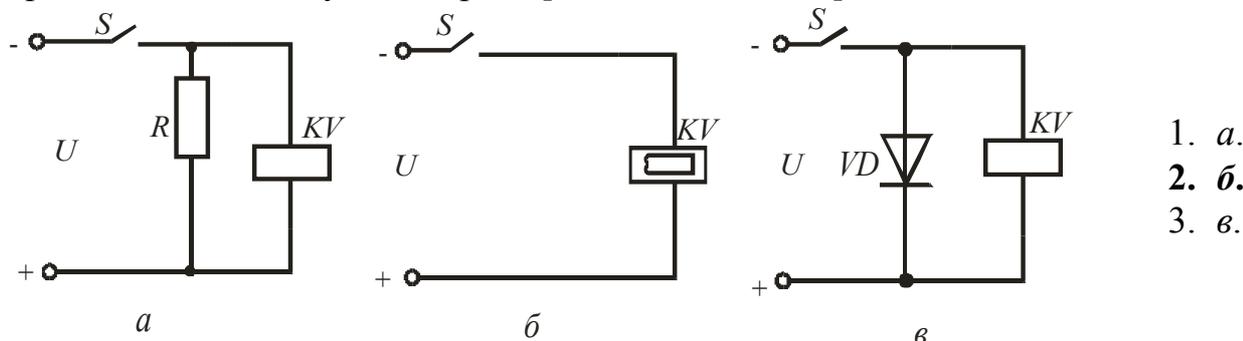
2.5.25. Наибольшую выдержку времени имеет реле [2, с. 182; 3, с. 121]:

1. Электронное.                      2. **Моторное.**  
 3. Электромагнитное.                      4. Магнитоэлектрическое.

У реле с механическим устройством замедления выдержка времени создается при помощи часового механизма или синхронных электродвигателей. В последнем случае реле выдержки времени называют **моторным**. Эти реле, в основном, используются в качестве программных устройств, создающих несколько

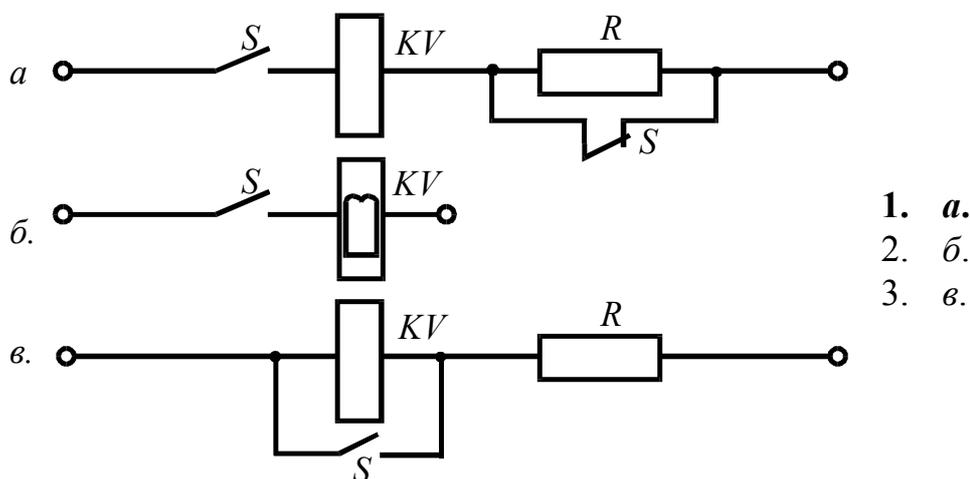
выдержек времени длительностью от долей минуты до нескольких часов или даже суток.

2.5.26. Какая из предложенных схем создаст наибольшее замедление срабатывания и отпускания реле [2, с. 182; 3, с. 131]?



Для создания сравнительно небольшой выдержки времени часто применяют простейшие схемные решения, замедляющие нарастание или спадание токов в обмотке электромагнитного реле постоянного тока при помощи резисторов, конденсаторов, полупроводниковых диодов, дросселей, короткозамкнутых витков. В схеме *б* для создания выдержки времени применен короткозамкнутый виток, в котором при изменении магнитного потока индуцируется ток, препятствующий своему магнитным полем этому изменению, что приводит к увеличению времени срабатывания реле **до 1 с**, а отпускания – **до 10 с**.

2.5.27. Какая из предложенных схем обеспечит термическую устойчивость реле при его длительной работе [2, с. 182]?



Термическую устойчивость реле при его длительной работе обеспечит **схема а** за счет включения в цепь катушки *KV* сопротивления *R*.

2.5.28. Тепловые реле выполняют защиту электродвигателей [10, с. 167]:

1. От токов короткого замыкания.
2. Нулевую.
3. **От перегрузок незначительных по величине, но продолжительных по времени.**
4. От потери двух фаз.

Мощность, которую способен развить электродвигатель без вредных последствий, определяется его максимальным вращающим моментом и степенью нагрева. Предельно допустимая температура нагрева ограничивается качеством материала изоляции. Электродвигатель нуждается в надежной защите **от перегрузок, незначительных по величине, но продолжительных по времени.** Такую защиту выполняют тепловые реле.

2.5.29. Как включаются контакты теплового реле [10, с. 168]?

1. Последовательно в линейный провод или фазу.
- 2. Последовательно в цепь питания катушки магнитного пускателя.**
3. В цепь блок-контактов.
4. Параллельно кнопке «Пуск».

Контакты тепловых реле находятся в цепях управления электродвигателями, непосредственно включаются **последовательно в цепи питания катушек магнитных пускателей.**

2.5.30. Как вернуть тепловое реле в рабочее положение [10, с. 168]?

1. Сменить нагревательный элемент.
2. Нажатием кнопок «Стоп» и «Пуск».
- 3. Нажатием кнопки возврата.**

В рабочее положение тепловое реле возвращают вручную, воздействуя на защелку аппарата **при помощи кнопки возврата.**

2.5.31. Чем определяется номер нагревательного элемента теплового реле [10, с. 168]?

1. Номинальной мощностью двигателя.
- 2. Рабочим током двигателя.**
3. Напряжением сети.
4. Схемой соединения обмоток двигателя.

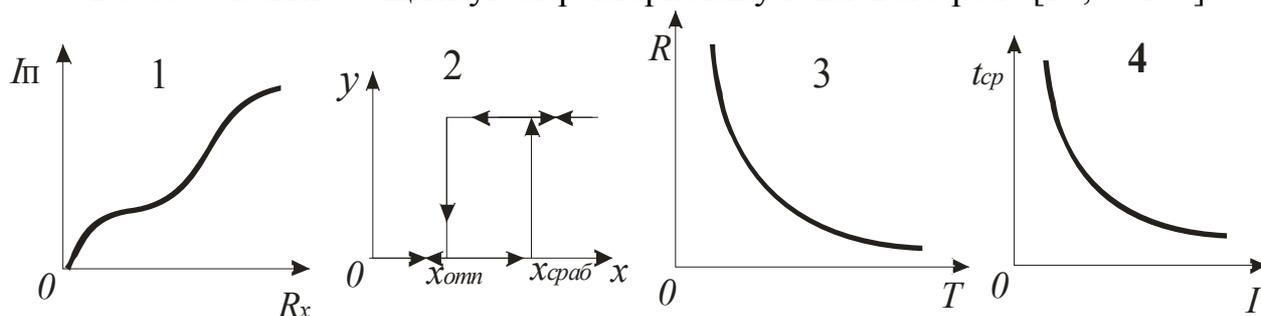
Обычно механизм расцепления собран и отрегулирован так, что при нормальной нагрузке электродвигателя защелка аппарата не выходит из зацепления с биметаллической пластинкой в течение неограниченного времени. Номер нагревательного элемента реле определяется **рабочим током двигателя.**

2.5.32. Как включается нагревательный элемент теплового реле [10, с. 168]?

1. Между линейными проводами.
2. Между линейным проводом и нулевой точкой.
3. Последовательно в цепь питания катушки магнитного пускателя.
- 4. Последовательно в линейный провод или фазу.**

Воспринимающий орган (нагревательный элемент) теплового реле включается **последовательно в линейный провод или фазу**, то есть обтекается одним и тем же током, что и электродвигатель. Ток, проходящий по нагревательному элементу, постепенно поднимает его температуру, биметаллическая пластинка нагревается и изгибается, выходит из зацепления с защелкой, последняя под действием пружины отклоняется, в результате чего размыкается контакт в цепи катушки контактора.

2.5.33. Укажите защитную характеристику теплового реле [10, с. 168]:



Защитная характеристика теплового реле представляет собой зависимость  $t_{cp} = f(I)$ . Обычно реле стремятся подбирать так, чтобы их тепловые характеристики приближались к тепловым характеристикам защищаемых ими электродвигателей. Тогда реле своевременно будет реагировать на перегрузки электродвигателя.

2.5.34. Какая зависимость времени срабатывания теплового реле от тока [10, с. 169]?

1.  $t_{cp} = kI_p$ .
2. При  $I_p = 1,5I_n$ .  $t_{cp} = 2-2,5$  мин.
3. Не зависит.
4. При  $I_p = 1,5I_n$ .  $t_{cp} = 10$  с.

При 50% перегрузке электродвигатель отключается как неисправный в течение **2...2,5 мин.**

2.5.35. Какое минимальное число нагревательных элементов должно быть у теплового реле для защиты трехфазного электродвигателя [10, с. 168]?

1. Один.
2. Два.
3. Три.

Серийно для защиты электродвигателей выпускаются тепловые реле **двухэлементные** и трехэлементные.

2.5.36. Для последовательного во времени переключения электрических цепей, чаще всего с целью поочередного подключения ряда выходных электрических цепей к одному входу или, наоборот, применяется [3, с.133]:

1. Регулирующий орган.
2. Исполнительный механизм.
3. **Электромагнитный шаговый искатель (шаговый распределитель).**
4. Контроллер.

**Шаговый искатель (распределитель)** представляет собой электромагнитный многопозиционный и многорядный переключатель, широко используемый в устройствах связи и системах автоматического управления с большим числом объектов управления. Они могут быть контактными и бесконтактными (электронные, полупроводниковые, магнитные).

2.5.37. Электромагнитные шаговые искатели разделяют на вращательные и подъемно-вращательные (декадно-шаговые) по [3, с.134]:

1. Емкости контактного поля.
2. Конструктивному исполнению.
3. **Принципу действия кинематической системы.**
4. Назначению.

Вращательные шаговые искатели выпускаются в нескольких вариантах и отличаются один от другого емкостью контактного поля (числом пластин в ряду и числом рядов), а также **типом привода**, который может быть прямого и обратного действия. В декадно-шаговом искателе **два привода**: один – для поступательного движения (подъема), другой – для вращательного.

2.5.38. Устройство, сигналы на выходе которого имеют место лишь при определенном сочетании сигналов на входе, но после прекращения действия входного сигнала его выходной сигнал принимает первоначальное состояние, то есть оно не способно запоминать входное воздействие, называется [3, с.119]:

1. Звено.
2. Узел.
3. Блок.
4. **Логический элемент.**

**Логический элемент** – устройство для преобразования числовой (дискретной) информации на основе алгебры логики, которая базируется на взаимообусловленности истинных (достоверных) и ложных суждений или высказываний. Простые суждения представляются элементарными функциями, состоящими из двух аргументов (переменных): «истинно-ложно» либо «да-нет», которые могут быть обозначены различными условными математическими символами. Общепринятыми знаками считаются: 1 – для записи истинного и 0 – для ложного суждений.

2.5.39. Логические элементы подразделяются на электромеханические (реле), электронные (полупроводниковые), пневматические и др. по [9, с.15]:

1. **Физическим принципам.**
2. Потребляемой мощности.
3. Быстродействию.
4. Номинальным значениям входных и выходных сигналов.

**По физическим принципам** логические элементы подразделяются на электромеханические, электронные, пневматические. Входными и выходными сигналами электрических и электронных логических элементов, как правило, является напряжение, а пневматических – давление воздуха.

2.5.40. Принцип действия логических элементов основан на использовании двух устойчивых состояний магнитных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса [2, с.162]:

1. И-201–И-209.
2. Логика-И.
3. УСЭПА.
4. **ЭЛМ.**

Магнито-полупроводниковые (магнитные) логические элементы типа **ЭЛМ** состоят из набора односердечниковых усилителей Рэйми в сочетании с резисторами и полупроводниковыми диодами и транзисторами. Соединение усилителя Рэйми с диодами позволяет сравнительно просто осуществлять реализацию логических функций и одновременное усиление входных сигналов.

2.5.41. Высокое быстродействие, малый габарит, высокая надежность и др. присущи логическим элементам [2, с.156]:

1. Релейным.
2. **Полупроводниковым.**
3. Пневматическим.
4. Электромеханическим.

**Полупроводниковые** логические элементы выполняют на диодах, транзисторах или их комбинациях. Они имеют ряд преимуществ перед релейными элементами: высокое быстродействие, малый габарит, высокая надежность и др.

2.5.42. Какой логический элемент характеризуют следующие параметры: напряжение питания 15 В; потребляемая мощность 0,1...1 Вт; напряжение сигнала, соответствующего логическому 0: на входе до 6 В, на выходе до 1,5 В; напряжение сигнала, соответствующего логической 1: на входе  $U > 8$  В, на выходе  $U > 12$  В [3, с. 142]?

1. **Логика-И.**
2. **ЭЛМ.**
3. **УСЭППА.**
4. **Магнитных.**

**Логические элементы серии «Логика-И»** построены на базе интегральных микросхем типа К511 с повышенной помехозащищенностью и быстродействием. Для реализации различных алгоритмов управления в составе этой серии применены следующие элементы: логические И-101-И-112; И-122, И-123; цифровые И-113-И-121; функциональные И-201-И-209; времени И-301-И-302; усилительные И-401-И-406.

2.5.43. На эксплуатацию в пожаро- и взрывоопасных условиях рассчитаны логические элементы [2, с.164]:

1. **ЭЛМ.**
2. **УСЭППА.**
3. **Логика-И.**
4. **И-301–И-302.**

**Система УСЭППА** составлена из отдельных унифицированных элементов дискретного или непрерывного действия, каждый из которых выполняет простейшую операцию, а в том или ином наборе они образуют устройства автоматики, подобные по выполняемым функциям электрическим. В набор могут входить пневмоусилители, пневмореле, пневмосопротивления, пневмоемкости и другие аналоги электрической аппаратуры.

2.5.44. Для работы в цепях переменного тока частотой 50 и 400 Гц предназначены логические элементы [2, с.162]:

1. **УСЭППА.**
2. **Логика-И.**
3. **ЭЛМ.**
4. **И-101–И-112.**

Магнито-полупроводниковые (магнитные) логические элементы **типа ЭЛМ** предназначены для работы в цепях переменного тока частотой 50 и 400 Гц. Принцип их действия основан на использовании двух устойчивых состояний магнитных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса.

2.5.45. Недостатки: низкое быстродействие, невозможность непосредственной передачи сигналов на большие расстояния существенно сужают область использования логических элементов [2, с.164]:

1. **Пневматических.**
2. **Электромеханических.**
3. **Магнитных.**
4. **Электронных.**

Всем **пневматическим элементам** автоматики присущи существенные недостатки: низкое быстродействие, невозможность передачи сигналов на большие расстояния, необходимость применения источников сжатого воздуха, влияние

изменения влажности воздуха в системе на характеристики, большая постоянная времени ( $10^{-1} \dots 10^{-3}$  с), которые существенно снижают область их использования.

2.5.46. Более высокая надежность, простота в изготовлении и эксплуатации, работа при высоких и низких температурах, взрыво- и пожаробезопасность, безразличие к радиационным воздействиям, работа с малыми затратами энергии, низкая стоимость присущи логическим элементам [2, с.164]:

1. Электромеханическим.
2. **Пневматическим.**
3. Электронным.
4. Магнитным.

**Пневматические системы** применяются для построения одноконтурных и многоконтурных релейных схем, выполняющих любые логические операции. В приборах используется энергия очищенного от пыли, масла и влаги сжатого воздуха. Входные сигналы перемещают в элементе сопла или мембраны, соединяя выходные каналы с исполнительными органами. Пневматические логические элементы имеют целый ряд достоинств.

2.5.47. Можно ли при помощи одних и тех же логических элементов серии «Логика-И» выполнить несколько логических операций [2, с.156]?

1. Нет.
2. **Да.**

При помощи одних и тех же логических элементов можно выполнить несколько логических операций. Для этого в логических элементах **предусмотрена возможность** несложного изменения схемы за счет соответствующих комбинаций элементов.

2.5.48. Логическое устройство, выходной сигнал которого зависит от значения входного сигнала не только в данный момент времени, но и в предыдущие моменты времени, называется [5, с.110]:

1. Комбинационное.
2. **Последовательностное.**

В состав **последовательностных** устройств обязательно входят элементы памяти – триггеры. Различают несколько видов триггеров в зависимости от того, какую элементарную функцию памяти они реализуют.

2.5.49. Логическое устройство, у которого значение выходного сигнала зависит только от комбинации входных сигналов в данный момент времени, называется [5, с.110]:

1. **Комбинационное.**
2. Последовательностное.

Различают последовательностные и комбинационные логические устройства. В отличие от последовательностных устройств, в **комбинационных** значение выходного сигнала зависит только от комбинации входных сигналов в данный момент времени.

2.5.50. Циклически работающее устройство, формирующее  $N$  разнесенных во времени последовательностей импульсов, называется [3, с.88]:

1. Регулирующий орган.
2. Задающее устройство.
3. Сравнивающий орган.
4. **Распределитель.**

**Распределитель импульсов** – функциональный узел, автоматически распределяющий, поочередно или по заявкам, импульсы на  $N$  своих выходов, при этом в любой момент времени на всех выходах может быть не больше одного импульса. Распределитель импульсов предназначается для переключения цепей временного разделения сигналов и каналов.

2.5.51. Распределители, осуществляющие процесс распределения импульсов на свои выходы только при поступлении на вход распределителя очередного импульса от генератора импульсов, называются [3, с.89]:

1. Самоходные.
2. **Тактовые.**
3. Автопереключатели.

Распределители импульсов разделяются на самоходные и **тактовые** (однотактные и двухтактные). В однотактных распределителях каждый тактовый импульс вызывает продвижение распределителя на одну ячейку. В двухтактных распределителях переключение выходных импульсов осуществляется с удвоенной тактовой частотой. Электронные тактовые распределители могут работать в циклическом и стартстопном режимах или по командам.

2.5.52. Устройство, предназначенное для преобразования дискретного сообщения в кодовый сигнал, называется [3, с.93]:

1. Дешифратор.
2. Декодер.
3. **Кодер (шифратор).**
4. Распределитель.

**Кодирующее устройство (кодер)** предназначено для преобразования дискретного сообщения в кодовый сигнал, а декодирующее (декодер) – для обратного преобразования кодовых комбинаций заданного кода в дискретные сообщения или сигналы, выдаваемые на индивидуальные выходы. Следовательно, кодер формирует, а декодер разделяет кодовые комбинации по индивидуальным выходным цепям.

2.5.53. Конечное множество целых рациональных чисел, сопоставляемых по определенному алгоритму с множеством сообщений, называется [3, с.93]:

1. **Код.**
2. Дискретное сообщение.
3. Кодовая комбинация.
4. Набор.

В телемеханике под множеством рациональных чисел подразумевается совокупность дискретных сигналов в виде кодовых комбинаций. Основание кода – это число  $m$ , равное числу отличающихся один от другого символов в алфавите. Простейший число-импульсный **код** имеет алфавит, состоящий из одних единиц. При  $m=2$  код двоичный. Имеются коды и при большем количестве символов.

2.5.54. Устройство для автоматического изменения по заданному алгоритму соответствия между входными и выходными кодами без изменения их смыслового содержания называется [3, с.96]:

1. Кодер.
2. Шифратор.
3. Преобразователь кодов.
4. Распределитель импульсов.

В зависимости от входных и выходных кодов **преобразователи** классифицируются по различным признакам: числу символов алфавита, виду электрического сигнала, способу передачи элементарных сигналов, степени достоверности. Такие устройства преобразуют, например, двоичный код в десятичный или в код для отображения информации на цифровом индикаторе и т.д.

2.5.55. Преобразователи кодов, у которых элементы выходного кода в явном виде соответствуют одноименным элементам входного кода, разделяются на параллельно-последовательные и последовательно-параллельные в зависимости от [3, с.97]:

1. **Направления передачи информации.**
2. Числа символов алфавита.
3. Вида электрического сигнала.
4. Степени достоверности.

Принцип последовательно-параллельного преобразования кода заключается в **последовательной записи** по единственной входной шине поочередно во все ячейки регистра синхронно с тактовыми импульсами требуемого кода и в **одновременном считывании** из этих ячеек через группу элементов И-НЕ на соответствующие шины всей комбинации.

2.5.56. Одновременная подача на входы регистра всех элементов кода и последующее поочередное считывание каждого элемента положены в основу работы преобразователя кодов [3, с.97]:

1. Последовательно-параллельного.
2. **Параллельно-последовательного.**

В **параллельно-последовательном** преобразователе кодов управление параллельной записью кода в регистр осуществляется группой элементов И-НЕ, кратных разрядности кода. Система связей между ячейками регистра, а также последовательность импульсов считывания таковы, что на выходе последней ячейки с заданной частотой появляется последовательно весь код.

2.5.57. Электронное или электромагнитное устройство, которое служит для преобразования сигнала постоянного тока или медленно изменяющегося тока в сигнал переменного тока заданной частоты, называется [3, с.100]:

1. **Модулятор.**
2. Демодулятор.
3. Модем.
4. Счетчик импульсов.

В телемеханике **модуляторы** применяются для согласования сигнала с каналом связи по передаваемым частотам. Модуляция (амплитудная, частотная, фазовая) применяется также для повышения помехоустойчивости и стабильности коэффициента передачи в измерительных устройствах.

2.5.58. Для преобразования кода в пропорциональное ему напряжение или ток служат преобразователи [3, с.106]:

1. Аналого-цифровые параллельного типа.
- 2. Цифро-аналоговые.**
3. Аналого-цифровые с интегрированием.
4. Аналого-цифровые с последовательным сравнением.

**Цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП)** применяются, например, в приемнике кодоимпульсных устройств телеизмерений для преобразования информации в аналоговую форму с целью ее отображения на показывающих приборах и самописцах, а также в различных устройствах автоматики для связи цифровых ЭВМ с аналоговыми элементами и системами.

2.5.59. Элементы автоматики, обеспечивающие прием информации, преобразование ее в визуальную форму и воспроизведение на экране, называются [3, с.113]:

1. Аналого-цифровые преобразователи.
- 2. Устройства отображения информации (УОИ).**
3. Цифро-аналоговые преобразователи.
4. Распределители.

**Информация может быть отображена** в различной визуальной форме: в виде телевизионного изображения, рисунка, графика, а также в виде буквенного или цифрового текста.

2.5.60. Устройства отображения информации разделяются на сигнализирующие, обзорные и знаковые по [3, с.113]:

1. Конструктивному исполнению.
2. Характеру связи.
- 3. Виду воспроизведения информации.**
4. Виду сигналов.

УОИ разделяют по: **виду воспроизведения информации** – на сигнализирующие, обзорные и знаковые; способу использования в системах управления – на устройства коллективного и индивидуального пользования; характеру формирования изображения – на устройства с плоским и объемным изображением объекта.

2.5.61. УОИ разделяются на устройства передачи сигналов в аналоговой, дискретной и аналого-дискретной форме по [3, с.113]:

1. Характеру связи.
2. Виду воспроизведения информации.
3. Конструктивному исполнению.
- 4. Виду сигналов.**

УОИ разделяют по: **виду сигналов** – на устройства передачи сигналов в аналоговой, дискретной и аналого-дискретной формах; характеру связи – на односторонние и с двухсторонним обменом; принципу действия – на устройства с подвижными элементами, электролюминесцентные, на нитях накаливания, газоразрядные, на электронно-лучевых трубках и на других элементах.

2.5.62. Микроэлектронное изделие, выполняющее определенную функцию преобразования и обработки сигналов и имеющее высокую плотность упаковки электрически соединенных элементов (или элементов и компонентов) и (или)

кристаллов, которые с точки зрения требований к испытаниям, приемке, поставке и эксплуатации рассматривают как единое целое, называется [16, с.250]:

1. Блок.
2. Узел.
3. **Интегральная схема (микросхема).**
4. Логический элемент.

**Интегральные микросхемы (ИМС)** разделяют по технологическим методам их изготовления на полупроводниковые, пленочные, совмещенные и гибридные. Технология изготовления, при которой совмещаются процессы изготовления электрорадиодеталей и соединений между ними, называется интегральной (степень интеграции до нескольких тысяч элементов на 1 мм<sup>2</sup>).

2.5.63. Интегральная схема, предназначенная для преобразования и обработки сигналов, изменяющихся по закону дискретной функции, называется [16, с.250]:

1. **Цифровая интегральная микросхема (цифровая микросхема).**
2. Логическая схема.
3. Регистр.
4. Функциональный узел.

**Цифровые ИМС (дискретные)** применяются в виде триггеров, счетчиков, регистров, сумматоров, дешифраторов и других функционально-полных или функционально-неполных узлов и сборок электронных вычислительных и автоматических систем.

2.5.64. Элементы интегральной схемы, выполняющие функции усиления или иного преобразования сигнала (транзисторы и т.п.), называются [12, с.187]:

1. Пассивные.
2. **Активные.**

К **активным** элементам интегральных микросхем относятся биполярные, многоэмиттерные и полевые транзисторы, диоды, тиристоры и другие элементы и компоненты, способные усиливать или видоизменять форму сигналов. Применяются активные элементы в интегральном исполнении.

2.5.65. Элементы (резисторы, конденсаторы, индуктивности), входящие в состав интегральной схемы, называются [12, с.187]:

1. **Пассивные.**
2. Активные.

К **пассивным** элементам интегральных микросхем относятся резисторы, конденсаторы и индуктивные элементы. Все пассивные элементы получены по специальным технологиям и применяются в интегральном исполнении.

2.5.66. Степень интеграции микросхем определяют числом элементов и выражают ее через десятичный логарифм этого числа [12, с.187]:

1. Только активных элементов.
2. Только пассивных элементов.
3. **Активных и пассивных элементов.**

Интегральная микросхема состоит из комплекса электрически связанных **активных и пассивных элементов**, объединенных в кристалле или на общей подложке в виде функционально завершенного узла. Изготавливается по интегральной технологии. Степенью интеграции называют количество элементов в единице объема или на единице поверхности активного вещества.

2.5.67. Может ли быть изменена внутренняя структура микросхемы [12, с.187]?

1. Да.

2. Нет.

Интегральные микросхемы изготавливаются по интегральной технологии, поэтому их внутренняя структура **не может быть изменена**.

2.5.68. Программно управляемое устройство, осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управление, построенное на одной или нескольких интегральных микросхемах, называется [12, с.235]:

1. Функциональный узел.

2. Адаптер внешнего интерфейса.

**3. Микропроцессор.**

4. Модулятор.

Развитие **микропроцессорной** техники – новое направление при переходе от технических средств с жесткой логикой к универсальным программируемым устройствам, выполненным на основе больших интегральных схем (БИС). Определены два направления компоновки БИС: однокристалльное и многокристалльное исполнение. Однокристалльные микропроцессоры и микро-ЭВМ вследствие ограниченных функциональных возможностей и недостаточного быстродействия в ряде применений не могут обеспечить эффективного решения задач.

2.5.69. Совокупность электрически, функционально и конструктивно сопрягающихся микропроцессорных и других больших интегральных микросхем, которые могут быть совместно применены при построении микропроцессоров, контроллеров, микро-ЭВМ и т.п., называется [12, с.235]:

1. Структура.

2. Функциональный узел.

3. Процессор.

**4. Микропроцессорный комплект.**

Помимо микропроцессорного элемента обычно требуется еще ряд дополнительных микросхем, упрощающих построение широкого круга устройств автоматики, измерительной и вычислительной техники. Все это входит в **микропроцессорный комплект**.

2.5.70. Наибольшими функциональными возможностями и гибкостью, быстродействием обладает микропроцессор [12, с.242]:

1. Однокристалльный. **2. Многокристалльный секционированный.**

Наибольшими возможностями обладает **многокристалльный секционированный микропроцессор**. Разбиение на секции процессорной и других частей микро-ЭВМ позволяет реализовать различные архитектурные принципы наращивания вычислительной и информационной мощности «по вертикали», «по горизонтали». Этот подход дает возможность обеспечить максимальную производительность системы. Гибкость микрокоманд микропроцессорных секций позволяет осуществлять эффективную эмуляцию различных ЭВМ.

2.5.71. Преимущества: сокращение сроков, стоимости разработок и модернизации системы; повышение надежности; расширение функциональных возможностей, определяемых сменным программным обеспечением и гибкостью организации ввода-вывода, имеют системы автоматики с применением [12, с.236]:

1. **Микропроцессорных БИС.**
2. Схем с жесткой логикой.
3. Релейно-контакторной аппаратуры.

Большие интегральные схемы (БИС) имеют большую степень интеграции (количество элементов более  $10^3$  на  $1 \text{ мм}^2$ ). Использование **микропроцессорных БИС** в системах автоматики дает ряд преимуществ перед схемами с жесткой логикой.

2.5.72. Средства автоматики и вычислительной техники, использующие микропроцессоры и микропроцессорные наборы БИС, делятся на универсальные контроллеры, простейшие контроллеры, микро-ЭВМ с процессорами на одной или нескольких БИС, многопроцессорные вычислительные системы на базе БИС микропроцессоров, микроэлектронные управляющие вычислительные комплексы по [12, с.236]:

1. Конструктивному исполнению.
2. **Функциональному назначению.**
3. Виду энергии.
4. Степени автоматизации.

По **функциональному назначению** интегральные микросхемы нашли самое широкое применение в различных устройствах автоматики и вычислительной техники. Дальнейшее развитие интегральных схем продолжается в направлении роста степени интеграции, быстродействия, помехоустойчивости, снижения потребляемой мощности.

2.5.73. Выполнение требуемой последовательности операций в микропроцессоре определяется [12, с.259]:

1. **Совокупностью воздействий на аппаратные средства определенных сигналов, следующих в заданном порядке.**
2. Контрольным воздействием.
3. Внутренним воздействием.
4. Выходным воздействием.

**Под командой принято понимать управляющие сигналы, представляющие собой инструкции на машинном языке и определяющие требуемую операцию, и данные или адреса данных, над которыми выполняются эти операции.** По функциональным признакам система команд разделяется на арифметико-логические команды, команды перехода и команды обмена.

## **2.6. Исполнительные механизмы и регулирующие органы**

2.6.1. Устройство, преобразующее управляющий сигнал регулятора в перемещение РО, называется [2, с. 186]:

1. **Исполнительный механизм.**
2. Регулирующий орган.
3. Исполнительный двигатель.
4. Распределитель.

**Исполнительный механизм** – устройство, осуществляющее воздействие на объект управления путем изменения потока энергии или потока материала, поступающего на объект, посредством перемещения регулирующего органа.

2.6.2. Исполнительные механизмы автоматики разделяют на гидравлические, пневматические, электрические по [2, с. 186]:

1. **Виду потребляемой энергии.**
2. Виду используемого двигателя.
3. Характеру движения выходного органа.
4. Назначению.

По **виду потребляемой энергии** ИМ делятся на: электрические; пневматические; гидравлические (гидравлические механизмы, в которых в качестве энергоносителя используется масло, иногда называют «сервоприводами» или «сервомоторами»); прочие ИМ (использующие потенциальную энергию груза или сжатой пружины, энергию взрыва и др.).

2.6.3. Исполнительные механизмы подразделяются на электродвигательные, электромагнитные, поршневые и мембранные по [2, с. 186]:

1. **Типу двигателя.**
2. Виду используемой энергии.
3. Характеру движения выходного органа.

По **типу двигателя** ИМ делятся на электродвигательные, электромагнитные, поршневые и мембранные.

2.6.4. Исполнительные механизмы подразделяются на поворотные (однооборотные и многооборотные) и прямоходные по [2, с. 187]:

1. Виду потребляемой энергии.
2. Виду используемого двигателя.
3. **Характеру движения выходного органа.**
4. Конструктивному исполнению.

По **характеру движения выходного органа** ИМ делятся на поворотные (однооборотные и многооборотные) и прямоходные с поступательным движением. В зависимости от скорости движения выходного органа различают ИМ с постоянной скоростью и ИМ, у которых скорость перемещения выходного органа пропорциональна выходному сигналу.

2.6.5. Основные характеристики: крутящий момент на выходном валу или усилие на штоке, угол поворота вала для однооборотных или число оборотов вала для многооборотных, время полного хода выходного органа от одного крайнего положения к другому, выбег, люфт и гистерезис присущи [2, с. 188]:

1. Регулирующему органу.
2. **Исполнительному механизму.**
3. Распределителю.
4. Шаговому искателю.

**ИМ** характеризуются целым рядом параметров: номинальное значение крутящего момента на выходном валу или усилия на выходном штоке; максимальное значение вращающего момента или усилия; зона нечувствительности, в пределах которой изменение величины управляющего сигнала не вызывает движения ИМ; постоянная времени, характеризующая

инерционное запаздывание начала движения ИМ после подачи на его вход управляющего сигнала; время оборота выходного вала ИМ или хода его штока; величина инерционного выбега выходного вала ИМ.

2.6.6. Требования: выбег не должен превышать 0,25...1% полного хода выходного органа; величина люфта – 0,2...0,5 мм для прямоходовых, 0,75...1° для однооборотных, до 3° для многооборотных; гистерезис не более 1,5% предъявляются к [2, с. 186]:

1. **Исполнительному механизму.**
2. Регулирующему органу.
3. Распределителю.
4. Шаговому искателю.

**ИМ** – один из важнейших функциональных элементов автоматики. Правильный их выбор и настройка играют существенную роль в работоспособности системы, к ним предъявляются жесткие требования.

2.6.7. По своим динамическим свойствам исполнительные механизмы представляют собой звено [5, с. 130]:

1. Пропорциональное.
2. Дифференцирующее.
3. **Интегрирующее.**
4. Аperiodическое.

По динамическим свойствам электродвигательные исполнительные механизмы представляют собой **интегрирующее звено** с передаточной функцией  $W(P) = \alpha^*(P)/U^*(P) = 1/T_{ИМ}(P)$ , где  $\alpha^*(P)$  – угол поворота (перемещение) выходного органа в относительных единицах;  $U^*(P)$  – напряжение питания ИМ в относительных единицах.

2.6.8. Для придания исполнительному механизму свойств пропорционального звена (когда положение выходного органа пропорционально входному сигналу) применяют [5, с. 130]:

1. **Местную жесткую обратную связь.**
2. Гибкую обратную связь.

Передаточная функция пропорционального звена  $W(P) = \frac{x(P)}{U(P)} = k_{ИМ}$ , где

$x(P)$  – перемещение выходного органа;  $U(P)$  – напряжение питания ИМ;  $k_{ИМ}$  – коэффициент усиления ИМ.

2.6.9. В исполнительных механизмах средней и большой мощности целесообразно использовать [2, с. 188]:

1. Двухфазный асинхронный двигатель с к-з или полым ротором.
2. **Трехфазный асинхронный двигатель с к-з или массивным ротором.**
3. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.
4. Шаговый электромеханический двигатель.

В зависимости от модификации ИМ в них используются самые различные приводные двигатели. В многооборотных ИМ обычно требуется мощность свыше 500 Вт, и в них целесообразно использовать **трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым или массивным ротором.**

2.6.10. Электромагнитные муфты применяют в автоматике в качестве [2, с.192; 3, с.215]:

1. Регулирующего органа.
2. **Исполнительного механизма.**
3. Распределителя.
4. Сравнивающего органа.

Электромагнитные муфты, применяемые в автоматике в **качестве ИМ**, позволяют повысить быстродействие системы и в ряде случаев дают возможность непосредственно включить воспринимающий орган муфты в электрическую схему автоматики, то есть обойтись без дополнительного источника энергии. Электромагнитные муфты используют, когда необходимо регулировать скорость ИМ, реверсировать его или отключать выходной вал, не останавливая электродвигатель.

2.6.11. Электромагнитные муфты делят на фрикционные сухого трения, вязкого трения и различные индукционные в зависимости от [3, с.215]:

1. Назначения.
2. Конструктивного исполнения.
3. **Вида связи.**
4. Принципа действия.

Муфты – связующие звенья между приводом и рабочим механизмом. Принцип их действия основан на электромагнитных свойствах связываемых элементов. В зависимости от **вида связи** муфты делят на фрикционные сухого трения, вязкого трения и различные индукционные. Регулирующее воздействие муфт осуществляется за счет изменения их сцепления.

2.6.12. На ведущей полумуфте располагается обмотка возбуждения, на ведомой – короткозамкнутая обмотка или сплошной массивный ротор. При вращении ведущей части магнитное поле обмотки возбуждения наводит в роторе ведомой части ток, взаимодействие которого с магнитным полем создает вращающий момент на валу муфты [1, с.92; 5, с.129]:

1. Сухого трения.
2. Вязкого трения.
3. **Скольжения.**
4. Фрикционной.

**Электромагнитные муфты скольжения** позволяют бесступенчато регулировать скорость в диапазоне 1...8 м/с при номинальных моментах 1,7...1600 Н·м.

2.6.13. На ведущем валу располагается электромагнит, на ведомом валу – якорь, перемещающийся по шлицам вдоль вала. При подаче тока возбуждения к электромагниту притягивается якорь. Вращающий момент через фрикционные прокладки, установленные на трущихся поверхностях, передается ведомой части муфты [5, с.129]:

1. Вязкого трения.
2. **Сухого трения.**
3. Скольжения.
4. Асинхронной.

Номинальные значения вращающего момента **муфт сухого трения** находятся в диапазоне 10...1000 Н·м при мощности катушек возбуждения 11,5...50 Вт и номинальных частотах вращения 1500 и 3000 мин<sup>-1</sup>.

2.6.14. Вращающий момент передается за счет намагничивания ферропорошка или магнитной эмульсии, располагающихся между ведомой и ведущей частями муфты [1, с.92; 5, с.129]:

1. Скольжения.
2. Сухого трения.
3. **Вязкого трения.**
4. Фрикционной.

В муфтах **вязкого трения** (ферропорошковых или магнитоэмульсионных) при подаче тока в обмотку возбуждения находящиеся в порошке (эмульсии) частицы железа сцепляются между собой, и образуется связь между ведомым и ведущим валами муфты. С увеличением тока возбуждения возрастает передаваемый вращающий момент.

2.6.15. Для защиты оборудования при аварийных режимах и в системах позиционного регулирования применяются муфты [1, с.92]:

1. **Сухого трения.**
2. Скольжения.
3. Вязкого трения.
4. Ферропорошковые.

В электромагнитных муфтах трения вращающий момент передается за счет сил трения между ведущей и ведомой частями. Различают муфты сухого и вязкого трения. Муфты **сухого трения** применяются для защиты оборудования при аварийных режимах и в системах позиционного регулирования.

2.6.16. Для рабочих механизмов с вентиляторной нагрузкой применяют привод с муфтой [3, с.217]:

1. Сухого трения.
2. **Скольжения.**
3. Вязкого трения.
4. Фрикционной.

Принцип работы **электромагнитной муфты скольжения (ЭМС)** аналогичен работе асинхронного электродвигателя. При снижении возбуждения ЭМС торможение осуществляется свободным выбегом до новой пониженной частоты вращения ведомой части. Привод с ЭМС применяют для рабочих механизмов с вентиляторной нагрузкой (насосов, вентиляторов и т.п.).

2.6.17. Имеют коэффициент передачи  $K=3500$ , не боятся перегрузок, являются быстродействующими ИМ (постоянная времени  $T=0,005...0,008$  с) муфты [3, с.217]:

1. **Вязкого трения.**
2. Сухого трения.
3. Скольжения.
4. Фрикционные.

Кроме указанных достоинств, **муфты вязкого трения** характерны тем, что с увеличением магнитного потока возрастает передаваемый вращающий момент. Это позволяет использовать такие муфты в САР частоты вращения.

2.6.18. В динамическом отношении электромагнитная муфта рассматривается как звено [5, с.130]:

1. Дифференцирующее.
2. Интегрирующее.
3. Апериодическое.
4. **Безынерционное.**

В динамическом отношении электромагнитные муфты относятся к **безынерционным** звеньям, частота вращения  $\omega$  которых в зависимости от тока возбуждения  $I_v$  определяется выражением  $\omega = k_{ИМ} I_v$ , где  $k_{ИМ}$  – коэффициент передачи ИМ.

2.6.19. В системах числового программного управления, где требуется однозначное преобразование числовых данных в линейные или угловые последовательные точно дозированные перемещения исполнительного органа по координатам, в качестве ИМ автоматики используется [3, с.204]:

1. Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением.
2. Трехфазный асинхронный электродвигатель с к-з или массивным ротором.
3. Двухфазный асинхронный двигатель с к-з или полым ротором.
4. **Индукторный шаговый двигатель.**

**Индукторные шаговые двигатели (ШД)** наибольшее применение нашли в системах числового программного управления (ЧПУ). Дискретный характер работы ШД дает возможность создать разомкнутые системы управления с высокой статической и динамической точностью. В качестве управляющего устройства служит электронный коммутатор, последовательно подключающий фазы управляющей обмотки статора к источнику питания.

2.6.20. Шаговые двигатели по сравнению с регулируемыми двигателями непрерывного действия имеют энергетические показатели [3, с.207]:

1. Более высокие.
2. **Более низкие.**
3. Одинаковые

Построение замкнутых систем ЧПУ с ШД нецелесообразно, так как улучшенные качества замкнутых систем легче достигаются при использовании регулируемых двигателей непрерывного действия. ШД имеют **более низкие энергетические показатели**, чем регулируемые двигатели непрерывного действия. Поэтому применение их при больших моментах нагрузки не всегда целесообразно. Кроме того, с увеличением габаритов ШД снижается допустимая частота, что приводит к увеличению шага при заданной скорости исполнительного органа.

2.6.21. Электромагниты и электрические микродвигатели используются в автоматических устройствах в качестве функциональных элементов [2, с. 186]:

1. Логических.
2. **Исполнительных.**
3. Распределителей.
4. Формирующих устройств.

**Электрические ИМ** представляют собой электромагниты различных конструкций или электрические двигатели, применяемые в тех случаях, когда движение регулирующего органа должно быть плавным, и при этом он должен занимать любое промежуточное положение.

2.6.22. Различают электромагниты клапанные, поворотные уравновешенные, прямоходные, с цилиндрическим якорем в зависимости от [2, с. 186]:

1. Мощности.
2. **Конструктивного исполнения.**
3. Времени срабатывания.
4. Принципа действия.

Все электромагниты независимо от их **конструктивного исполнения** включают в себя неподвижный стальной магнитопровод с расположенной на нем обмоткой, и подвижный якорь. Принцип действия таких ИМ аналогичен принципу действия электромагнитных реле. Характерная особенность электромагнитов с цилиндрическим якорем (соленоидных ИМ) заключается в том, что они могут быть применены только в схемах двухпозиционного управления (открыто или закрыто).

2.6.23. Устройство, позволяющее изменять направление или расход потока вещества или энергии в соответствии с требованиями технологического процесса, называется [1, с. 93]:

1. Исполнительный механизм.
2. **Регулирующий орган.**
3. Исполнительный двигатель.
4. Распределитель.

**Регулирующими органами** могут быть различного рода дроссели, заслонки, вентили, реостаты, шиберы, задвижки, клапаны, золотники, форсунки, дозаторы, питатели и др. Это все устройства, предназначенные для изменения расхода регулируемой среды, энергии или каких-либо других величин с целью обеспечения заданного режима работы объекта.

2.6.24. Вибрационные, ленточные, тарельчатые, шнековые и секторные питатели входят в группу регулирующих органов [1, с. 93]:

1. Объемного типа.
2. **Скоростного типа.**
3. Дроссельного типа.

Регулирующие органы (РО) **скоростного типа** изменяют свою производительность за счет изменения частоты вращения. К регулирующим органам этого типа относят устройства для регулирования частоты вращения вытяжных вентиляторов систем вентиляции животноводческих помещений; секторные питатели, устанавливаемые под бункером. Выдача мелкозернистого материала обеспечивается за счет поочередного заполнения и опорожнения отсеков в процессе вращения ротора и т.д.

2.6.25. Различные питатели: дисковые, шнековые, ленточные, лопастные, скребковые и другие применяются для регулирования [3, с.222]:

1. Жидкостей.
2. Энергетических потоков.
3. **Расхода сыпучих материалов.**
4. Газов.

Большая группа питателей применяется для регулирования **расхода сыпучих материалов**: ленточные – для выдачи сыпучих материалов с различными размерами фракций; шнековые – для выдачи мелкозернистых и мелкодисперсных материалов и т.д.

2.6.26. Для регулирования расхода жидкостей и газов получили распространение регулирующие органы [3, с.222]:

1. Объемные.
2. Дроссельные.
3. Скоростные.

Регулирующие органы **дроссельного типа** изменяют расход вещества за счет изменения скорости и площади сечения потока жидкости или газа при прохождении его через дросселирующее устройство, гидравлическое сопротивление которого – переменная величина. Регулирование расхода жидких и газообразных сред возможно также путем изменения напора насоса.

2.6.27. Характеристики: рабочая расходная, диапазон регулирования, конструктивная относятся к [1, с. 96]:

1. Регулирующему органу.
2. Исполнительному механизму.
3. Исполнительному двигателю.
4. Распределителю.

Эффективность РО определяют: рабочая расходная характеристика  $G = f(h_{PO})$  – зависимость расхода среды  $G$  от положения регулирующего органа  $h_{PO}$ , диапазон регулирования  $R = G_{max}/G_{min}$  – отношение максимального расхода среды  $G_{max}$  к минимальному  $G_{min}$ , соответствующему перемещению РО из одного крайнего положения  $h_{min}$  в другое –  $h_{max}$  для РО дроссельного или объемного типа или изменению частоты вращения от минимума до максимума для РО скоростного типа; конструктивная  $F = nbh$  – зависимость площади проходного сечения  $h$  клапана от положения плунжера, где  $n$  – число окон,  $b$  – ширина окна, м (для золотникового клапана).

2.6.28. Какая основная задача решается при сочленении регулирующего органа (РО) с исполнительным механизмом (ИМ) [3, с.224]?

1. **Обеспечить необходимую расходную характеристику РО, то есть зависимость расхода регулируемой среды (энергии) от хода РО.**
2. Обеспечить надежность работы ИМ.
3. Выбрать оптимальный способ сочленения РО с ИМ.
4. Обеспечить наименьшие массогабаритные показатели.

Способы сочленения РО с ИМ определяются в каждом конкретном случае их типом и конструкцией, взаимным расположением, характером перемещения РО и другими местными условиями. При этом решается основная задача – **обеспечить необходимую расходную характеристику РО**. Существенным фактором, безусловно, является и надежность работы ИМ, приводящего в действие РО.

2.6.29. По динамическим свойствам регулирующий орган рассматривается как звено [5, с.130]:

1. Колебательное.
2. Аперiodическое.
3. Усилительное.
4. Дифференцирующее.

По динамическим свойствам регулирующие органы относятся к **усилительным звеньям** и характеризуются, соответственно, коэффициентом передачи.

## 2.7. Источники электропитания и стабилизаторы

2.7.1. Генераторы и электросистемы, рассчитанные на то или иное напряжение, химические источники питания (батареи, гальванические элементы), а также атомные, механические, термо- и фотоэлектрические, акустические, топливные и биологические преобразователи относятся к источникам электропитания элементов автоматики [5, с.142]:

### 1. Первичным.

### 2. Вторичным.

К **первичным** источникам электропитания относятся преобразователи различных видов энергии в электрическую. Источники электропитания обеспечивают элементы постоянным и переменным током. При переменном токе могут использоваться одно- и трехфазные источники питания.

2.7.2. Источники электропитания элементов автоматики: трансформаторы, выпрямители, мультивибраторы, блоки питания, аккумуляторы, стабилизаторы называются [5, с.142]:

### 1. Первичные.

### 2. Вторичные.

К **вторичным** источникам электропитания относятся преобразователи электрической энергии одного вида в электрическую энергию другого вида. Источники питания переменного и постоянного тока должны обеспечивать стабильность тока, напряжения, частоты и других величин и параметров.

2.7.3. Способность фильтра снижать пульсации выпрямленного напряжения количественно оценивается коэффициентом [3, с.285]:

### 1. Передачи.

### 2. Стабилизации по напряжению.

### 3. Нелинейных искажений.

### 4. Сглаживания (фильтрации).

**Коэффициент сглаживания (фильтрации)** определяется зависимостью  $q = k_{n.вх} / k_{n.вых}$ , где  $k_{n.вх}$  – коэффициент пульсаций на входе фильтра;  $k_{n.вых}$  – коэффициент пульсаций на выходе фильтра.

2.7.4. При больших сопротивлениях нагрузки (порядка десятков кОм), то есть в выпрямителях с мощностью не более 10...15 Вт, целесообразно применять сглаживающий фильтр [3, с.287]:

### 1. Индуктивно-емкостной.

### 2. Транзисторный.

### 3. RC-фильтр.

### 4. Резонансный.

Преимущество **RC-фильтров** заключается в их малых габаритах, массе и стоимости. Основной недостаток – низкий КПД вследствие потерь на резисторе, что допустимо для выпрямителей малой мощности.

2.7.5. В выпрямителях большой и средней мощности чаще всего применяются сглаживающие фильтры [3, с.287]:

- |                 |                |
|-----------------|----------------|
| 1. Индуктивные. | 2. Емкостные.  |
| 3. RC-фильтры.  | 4. LC-фильтры. |

Сглаживающие LC-фильтры целесообразно применять в выпрямителях большой и средней мощности. При большой мощности выпрямителя величина индуктивности дросселя получается сравнительно малой, поэтому падение напряжения на дросселе от постоянного тока незначительно, и КПД фильтра достаточно высок.

2.7.6. Устройство, автоматически поддерживающее постоянное значение выходной величины  $y$  независимо от изменений входной величины  $x$  в определенных пределах, называется [2, с. 167; 3, с. 290]:

- |                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| 1. Стабилизатор.   | 2. Усилитель.              |
| 3. Распределитель. | 4. Исполнительный элемент. |

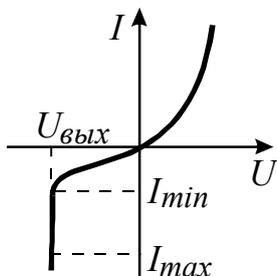
**Стабилизатор** – устройство, включаемое между источником питания и потребителем. Автоматически поддерживает с заданной степенью точности значение выходной величины  $y$  (напряжение, ток, давление и др.) независимо от изменения входной величины  $x$  в определенных пределах и при изменении нагрузки.

2.7.7. Какой стабилизатор осуществляет стабилизацию выходной величины с помощью неуправляемого элемента, обладающего нелинейной вольтамперной характеристикой [2, с. 168; 3, с. 291]?

- |                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| 1. Компенсационный. | 2. Параметрический. |
|---------------------|---------------------|

**Параметрические** электрические стабилизаторы основаны на применении различных элементов с нелинейными статическими характеристиками, к которым относятся активные нелинейные сопротивления – бареттеры, стабилитроны и реактивные нелинейные сопротивления, индуктивные – дроссели с насыщенными ферромагнитными проводами и емкостные – вариконды и варикапы. Параметрические стабилизаторы можно применять в цепях постоянного и переменного тока.

2.7.8. Нелинейный элемент, имеющий вольтамперную характеристику, используется в стабилизаторах [2, с. 169; 3, с. 292]:

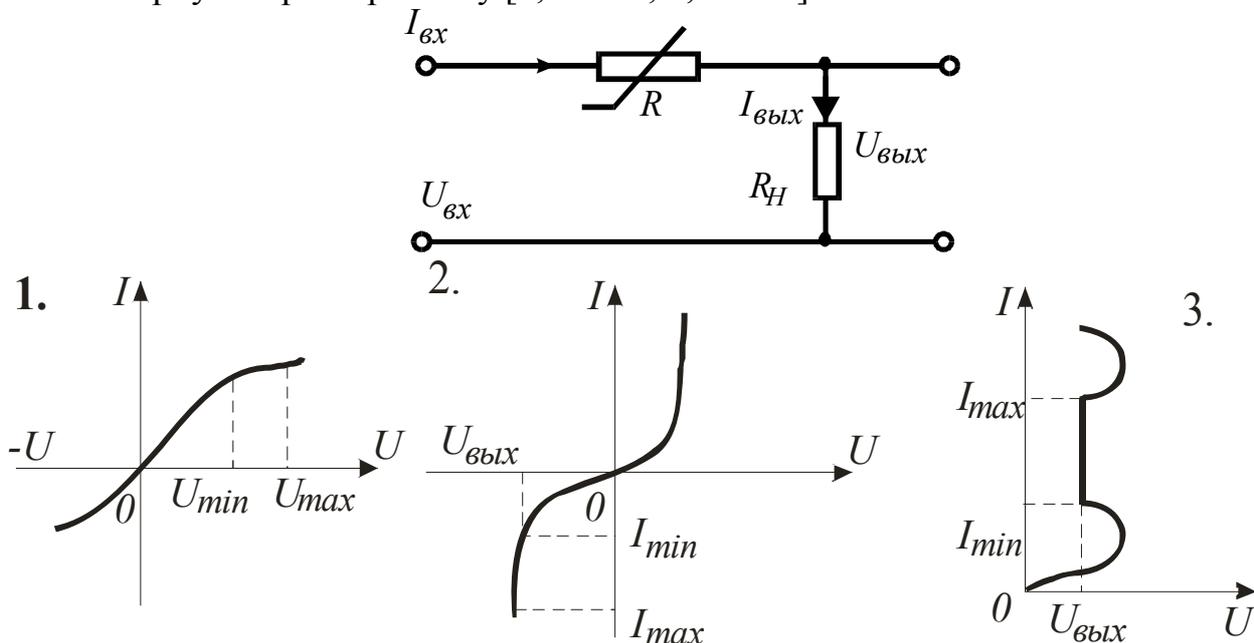


- |                      |
|----------------------|
| 1. Последовательных. |
| 2. Параллельных.     |

**Параллельный стабилизатор** – элемент с нелинейным сопротивлением и вольтамперной характеристикой, рабочая ветвь которой параллельна оси ординат (ось  $I$ ), включается параллельно нагрузке. Параллельный стабилизатор не боится перегрузок и коротких замыканий, имеет высокий коэффициент стабилизации и,

несмотря на более низкий КПД, широко применяется в практических схемах в качестве параметрического стабилизатора напряжения.

2.7.9. В параметрическом стабилизаторе нелинейный элемент имеет вольтамперную характеристику [2, с. 170; 3, с. 292]:



**Последовательный стабилизатор** – нелинейный элемент с вольтамперной характеристикой, рабочая ветвь которой параллельна оси абсцисс (ось  $U$ ), подключается к нагрузке последовательно. Для последовательного стабилизатора характерен высокий КПД за счет работы нелинейного элемента при более низком напряжении. Но для него опасны перегрузки и, особенно, короткие замыкания. Он имеет более низкий коэффициент стабилизации. Последовательное включение нелинейного элемента используется, в основном, в стабилизаторах тока.

2.7.10. Точность работы стабилизаторов напряжения определяется коэффициентом стабилизации [2, с. 168; 3, с. 290]:

$$1. \eta = \frac{U_{\text{вых}} \cdot I_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}} \cdot I_{\text{вх}}}. \quad 2. R_{\text{вых}} = \frac{dU_{\text{вых}}}{dI_{\text{вых}}}. \quad 3. S = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \cdot \frac{dU_{\text{вх}}}{dU_{\text{вых}}}. \quad 4. k = \frac{y}{x}.$$

Точность стабилизации определяется **коэффициентом стабилизации**, показывающим, во сколько раз относительное изменение входного напряжения больше относительного изменения выходного (стабилизированного) напряжения

при постоянной нагрузке: 
$$S = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}} \approx \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \frac{dU_{\text{вх}}}{dU_{\text{вых}}}.$$

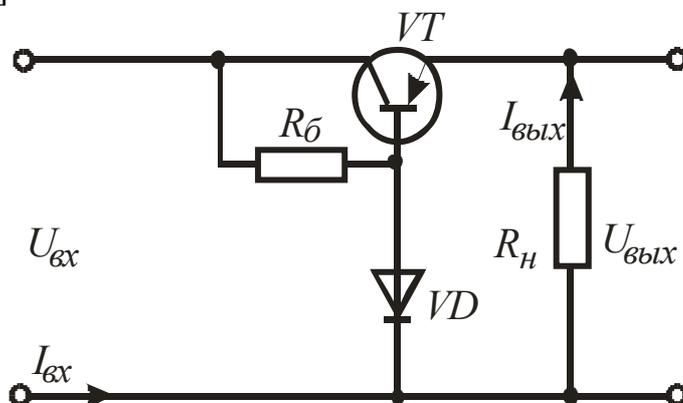
2.7.11. Точность работы компенсационных стабилизаторов по сравнению с параметрическими [2, с. 170; 3, с. 292]:

1. Ниже.
2. Выше.
3. Одинакова.

Компенсационные электрические стабилизаторы представляют собой замкнутую систему автоматического регулирования. Это САР выходного

напряжения при изменении нагрузки и входного напряжения. Точность работы компенсационных стабилизаторов по сравнению с параметрическими **выше**.

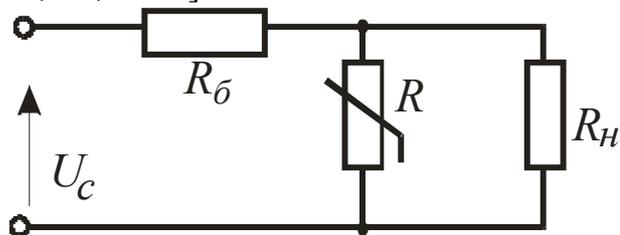
2.7.12. На принципиальной схеме представлен стабилизатор [2, с. 171; 3, с. 293]:



1. Параметрический.
2. Компенсационный, с регулированием выходного напряжения.
3. **Компенсационный, без регулирования выходного напряжения.**

На схеме представлен **компенсационный стабилизатор без регулирования выходного напряжения**. Триод  $VT$  препятствует отклонению выходного напряжения от заданного значения при изменении входного. Например, с увеличением напряжения  $U_{вх}$  увеличивается ток через  $VD$ , что приводит к возрастанию напряжения на резисторе  $R_б$ . Вследствие этого триод  $VT$  частично закрывается, и падение напряжения на нем возрастает, что препятствует повышению  $U_{вых}$  стабилизатора.

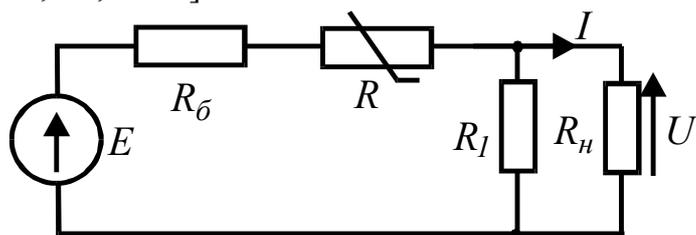
2.7.13. Для стабилизации напряжения на сопротивлении  $R=12,5$  кОм применен стабилизатор, вольтамперная характеристика которого на рабочем участке линейна, начинается в точке с координатами 148 В, 5 мА и кончается в точке с координатами 154 В, 40 мА. Определить величину балластного сопротивления  $R_б$ , при котором будет осуществляться стабилизация, если напряжение сети  $U_c$  колеблется в пределах от  $0,8 U_H$  до  $1,1 U_H$ , где  $U_H=220$  В [2, с. 170; 15, с. 64]:



1.  $R_б \approx 1,67$  кОм.
2.  $R_б \approx 2,75$  кОм.
3.  $R_б \approx 3,3$  кОм.
4.  $R_б \approx 12,5$  кОм.

2.7.14. Для стабилизации постоянного тока  $I$  в сопротивлении  $R_н$  применена схема с бареттером. Вольтамперная характеристика бареттера на рабочем участке линейна, начинается в точке с координатами 5 В; 0,8 А и кончается в точке с координатами 12 В; 0,9 А. Стабилизированный ток должен равняться 0,55 А при напряжении на сопротивлении  $U=12$  В. Сопротивление  $R_1=40$  Ом. Определить

величину балластного сопротивления  $R_{\delta}$ , если ЭДС источника питания  $E=24$  В [2, с. 170; 15, с. 64]:

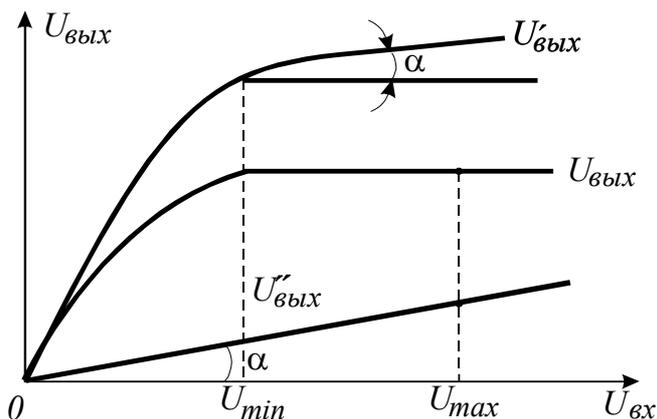
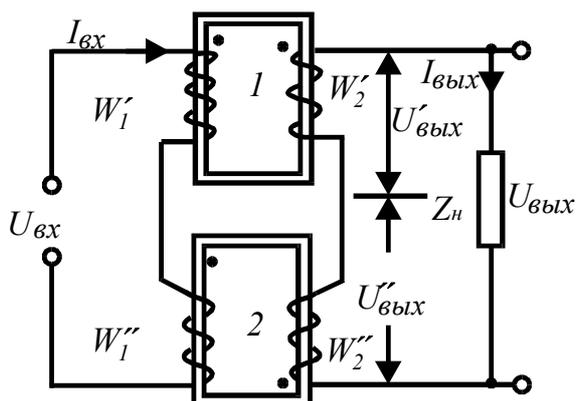


1.  $R_{\delta} \approx 0$ .
2.  $R_{\delta} \approx 1,0$  Ом.
3.  $R_{\delta} \approx 4,1$  Ом.
4.  $R_{\delta} \approx 6,6$  Ом.

2.7.15. В цепи с бареттером задачи 2.7.14. определить величину сопротивлений  $R_{\delta}$  и  $R_1$ , если стабилизированный ток  $I$  в сопротивлении  $R_H=5$  Ом должен равняться 0,6 А. ЭДС источника питания  $E=24$  В [2, с. 170; 15, с. 64]:

1.  $R_{\delta} \approx 14,7$  Ом;  $R_1 \approx 12$  Ом.
2.  $R_{\delta} \approx 18,2$  Ом;  $R_1 \approx 10$  Ом.
3.  $R_{\delta} \approx 18,2$  Ом;  $R_1 \approx 5$  Ом.
4.  $R_{\delta} \approx 22,7$  Ом;  $R_1 \approx 12$  Ом.

2.7.16. Двухтрансформаторный ферромагнитный стабилизатор напряжения. Как включены его обмотки и в каком режиме работают трансформаторы [2, с. 72; 15, с. 64]?



		В насыщенном		В ненасыщенном	
		$U_{min}$	$U_{max}$	$U_{min}$	$U_{max}$
Согласно	Встречно				
1. Вторичные	Первичные	1		2	
<b>2. Первичные</b>	<b>Вторичные</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	
3. Первичные	Вторичные	2		1	
4. Вторичные	Первичные	2		1	

Ферромагнитный стабилизатор – параметрический стабилизатор переменного напряжения и тока, выполненный на ферромагнитных элементах. Ферромагнитные стабилизаторы изготавливаются на небольшие мощности (до 10-20 ВА), поскольку имеют весьма низкие значения КПД ( $\approx 50\%$ ) и коэффициента мощности ( $\approx 0,4$ ), а также относительно большой удельный расход материала обмоток и магнитопровода. Согласно схеме и графику: **первичные обмотки включены согласно, вторичные – встречно,  $T_{p1}$  работает в насыщенном режиме,  $T_{p2}$  – в ненасыщенном.**

2.7.17. Рабочие параметры (коэффициент стабилизации, КПД,  $\cos\varphi$ , мощность) феррорезонансных стабилизаторов по сравнению с ферромагнитными [2, с. 173]:

1. Одинаковы.
2. Ниже.
3. Выше.

Феррорезонансный стабилизатор – параметрический стабилизатор переменного напряжения и тока. Принцип действия основан на физическом явлении – феррорезонансе токов или напряжений. Достоинства: стабилизатор обладает весьма высокими рабочими параметрами: коэффициент стабилизации достигает 25-30, КПД составляет 0,7-0,8, коэффициент мощности при активной нагрузке 0,8-0,9. Недостатки: зависимость выходного напряжения от изменения частоты, а также качества стабилизации от нагрузки и коэффициента мощности; выходное напряжение несинусоидально и содержит, в основном, составляющие третьей гармоники. Параметрические феррорезонансные стабилизаторы имеют значительный диапазон мощностей (от сотых долей до нескольких киловольт-ампер), широко распространены в практике (**рабочие параметры выше, чем у ферромагнитных**).

## 2.8. Автоматические регуляторы

2.8.1. Комплекс средств автоматики, подключенный к объекту управления и предназначенная для регулирования его выходной величины, называется [3, с. 226]:

1. Автоматический регулятор.
2. Блок.
3. Система автоматического регулирования.
4. Узел.

**Автоматический регулятор** – устройство (или комплекс устройств) в САУ, подключаемое к объекту и предназначенное для поддержания управляемой величины на заданном уровне или изменения ее в соответствии с требуемым законом регулирования.

2.8.2. Математическая зависимость, устанавливающая связь между управляющим воздействием и выходной переменной величиной управляемого объекта, называется [3, с. 237]:

1. Закон управления.
2. Алгоритм адаптации.
3. Статическая характеристика.
4. Алгоритм функционирования.

**Закон управления (регулирования)** – зависимость между выходной  $x_p$  (управляющее воздействие) и входной  $x$  (сигнал рассогласования) величинами регулятора, составленная без учета инерционности его элементов.

2.8.3. Регуляторы делятся на регуляторы температуры, давления, уровня, частоты вращения, напряжения, мощности и другие по [3, с. 226]:

1. Конструктивному исполнению.
2. Виду регулируемой величины.
3. Виду регулирующего воздействия.
4. Закону регулирования.

**По виду регулируемого параметра** АР делят на регуляторы температуры, давления, уровня, расхода и др. При этом следует отметить, что создаются универсальные регулирующие устройства, предназначенные для регулирования различных параметров, в которых специфические особенности имеют только измерительные преобразователи, на выходе которых получают унифицированный сигнал.

2.8.4. Регуляторы делятся на электрические, гидравлические, пневматические, механические, комбинированные по [3, с. 226]:

1. **Виду используемой энергии.**
2. Конструктивному исполнению.
3. Виду регулируемой величины.
4. Алгоритму управления.

**По виду используемой энергии** автоматические регуляторы различают: гидравлические, комбинированные, механические, пневматические, электрические.

2.8.5. Регуляторы разделяют на типы: приборные, аппаратные, блочные, элементные по [3, с. 227]:

1. Назначению.
2. **Конструктивному исполнению.**
3. Виду регулируемой величины.
4. Закону регулирования.

**По конструктивному исполнению** автоматические регуляторы подразделяются на: агрегатные (блочные), аппаратные, модульные (элементные), приборные.

2.8.6. Работают только в комплекте с вторичным измерительным прибором и встраиваются в него, например, в измерительный логометр, электронный потенциометр и др., автоматические регуляторы типа [3, с. 227]:

1. Аппаратного.
2. **Приборного.**
3. Агрегатного (блочного).
4. Модульного (элементного).

Автоматические регуляторы **приборного типа** в своей структуре имеют устройство, формирующее выходной сигнал управления, встроенное в измерительный прибор, например, электрический потенциометр или автоматический мост, измерительный логометр и другие. Одновременно с отклонением указательной или регистрирующей системы прибора при изменении контролируемой величины происходит выдача сигнала управления.

2.8.7. Отдельные узлы получают питание от дополнительного источника энергии в регуляторах [3, с. 226]:

1. Прямого действия.
2. **Непрямого (косвенного) действия.**

Автоматические регуляторы **непрямого (косвенного) действия** характеризуются тем, что их отдельные узлы питаются от дополнительных источников энергии. Они имеют высокую точность работы, отличаются гибкостью в настройке и в управлении различными режимами.

2.8.8. Регуляторы могут быть непрерывного, импульсного и релейного действия в зависимости от [3, с. 228]:

**1. Характера воздействия на объект управления.**

2. Конструктивного исполнения.

3. Вида используемой энергии.

4. Вида регулируемой величины.

По **характеру воздействия на объект управления** автоматические регуляторы бывают импульсного, непрерывного (пропорционального) и релейного (позиционного) действия.

2.8.9. Выделяют П-регулятор, И-регулятор, ПИ-регулятор, ПИД-регулятор по [3, с. 237]:

1. Конструктивному исполнению.

**2. Закону регулирования.**

3. Виду регулируемой величины.

4. Виду используемой энергии.

По **закону регулирования** автоматические регуляторы делятся на:

- интегральные (И-регуляторы);

- пропорциональные (П-регуляторы);

- пропорционально-дифференциальные (ПД-регуляторы);

- пропорционально-интегральные (ПИ-регуляторы);

- пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы).

2.8.10. Основное достоинство – быстродействие, а недостаток – остаточное отклонение регулируемой величины, присущи [3, с. 243]:

1. Релейному регулятору.

2. И-регулятору.

**3. П-регулятору.**

4. ПД-регулятору.

Достоинства **П-регулятора**: быстродействие (целесообразно применять для регулирования объектов без самовыравнивания и в тех случаях, когда в объектах наблюдаются частые отклонения нагрузки, когда недопустим автоколебательный процесс); непрерывный процесс регулирования (пригодны для регулирования самых разнообразных технологических процессов); устойчивость в работе; простота устройства, настройки и эксплуатации.

Недостатки **П-регулятора**: наблюдается остаточное отклонение регулируемого параметра, то есть возникновение статической ошибки; точность регулирования невысока, особенно для объектов, обладающих плохими динамическими свойствами. Передаточный коэффициент (усиления) регулятора является его параметром настройки.

2.8.11. Какому отклонению регулируемой величины в % от максимально возможной для данной САР соответствует перемещение регулирующего органа (например, заслонки из одного крайнего положения в другое), показывает [3, с. 243]:

1. Регулирующее воздействие.

2. Коэффициент усиления регулятора.

3. Передаточная функция.

**4. Предел пропорциональности.**

**Предел пропорциональности** или зона регулирования:  $\delta\% = 100/k_p$ , где  $k_p$  – коэффициент усиления П-регулятора.

2.8.12. САР с П-регулятором свойственно остаточное отклонение регулируемой величины от заданного значения (статическая ошибка). Причем, чем больше предел пропорциональности, тем статическая ошибка [3, с. 243]:

1. Меньше.
2. Больше.
3. Остается постоянной.

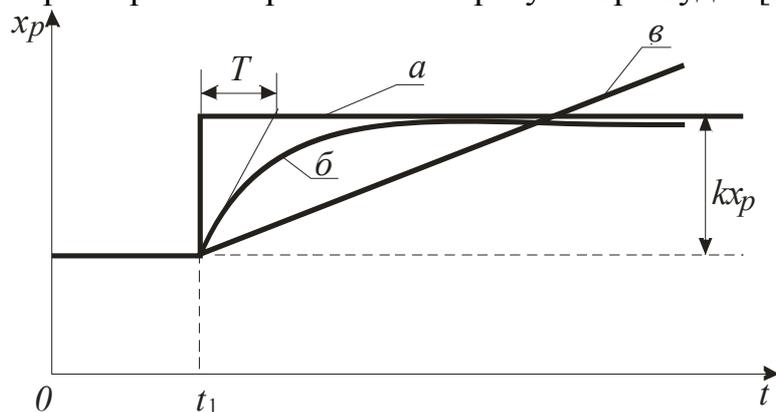
Чем больше коэффициент пропорциональности  $\delta$  (чем меньше коэффициент усиления регулятора  $k_p$ ), тем статическая ошибка будет **больше**. С увеличением  $k_p$  регулирующее воздействие, устойчивость и статическая ошибка уменьшаются. При  $k_p=0$  САР разомкнута. Так как принцип действия П-регулятора основан на его статической ошибке, устранить ее в САР с П-регулятором невозможно.

2.8.13. В динамическом отношении П-регулятор аналогичен звену [3, с. 243]:

1. Усилительному.
2. Идеальному дифференцирующему.
3. Апериодическому 1-го порядка.
4. Реальному дифференцирующему.

П-регулятор воздействует на регулируемый орган пропорционально отклонению регулируемой величины от заданного значения  $x_p=k_p x$  ( $k_p$  – коэффициент усиления). В динамическом отношении аналогичен усилительному (пропорциональному, безынерционному) звену. Передаточная функция П-регулятора  $W(p)=k_p$ .

2.8.14. При скачкообразном изменении входной величины временная характеристика реального П-регулятора будет [3, с. 243]:



1. а.
2. б.
3. в.

Временная характеристика реального П-регулятора представлена **кривой б** (постоянная времени  $T$ ). Следует иметь в виду, что чем больше  $k_p$ , тем больше постоянная времени  $T$ , и тем больше искажается идеальный закон П-регулирования.

2.8.15. Скорость перемещения исполнительного механизма (скорость воздействия на регулируемый орган) пропорциональна только отклонению регулируемой величины в [3, с. 244]:

1. П-регуляторе.
3. ПИ-регуляторе.

2. **И-регуляторе.**
4. ПИД-регуляторе.

**И-регулятор** воздействует на регулирующий орган пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины  $x_p = \frac{1}{T_{II}} \int_0^t x dt$  ( $T_{II}$  – постоянная времени интегрирования). В динамическом отношении представляет собой интегрирующее звено. Передаточная функция И-регулятора  $W(p) = \frac{1}{T_{II} p}$ .

2.8.16. Воздействие со стороны регулятора на объект происходит до тех пор, пока не устранится отклонение регулируемой величины от заданного значения, то есть пока не будет обеспечено поддержание управляемой величины на строго заданном уровне. Следовательно, астатическую характеристику имеет [3, с. 244]:

1. ПИД-регулятор.
2. ПД-регулятор.
3. **И-регулятор.**
4. П-регулятор.

Достоинства **И-регуляторов**: в установившемся режиме значение регулируемого параметра остается постоянным независимо от изменения нагрузки объекта, то есть И-регуляторы являются астатическими; допускают значительное изменение нагрузки; применяются с целью увеличения точности работы системы в установившихся режимах.

2.8.17. В И-регуляторе чем больше постоянная времени  $T_{II}$ , тем скорость перемещения регулирующего органа [3, с. 245]:

1. **Меньше.**
2. Больше.
3. Остается постоянной.

Недостатки **И-регуляторов**: большое время регулирования, поэтому они неприменимы на объектах без самовыравнивания; поведение системы с И-регулятором в неустановившихся режимах, как правило, оказывается неудовлетворительным и, во всяком случае, худшим, чем в системах, использующих П-закон регулирования. Постоянная времени интегрирования является параметром настройки регулятора.

2.8.18. В И-регуляторе при постоянном (ступенчатом) входном сигнале выходной сигнал изменяется [3, с. 246]:

1. Скачкообразно.
2. **С постоянной скоростью.**
3. С переменной скоростью.

В И-регуляторе при постоянном (ступенчатом) входном сигнале выходной сигнал изменяется с **постоянной скоростью**, поэтому его переходная функция непрерывно возрастает по линейному закону  $x_p = \frac{1}{T_{II}} xt$  (временная характеристика И-регулятора).

2.8.19. Оказывает воздействие на регулирующий орган только пропорционально отклонению и интегралу от отклонения регулируемой величины [3, с. 244]:

1. П-регулятор.

2. И-регулятор.

**3. ПИ-регулятор.**

4. ПИД-регулятор.

**ПИ-регулятор** оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению и интегралу от отклонения регулируемой величины

$$x_p = k_p x + \frac{1}{T_{II}} \int_0^t x dt .$$

2.8.20. У ПИ-регулятора управляющее воздействие осуществляется [3, с. 246]:

**1. В начале процесса регулирования - по отклонению регулируемой величины, а в переходном процессе, особенно к его завершению, возрастает воздействие от интеграла по отклонению.**

2. В начале – от интеграла по отклонению, в конце – по отклонению регулируемой величины.

У ПИ-регулятора в **начале процесса регулирования** управляющее воздействие, как и в статических системах, осуществляется **по отклонению регулируемой величины**, а в **переходном процессе**, особенно к его завершению, **возрастает воздействие от интеграла по отклонению**, сводящее отклонение к нулю.

2.8.21. ПИ-регулятор по своим свойствам соответствует [3, с. 246]:

**1. В начале переходного процесса - статическому регулятору, в конце - астатическому регулятору.**

2. В начале – астатическому регулятору, в конце – статическому регулятору.

ПИ-регулятор в **начале переходного процесса** соответствует по свойствам **статическому**, а в **конце – астатическому регулятору**. ПИ-регуляторы объединяют достоинства пропорциональных и интегральных регуляторов, поэтому их широко используют для управления самыми различными технологическими параметрами.

2.8.22. В целом гибкая обратная связь у ПИ-регулятора обеспечивает характеристику регулирования [3, с. 246]:

1. Статическую.

**2. Астатическую.**

Для получения интегральной составляющей в ПИ-регуляторе поступают двояко: или параллельно датчику включают интегрирующее звено, или в схеме регулятора включают обратную связь при помощи так называемых изодромных устройств. Гибкая обратная связь обеспечивает **астатическую** характеристику регулирования.

2.8.23. Передаточная функция ПИ-регулятора равна [3, с. 246]:

$$1. W(p) = k_p.$$

$$2. W(p) = \frac{1}{T_I p}.$$

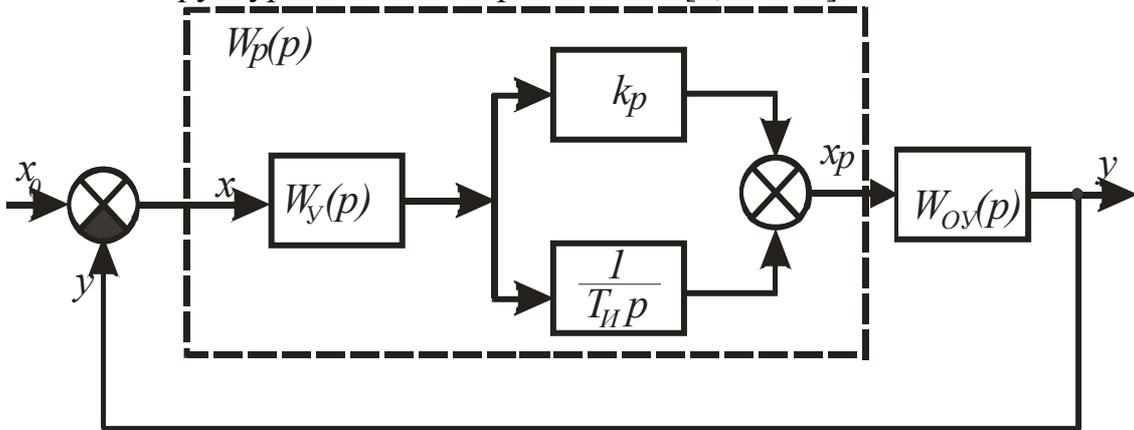
$$3. W(p) = k_p + T_D p.$$

$$4. W(p) = \frac{k_p T_I p + 1}{T_I p}.$$

Передаточная функция ПИ-регулятора равна  $W(p) = k_p + \frac{1}{T_I p} = \frac{k_p T_I p + 1}{T_I p}$ .

Коэффициент усиления  $k_p$  и постоянная времени интегрирования  $T_I$  являются параметрами настройки регулятора. ПИ-регуляторы, как правило, непрямого действия.

2.8.24. Структурной схемой представлен [3, с. 246]:



1. И-регулятор.

2. ПИ-регулятор.

3. ПД-регулятор.

4. ПИД-регулятор.

Структурной схемой представлен **ПИ-регулятор**. Пропорциональное звено с передаточной функцией  $W(p)=k_p$  и интегрирующее звено с передаточной функцией

$W(p) = \frac{1}{T_I p}$  соединены параллельно.

2.8.25. Если при настройке ПИ-регулятора установить очень большую величину постоянной времени  $T_I$ , то он превратится по своим свойствам в [3, с. 246]:

1. И-регулятор.

2. П-регулятор.

3. Релейный регулятор.

4. Не отреагирует.

Передаточная функция ПИ-регулятора равна  $W(p) = k_p + \frac{1}{T_I p}$ . Если при

настройке регулятора принять очень большое значение  $T_I$ , то по своим свойствам он превратится в **П-регулятор**.

2.8.26. Регулирующее воздействие пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемой величины в [3, с. 247]:

1. ПИ-регуляторе.

2. ПД-регуляторе.

3. ПИД-регуляторе.

4. И-регуляторе.

**ПИД-регулятор** воздействует на регулирующий орган пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины  $x_p = k_p x + \frac{1}{T_I} \int_0^t x dt + T_D \frac{dx}{dt}$ , где  $T_D$  – постоянная времени дифференцирования.

2.8.27. Дифференцирующее звено в структуре ПИД-регулятора [3, с. 247]:

1. Уменьшает склонность системы к колебаниям.
2. Уменьшает статическую ошибку.
3. Обеспечивает астатическую характеристику.

В динамическом отношении ПИД-регулятор представляет усилительное (пропорциональное), интегрирующее и дифференцирующее звенья, соединенные параллельно. Дифференцирующее звено **уменьшает статическую ошибку**, то есть производная от отклонения улучшает процесс регулирования в переходном режиме, а интеграл – в статическом.

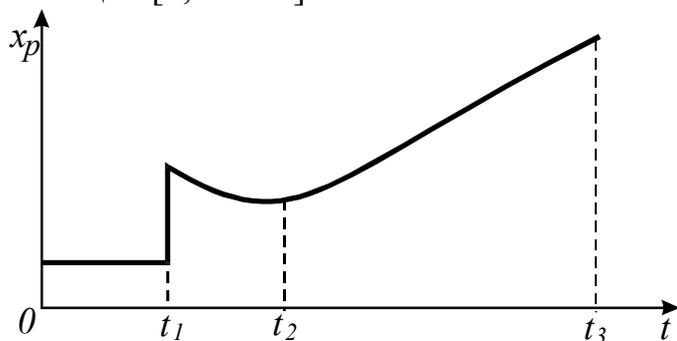
2.8.28. Передаточная функция ПИД-регулятора будет [3, с. 248]:

1.  $W(p) = \frac{k_p T_I p + 1}{T_I p}$ .
2.  $W(p) = k_p + T_D p$ .
3.  $W(p) = k_p + \frac{1}{T_I p} + T_D p$ .
4.  $W(p) = k_p$ .

Передаточная функция ПИД-регулятора равна  $W(p) = k_p + \frac{1}{T_I p} + T_D p$ .

Коэффициент усиления  $k_p$  и постоянные времени интегрирования  $T_I$  и дифференцирования  $T_D$  являются параметрами настройки регулятора.

2.8.29. На временной характеристике ПИД-регулятора укажите отрезок времени, на котором преобладают пропорциональная и дифференциальная составляющие [3, с. 248]:



1.  $0-t_1$ .
2.  $t_1-t_2$ .
3.  $t_2-t_3$ .
4.  $t_1-t_3$ .

При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД-регулятор в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое воздействие на регулирующий орган; затем величина воздействия мгновенно падает до значения, определяемого пропорциональной частью регулятора ( $t_1-t_2$ ),

после чего, как и в ПИ-регуляторе, постепенно начинает оказывать свое влияние астатическая часть регулятора.

2.8.30. Чувствителен к тенденции изменения регулируемой величины [3, с. 248]:

- |                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| 1. П-регулятор.  | 2. И-регулятор.          |
| 3. ПИ-регулятор. | <b>4. ПИД-регулятор.</b> |

**ПИД-регулятор** чувствителен к тенденции изменения регулируемой величины за счет наличия в своей структуре дифференцирующего звена. ПИД-регуляторы предназначены для управления параметрами в объектах, имеющих большую инерционность и не допускающих остаточного отклонения регулирующей величины, а также в объектах, имеющих транспортное запаздывание и резко переменные воздействия на управляемый параметр.

2.8.31. ПИД-регулятор является универсальным. Так, при  $T_D=0$  и бесконечно большой величине  $T_I$  получаем закон регулирования [3, с. 248]:

- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| <b>1. Пропорциональный.</b> | 2. Пропорционально-интегральный.     |
| 3. Интегральный.            | 4. Пропорционально-дифференциальный. |

ПИД-регулятор по возможностям настройки является универсальным. С его помощью можно осуществлять различные законы регулирования. Как видно из выражения передаточной функции  $W(p) = k_P + \frac{1}{T_I p} + T_D p$  при  $T_D=0$  и бесконечно большой величине  $T_I$  получаем **пропорциональный** закон регулирования.

2.8.32. Если при настройке ПИД-регулятора установить конечные значения  $k_P$  и  $T_I$ , а  $T_D=0$ , то получим закон регулирования [3, с. 248]:

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Пропорциональный.                    | 2. Интегральный.                     |
| <b>3. Пропорционально-интегральный.</b> | 4. Пропорционально-дифференциальный. |

Из выражения передаточной функции ПИД-регулятора  $W(p) = k_P + \frac{1}{T_I p} + T_D p$  следует: если при настройке регулятора установить конечные значения  $k_P$  и  $T_I$ , а  $T_D=0$ , то получим **пропорционально-интегральный** закон регулирования.

2.8.33. Если при настройке ПИД-регулятора установить достаточно малые значения  $k_P$  и  $T_I$ , но так, чтобы отношение  $k_P/T_I$  было существенным, а  $T_D=0$ , то получим закон регулирования [3, с. 248]:

- |                                      |                         |
|--------------------------------------|-------------------------|
| 1. Пропорционально-дифференциальный. | <b>2. Интегральный.</b> |
| 3. Пропорционально-интегральный.     | 4. Пропорциональный.    |

Из выражения передаточной функции ПИД-регулятора  $W(p) = k_P + \frac{1}{T_{II}p} + T_D p$  следует: если при настройке регулятора установить достаточно малые значения  $k_P$  и  $T_{II}$ , но так, чтобы отношение  $k_P/T_{II}$  было существенным, а  $T_D=0$ , то получим **интегральный** закон регулирования.

2.8.34. Если при настройке ПИД-регулятора установить конечные значения  $k_P$  и  $T_D$ , то при бесконечно большой величине  $T_{II}$  получим закон регулирования [3, с. 248]:

1. Пропорциональный.
2. Пропорционально-интегральный.
3. Интегральный.
4. **Пропорционально-дифференциальный.**

Из выражения передаточной функции ПИД-регулятора  $W(p) = k_P + \frac{1}{T_{II}p} + T_D p$  следует: если при настройке регулятора принять конечные значения  $k_P$  и  $T_D$ , то при бесконечно большой величине  $T_{II}$  получим **пропорционально-дифференциальный** закон регулирования.

2.8.35. Регулирующий орган перемещается скачком из одного крайнего положения в другое всякий раз, когда регулируемая величина достигает некоторого определенного значения, называемого пороговым в [3, с. 254]:

1. П-регуляторе.
2. ПИ-регуляторе.
3. И-регуляторе.
4. **Релейном регуляторе.**

**Релейные регуляторы** работают по принципу «включено-выключено». Их реализация осуществляется с помощью контактных и бесконтактных релейных элементов. Процесс регулирования – автоколебательный, то есть регулируемая величина в переходном и установившемся режимах периодически изменяется относительно заданного значения. Возрастание постоянной времени объекта при прочих равных условиях увеличивает период колебаний и уменьшает частоту переключений регулятора.

2.8.36. Если регулирующий орган может занимать два или три определенных положения, такой регулятор называется [3, с. 254]:

1. Пропорционально-интегрально-дифференциальный.
2. Пропорционально-дифференциальный.
3. Пропорционально-интегральный.
4. **Позиционный.**

**Позиционный регулятор** вырабатывает сигнал, который перемещает регулирующий орган в одно из фиксированных положений (позиций). Этих положений может быть два, три и более, соответственно, различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы. Позиционные регуляторы рекомендуется применять на объектах управления большой емкости с незначительным временем запаздывания и мало изменяющихся внешних нагрузках.



1. Статическая.      2. Астатическая.      3. Изодромная.

В **астатических** системах регулируемая величина по окончании переходного процесса, вызванного изменением задающего воздействия или компенсаций возмущающего воздействия, в точности равна заданному значению. Возможное отклонение (ошибка регулирования), свойственное реальным системам, обусловлено несовершенством ее элементов.

### 3.1.5. Характерные свойства

а) равновесие системы возможно при различных значениях регулируемой величины;

б) каждому значению регулируемой величины соответствует единственное определенное положение регулирующего органа

имеет система регулирования [1, с. 15; 2, с. 14]:

1. Астатическая.      2. Статическая.      3. Изодромная.

В **статических** системах по окончании переходного процесса существует разница между заданным и установившимся значениями управляемой величины, которая называется статической ошибкой.

3.1.6. При астатическом регулировании уровня жидкости в баке воздействие на объект со стороны регулятора равно ( $H$  – уровень;  $\Delta Q$  – регулирующее воздействие;  $k$  – коэффициент пропорциональности) [2, с. 15]:

1.  $H = H_0 - \Delta H(Q)$ .      2.  $\Delta Q = k_p \Delta H + k \int \Delta H dt$ .  
 3.  $\Delta Q = k \int \Delta H dt$ .      4.  $\Delta Q = k_p \Delta H$ .

У астатических регуляторов воздействие со стороны регулятора на объект происходит до тех пор, пока не устранится отклонение регулируемого параметра от заданного значения (в нашем случае отклонение уровня  $\Delta H$ ). Воздействие на объект со стороны регулятора пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины, то есть  $\Delta Q = k \int \Delta H dt$ .

3.1.7. В изодромной системе регулирующее воздействие на объект со стороны регулятора равно [2, с. 16]:

1.  $\Delta Q = k_p \Delta H$ .      2.  $\Delta Q = k \int \Delta H dt$ .  
 3.  $\Delta Q = k_p \Delta H + k \int \Delta H dt$ .      4.  $H = H_0 - \Delta H(Q)$ .

В изодромной системе имеется гибкая обратная связь, благодаря которой регулирующее воздействие пропорционально отклонению регулируемой величины и его интегралу:  $\Delta Q = k_p \Delta H + k \int \Delta H dt$ . Изодромная система в начале переходного процесса соответствует статической, а в конце – астатической.

3.1.8. Коэффициент передачи элемента, имеющего линейную статическую характеристику, равен [2, с. 26; 5, с. 20]:

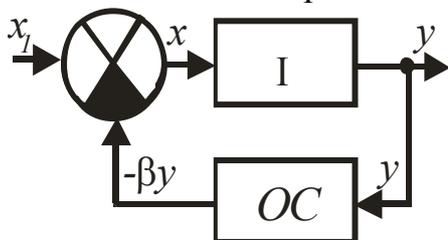
$$1. k = \sum_{i=1}^n k_i. \quad 2. k = \frac{y}{x}. \quad 3. k_1 = \frac{k}{1 + k\beta}. \quad 4. k(x) = \frac{y}{x}.$$

Статический коэффициент передачи элемента представляет собой отношение выходной величины  $y$  к входной величине  $x$ :  $k = y/x$ . При линейной статической характеристике  $k = const$ . Единица измерения  $k$  определяется отношением единиц измерения выходной и входной величин. Знак коэффициента передачи может быть положительным или отрицательным в зависимости от вида статической характеристики элемента.

3.1.9. При охвате линейного элемента отрицательной жесткой обратной связью коэффициент передачи (усиления) [2, с. 26; 6, с. 95]:

1. Увеличивается незначительно.
2. Уменьшается.
3. Остается без изменения.
4. Резко увеличивается.

Линейный элемент  $I$  со статической характеристикой  $y=kx$  охвачен отрицательной жесткой обратной связью



$$y = k(x_1 - \beta y).$$

Приведем к виду  $y = \frac{k}{1 + k\beta} x_1 = k_1 x_1$ , где  $k_1 = \frac{k}{1 + k\beta}$ . Из последнего выражения

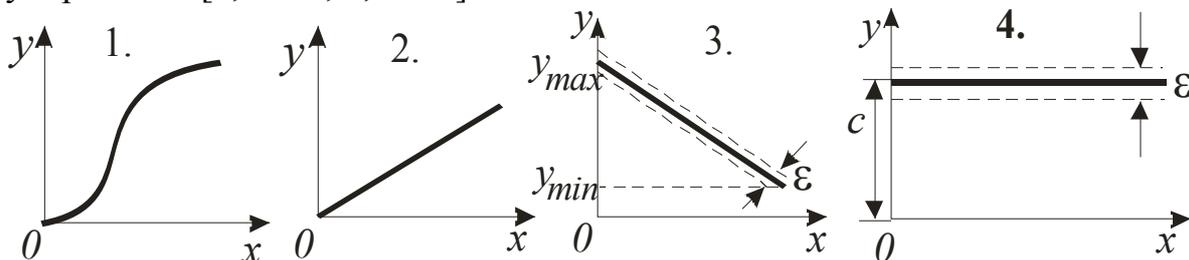
следует, что отрицательная жесткая обратная связь **уменьшает** коэффициент передачи.

3.1.10. Если нелинейная статическая характеристика задана аналитически, ее линеаризацию осуществляют методом [1, с. 43]:

1. Касательной.
2. Секущей.
3. **Малых отклонений.**

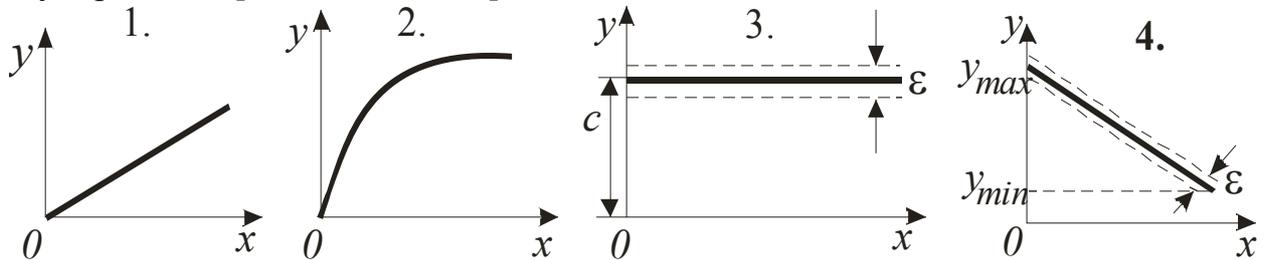
Метод **малых отклонений** основан на разложении аналитической функции  $y=f(x)$  в ряд Тейлора и отбрасывании членов высшего порядка малости  $y - y_0 = f_1(x_0) + f_1'(x_0)(x - x_0) + \dots$ . Таким образом, линеаризованное уравнение будет иметь вид:  $\Delta y = a + b\Delta x$ , где  $a=f_1(x_0)$ ;  $b=f_1'(x_0)$ .

3.1.11. Какая из характеристик принадлежит астатической системе регулирования [1, с. 15; 2, с. 14]?



При астатическом управлении  $\Delta(x)=0$ , то есть управляемая величина независимо от режима работы объекта управления сохраняет **постоянное значение** (рис. 4).

3.1.12. Какая из характеристик принадлежит статической системе регулирования [1, с. 15; 2, с. 14]?



В статических системах  $\delta \neq 0$ ,  $k_{cm} \neq 0$ . Характеристики статического и астатического управления графически обычно представляют одной линией. В действительности же имеется определенная зона изменения регулируемой величины, ширина которой иллюстрирует нечувствительность системы  $\epsilon$ , вызываемую, главным образом, нечувствительностью датчиков к малым отклонениям  $y$ .

3.1.13. Во всей зоне управления астатической САУ коэффициент неравномерности  $\delta$  и коэффициент статизма  $k_{cm}$  соответственно равны [2, с. 14]:

- |                   |                   |                      |                   |
|-------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 1. $\delta = 0$ ; | $k_{cm} = 0$ .    | 2. $\delta \neq 0$ ; | $k_{cm} \neq 0$ . |
| 3. $\delta = 0$ ; | $k_{cm} \neq 0$ . | 4. $\delta \neq 0$ ; | $k_{cm} = 0$ .    |

Во всей зоне управления астатической САУ коэффициент неравномерности  $\delta=0$  и коэффициент статизма  $k_{cm}=0$ .

3.1.14. Во всей зоне управления статической САУ коэффициент неравномерности  $\delta$  и коэффициент статизма  $k_{cm}$  соответственно равны [2, с. 14]:

- |                      |                |                      |                   |
|----------------------|----------------|----------------------|-------------------|
| 1. $\delta \neq 0$ ; | $k_{cm} = 0$ . | 2. $\delta = 0$ ;    | $k_{cm} \neq 0$ . |
| 3. $\delta = 0$ ;    | $k_{cm} = 0$ . | 4. $\delta \neq 0$ ; | $k_{cm} \neq 0$ . |

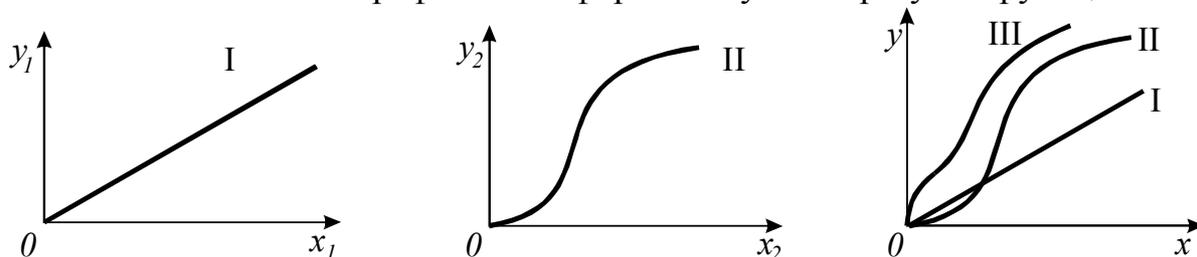
Во всей зоне управления статической САУ коэффициент неравномерности  $\delta \neq 0$  и коэффициент статизма  $k_{cm} \neq 0$ .

3.1.15. Укажите выражение для определения коэффициента (степени) неравномерности ( $C$  – постоянная, равная предписанному значению) [2, с. 14]:

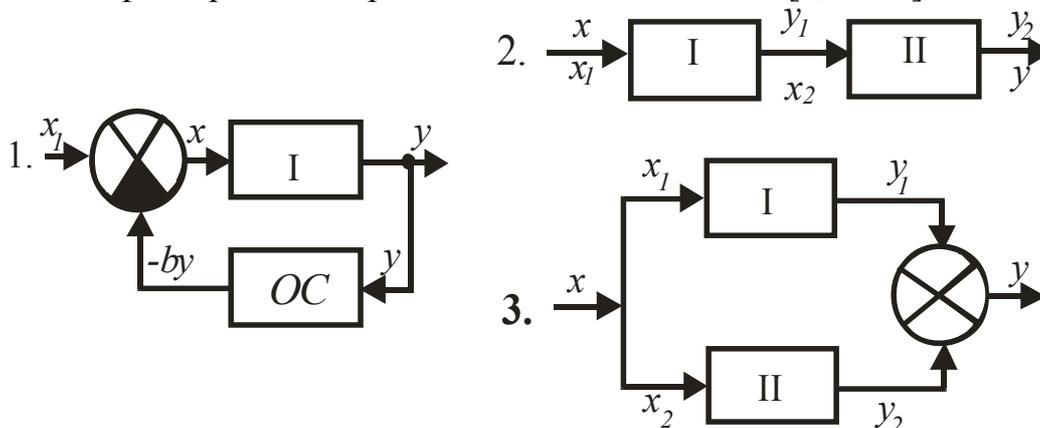
- |   |   |
|---|---|
| 1. $k_{cm} = \frac{y_1 - y_2}{y_n} \cdot \frac{x_1 - x_2}{x_n}$ . | 2. $\delta = \frac{y_{max} - y_{min}}{y_n}$ . |
| 3. $y = C + \Delta(x)$ .  | 4. $y = C + \Delta(x) \pm \epsilon C$ .       |

Коэффициент (степень) неравномерности  $\delta$  служит для оценки отклонения управляемой величины (статической ошибки)  $\delta = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_H}$ , где  $y_H$  – номинальное значение выходной величины.

3.1.16. Показано в графической форме получение результирующей



статической характеристики при соединении элементов [6, с. 91]:



Возникает необходимость по известным статическим характеристикам отдельных элементов построить статическую характеристику сложной цепи, состоящей из нескольких элементов. Чтобы получить статическую характеристику параллельного соединения элементов, следует построить характеристики элементов в одинаковом масштабе и просуммировать их ординаты (рис. 3).

3.1.17. Коэффициент передачи (усиления) системы, состоящей из  $n$  параллельно соединенных элементов, равен [6, с. 92]:

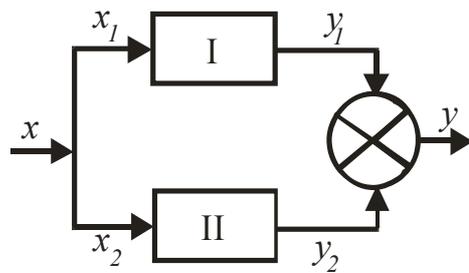
$$1. k = \sum_{i=1}^n k_i.$$

$$2. k = \prod_{i=1}^n k_i.$$

$$3. k_1 = \frac{k}{1 - k\beta}.$$

$$4. k_1 = \frac{k}{1 + k\beta}.$$

Есть два линейных элемента, соединенных параллельно



$$x_1 = x_2 = x$$

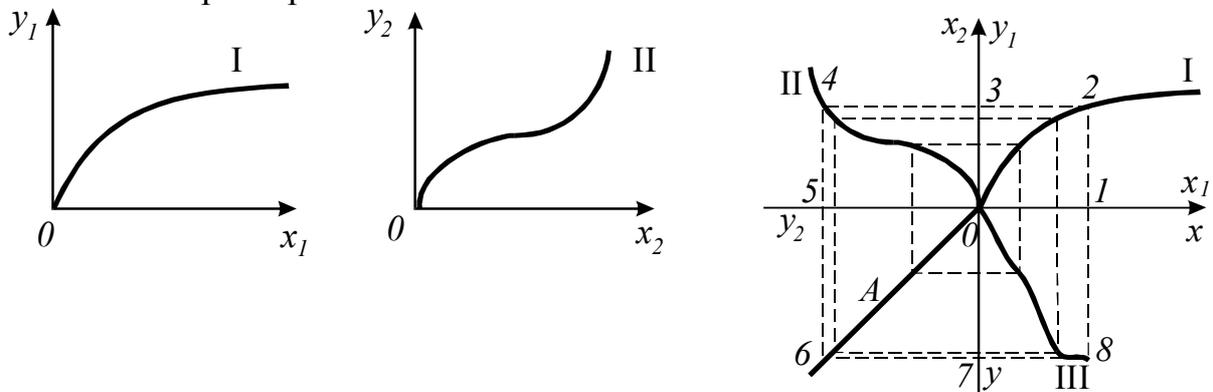
$$y = y_1 + y_2$$

Справедливо:  $y_1 = k_1 x_1$ ,  $y_2 = k_2 x_2$ .

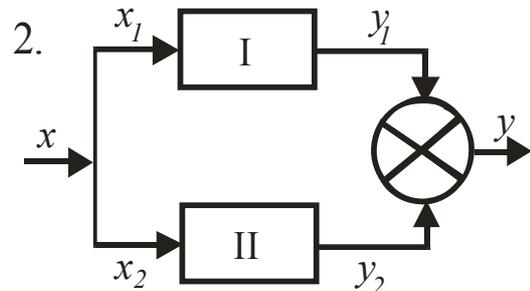
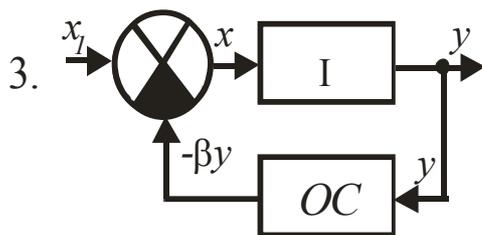
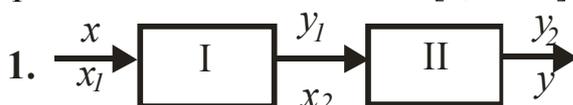
После суммирования получим  $y = (k_1 + k_2)x = kx$ , где  $k = k_1 + k_2$ . В общем случае при параллельном соединении  $n$  элементов коэффициент передачи равен

сумме коэффициентов передач отдельных элементов:  $k = \sum_{i=1}^n k_i$ .

3.1.18. Показано в графической форме получение результирующей статической характеристики



при соединении элементов [6, с. 92]:

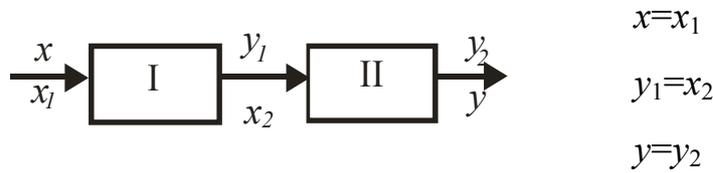


Даны две статические характеристики элементов, соединенных последовательно. Построение результирующей характеристики выполняется следующим образом. В первом квадранте строим характеристику I первого элемента, во втором – характеристику II второго элемента, причем ось абсцисс характеристики II ( $x_2$ ) совмещена с осью ординат характеристики I ( $y_1$ ). Зададимся некоторой точкой 1 на оси  $x_1$ . Последовательно получим точки 2, 3, 4, 5. В III квадранте проведем биссектрису OA. Далее получим точки 6, 7, 8. Точка 8 будет точкой результирующей характеристики. Найдя таким образом ряд других точек и соединив их плавной кривой, получим в IV квадранте результирующую характеристику III двух последовательно соединенных элементов (рис. 1).

3.1.19. Коэффициент передачи (усиления) системы, состоящей из  $n$  последовательно соединенных элементов, равен [6, с. 93]:

$$1. k_1 = \frac{k}{1+k\beta}. \quad 2. k_1 = \frac{k}{1-k\beta}. \quad 3. k = \prod_{i=1}^n k_i. \quad 4. k = \sum_{i=1}^n k_i.$$

Два линейных элемента соединены последовательно



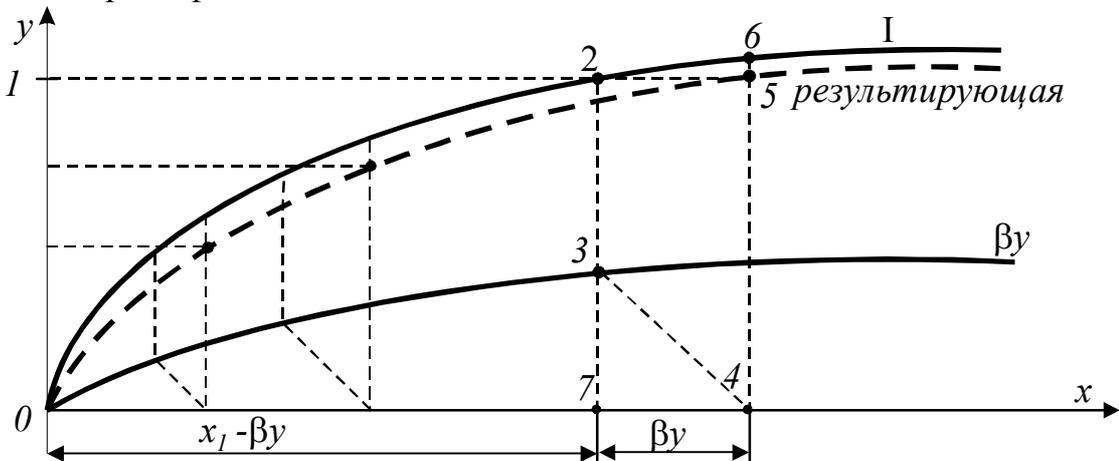
Справедливо:  $y_1=k_1x_1, y_2=k_2x_2$ .

После соответствующей подстановки и преобразований получим:  $y=k_1k_2x=kx$ .

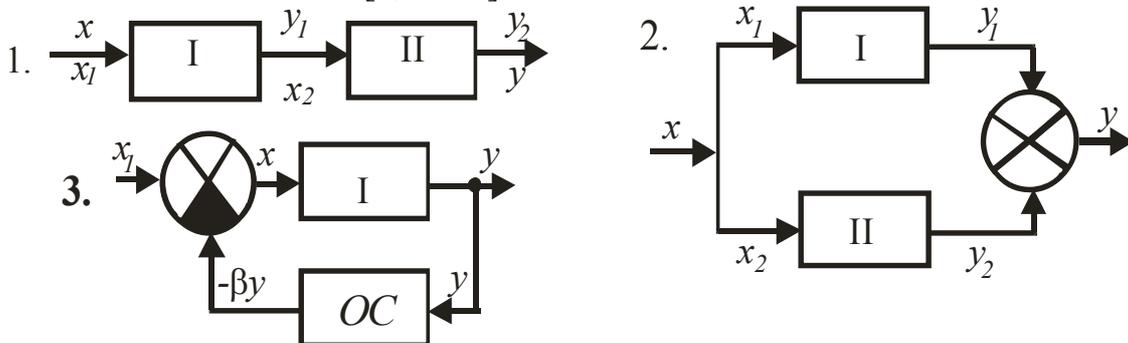
В общем случае при последовательном соединении  $n$  элементов коэффициент передачи равен произведению коэффициентов передач отдельных элементов

$$k = \prod_{i=1}^n k_i.$$

3.1.20. Показано в графической форме получение результирующей статической характеристики



при соединении элементов [6, с. 94]:



На графике кривая I – нелинейная статическая характеристика элемента I без обратной связи. Кривая  $\beta y$  – характеристика элемента жесткой обратной связи  $y_{OC}=\beta y$ , полученная умножением ординат кривой I на  $\beta$ . Зададим некоторое

значение  $y$ , например, в точке 1, далее получим точку 2, точку 3. Из точки 3 проведем прямую 3-4 под углом  $45^\circ$  к оси абсцисс вправо, если обратная связь отрицательная. Восстановим перпендикуляр из точки 4 до пересечения с продолжением линии 1-2 в точке 5, лежащей на статической характеристике элемента с жесткой отрицательной обратной связью. Найдя подобным образом еще ряд точек и соединив их плавной кривой (пунктир), получим искомую статическую характеристику (рис. 3).

3.1.21. Наибольшую эффективность имеет САУ, обладающая степенью точности  $S$  [6, с. 94]:

1.  $S=1$ .
2.  $S=2$ .
3.  $S=5$ .
4.  $S=10$ .

Степень точности  $S$  – отношение абсолютной статической ошибки неавтоматизированного объекта управления  $\Delta y_n$  (без регулятора) к абсолютной статической ошибке САУ  $\Delta y$ :  $S = \Delta y_n / \Delta y$ . Очевидно: чем **выше** степень точности, тем больше эффективность системы в установившемся режиме.

3.1.22. Изменение во времени управляемой величины с момента приложения воздействия до начала установившегося процесса называется [2, с. 207]:

1. Установившийся процесс.
2. **Переходный процесс.**

Система автоматического управления может работать в одном из двух режимов: установившемся и неустойчивом или переходном. Под **переходным процессом** понимается режим перехода системы из одного установившегося состояния к другому при каких-либо воздействиях. Переходные процессы описываются дифференциальными уравнениями и могут быть представлены в аналитическом или графическом виде.

3.1.23. При условиях:

- отклонение регулируемого параметра от заданного значения непрерывно меняется по величине (может также меняться и его знак);
- приток энергии или вещества в систему больше или меньше их расхода;
- элементы, меняющие приток или расход энергии или вещества в системе, находятся в движении

имеет место процесс [2, с. 207]:

1. **Переходный.**
2. Установившийся.

В процессе работы САУ подвергается различным возмущающим воздействиям, выводящим ее из состояния равновесия и отклоняющим управляемую величину от заданного значения. Регулятор стремится привести управляемую величину к заданному значению. Переход системы из одного состояния в другое вследствие наличия масс, емкостей и т.п. не может произойти мгновенно. В результате возмущающих воздействий и следующих за ними восстанавливающих воздействий регулятора в системе возникает **переходный процесс**.

3.1.24. Первой задачей динамического анализа работы САУ является [2, с. 226]:

**1. Исследование системы на устойчивость.**

2. Определение качественных показателей переходного процесса.

3. Определение влияния параметров элементов, образующих САУ, на ее устойчивость и на качественные показатели переходного процесса.

Система автоматического управления, предназначенная для управления каким-либо технологическим процессом или агрегатом, в первую очередь должна быть работоспособной. Работоспособность САУ определяется ее устойчивостью. **Устойчивость системы** – это ее свойство принимать равновесное состояние после вывода из этого состояния и прекращения действия возмущения.

3.1.25. Требованиям

- отражать специфику систем как САУ;
- быть применимым к системам различного назначения и с различными принципами действия;
- быть достаточно точным и одновременно позволять сравнительно просто применять его на практике

удовлетворяет способ описания работы САУ [2, с. 208; 5, с. 24]:

1. Словесный.
2. **С использованием дифференциальных уравнений.**
3. По назначению.
4. По принципу действия.

Существуют различные способы описания динамических свойств как отдельных звеньев, так и системы в целом. Чаще других в этих целях применяют **дифференциальные уравнения**, передаточные функции, переходные (временные) и частотные характеристики.

3.1.26. Уравнение динамики системы имеет вид

$$(T_n^n p^n + T_{n-1}^{n-1} p^{n-1} + \dots + T_1 p + 1)y = k(T_m^m p^m + T_{m-1}^{m-1} p^{m-1} + \dots + T_1^1 p + 1)x$$

или  $G(p)y=kH(p)x$ . Определите передаточную функцию системы [2, с. 226]:

1.  $k$ .
2.  $G(p)$ .
3.  $H(p)$ .
4.  $k \frac{H(p)}{G(p)}$ .

Уравнение динамики системы имеет вид  $G(p)y=kH(p)x$ , где  $G(p)$  – собственный оператор системы;  $H(p)$  – оператор воздействий;  $k$  – коэффициент усиления системы. Передаточная функция системы будет равна

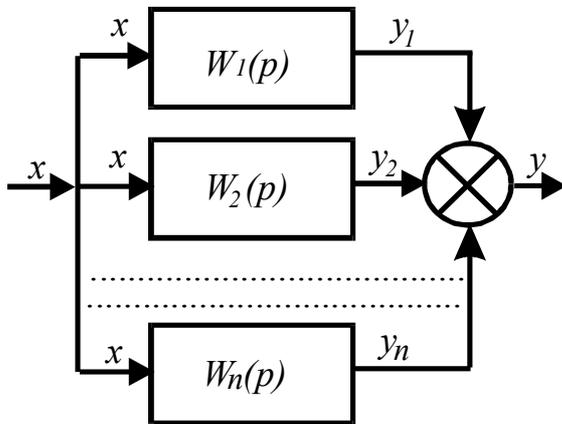
$$W(p) = \frac{y}{x} = k \frac{H(p)}{G(p)}$$

3.1.27. Уравнение динамики системы имеет вид  $G(p)y=kH(p)x$ . Собственным оператором системы является [2, с. 226]:

1.  $k \frac{H(p)}{G(p)}$ .
2.  $H(p)$ .
3.  $G(p)$ .
4.  $k$ .

Полином  $G(p) = (T_n^n p^n + T_{n-1}^{n-1} p^{n-1} + \dots + T_1 p + 1)$  называется собственным оператором системы, уравнение динамики которой имеет вид  $G(p)y = kH(p)x$ .

3.1.28. Передаточная функция системы при параллельном соединении звеньев равна [2, с. 222; 5, с. 154]:



$$1. W(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_{OC}(p)W_1(p)}.$$

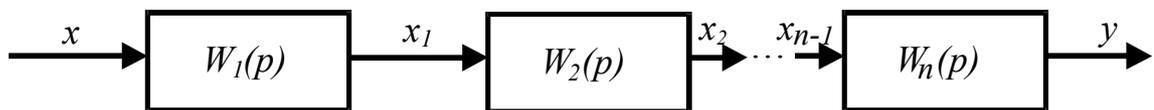
$$2. W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p).$$

$$3. W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p).$$

При параллельном соединении на вход всех звеньев подается один и тот же сигнал  $x$ , а выходные величины складываются  $y = y_1 + y_2 + \dots + y_n$ . Значит, передаточная функция системы при параллельном соединении звеньев равна

сумме передаточных функций отдельных звеньев  $W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$ .

3.1.29. Передаточная функция системы при последовательном соединении звеньев



равна [2, с. 222; 5, с. 153]:

$$1. W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p).$$

$$2. W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p).$$

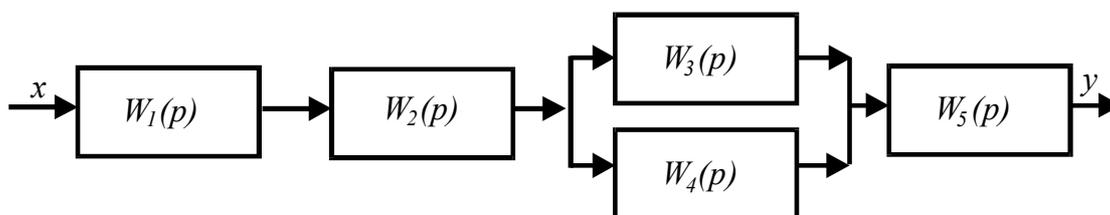
$$3. W(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_{OC}(p)W_1(p)}.$$

$$4. W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_{OC}(p)W_1(p)}.$$

При последовательном соединении выходная величина каждого предшествующего звена является входным воздействием для последующего звена. Таким образом, передаточная функция системы при последовательном соединении звеньев равна произведению передаточных функций отдельных звеньев

$$W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p).$$

3.1.30. Передаточная функция системы

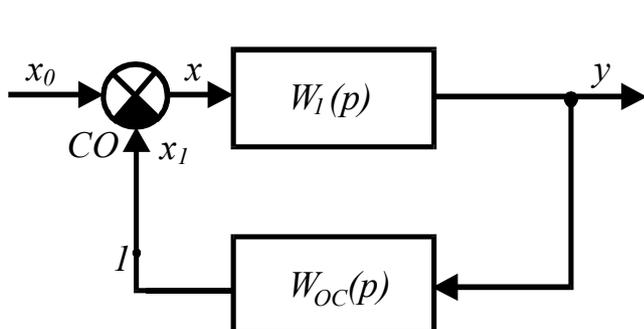


равна [2, с. 222; 5, с. 154]:

1.  $W(p) = W_1(p)W_2(p)[W_3(p) + W_4(p)]W_5(p)$ .
2.  $W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_{oc}(p)W_1(p)}$ .
3.  $W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$ .
4.  $W(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$ .

При комбинированном соединении звеньев выделяют группы звеньев. Определяют передаточную функцию при **параллельном** соединении звеньев, передаточную функцию при **последовательном** соединении звеньев и находят **резльтирующую** передаточную функцию всей системы.

3.1.31. Передаточная функция звена с отрицательной обратной связью равна [2, с. 223; 5, с. 155]:



1.  $W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$ .
2.  $W(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_{oc}(p)W_1(p)}$ .
3.  $W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_{oc}(p)W_1(p)}$ .

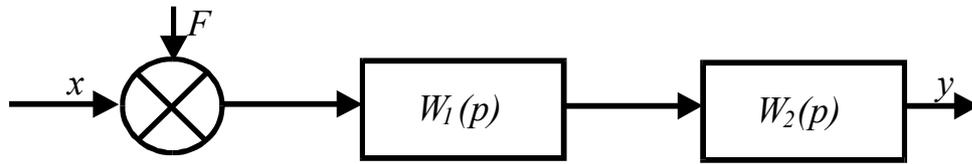
Принято считать, что звено охвачено обратной связью, если его выходной сигнал через какое-либо другое звено подается на вход рассматриваемого звена. Обратная связь может быть отрицательной или положительной. Передаточная функция звена с обратной связью  $W(p)$  равна отношению передаточной функции прямой цепи  $W_1(p)$  к передаточной функции разомкнутой цепи, увеличенной на единицу при отрицательной и уменьшенной на единицу при положительной обратных связях  $W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_{oc}(p)W_1(p)}$ .

3.1.32. Если на систему действует  $n$  возмущений, то общее количество передаточных функций равно [2, с. 222]:

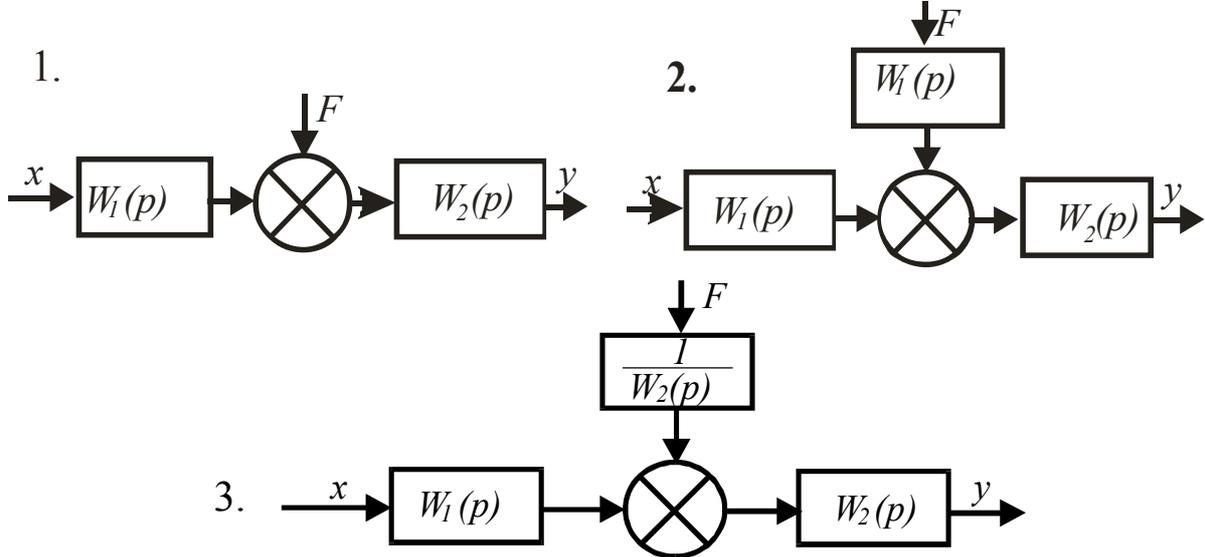
1. Единице.
2. Числу возмущений.
3.  $n+1$ .
4.  $n-1$ .

Если на систему действует несколько возмущений, то общее количество передаточных функций равно **числу возмущений**. Каждая передаточная функция в этом случае имеет одинаковый знаменатель, равный собственному оператору системы.

3.1.33. На рисунке представлена структурная схема:

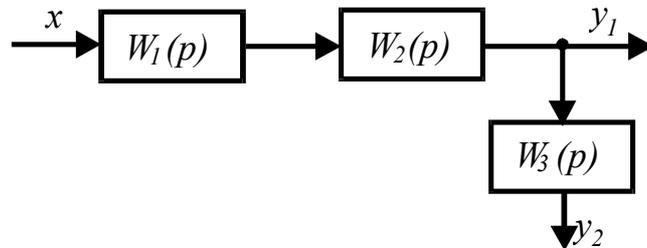


В результате переноса внешнего воздействия  $F$  на вход последующего звена с передаточной функцией  $W_2(p)$  получена эквивалентная схема [2, с. 224]:

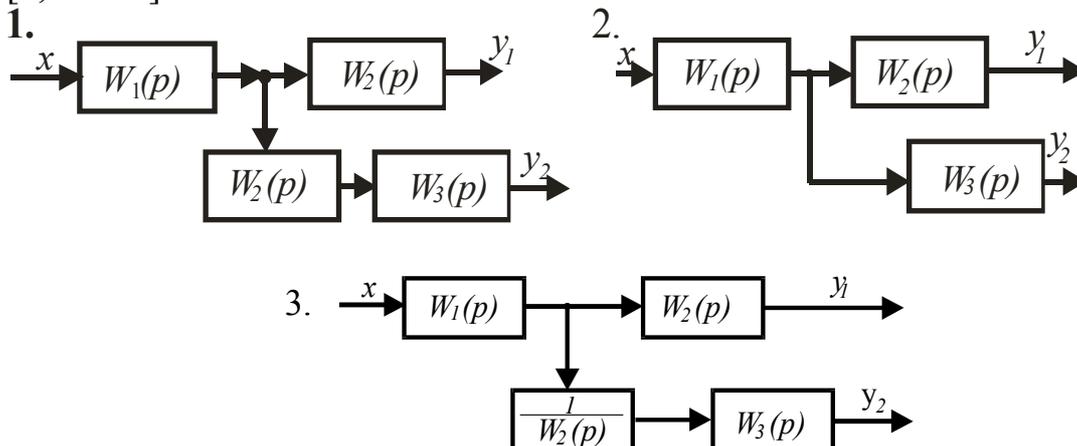


Внешнее воздействие  $F$ , приложенное к входу начального звена с передаточной функцией  $W_1(p)$ , можно перенести на вход последующего звена с передаточной функцией  $W_2(p)$ , добавив между ним и воздействием  $F$  звено с передаточной функцией  $W_1(p)$  (рис. 2).

3.1.34. . На рисунке представлена структурная схема:

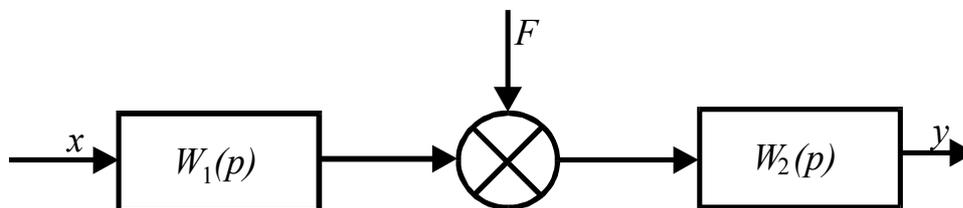


В результате переноса точки присоединения звена с передаточной функцией  $W_3(p)$  с выхода звена с передаточной функцией  $W_2(p)$  на его вход получена эквивалентная схема [2, с. 224]:

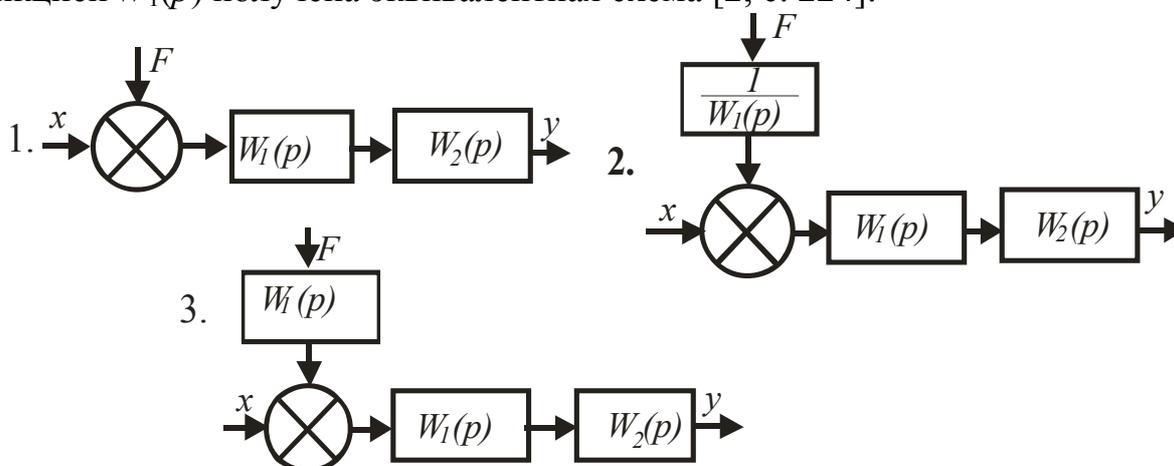


Точку присоединения звена с передаточной функцией  $W_3(p)$  можно перенести с выхода звена с передаточной функцией  $W_2(p)$  на его вход, добавив между входами звеньев с передаточными функциями  $W_2(p)$  и  $W_3(p)$  звено с передаточной функцией  $W_2(p)$  (рис. 1).

3.1.35. . На рисунке представлена структурная схема:

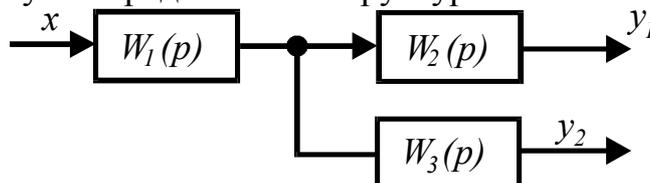


В результате переноса внешнего воздействия  $F$  на вход звена с передаточной функцией  $W_1(p)$  получена эквивалентная схема [2, с. 224]:

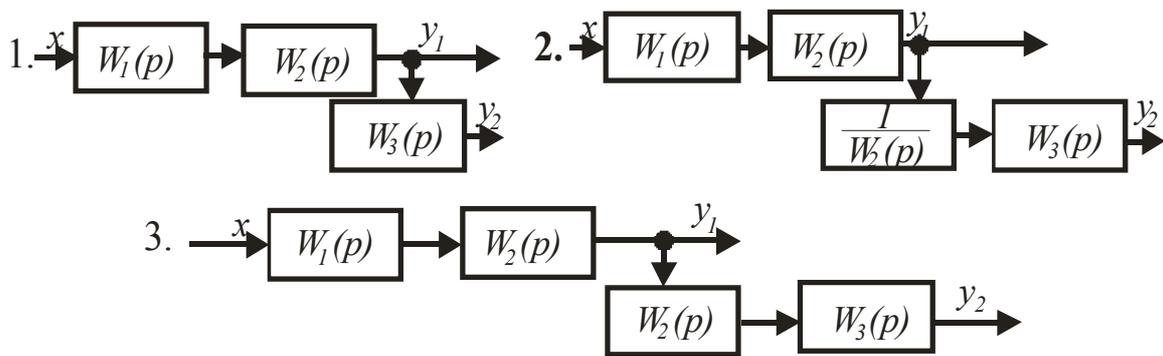


Внешнее воздействие  $F$ , приложенное к входу звена с передаточной функцией  $W_2(p)$ , можно перенести на вход предыдущего последовательно включенного звена с передаточной функцией  $W_1(p)$ , введя между ним и воздействием  $F$  звено с передаточной функцией  $1/W_1(p)$  (рис. 2).

3.1.36. . На рисунке представлена структурная схема:



В результате переноса точки присоединения звена с передаточной функцией  $W_3(p)$  с входа звена с передаточной функцией  $W_2(p)$  на его выход получена эквивалентная схема [2, с. 224]:



Точку присоединения звена с передаточной функцией  $W_3(p)$  можно перенести с входа звена с передаточной функцией  $W_2(p)$  на его выход, введя между выходом звена с передаточной функцией  $W_2(p)$  и входом звена с передаточной функцией  $W_3(p)$  звено с передаточной функцией  $1/W_2(p)$  (рис. 2).

### 3.2. Устойчивость САУ

3.2.1. Если САУ за счет своих внутренних сил возвращается в состояние равновесия после устранения непланируемого воздействия (возмущения), то она будет [2, с. 226; 5, с. 158]:

1. Устойчивая.
2. Неустойчивая.
3. Нейтральная.
4. На границе устойчивости.

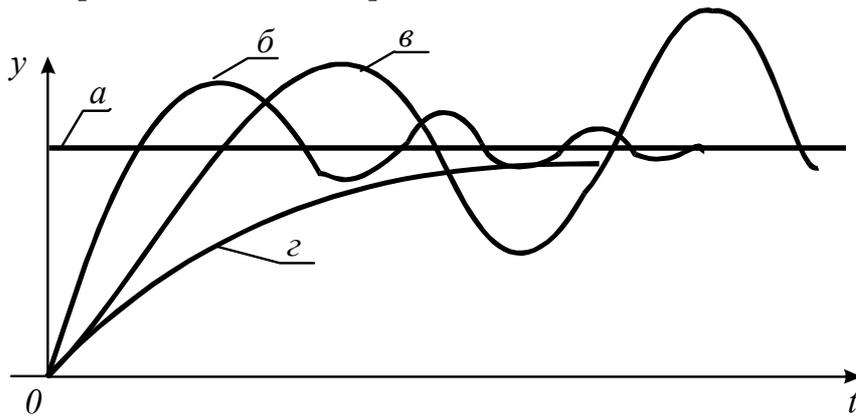
САУ считается **устойчивой**, если управляемая (регулируемая) величина, отклонившаяся в результате возмущающих воздействий от заданного значения, с течением времени под воздействием регулятора возвращается к заданному значению с точностью, отвечающей статической погрешности регулятора.

3.2.2. Линейная САУ, описываемая уравнением  $(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n) y = 0$ , будет устойчива лишь в том случае, если корни соответствующего характеристического уравнения вещественны, различны и имеют значения [2, с. 228; 5, с. 160]:

1.  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$  – отрицательные.
2.  $\begin{cases} \lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_{n-1} - \text{отрицательные.} \\ \lambda_n = 0 \end{cases}$
3.  $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$  – положительные.
4.  $\begin{cases} \lambda_2 \dots \lambda_n - \text{отрицательные.} \\ \lambda_1 - \text{положительный.} \end{cases}$

Характер свободного движения системы определяется уравнением  $y = A_0 + C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \dots + C_n e^{\lambda_n t}$ , где  $\lambda_1 \dots \lambda_n$  – корни характеристического уравнения  $G(p)=0$ ;  $A_0, C_1 \dots C_n$  – постоянные коэффициенты. Если **все корни отрицательны**, то с течением времени все члены выражения, содержащие множитель  $e^{\lambda_i t}$ , стремятся к нулю, а отклонение регулируемой величины  $y$  стремится к постоянному значению  $A_0$  или к нулю. Система устойчива.

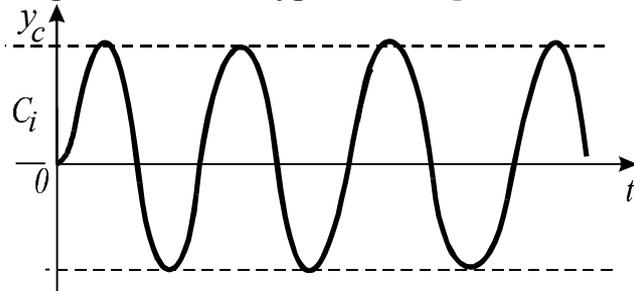
3.2.3. Какая из переходных характеристик соответствует неустойчивой системе [2, с. 228; 5, с. 159]?



1. а.
2. б.
3. в.
4. г.

Если переходный процесс  $y_{nep}(t)$  с течением времени не стремится к нулю, то такой процесс называется расходящимся, а система является **неустойчивой (в)**.

3.2.4. График свободного движения системы показывает, что корни характеристического уравнения [2, с. 228; 5, с. 159]:



1. Вещественные.
2. Комплексные.
3. Мнимые.

Характеристическое уравнение  $a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0$  может иметь комплексные корни  $\lambda_{i,i+1} = \alpha_i \pm j\beta_i$ . При  $\alpha_i < 0$  система устойчивая, при  $\alpha_i > 0$  — неустойчивая. Если имеется хотя бы один нулевой корень или **пара чисто мнимых сопряженных корней**, то система находится на границе устойчивости. Переходный процесс имеет постоянную амплитуду, его считают граничным между сходящимся и расходящимся процессами.

3.2.5. Для устойчивости линейной системы с характеристическим уравнением  $a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$  необходимо выполнение двух условий (критерий И.А. Вышнеградского) [2, с. 230]:

1.  $\begin{cases} a_0, a_1, a_2, a_3 > 0 \\ a_1 a_2 < a_0 a_3 \end{cases}$
2.  $\begin{cases} a_0, a_1, a_2, a_3 < 0 \\ a_1 a_2 > a_0 a_3 \end{cases}$
3.  $\begin{cases} a_0, a_1, a_2, a_3 > 0 \\ a_1 a_2 > a_0 a_3 \end{cases}$
4.  $\begin{cases} a_0, a_1, a_2, a_3 < 0 \\ a_1 a_2 < a_0 a_3 \end{cases}$

Условия устойчивости системы (критерий И.А. Вышнеградского):

- **все коэффициенты характеристического уравнения должны быть положительными;**

- произведение средних коэффициентов должно быть больше произведения крайних.

3.2.6. Определить с помощью критерия Вышнеградского устойчивость САР, характеристическое уравнение которой  $a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$  при  $a_0=75$ ;  $a_1=1,5$ ;  $a_2=0,3$ ;  $a_3=0,01$  [2, с. 230].

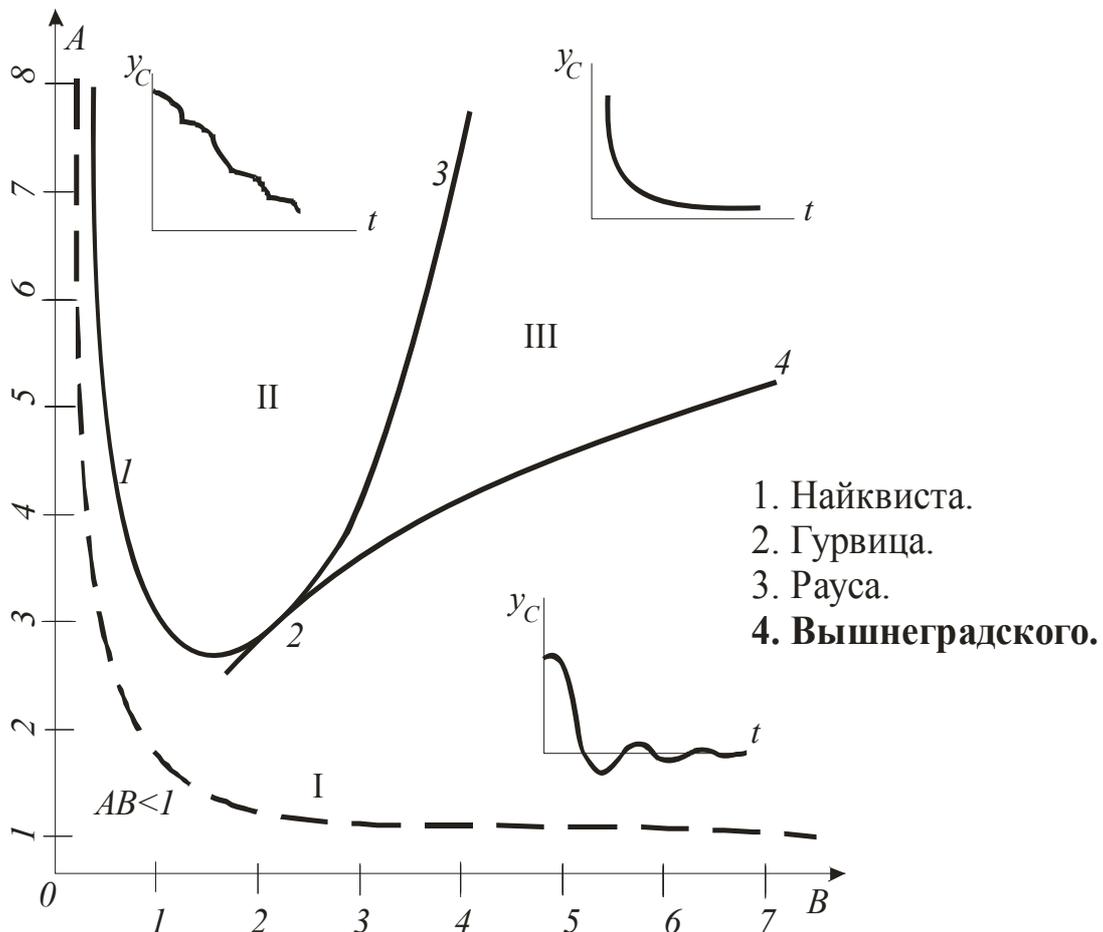
- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| 1. На границе устойчивости. | 2. Устойчивая.  |
| <b>3. Неустойчивая.</b>     | 4. Нейтральная. |

Условия устойчивости системы (критерий И.А. Вышнеградского):

$a_0 > 0, a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0; a_1 a_2 > a_0 a_3.$

В число коэффициентов уравнения входят лишь значения параметров системы, поэтому устойчивость последней определяется только параметрами и не зависит от ее состояния.

3.2.7. Графически изображен в виде диаграммы критерий [2, с. 230]:



**Критерий Вышнеградского**, графически изображаемый в виде диаграммы, позволяет определить характер переходного процесса, описываемого дифференциальным уравнением третьего порядка, и влияние на него параметров системы. Характеристическое уравнение системы:  $a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$ . Область устойчивости разделена на 3 подобласти: в I переходные процессы имеют колебательный характер, во II – монотонный, в III – аperiodический. Изменяя

параметры системы  $(a_0, a_1, a_2, a_3)$  в соответствии с диаграммой Вышнеградского, можно задавать тот или иной вид переходного процесса.

3.2.8. Определить с помощью критерия Рауса устойчивость САР, характеристическое уравнение которой  $4p^4+7p^3+5p^2+3p+1=0$  [2, с. 231; 5, с. 163].

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| 1. Неустойчивая.            | 2. Устойчивая.  |
| 3. На границе устойчивости. | 4. Нейтральная. |

Составляется таблица Рауса по коэффициентам данного уравнения. Таблица содержит 5 строк  $(n+1)$ . Все элементы первого столбца таблицы Рауса положительные – система **устойчивая**.

3.2.9. Если все элементы первого столбца таблицы Рауса имеют одинаковые знаки, совпадающие со знаком коэффициента  $a_0$ , то система [2, с. 231; 5, с. 163]:

- |                                       |                 |
|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Неустойчивая.                      | 2. Устойчивая.  |
| 3. Находится на границе устойчивости. | 4. Нейтральная. |

Уравнение  $G(p)=0$  записывается так, что значение  $a_0>0$ . Составляется таблица Рауса. Если при анализе ее окажется, что: все элементы первого столбца положительные – **система устойчивая**; коэффициент первого столбца любой строки равен нулю – система на границе устойчивости; любой коэффициент первого столбца отрицателен – система неустойчивая.

3.2.10. Составлена таблица Рауса из коэффициентов характеристического уравнения системы  $a_0p^n + a_1p^{n-1} + \dots + a_{n-1}p + a_n = 0$ . Сколько будет строк в данной таблице [2, с. 231; 5, с. 163]?

$a_0$	$a_2$	$a_4$	...	1. $n$ .
$a_1$	$a_3$	$a_5$	...	2. $2n$ .
$b_0$	$b_2$	$b_4$	...	3. $n-1$ .
$b_1$	$b_3$	$b_5$	...	4. $n+1$ .
$c_0$	$c_2$	$c_4$	...	

.....  
 .....

Уравнение  $G(p)=0$  записывается так, что значение  $a_0>0$ . Составляется таблица Рауса: в первой и второй строках записывают коэффициенты соответственно с четными и нечетными индексами; в остальных строках – коэффициенты, вычисленные по коэффициентам двух строк рядом вышерасположенных. Например:  $b_0 = \frac{a_1 a_2 - a_0 a_3}{a_1}$ ;  $b_1 = \frac{b_0 a_3 - a_1 b_2}{b_0}$  и т.д.

Всего таблица содержит  **$n+1$  строку**, где  $n$  – степень характеристического уравнения.

3.2.11. Система устойчива тогда и только тогда, когда при  $a_0>0$  все коэффициенты  $a_i$  и все диагональные миноры определителя  $\Delta n$  больше нуля, гласит критерий [2, с. 232; 5, с. 163]:

1. Михайлова.
3. Вышнеградского.

2. Гурвица.
4. Рауса.

Характеристическое уравнение системы

$$G(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0.$$

Критерий **Гурвица** гласит: система устойчива, если

$$a_0 > 0; a_1 > 0; \dots; a_n > 0 \text{ и } \Delta_1 = a_1 > 0; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0; \dots; \Delta_n > 0.$$

3.2.12. Данная форма записи коэффициентов характеристического уравнения  $a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0$  производится при исследовании САУ на устойчивость с помощью критерия [2, с. 232; 5, с. 163]:

$a_1$	$a_3$	$a_5$	...	0	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рауса.</li> <li>2. Михайлова.</li> <li>3. Вышнеградского.</li> <li>4. <b>Гурвица.</b></li> </ol>
$a_0$	$a_2$	$a_4$	...	0	
0	$a_1$	$a_3$	...	0	
.....				0	
0.....				$a_n$	

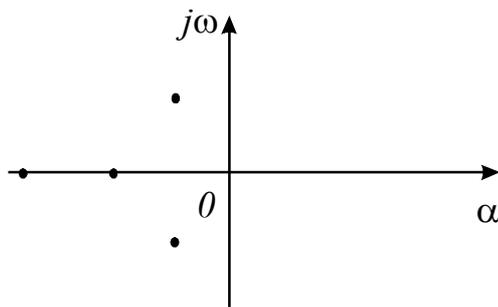
**Определитель Гурвица** составляется следующим образом. Все коэффициенты от  $a_1$  до  $a_n$  располагают по главной диагонали в порядке возрастания индексов. Вверх от главной диагонали в столбцах записывают коэффициенты характеристического уравнения с последовательно возрастающими, а вниз – с убывающими индексами. На месте коэффициентов, индексы которых больше  $n$  и меньше нуля, проставляют нули.

3.2.13. К частотным относится критерий [2, с. 233; 5, с. 163]:

1. Рауса.
2. **Михайлова.**
3. Гурвица.
4. Вышнеградского.

Трудоемкость расчетов по алгебраическим критериям (Вышнеградского, Рауса, Гурвица) непомерно возрастает с повышением порядка характеристического уравнения, поэтому их применяют для уравнений не выше шестого порядка. Частотные критерии относятся к графоаналитическим, их можно использовать для систем сколь угодно высокого порядка. В практике исследования систем широко применяют частотные критерии **Михайлова** и Найквиста.

3.2.14. По расположению корней характеристического уравнения на плоскости комплексного переменного определите состояние САУ. [2, с. 229; 16, с. 105]:



1. Устойчивая.
2. Неустойчивая.
3. На границе устойчивости.

Корни характеристического уравнения часто представляют графически в виде точек на плоскости комплексного переменного, которая в этом случае называется плоскостью корней. Линейная система будет **устойчива** тогда и только тогда, когда все корни ее характеристического уравнения на плоскости корней располагаются слева от мнимой оси. Ось мнимых величин является границей устойчивости.

3.2.15. Определить с помощью критерия Гурвица устойчивость САР, характеристическое уравнение которой  $p^5 + 3p^4 + 5p^3 + 7p^2 + 2p + 2 = 0$  [2, с. 232; 5, с. 163]:

- |                             |                 |
|-----------------------------|-----------------|
| 1. Неустойчивая.            | 2. Устойчивая.  |
| 3. На границе устойчивости. | 4. Нейтральная. |

Для уравнений высших степеней в практических расчетах устойчивость систем определяют по частным критериям устойчивости Гурвица. Для уравнений пятого порядка условия **устойчивости**:

$$\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0;$$

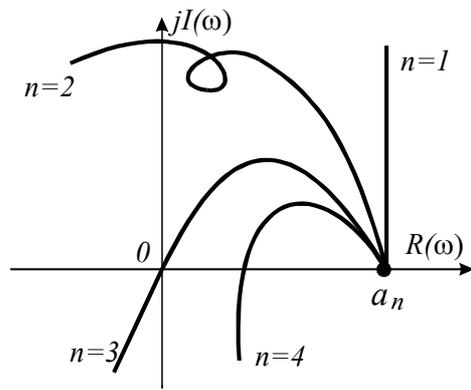
$$\Delta_4 = (a_1 a_2 - a_0 a_3)(a_3 a_4 - a_2 a_5) - (a_1 a_4 - a_0 a_5) > 0.$$

3.2.16. Для устойчивой системы необходимо и достаточно, чтобы при изменении угловой частоты  $\omega$  от 0 до  $\infty$  годограф, описываемый концом вектора  $G(j\omega)$ , начинался на вещественной положительной полуоси и, вращаясь только против часовой стрелки, нигде не обращаясь в нуль, проходил, повернувшись на угол  $n \frac{\pi}{2}$ , последовательно число квадрантов, равное степени  $n$  характеристического уравнения, гласит критерий [2, с. 234; 5, с. 164]:

1. Вышнеградского.
2. Гурвица.
3. Михайлова.
4. Найквиста.

**Критерий Михайлова** основан на рассмотрении годографа АФЧХ, определяемого характеристическим уравнением замкнутой системы. Если хотя бы одно из указанных условий не соблюдается, то система неустойчива. Система находится в нейтральном состоянии, если годограф при некотором значении  $\omega$  проходит через начало координат.

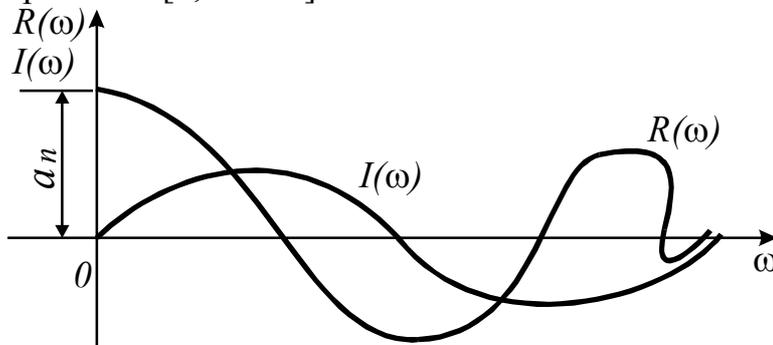
3.2.17. Укажите годограф Михайлова, соответствующий устойчивой САР [2, с. 234; 5, с. 164]:



1.  $n=1$ .
2.  $n=2$ .
3.  $n=3$ .
4.  $n=4$ .

Устойчивость САР оценивают по характеру годографа частотной характеристики. По критерию Михайлова устойчивой САР будет соответствовать годограф при  $n=1$ .

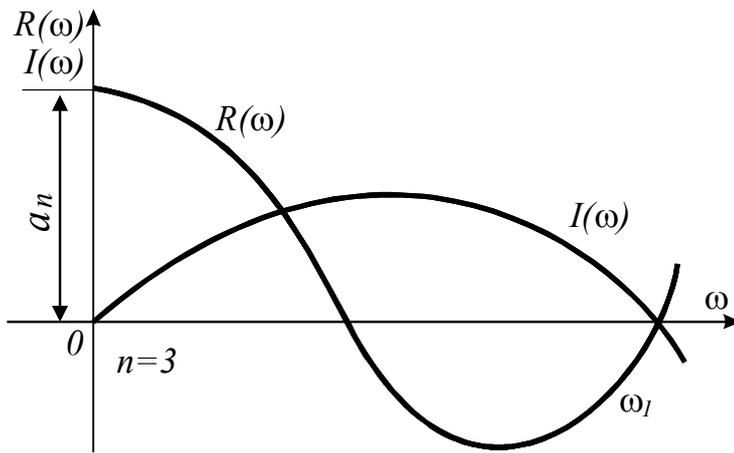
3.2.18. Какой системе соответствуют вещественная и мнимая частотные характеристики [2, с. 235]?



1. Нейтральной.
2. Устойчивой.
3. Неустойчивой.

Следствие из критерия Михайлова основано на том, что по мере вращения вектора  $G(j\omega)$  при изменении  $\omega$  от 0 до  $\infty$  для устойчивой системы вещественная и мнимая оси пересекаются годографом Михайлова поочередно. Каждому пересечению вещественной оси соответствует корень полинома  $I(\omega)=0$ , а каждому пересечению мнимой – корень полинома  $R(\omega)=0$ . Следовательно, система устойчива тогда и только тогда, когда корни полиномов  $I(\omega)=0$  и  $R(\omega)=0$  с изменением  $\omega$  от 0 до  $\infty$  чередуются по величине и представляют собой вещественные числа. Общее число корней этих полиномов должно равняться порядку уравнения  $n$ . На представленном графике чередования корней нет – **система неустойчива**.

3.2.19. Какой системе соответствуют вещественная и мнимая частотные характеристики [2, с. 235]?



1. Устойчивой.
2. **Нейтральной.**
3. Неустойчивой.

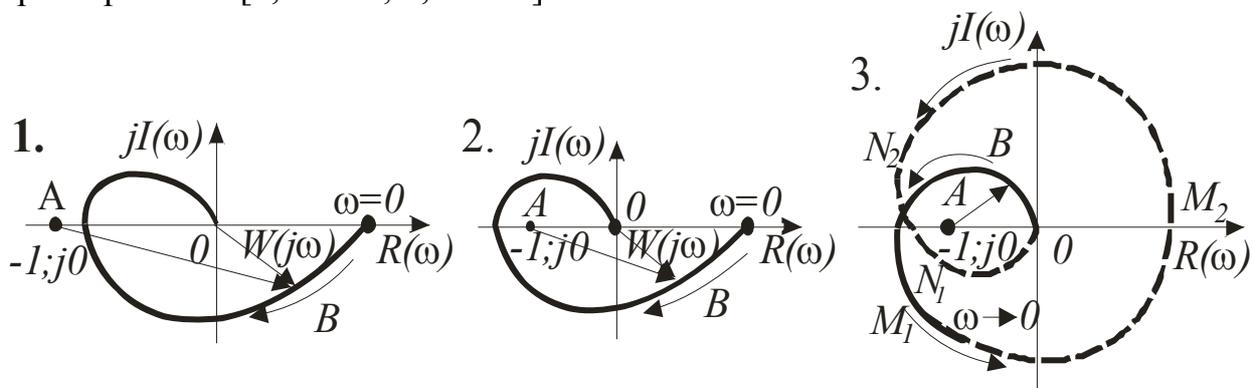
На рисунке показаны графики частотных характеристик  $R(\omega)$  и  $I(\omega)$ , пересекающиеся в одной точке ( $\omega_1$ ). Система, согласно следствию из критерия Михайлова, находится на **границе устойчивости**.

3.2.20. Какой критерий формулируется так: САР, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой и в замкнутом состоянии, если АФЧХ этой системы в разомкнутом состоянии не охватывает точку с координатами  $(-1; j0)$  [2, с. 237; 5, с. 165]?

1. **Найквиста.**
2. Михайлова.
3. Гурвица.
4. Рауса.

Критерий Найквиста (1-й случай) – система автоматического управления, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой и в замкнутом состоянии, если амплитудно-фазовая частотная характеристика  $W(j\omega)$  этой системы в разомкнутом состоянии не охватывает в комплексной плоскости точку с координатами  $(-1; j0)$ . Если АФЧХ  $W(j\omega)$  при некоторой частоте, называемой критической частотой  $\omega_k$ , проходит через точку  $(-1; j0)$ , то переходный процесс в замкнутой системе представляет собой незатухающие колебания с частотой  $\omega_k$ , то есть система оказывается на границе устойчивости (в нейтральном состоянии).

3.2.21. Устойчивой САР соответствует амплитудно-фазовая частотная характеристика [2, с. 237; 5, с. 165]:

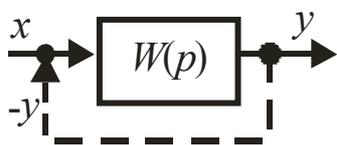


Критерий Найквиста позволяет оценить устойчивость замкнутой САР по АФЧХ разомкнутой САР. Замкнутая САР будет устойчивой, так как АФЧХ  $W(j\omega)$

разомкнутой САР (рис. 1), построенная при изменении частоты от 0 до  $\infty$ , **не охватывает** на комплексной плоскости точку с координатами  $(-1; j0)$ .

3.2.22. АФЧХ разомкнутой системы  $W(j\omega)$  отличается от АФЧХ замкнутой системы  $T(j\omega)=1+W(j\omega)$  сдвигом на единицу [2, с. 237; 5, с. 165]:

1. Вверх.                      2. Вниз.                      3. Вправо.                      4. **Влево.**



Дана разомкнутая система с передаточной функцией  $W(p)$ . Уравнение системы  $G(p)y = H(p)x$ . Замкнем систему: сигнал  $y$  с выхода подадим на вход системы (пунктирная цепь). Исходя из предположения, что  $x=-y$ ,

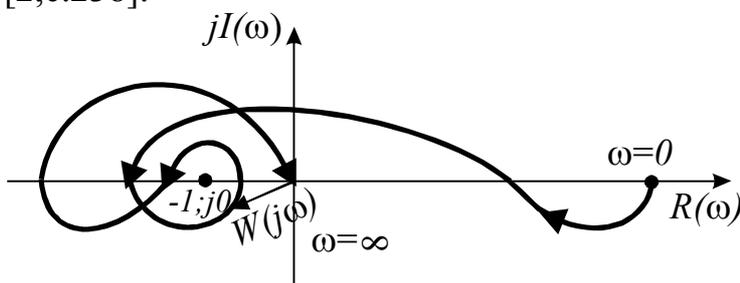
уравнение для замкнутой системы:  $E(p) = [G(p) + H(p)]y = 0$ . Заменив  $p$  на  $j\omega$  и разделив обе части уравнения на  $G(j\omega)$ , получим:

$$T(j\omega) = E(j\omega)/G(j\omega) = 1 + W(j\omega),$$

где  $W(j\omega) = y/x = H(j\omega)/G(j\omega)$  – АФЧХ разомкнутой системы.

Следовательно, АФЧХ разомкнутой системы  $W(j\omega)$  отличается от АФЧХ замкнутой системы  $T(j\omega)$  сдвигом **влево** на единицу.

3.2.23. Определить с помощью критерия Найквиста устойчивость САР в замкнутом состоянии по АФЧХ разомкнутой системы при числе корней с положительной вещественной частью характеристического уравнения  $g=2$  [2,с.238]:

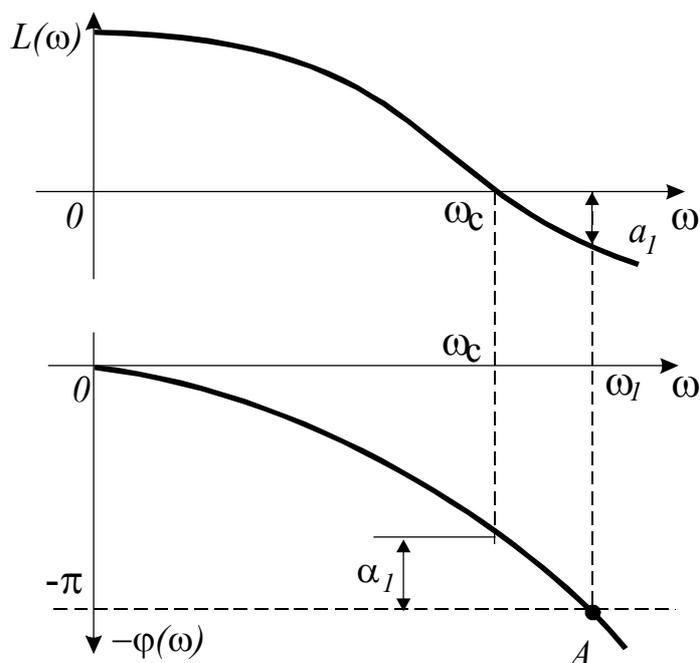


1. Неустойчивая.
2. **Устойчивая.**
3. На границе устойчивости.

Критерий Найквиста (2-й случай) – система автоматического управления, неустойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой в замкнутом состоянии, если ее амплитудно-фазовая частотная характеристика  $W(j\omega)$  в разомкнутом состоянии при изменении частоты  $\omega$  от 0 до  $\infty$  охватывает точку с координатами  $(-1; j0)$  в положительном (против часовой стрелки) направлении  $q$  раз ( $q$  – число корней с положительной вещественной частью характеристического уравнения разомкнутой системы). АФЧХ при  $q=2$  соответствует **устойчивой** системе.

3.2.24. Запас устойчивости системы по фазе будет [2, с. 238]:

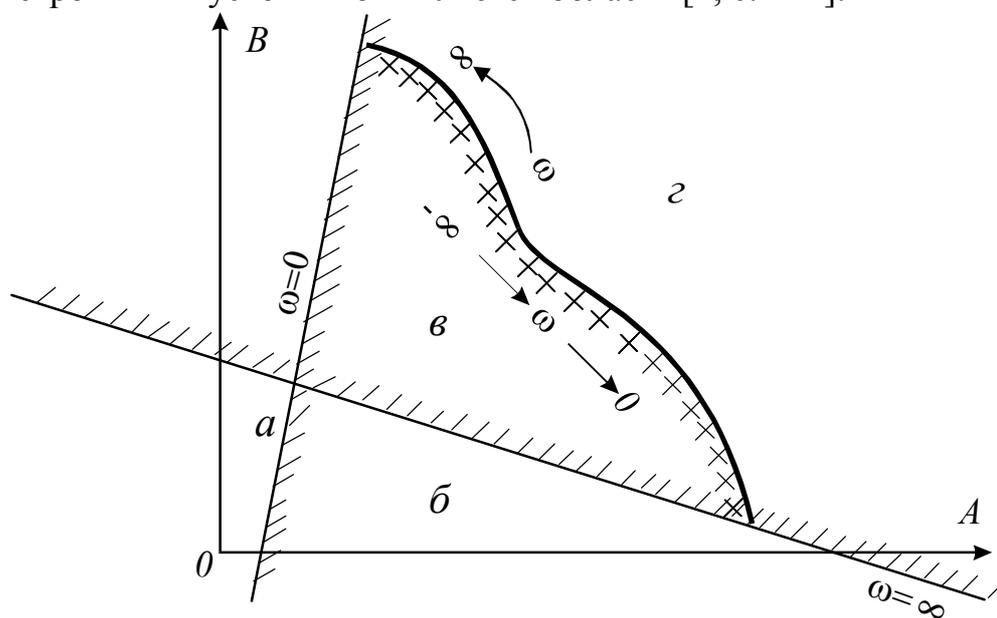




1. Устойчивой.
2. Неустойчивой.
3. На границе устойчивости.
4. Нейтральной.

Логарифмический критерий Найквиста (1-й случай) – САУ, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет **устойчивой** в замкнутом состоянии, если точка  $A$  ЛФЧХ, определяемая фазой  $\varphi = -\pi$ , соответствует области отрицательных значений амплитуды  $L_1(\omega_1) = \lg W(j\omega_1)$ .

3.2.27. Согласно кривой Д-разбиения и особым прямым в плоскости двух параметров  $A$  и  $B$  устойчивой является область [2, с. 244]:



1. а.
2. б.
3. в.
4. г.

Область устойчивости по двум параметрам  $A$  и  $B$  – если оба параметра линейно входят в характеристическое уравнение, для определения их значений, соответствующих устойчивой области Д-разбиения, пользуются правилом штриховки и дополнением кривой Д-разбиения так называемыми особыми линиями. Область, охваченная заштрихованной кривой и прямыми, соответствует устойчивой системе с заданными параметрами  $A$  и  $B$  (**область в**).

### 3.3. Качество САУ

3.3.1. Точность исполнения системой автоматического управления предписанного закона изменения управляемой величины называется [2, с. 244; 5, с. 166]:

1. Устойчивость. **2. Качество.** 3. Надежность. 4. Самовыравнивание.

Устойчивость является необходимым, но не достаточным условием работоспособности САУ. Достаточным условием считают **качество** процессов регулирования, которое оценивают по характеру переходных процессов и ошибкам в установившихся режимах.

3.3.2. Точность регулирования в установившемся режиме характеризуется [2, с. 14]:

1.  $\Delta y = y_{уст} - y(t)$ .

2.  $\Delta(x) = y_3 - y_{уст.ф.}$ .

3.  $\Delta y = \Delta y_0 e^{-\frac{t}{T}}$ .

4.  $\sigma = \frac{\Delta y_{max}}{y_{уст}} \cdot 100\%$ .

Точность регулирования в установившемся режиме характеризуется статической ошибкой  $\Delta(x)$ . Она представляет собой разность между заданным  $y_3$  и фактически установившимся значениями регулируемой величины  $y_{уст.ф.}$ :

$$\Delta(x) = y_3 - y_{уст.ф.}$$

3.3.3. Ошибка САУ зависит [5, с. 171]:

1. Только от собственных свойств системы.

2. Только от характера изменения во времени внешних воздействий.

**3. Как от собственных свойств системы, так и от характера изменения во времени задающего и возмущающих воздействий.**

В линейных системах с единичной обратной связью ошибка регулирования равна разности между задающим воздействием и регулируемой величиной. Ошибка САУ зависит **как от собственных свойств системы**, характеристиками которых являются передаточные функции, **так и от характера изменения во времени задающего и возмущающих воздействий.**

3.3.4. Для того чтобы однозначно определить качество системы в установившемся режиме, его исследуют при воздействиях [5, с. 171]:

**1. Типовых.** 2. Случайных. 3. Внутренних. 4. Контрольных.

Внешние воздействия на САУ могут изменяться различным образом. Но для того, чтобы однозначно определить качество системы в установившемся режиме, его исследуют при **типовых воздействиях**  $1(t)$ ,  $1'(t)$ ,  $1''(t)$ .

3.3.5. Если к системе приложено несколько входных воздействий, установившаяся ошибка будет равна [5, с. 172]:

1. Сумме установившихся ошибок по каждому воздействию в отдельности.

2. Произведению установившихся ошибок по каждому воздействию в отдельности.

3. Установившейся ошибке от максимального воздействия.

Когда к системе приложено несколько входных воздействий, установившуюся ошибку можно представить как **сумму установившихся ошибок по каждому воздействию в отдельности**. Каждое слагаемое установившейся ошибки представляется в виде ряда.

3.3.6. Значение установившейся ошибки можно вычислить, используя [5, с. 171]:

1. АЧХ.

2. ФЧХ.

3. АФЧХ.

4. **Передаточные функции ошибки по задающему и возмущающему воздействиям.**

Значение функции ошибки, которое устанавливается в системе по истечении достаточно большого времени с момента приложения входного воздействия, называется установившейся ошибкой. Значение ее удобно вычислять, используя **передаточные функции по задающему и возмущающему воздействиям**.

3.3.7. Качество переходных процессов оценивают по [2, с. 245; 5, с. 166]:

1. Амплитудно-фазовой частотной характеристике  $W(j\omega)$ .

2. Передаточной функции  $W(p)$ . 3. **Переходной характеристике  $y(t)$ .**

Качество переходных процессов обычно оценивают по **переходной функции  $y(t)$** , которая представляет собой реакцию системы на внешнее воздействие типа единичной ступенчатой функции  $1(t)$ .

3.3.8. Числовые оценки качества, получаемые непосредственно по переходной характеристике, называются [5, с. 169]:

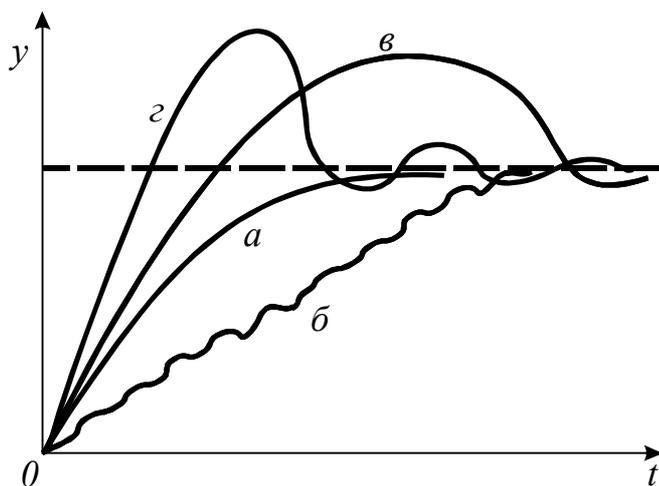
1. **Прямые показатели.**

2. Косвенные оценки.

Показатели, характеризующие качество работы системы в переходном режиме, делят на прямые и косвенные. 3.3.9. Какой тип переходного процесса характеризуется условием

$$\frac{dy}{dt} \geq 0 \text{ при } 0 \leq t \leq t_p; \quad |y(t) - y_{уст.}| \leq \varepsilon \text{ при } t > t_p$$

[2, с. 256]?



1. а.
2. б.
3. в.
4. г.

Данному условию соответствует монотонный процесс (**кривая а**), характеризующийся тем, что скорость изменения регулируемой величины не меняет знака в течение всего переходного процесса.

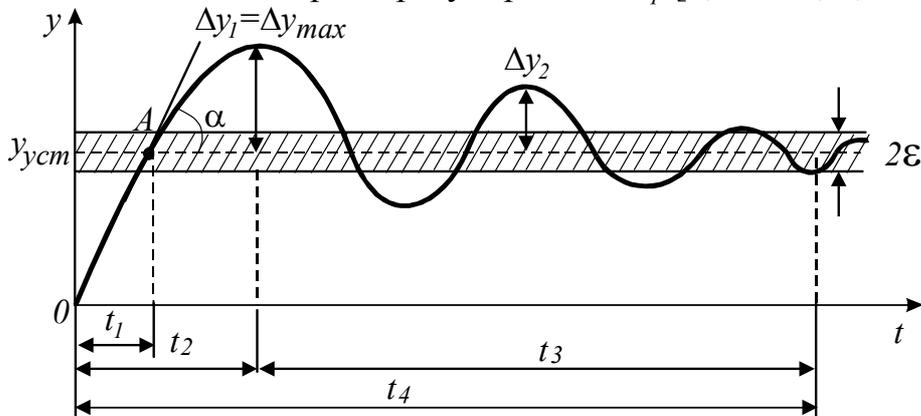
3.3.10. Логарифмическим декрементом затухания  $d = \ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}$

характеризуется [2, с. 256]:

- 1.Динамическая ошибка системы.
- 2.Статическая ошибка системы.
- 3.Колебательность переходного процесса.**
- 4.Перерегулирование.

Колебательность процесса характеризуется частотой и числом собственных колебаний системы. **Колебательность** оценивается количественно по логарифмическому декременту затухания  $d$ , который представляет собой натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд отклонений регулируемой величины одного направления  $d = \ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}$ . Чем больше логарифмический декремент затухания, тем быстрее происходит затухание переходного процесса.

3.3.11. Укажите время регулирования  $t_p$  [1, с. 100; 5, с. 167]:



1.  $t_p = t_1$ .
2.  $t_p = t_2$ .
3.  $t_p = t_3$ .
- 4.  $t_p = t_4$ .**

**Время регулирования  $t_p$**  определяется длительностью переходного процесса. Теоретически считают, что он заканчивается, как только отклонение

регулируемой величины от нового ее установившегося значения не будет превышать допустимых пределов  $\varepsilon$ , примерно равных нечувствительности регулятора. Обычно принимают  $\varepsilon=3-5\%$  от  $y_{уст}$ . Временем регулирования характеризуют быстроедействие системы. Иногда быстроедействие характеризуют также временем  $t_y$  достижения переходной функцией первый раз нового установившегося значения или временем  $t_{max}$  – достижения максимального значения  $y_{max}$ .

3.3.12. Коэффициентом перерегулирования  $\sigma\%$  характеризуется [1, с. 100; 5, с. 167]:

1. Величина максимального динамического отклонения системы в переходном процессе.
2. Колебательность переходного процесса.
3. Статическая ошибка системы.
4. Величина периода колебаний.

Перерегулирование (выброс) представляет собой максимальное отклонение регулируемой величины в переходном режиме от нового установившегося значения в сторону, противоположную от начального значения. Обычно первый максимум является наибольшим. **Величина перерегулирования характеризует количественно динамическую ошибку и определяется коэффициентом перерегулирования  $\sigma$** . Это есть не что иное, как относительное перерегулирование. В качестве оптимального допускают перерегулирование в пределах 20-30%. При этом число полупериодов переходной функции равно 2-3.

3.3.13. Чем ближе система к границе устойчивости, тем значения  $\sigma$  (перерегулирование) и  $n$  (число колебаний за время переходного процесса) [1, с. 100; 5, с. 167]:

1. Меньше.
2. Больше.
3.  $\sigma=0, n=0$ .

**Большие** значения коэффициента перерегулирования  $\sigma$  и числа колебаний переходной функции  $n$  указывают на то, что система отрабатывает задающее воздействие с большой скоростью, при этом увеличиваются динамические нагрузки на отдельные элементы, система приближается к границе устойчивости.

3.3.14. Если коэффициент перерегулирования  $\sigma \leq 10...30\%$  и число колебаний составляет 1...2, то запас устойчивости [2, с. 255]:

1. Обеспечен.
2. Не обеспечен.
3. Система находится на границе устойчивости.

Принято считать, что запас устойчивости **обеспечен**, если  $\sigma \leq 10...30\%$ . В ряде случаев допускается перерегулирование в пределах 50...70% (тяжелый пуск машин). Наряду с перерегулированием оговаривается число колебаний в переходном процессе. Допустимое число колебаний обычно составляет 1...2, в отдельных случаях 3...4 колебания.

3.3.15. Минимальными значениями времени регулирования  $t_p$  характеризуются переходные процессы [1, с. 102]:

1. **Апериодические.**
2. Колебательные сходящиеся.
3. Колебательные гармонические.
4. Малоколебательные.

Время регулирования  $t_p$ , отрезок времени от момента нанесения возмущения до момента, когда отклонение войдет в наперед заданные минимальные пределы, характеризует быстродействие системы, зависит от свойств объекта, закона и параметров настройки регулятора. Минимальными значениями  $t_p$  характеризуются **апериодические** переходные процессы регулирования.

3.3.16. Корневые, частотные и интегральные оценки относятся к показателям качества [5, с. 169]:

1. Прямым.
2. **Косвенным.**
3. Совокупным.
4. Совместным.

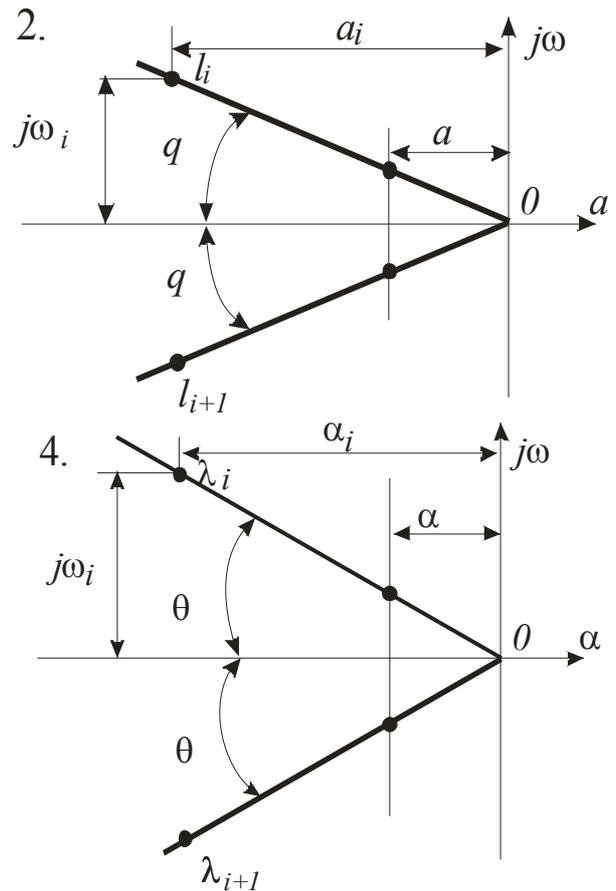
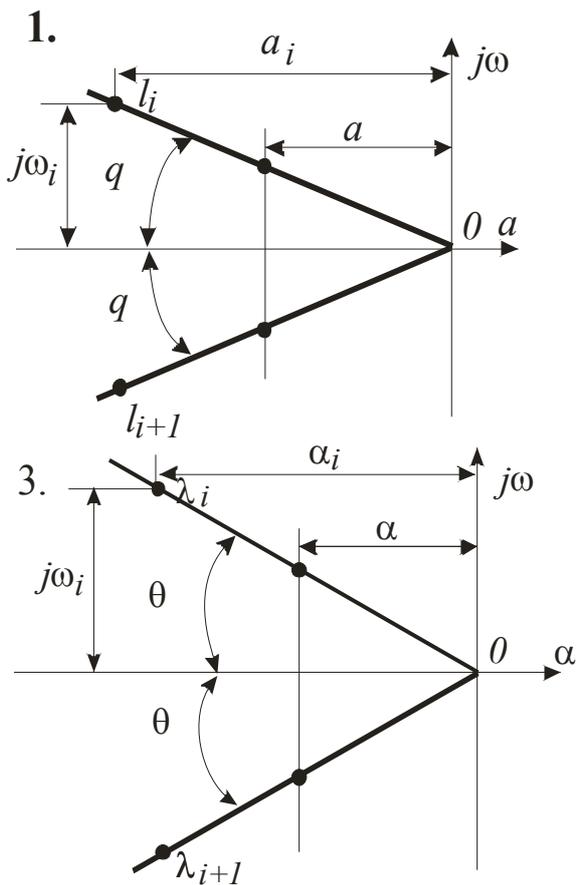
Косвенные оценки качества переходного процесса позволяют определить некоторые особенности переходного процесса и установить влияние параметров системы на качество переходных процессов. К **косвенным** показателям качества относятся корневые, частотные и интегральные оценки.

3.3.17. Как известно, колебания в системе будут наблюдаться в том случае, если среди корней характеристического уравнения имеются комплексные сопряженные корни вида  $-\alpha \pm j\omega$ . Чем меньше угол  $\theta = \arctg \frac{\omega}{\alpha}$ , тем система [5, с. 169]:

1. Больше склонна к колебаниям.
2. **Меньше склонна к колебаниям.**
3. Обладает худшим качеством.

Корневой метод позволяет оценить колебательность переходного процесса. Колебания в системе будут наблюдаться в том случае, если среди корней характеристического уравнения имеются комплексные сопряженные корни вида  $-\alpha \pm j\omega$ . Колебательность определяется отношением мнимой части комплексного корня к его вещественной части. Если в уравнении имеется несколько сопряженных корней, то колебательность определяется по корням с наименьшей вещественной частью, которая дает наиболее медленно затухающую составляющую  $\theta = \arctg \frac{\omega}{\alpha}$ . Чем меньше угол  $\theta$ , тем **меньше система склонна к колебаниям.**

3.3.18. По расположению корней характеристических уравнений устойчивых САР на комплексной плоскости определить, какая из систем обладает большим запасом устойчивости и меньше склонна к колебаниям [5, с. 169]:



Корневой метод оценки запаса устойчивости САР гласит: линейная система будет устойчива тогда, когда все корни ее характеристического уравнения на плоскости корней располагаются слева от мнимой оси. При этом, чем больше отрицательное значение вещественной части корня, тем быстрее происходит затухание переходного процесса. Другими словами, чем дальше расположены корни влево от мнимой оси, тем **большим запасом устойчивости обладает САР (рис. 1)**. Это позволяет рассматривать отрицательную вещественную часть корня с наименьшим абсолютным значением как запас устойчивости системы. Расстояние от мнимой оси до ближайшей пары комплексных сопряженных корней с отрицательной вещественной частью принято называть степенью устойчивости.

3.3.19. Затухание за один период, представляющее собой относительное уменьшение последующей амплитуды по сравнению с предшествующей, выраженное в процентах, можно определить по формуле [6, с. 133]:

$$1. I_1 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt.$$

$$2. y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{R(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega.$$

$$3. \xi = \left[ 1 - e^{-\frac{2\pi}{\omega}} \right] \cdot 100\%.$$

$$4. \sigma = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100\%.$$

Затухание за один период  $\xi$  можно определить по корням характеристического уравнения. Оно представляет собой относительное уменьшение последующей амплитуды по сравнению с предшествующей:

$$\xi = \frac{\Delta y_1 - \Delta y_2}{\Delta y_1} 100\%.$$

Учитывая, что  $\Delta y_1 = Ae^{-\alpha t_1}$ ,  $\Delta y_2 = Ae^{-\alpha(t_1+T)}$ , где  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  – период

колебаний, получим  $\xi = \left[ 1 - e^{-\frac{2\pi}{\omega}} \right] \cdot 100\%$ .

3.3.20. Независимо от характера переходного процесса косвенная оценка его качества (быстрота затухания и величина отклонений управляемой переменной) производится по величине интеграла [1, с. 101; 5, с. 170]:

$$1. I_0 = \int_0^{\infty} \varepsilon(t) dt. \quad 2. I_1 = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt. \quad 3. I_2 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt. \quad 4. y = \frac{1}{T_H} \int_0^t x dt.$$

**Квадратичный интегральный критерий**  $I_2 = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt$  является наиболее

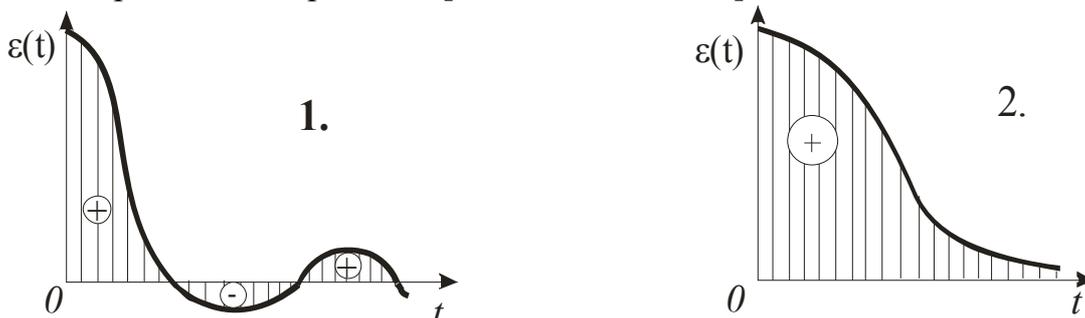
эффективным. Посредством его можно оценивать качество работы САУ при различных видах переходного процесса (монотонных, колебательных). Он представляет собой определенный интеграл от квадрата отклонения управляемого параметра от нового заданного значения (функции ошибки). Чем меньше значение квадратичной площади регулирования, тем лучшим качеством обладает система.

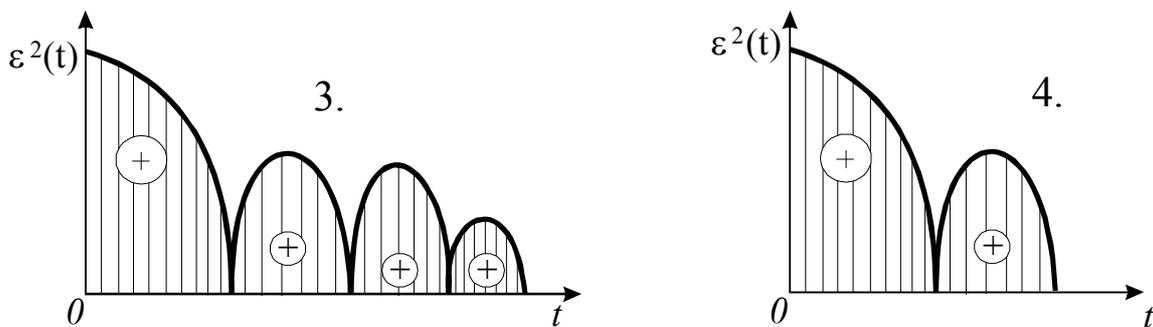
3.3.21. Минимум интегральной оценки соответствует [5, с. 170]:

1. Низкому качеству системы.      2. Высокому качеству системы.

Интегральные критерии качества относятся к числу комплексных и представляют собой некоторую обобщенную оценку качества; учитывают совокупность свойств (точность, запас устойчивости, быстродействие). Интегральные критерии базируются на интегральных показателях, характеризующих отклонение кривой переходного реального процесса системы от идеального. Обычно интегральные оценки применяют для следящих систем, которые являются астатическими. Минимум интегральной оценки соответствует более **высокому качеству системы**.

3.3.22. По интегральным оценкам определить систему, обладающую лучшим качеством переходного процесса [1, с. 101; 5, с. 170]:





По интегральным оценкам, чем меньше значение площади регулирования (рис. 1), тем лучшим качеством переходного процесса обладает система.

3.3.23. Частотные методы исследования качества процесса автоматического регулирования целесообразно применять тогда, когда исследование устойчивости САУ производилось с помощью критерия устойчивости [6, с.139]:

1. Рауса.
2. Гурвица.
3. Вышнеградского.
4. Найквиста.

Частотные критерии качества относятся к косвенным оценкам качества переходного процесса. При гармонических воздействиях на систему качество ее принято оценивать по частотным характеристикам, учитывая, что между ними и переходным процессом существует определенная связь. Этот метод исследования качества целесообразно применять тогда, когда исследование устойчивости системы производилось с помощью критерия устойчивости **Найквиста**. Для оценки качества используются величины: показатель колебательности, полоса пропускания, частота среза.

3.3.24. Показатель колебательности  $M$  – это отношение максимального значения АЧХ замкнутой системы к ее значению при  $\omega=0$   $M = A_{z,\max} / A_z(0)$ . Чем больше показатель колебательности [5, с.169]:

1. Тем меньше запас устойчивости, тем больше склонность системы к колебаниям.
2. Тем больше запас устойчивости.
3. Тем меньше запас устойчивости, тем меньше склонность системы к колебаниям.

Показатель колебательности  $M$  – отношение максимального значения амплитуды  $A_{z,\max}(\omega)$  АЧХ замкнутой системы к значению амплитуды  $A_z(0)$  при  $\omega=0$ :  $M = A_{z,\max}(\omega) / A_z(0)$ . Чем больше показатель колебательности, тем меньше запас устойчивости, тем больше склонность системы к колебаниям. Опытным путем установлено, что качество переходных процессов удовлетворительное, когда  $M \leq (1,2...1,5)$ .

3.3.25. Опытным путем установлено, что качество переходных процессов удовлетворительное, когда  $M \leq (1,2...1,5)$ . При малых значениях  $M$  система «вялая» и поэтому [5, с.169]:

1. Имеет малое время регулирования.

**2. Имеет большое время регулирования.**

3. Увеличивается перерегулирование и система приближается к границе устойчивости.

Показатель колебательности  $M = A_{з, \max}(\omega) / A_з(0) \leq (1, 2 \dots 1, 5)$ . При малых значениях  $M$  система «вялая» и **имеет большое время регулирования**. При больших значениях  $M$  увеличивается перерегулирование, и система приближается к границе устойчивости.

3.3.26. Частота среза  $\omega_{ср}$  – это частота, при которой АЧХ равна единице  $A_з(\omega_{ср})=1$ . Косвенно она характеризует [5, с.170]:

1. Колебательность системы.

**2. Длительность переходного процесса  $t_{пер} \approx (1-2)2\pi/\omega_{ср}$ .**

3. Перерегулирование.

4. Ошибку регулирования.

Частота среза  $\omega_{ср}$  – частота, при которой амплитуда АЧХ равна единице:  $A_з(\omega_{ср})=1$ . Она определяет диапазон частот вынужденных колебаний, которые пропускает система без ослабления. На этой частоте амплитуды входного и выходного колебаний равны между собой. Косвенно частота среза характеризует **длительность переходного процесса:  $t_{пер} \approx (1-2)2\pi/\omega_{ср}$ .**

3.3.27. Частота  $\omega_{п}$  называется полосой пропускания замкнутой системы и определяется на уровне  $A(0)/\sqrt{2}$ . С увеличением полосы пропускания быстродействие системы [6, с.139]:

1. Уменьшается незначительно.

**2. Увеличивается.**

3. Не изменяется.

4. Резко уменьшается.

Полоса пропускания замкнутой системы – частота  $\omega_{п}$ , которая определяется на уровне  $A(0)/\sqrt{2} = 0,707$ . Полоса пропускания влияет на точность и быстродействие системы, с увеличением ее **быстродействие системы увеличивается**. Чем больше полоса пропускания, тем больший спектр входного сигнала передается системой без искажений. Следовательно, точность обработки входного сигнала повышается. Однако, при наличии высокочастотных помех во входном сигнале нецелесообразно расширять полосу пропускания, так как при этом система будет одинаково хорошо пропускать как полезный сигнал, так и помехи.

3.3.28. Какой зависимостью связаны переходный процесс, вызываемый в системе единичным скачком, и вещественная часть АФЧХ [2, с. 249]?

1.  $y = \frac{1}{T_1} \int_0^t x dt.$

2.  $y(p) = \int_0^{\infty} y(t) e^{-pt} dt.$

3.  $W(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega).$

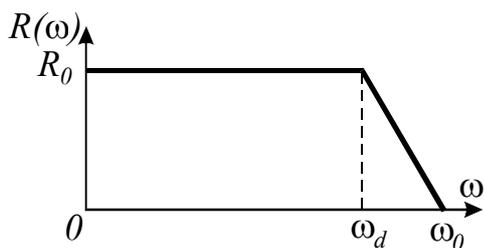
4.  $y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{R(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega.$

Функция  $W(j\omega)$  – АФЧХ, состоящая из вещественной и мнимой частей:  $W(j\omega) = R(\omega) + jI(\omega)$ . Метод В.В. Солодовникова служит для построения переходной функции  $y(t)$  САУ (переходный процесс вызван единичным скачком) по известной вещественной частотной характеристике  $R(\omega)$  системы. Они связаны

зависимостью  $y(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{R(\omega)}{\omega} \sin \omega t d\omega$ . Для упрощения решения данного

выражения используют приближенный способ, основанный на аппроксимации реальной кривой  $R(\omega)$  несколькими линейными участками.

3.3.29. Типовая единичная трапецеидальная вещественная частотная характеристика с высотой  $R_0=1$ , интервалом пропускания частот  $\omega_0=1$ , интервалом равномерного пропускания частот  $\omega_d < 1$  и коэффициентом наклона  $\chi = \omega_d / \omega_0$  используется при построении переходной функции  $y(t)$  САУ методом [2, с. 250]:



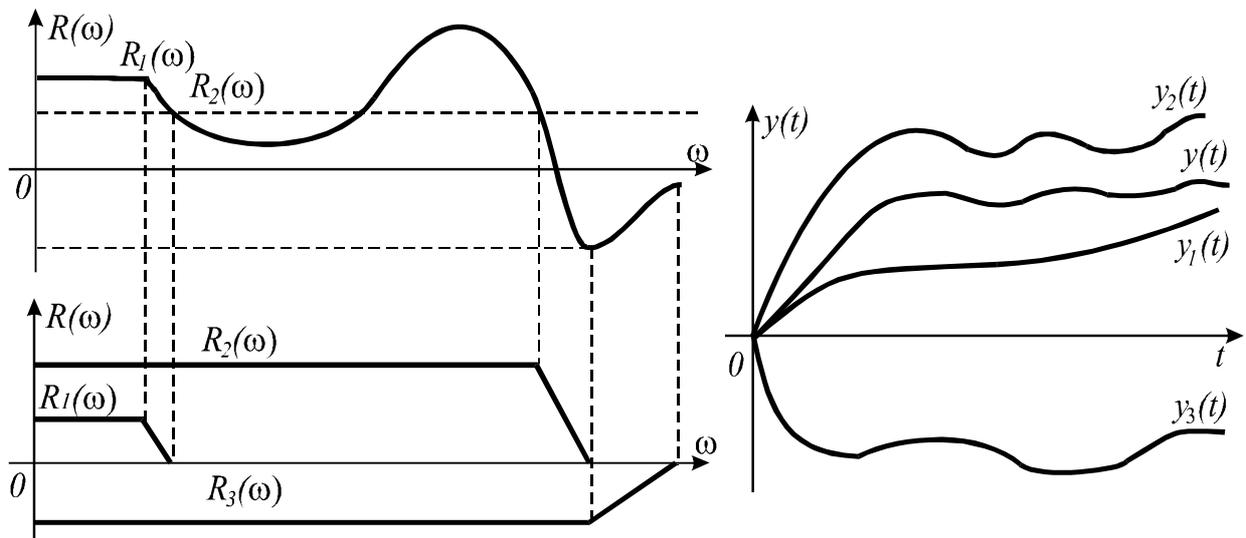
1. Воронова.
2. Классическим.
3. Операционным.
4. Солодовникова.

**В.В. Солодовников** ввел понятие типовой трапеции (единичная вещественная частотная трапецеидальная характеристика с высотой  $R_0=1$ , интервалом пропускания частот  $\omega_0=1$ , интервалом равномерного пропускания частот  $\omega_d < 1$  и коэффициентом наклона  $\chi = \omega_d / \omega_0$ ). Переходный процесс  $h_\chi(t)$ , соответствующий типовой трапеции, определяется по формуле

$$h_\chi(t) = \frac{2}{\pi} \left[ Si_\chi t + \frac{1}{1-\chi} \left( Sit - Si_\chi t + \frac{\cos t - \cos \chi t}{t} \right) \right], \text{ где } Sit - \text{интегральный синус.}$$

Для данного метода составлены таблицы интегральных функций (таблицы  $h$ -функций).

### 3.3.30. Построение переходной функции $y(t)$ автоматической системы



произведено методом [2, с. 250]:

1. Классическим.
2. Солодовникова.
3. Воронова.
4. Операционным.

По методу **Солодовникова** вещественная частотная характеристика  $R(\omega)$  системы аппроксимируется ломаной линией и заменяется суммой трапеций. Вычисляются и строятся функции  $y(t)$ , соответствующие отдельным вещественным трапециидальным характеристикам, и весь график переходного процесса, по которому определяются качественные показатели системы.

3.3.31. Свойство САУ изменять свои выходные характеристики (показатели качества) при отклонении тех или иных параметров от своих номинальных (расчетных) значений, называется [2, с. 262; 11, с.359]:

1. Точность.
2. Быстродействие.
3. Запас устойчивости.
4. **Чувствительность.**

Качество работы САУ определяют основные свойства: быстродействие, запас устойчивости, точность, чувствительность. **На чувствительность** оказывают влияние отклонения параметров отдельных элементов. Они могут быть вызваны неточностью изготовления (технологический разброс) элементов, изменением параметров в процессе хранения и эксплуатации, изменением внешних условий и т.д.

3.3.32. Для количественной оценки чувствительности САУ применяется [2, с. 262; 11, с.359]:

1. Максимальное значение перерегулирования.
2. Ошибка, равная разности между заданным и действительным значениями управляемого параметра.
3. **Функция чувствительности.**
4. Число колебаний переходного процесса.

Количественной оценкой чувствительности САУ является **функция чувствительности**, которая может быть определена по передаточным функциям,

временным амплитудно-фазовым частотным характеристикам, выражена в виде частных производных.

3.3.33. САУ, у которой все параметры равны расчетным значениям без вариаций, называется [2, с. 263]:

1. Исходная.
2. Варьированная.
3. Стабилизирующая.
4. Программная.

Функции чувствительности, вычисленные по временным характеристикам, позволяют оценить их изменение в зависимости от отклонений параметров. При этом принято различать исходную и варьированную системы. **Исходная САУ** – у которой все параметры равны расчетным значениям без вариаций.

3.3.34. Переходный процесс в исходной САУ называется [2, с. 263]:

1. Дополнительное движение.
2. Основное движение.
3. Варьированное движение.

Различают исходную и варьированную системы. Переходный процесс в исходной САУ называют **основным движением**, в варьированной (наблюдаются вариации параметров) – варьированным движением. Разность между варьированным и основным движениями называют дополнительным движением.

3.3.35. Функция чувствительности выражается в виде [2, с. 263]:

**1. Частных производных выходной  $i$ -й координаты САУ по изменяющемуся  $j$ -му параметру  $u_{ij} = (\partial x_i / \partial \alpha_j)_0$ .**

2. Интегрального показателя.
3. Статической ошибки.
4. Квадратичного интегрального критерия.

Функция чувствительности является количественной оценкой чувствительности системы, выражается в виде **частных производных выходной  $i$ -й координаты САУ по изменяющемуся  $j$ -му параметру:  $u_{ij} = (\partial x_i / \partial \alpha_j)_0$ .**

Нулевой индекс означает, что численные значения частных производных вычисляются при номинальных расчетных параметрах.

3.3.36. Можно ли определить функции чувствительности и дополнительное движение по передаточным функциям и частотным характеристикам [2, с. 264]?

1. Нет.
2. Да.

Функции чувствительности и дополнительное движение **можно определить по передаточным функциям и по амплитудно-фазовым частотным характеристикам**. Пользуясь функциями чувствительности, можно существенно повышать эффективность оптимизации САУ и выбирать такие структуры систем, которые обеспечивали бы частичную или полную нечувствительность к неконтролируемым вариациям параметров САУ в некоторых пределах.

3.3.37. Для исследования САУ с большим временем запаздывания, сложными нелинейностями, сложными входными сигналами при решении задач автоматического нахождения наилучших (оптимальных) параметров системы наиболее целесообразно применять [5, с. 172]:

1. Аналоговые вычислительные машины (АВМ).
2. **Компьютеры с конкретными программами (например, Matlab).**

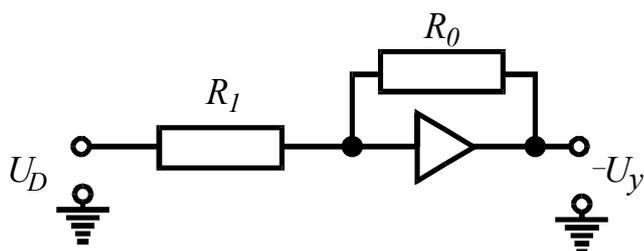
**Компьютеры со специальным программным обеспечением (например, Matlab)** наиболее целесообразно применять при исследовании САУ с большим временем запаздывания и при решении задач оптимизации.

3.3.38. Схему моделируют на экране дисплея из символов соответствующих элементов, которые хранятся в специальной библиотеке программы при использовании [5, с. 173]:

1. АВМ.
2. **Компьютеров.**

При использовании **компьютеров** схему моделируют на экране дисплея из символов соответствующих элементов, хранящихся в специальной библиотеке программы.

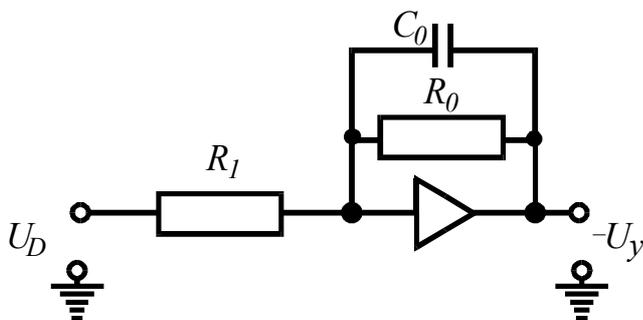
3.3.39. Какое типовое динамическое звено представлено моделью с параметрами  $W(p) = -k$ ;  $k = R_0/R_1$  [5, с. 173]?



1. **Пропорциональное.**
2. Интегрирующее.
3. Дифференцирующее.
4. Аperiodическое первого порядка.

Представлено **пропорциональное звено**, описываемое уравнением  $y = kx$ , где  $k$  – коэффициент усиления звена.

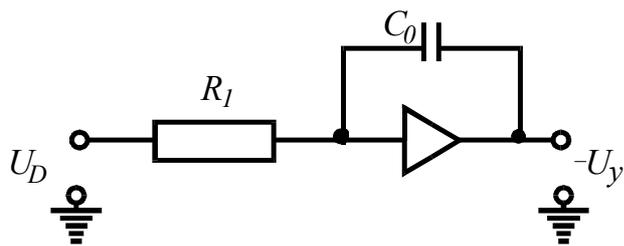
3.3.40. Какое типовое динамическое звено представлено моделью с параметрами  $W(p) = -\frac{k}{Tp + 1}$ ,  $k = R_0/R_1$ ;  $T = R_0C_0$  [5, с. 173]?



1. Пропорциональное.
2. Интегрирующее.
3. Дифференцирующее.
4. **Аperiodическое первого порядка.**

Представлено **аperiodическое звено первого порядка**, описываемое дифференциальным уравнением в операторной форме  $(T_1p + 1)y = kx$ , где  $T_1$  – постоянная времени звена;  $k$  – коэффициент усиления звена.

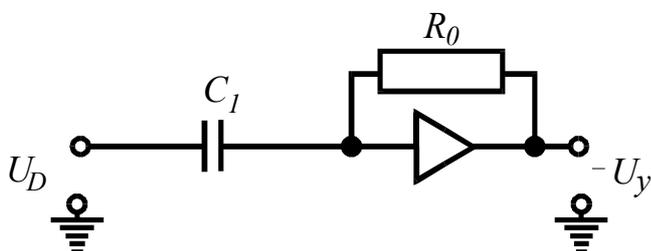
3.3.41. Какое типовое динамическое звено представлено моделью с параметрами  $W(p)=-1/Tp$ ;  $T=R_1C_0$  [5, с. 173]?



1. Пропорциональное.
2. Аperiodическое I-го порядка.
3. **Интегрирующее.**
4. Дифференцирующее.

Представлено **интегрирующее звено**, описываемое дифференциальным уравнением в операторной форме  $T_1py = x$ , где  $T_1$  – постоянная времени звена

3.3.42. Какое типовое динамическое звено представлено моделью с параметрами  $W(p)=-Tp$ ;  $T=R_0C_1$  [5, с. 173]?



1. Интегрирующее.
2. **Дифференцирующее.**
3. Пропорциональное.
4. Аperiodическое первого порядка.

Представлено **дифференцирующее звено**, описываемое дифференциальным уравнением в операторной форме  $T_1y = px$ , где  $T_1$  – постоянная времени звена.

3.3.43. При моделировании систем автоматического регулирования можно исследовать качество процесса регулирования [5, с. 173]:

**1. При любых начальных условиях и произвольных воздействиях на систему.**

2. Только при нулевых начальных условиях и воздействиях в виде гармонически изменяющихся колебаний.

Качественные показатели САУ можно исследовать на аналоговых вычислительных машинах (АВМ). Схему модели собирают на наборном поле машины, имеющем «входные» и «выходные» гнезда усилителей постоянного тока  $U$ , сопротивлений  $R$ , конденсаторов  $C$  и других элементов. Наиболее удобно схему модели составлять по структурной схеме САУ с помощью моделей типовых динамических звеньев, которые приводятся в справочной литературе. Исследование можно **проводить при любых начальных условиях и произвольных воздействиях на систему.**

### 3.4. Синтез САУ

#### с заданными показателями качества регулирования

3.4.1. Методами: увеличением общего коэффициента усиления разомкнутой САУ, повышением порядка астатизма, компенсацией возмущений при помощи специальных фильтров можно [2, с. 265]:

1. Повысить качество работы САУ.
2. Исследовать систему на устойчивость.
3. Улучшить показатели надежности САУ.

#### **4. Повысить точность, устойчивость и качество работы САУ**

Коррекция динамических свойств САУ осуществляется для выполнения требований по **точности, устойчивости и качеству** переходных процессов.

Увеличение общего коэффициента усиления разомкнутой цепи является методом повышения точности системы. При этом уменьшаются все виды установившихся ошибок системы. Однако, увеличение коэффициента передачи ограничивается устойчивостью системы. В этом сказывается противоречие между требованиями к точности и требованиями к устойчивости системы управления.

Повышение степени астатизма приводит к увеличению установившейся точности системы, но одновременно снижает ее быстродействие, а также приводит к ухудшению устойчивости.

При невозможности решить задачу получения требуемого качества процесса управления САУ вышеперечисленными методами в систему вводят корректирующие устройства, которые должны изменить динамику системы в нужном направлении.

3.4.2. Известно, что в статической САР значение установившейся ошибки зависит от общего передаточного коэффициента разомкнутой системы.

С увеличением этого коэффициента [2, с. 265]:

1. Уменьшается ошибка системы и увеличивается запас устойчивости САУ.
- 2. Уменьшается ошибка системы, но при этом снижается запас устойчивости САУ.**
3. Увеличивается ошибка системы и ухудшается устойчивость САУ.

Увеличение коэффициента усиления САУ позволяет снизить ошибку системы в установившемся режиме. Однако, увеличение общего коэффициента усиления ограничивается устойчивостью системы регулирования. При повышении коэффициента усиления, как правило, система приближается к колебательной границе устойчивости. При некотором предельном его значении в системе возникают незатухающие колебания.

В этом сказывается противоречие между требованиями к точности и требованиями к устойчивости системы регулирования. При увеличении коэффициента усиления всегда требуется оценивать запас устойчивости системы

3.4.3. В астатических САР статическая установившаяся ошибка от задающего и возмущающих воздействий [2, с. 265]:

- 1. Равна 0.**
2. Имеет конкретное значение от задающего воздействия.
3. Имеет конкретное значение от возмущающих воздействий.

Система автоматического регулирования называется астатической по отношению к управляющему воздействию, если при постоянных значениях внешнего воздействия на объект (например, нагрузки) отклонение регулируемой

величины от заданного значения по окончании переходного процесса становится **равным нулю**.

3.4.4. Астатизм системы обеспечивается путем [2, с. 265]:

1. Последовательного включения в схему дифференцирующих звеньев.
2. Параллельного включения в схему дифференцирующих звеньев.
3. **Последовательного включения в схему интегрирующих звеньев.**

В астатической САУ используется интегральный закон управления. Поэтому для получения астатизма необходимо вводить в закон регулирования интегральную составляющую. Введение интеграла от ошибки является методом создания или повышения порядка астатизма системы, а значит, и увеличения ее точности. Физически повышение порядка астатизма осуществляется за счет введения в канал системы интегрирующих звеньев.

3.4.5. Чем больше интегрирующих звеньев включено в цепь разомкнутой структурной схемы, тем порядок астатизма системы [2, с. 265]:

1. Ниже.
2. **Выше.**
3. Безразлично.
4. Равен 0.

Астатизм системы обеспечивается путем последовательного включения в схему интегрирующих звеньев. Чем больше их включено в цепь разомкнутой структурной схемы, тем **выше** порядок астатизма.

3.4.6. При коррекции САУ, чтобы функция ошибки по возмущению интегрально не нарастала, интегрирующее звено должно быть включено [2, с. 265]:

1. В точку приложения возмущающего воздействия.
2. **До места приложения возмущающего воздействия.**
3. После места приложения возмущающего воздействия.

Интегрирующее звено должно быть включено **до места приложения возмущающего воздействия**. В противном случае функция ошибки по возмущению может интегрально нарастать. Следует иметь в виду, что включение интегрирующих звеньев увеличивает колебательность системы и степень перерегулирования, в результате чего снижается запас устойчивости системы, а в некоторых случаях она может стать даже неустойчивой. Сохранить устойчивость системы можно введением усилительного и интегрирующего звеньев, соединенных параллельно.

3.4.7. При коррекции САУ следует иметь в виду, что с включением интегрирующего звена [2, с. 265]:

1. Увеличивается колебательность системы, уменьшается перерегулирование.

2. **Увеличиваются колебательность системы и степень перерегулирования.**

3. Уменьшается колебательность системы, снижается запас устойчивости САУ.

Включение интегрирующих звеньев **увеличивает колебательность системы и степень перерегулирования**, в результате чего снижается запас устойчивости системы, а в некоторых случаях она может стать даже неустойчивой.

3.4.8. Сохранить устойчивость системы при повышении порядка астатизма можно введением [2, с. 266]:

1. Усилительного и дифференцирующего звеньев, соединенных параллельно.

2. Усилительного и дифференцирующего звеньев, соединенных последовательно.

**3. Усилительного и интегрирующего звеньев, соединенных параллельно.**

4. Интегрирующего и дифференцирующего звеньев, соединенных параллельно.

Включение интегрирующих звеньев увеличивает колебательность системы и степень перерегулирования, в результате чего снижается запас устойчивости системы, а в некоторых случаях она может стать даже неустойчивой. Сохранить устойчивость системы можно введением **усилительного и интегрирующего звеньев, соединенных параллельно**.

3.4.9. Построение инвариантной системы представляет собой весьма эффективный способ повышения показателей качества САУ. Применение комбинированного принципа управления по задающему и возмущающему воздействиям одновременно [2, с. 268]:

**1. Повышает точность и не влияет на устойчивость САУ.**

2. Повышает точность, но уменьшает запас устойчивости САУ.

3. Повышает точность и устойчивость САУ.

Основной принцип автоматического управления и регулирования состоит в формировании управляющего сигнала по величине. При введении корректирующего устройства по внешнему воздействию получается комбинированное регулирование – по ошибке и по внешнему воздействию.

Путем введения коррекции в САУ по внешнему воздействию удастся при определенных условиях сводить величину ошибки к нулю при любой форме внешнего воздействия. Это свойство называется инвариантностью системы по отношению к внешнему воздействию.

Реализация такого принципа **повышает точность и не влияет на устойчивость системы**.

3.4.10. Коррекция динамических характеристик САУ посредством специальных корректирующих звеньев позволяет обеспечить [2, с. 268]:

1. Только необходимый запас устойчивости системы.

2. Только быстроедействие системы.

**3. Необходимый запас устойчивости и быстроедействие системы.**

Для решения задачи получения необходимого качества управления САУ в систему вводят корректирующие устройства (звенья), которые должны изменить динамику системы в нужном направлении. Корректирующие звенья изменяют передаточную функцию регулятора системы, и, таким образом, обеспечивается формирование необходимого закона управления для удовлетворения поставленных требований к системе, что позволяет получить **необходимый запас устойчивости и быстродействие**.

3.4.11. Специальные корректирующие звенья: пропорционально-дифференцирующие, пропорционально-интегрирующие, пропорционально-интегро-дифференцирующие применяют при виде коррекции динамических характеристик САУ [2, с. 269]:

1. Последовательном.
2. Параллельном.
3. С обратными связями.
4. Комбинированном.

Коррекция динамических свойств САУ осуществляется для выполнения требований по точности, устойчивости и качеству переходных процессов.

С точки зрения требований к точности САУ в установившихся режимах коррекция динамических свойств САУ может понадобиться для увеличения коэффициента передачи или порядка астатизма при сохранении устойчивости и определенного качества переходных процессов.

Коррекция применяется также как средство обеспечения устойчивости неустойчивой системы или расширения области устойчивости и повышения качества переходных процессов.

Осуществляется коррекция с помощью введения в систему специальных корректирующих звеньев с особо подобранной передаточной функцией. Для **последовательной** коррекции динамических характеристик САУ применяют пропорционально-дифференцирующие, пропорционально-интегрирующие и пропорционально-интегро-дифференцирующие звенья.

3.4.12. В статических системах использование идеализированного пропорционально-дифференцирующего звена [2, с. 269]:

1. Понижает запас устойчивости САУ.
2. **Повышает запас устойчивости САУ.**
3. САУ не реагирует.

Для последовательной коррекции динамических характеристик САУ применяют пропорционально-дифференцирующие, пропорционально-интегрирующие и пропорционально-интегро-дифференцирующие звенья. В статических системах использование идеализированного пропорционально-интегрирующего звена **повышает запас устойчивости САУ**. Для повышения порядка астатизма при сохранении требуемого запаса устойчивости целесообразно применение пропорционально-интегрирующего звена, но наиболее эффективным в этом случае является применение пропорционально-интегро-дифференцирующего звена

3.4.13. Для повышения порядка астатизма САУ при сохранении требуемого запаса устойчивости наиболее эффективно применение специального корректирующего звена [2, с. 270]:

1. Пропорционально-дифференцирующего.
2. Пропорционально-интегрирующего.

**3. Пропорционально-интегро-дифференцирующего.**

Для повышения порядка астатизма при сохранении требуемого запаса устойчивости целесообразно применение **пропорционально-интегрирующего звена**, но наиболее эффективным в этом случае является применение пропорционально-интегро-дифференцирующего звена.

3.4.14. Для получения издромного регулирования, в результате которого повышается точность в установившихся режимах работы САУ, вводится параллельное корректирующее звено [2, с. 271]:

1. Дифференцирующее.
2. Интегрирующее.
3. Дифференцирующее и интегрирующее, соединенные параллельно.

Введение **интегрирующего** звена в САУ позволяет получить издромное регулирование, в результате которого повышается точность в установившихся режимах работы САУ

3.4.15. Для увеличения полосы пропускания более высоких частот, что способствует повышению запаса устойчивости и точности САУ в переходном режиме, необходимо ввести параллельное корректирующее звено [2, с. 271]:

1. Интегрирующее.
2. Дифференцирующее.
3. Дифференцирующее и интегрирующее, соединенные параллельно.

Введение **дифференцирующего** звена увеличивает полосу пропускания более высоких частот, что способствует повышению запаса устойчивости и точности САУ в переходном режиме

3.4.16. Для коррекции характеристик с целью обеспечения лучшего качества работы САУ используют обратные связи [2, с. 271]:

1. Только отрицательные жесткие.
2. Только отрицательные гибкие.
3. Положительные.
4. **Главным образом отрицательные жесткие и гибкие.**

Для коррекции характеристик с целью обеспечения лучшего качества работы САУ используют, **главным образом, отрицательные жесткие и гибкие обратные связи**. Применение идеальной жесткой обратной связи позволяет повысить запас устойчивости и быстродействие системы. Однако, вместе с тем, повышается ошибка в работе САУ. Поэтому часто используют гибкие обратные связи, представляющие собой дифференцирующие звенья. Применение такой связи позволяет повысить быстродействие при сохранении значения коэффициента передачи системы.

3.4.17. Повысить запас устойчивости и быстродействие в  $(1+K_{O.C.} \cdot K)$  раз позволяет применение обратной связи [2, с. 271]:

1. Идеальной жесткой.
2. Отрицательной гибкой.
3. Положительной.
4. Главной.

Применение **идеальной жесткой** обратной связи позволяет повысить запас устойчивости и быстродействие системы. Однако, вместе с тем, повышается ошибка в работе САУ.

3.4.18. Повысить быстродействие при сохранении коэффициента передачи системы позволяет применение [2, с. 271]:

1. **Гибкой обратной связи, представляющей собой дифференцирующее звено.**
2. Идеальной жесткой обратной связи.
3. Положительной обратной связи.

Для коррекции характеристик с целью обеспечения лучшего качества работы САУ часто используют **гибкие обратные связи, представляющие собой дифференцирующие звенья**. Применение такой связи позволяет повысить быстродействие при сохранении значения коэффициента передачи системы.

3.4.19. В основу выбора закона регулирования в одноконтурных САУ положены [1, с. 103]:

1. Только требования к качеству стабилизации параметра.
2. Только динамические характеристики объекта регулирования.
3. Только характеристики возмущающих воздействий.
4. **Данные п. 1, 2, 3.**

Выбор закона регулирования основывается на **требованиях к качеству стабилизации параметра, динамических характеристик объекта регулирования и характеристиках возмущающих воздействий**.

3.4.20. При выборе закона регулирования в одноконтурных САУ обычно используют [1, с. 103]:

1. **Номограммы, составленные для трех наиболее распространенных типов переходных процессов: без перерегулирования, с 20%-ным перерегулированием и с минимумом  $I_2$ .**
2. Аналитический метод.
3. Табличный метод.

При выборе закона регулирования в одноконтурных САУ обычно используют номограммы ( $K_D = (\tau / T)$ ,  $\tau$  – время запаздывания,  $T$  – постоянная времени объекта), составленные для трех наиболее распространенных типов переходных процессов: **без перерегулирования, с 20%-ным перерегулированием и с минимумом интегрального квадратичного критерия**.

3.4.21. Изменяя параметры настройки регулятора, для апериодических процессов можно получить значение степени затухания от 0 до 1. При каком

значении степени затухания система находится на границе устойчивости [1, с. 100]?

1. 0.
2. 0,5...0,75.
3. 0,75...0,9.
4. 1.

Степень затухания переходного процесса – отношение амплитуд двух перерегулирований (последовательных колебаний одного знака). Числителем является амплитуда первого колебания. Степень затухания показывает, во сколько раз уменьшается амплитуда второго колебания по сравнению с первым.

3.4.22. Изменяя параметры настройки регулятора, при любом законе регулирования можно получить различное перерегулирование: от нуля при апериодическом переходном процессе до 100% при установившемся незатухающем колебательном процессе. В практике автоматизации наибольшее распространение получили апериодические переходные процессы и процессы с перерегулированием [1, с. 100]:

1. 20%.
2. 40%.
3. 60%.
4. 80%.

Перерегулирование характеризует степень колебательности переходного процесса. Перерегулирование (выброс) представляет собой максимальное отклонение регулируемой величины в переходном режиме от нового установившегося значения в сторону, противоположную от начального значения. Обычно первый максимум является наибольшим. Величина перерегулирования характеризует количественно динамическую ошибку и определяется коэффициентом перерегулирования  $\sigma$ . Это есть не что иное, как относительное перерегулирование. В качестве оптимального допускают перерегулирование в пределах 20...30%.

3.4.23. Если остаточное отклонение (ошибка регулирования) недопустимо, то оправдано использование [1, с. 103]:

1. П-регулятора.
2. ПИ-регулятора.
3. Двухпозиционного регулятора.
4. ПД-регулятора.

Для выполнения требований к точности САУ в установившихся режимах необходима коррекция динамических свойств путем увеличения коэффициента передачи и порядка астатизма при сохранении устойчивости и определенного качества переходных процессов. Целесообразно применение **пропорционально-интегрирующего** звена.

3.4.24. Если ошибка регулирования не превышает допустимого значения  $\Delta y$

при выполнении условия 
$$\Delta y \leq \frac{xy_0}{K_p y_0 + x}$$
 ( $y_0$  – установившееся значение регулируемой величины;  $K_p$  – коэффициент пропорциональности), а время регулирования  $t_p \approx (12...16)\tau$  ( $\tau$  – время запаздывания), то закон регулирования (П- или ПИ-регулятор) выбран [1, с. 104]:

1. **Правильно.**
2. Необходимо его усложнить.
3. Необходимо его упростить.

При выборе закона регулирования необходимо руководствоваться соотношениями времени регулирования  $t_p$  и временем запаздывания  $\tau$  в объекте.

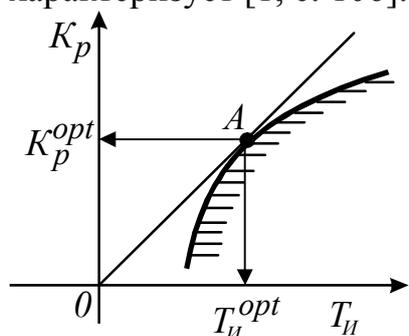
Закон регулирования	П	ПИ	ПИД
$t_p/\tau$	6,5	12	7

3.4.25. При выборе параметров настройки ПИ-регулятора оптимальная пара значений коэффициента пропорциональности  $K_p$  и времени удвоения  $T_{II}$  соответствует [1, с. 107]:

1. Максимуму  $K_p/T_{II}$ .
2. Минимуму  $K_p/T_{II}$ .
3.  $K_p/T_{II}=1$ .

При выборе параметров настройки П- и ПИ-регуляторов по комплексной частотной характеристике (КЧХ) максимум соотношения оптимальной пары времени регулирования  $t_p$  и времени запаздывания  $\tau$  в объекте соответствует заданному показателю колебательности и минимуму интегрального квадратичного критерия.

3.4.26. В плоскости параметров настройки ПИ-регулятора точка  $A$  характеризует [1, с. 106]:



1. Максимальное значение ошибки регулирования.
2. Минимум интегрального квадратичного критерия  $I_2$ .
3. Максимальное значение времени регулирования.
4. Время запаздывания.

Линия равной степени затухания в плоскости параметров настройки регулятора определяет заданную степень колебательности и **минимум интегрального квадратичного критерия**. Параметры настройки регулятора, соответствующие координатам этой точки, принимают в качестве оптимальных параметров.

3.4.27. С изменением параметров настройки П- и ПИ-регуляторов показатели качества переходного процесса меняются по-разному. Для уменьшения динамической ошибки и степени затухания необходимо значение коэффициента пропорциональности  $K_p$  [1, с. 108]:

1. Уменьшить.
2. Увеличить.
3.  $K_p = const$ .

При **увеличении**  $K_p$  динамическое отклонение (ошибка) и степень затухания переходного процесса уменьшаются, время регулирования первоначально уменьшается, а затем начинает расти.

3.4.28. В системе с ПИ-регулятором при увеличении времени удвоения  $T_{II}$  время регулирования  $t_p$  сначала уменьшается, а затем начинает расти, динамическая ошибка уменьшается. При этом степень затухания [1, с. 109]:

1. Увеличивается.
2. Не изменяется.
3. Уменьшается значительно скорее, чем при увеличении  $K_p$ .

При увеличении  $K_p$  динамическое отклонение и степень затухания переходного процесса уменьшаются, время регулирования первоначально уменьшается, а затем начинает расти. При увеличении времени удвоения показатели качества меняются так же, как и при увеличении  $K_p$ , но степень затухания уменьшается значительно скорее.

3.4.29. В системе с ПИ-регулятором при увеличении коэффициента пропорциональности  $K_p$  статическая ошибка регулирования [1, с. 109]:

1. Увеличивается.
2. **Уменьшается.**
3. Не изменяется.
4. Равна 0.

При увеличении  $K_p$  увеличивается общий коэффициент усиления разомкнутой системы, что позволяет **уменьшить** статическую ошибку системы в установившемся режиме.

3.4.30. В системе с ПИ-регулятором при увеличении  $K_p$  и введении интегральной составляющей в закон регулирования статическая ошибка [1, с. 109]:

1. Увеличивается незначительно.
2. **Стремится к нулю.**
3. Не изменяется.
4. Резко увеличивается.

При увеличении  $K_p$  увеличивается общий коэффициент усиления разомкнутой системы, что позволяет уменьшить статическую ошибку системы в установившемся режиме, а наличие интегральной составляющей позволяет **свести ошибку к нулю.**

3.4.31. Свойства объекта регулирования в первом приближении могут быть оценены по отношению времени запаздывания  $\tau$  к постоянной времени объекта  $T_0$ . Чем это отношение больше, тем задача автоматизации сложнее и поэтому при  $0,2 \leq \tau/T_0 \leq 1$  рекомендуется регулятор [1, с. 99]:

1. Двухпозиционный.
2. **Непрерывного действия.**
3. Импульсный или цифровой.
4. Трехпозиционный.

При выборе типа регулятора рекомендуется ориентироваться на величину отношения запаздывания  $\tau$  к постоянной времени в объекте  $T_0$ . Если  $\tau/T_0 < 0,2$ , то рекомендуется выбрать релейный (позиционный) регулятор. Если  $0,2 \leq \tau/T_0 \leq 1$ , то должен быть выбран регулятор **непрерывного действия**. Если  $\tau/T_0 > 1$ , то выбирают импульсный или специальный цифровой регулятор с упредителем, который компенсирует запаздывание в контуре управления.

3.4.32. При  $\tau/T_0 < 0,2$  рекомендуется регулятор [1, с. 99]:

1. **Позиционный.**
2. Импульсный.
3. Цифровой.
4. Непрерывного действия.

При выборе типа регулятора рекомендуется ориентироваться на величину отношения запаздывания  $\tau$  к постоянной времени в объекте  $T_0$ . Если  $\tau/T_0 < 0,2$ , то рекомендуется выбрать **релейный (позиционный)** регулятор. Если

$0,2 \leq \tau/T_0 \leq 1$ , то должен быть выбран регулятор непрерывного действия. Если  $\tau/T_0 > 1$ , то выбирают импульсный или специальный цифровой регулятор с упредителем, который компенсирует запаздывание в контуре управления.

3.4.33. При  $\tau/T_0 > 1$  рекомендуется регулятор [1, с. 99]:

1. Непрерывного действия.
2. Двухпозиционный.
3. **Импульсный или цифровой.**
4. Трехпозиционный.

При выборе типа регулятора рекомендуется ориентироваться на величину отношения запаздывания  $\tau$  к постоянной времени в объекте  $T_0$ . Если  $\tau/T_0 < 0,2$ , то рекомендуется выбрать релейный (позиционный) регулятор. Если  $0,2 \leq \tau/T_0 \leq 1$ , то должен быть выбран регулятор непрерывного действия. Если  $\tau/T_0 > 1$ , то выбирают **импульсный** или специальный **цифровой** регулятор с упредителем, который компенсирует запаздывание в контуре управления.

3.4.34. Если на объекте с самовыравниванием при  $\tau/T_0 > 2$  необходимо получить переходный процесс с минимальным временем регулирования при действии на систему внешних возмущающих воздействий, то целесообразно применить регулятор [1, с. 119]:

1. **С переменной структурой.**
2. Позиционный.
3. Непрерывного действия.
4. Обеспечивающий компенсацию чистого запаздывания.

На объектах с запаздыванием и самовыравниванием при  $\tau/T_0 > 2$  возникает необходимость изменения настроек или прекращения регулирующего воздействия на ОУ, регуляторы с переменной структурой позволяют получить переходной процесс с минимальным временем регулирования при действии на систему внешних возмущающих воздействий.

3.4.35. При особо неблагоприятных динамических характеристиках объекта ( $\tau/T_0 > 3$ ) существенное улучшение качества регулирования обеспечит регулятор [1, с. 119]:

1. Пропорциональный.
2. Пропорционально-интегральный
3. Интегральный.
4. **Полупропорционально-дифференциальный.**

На объектах с запаздыванием и самовыравниванием при особо неблагоприятных динамических характеристиках объекта ( $\tau/T_0 > 3$ ) возникает необходимость изменения настроек или прекращения регулирующего воздействия (полупостоянно работающий регулятор) на ОУ, существенное улучшение качества регулирования в этом случае обеспечивает **полупропорционально-дифференциальный** регулятор.

3.4.36. При типовом апериодическом переходном процессе коэффициент пропорциональности  $K_p$  для П-регулятора рассчитывают по эмпирической формуле

$K_p = \frac{0,3T_0}{K_0\tau}$ . Чему будет равен  $K_p$  для этого же регулятора при типовом переходном процессе с минимально допустимым перерегулированием [1, с. 109]?

1.  $K_p = \frac{0,3T_0}{K_0\tau}$ .    2.  $K_p = \frac{0,7T_0}{K_0\tau}$ .    3.  $K_p = \frac{0,9T_0}{K_0\tau}$ .    4.  $K_p = \frac{T_0}{K_0\tau}$ .

Для ориентировочных оценок параметров настройки регуляторов могут быть использованы формулы:

Регулятор	Типовой переходный процесс		
	апериодический	с 20%-ным перерегулированием	с минимально допустимым перерегулированием
П	$K_p = \frac{0,3N_{об}}{K_{об}\tau}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об}\tau}$	$K_p = \frac{0,9T_{об}}{K_{об}\tau}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6T_{об}}{K_{об}\tau}$ $T_{И} = 0,6T_{об}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об}\tau}$ $T_{И} = 0,7T_{об}$	$K_p = \frac{T_{об}}{K_{об}\tau}$ $T_{И} = T_{об}$

3.4.37. Параметры настройки ПИ-регулятора при типовом переходном процессе с минимально допустимым перерегулированием соответственно равны  $K_p = \frac{T_0}{K_0\tau}$ ;  $T_{И}=T_0$ , а при типовом апериодическом переходном процессе будут соответственно равны [1, с. 109]:

1.  $K_p = \frac{0,6T_0}{K_0\tau}$ ;  $T_{И}=0,6T_0$ .    2.  $K_p = \frac{0,7T_0}{K_0\tau}$ ;  $T_{И}=0,7T_0$ .  
3.  $K_p = \frac{T_0}{K_0\tau}$ ;  $T_{И}=T_0$ .    4.  $K_p = \frac{T_0}{K_0\tau}$ ;  $T_{И}=0,6T_0$ .

Для ориентировочных оценок параметров настройки регуляторов могут быть использованы формулы:

Регулятор	Типовой переходный процесс		
	апериодический	с 20%-ным перерегулированием	с минимально допустимым перерегулированием
П	$K_p = \frac{0,3N_{об}}{K_{об}\tau}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об}\tau}$	$K_p = \frac{0,9T_{об}}{K_{об}\tau}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6T_{об}}{K_{об}\tau}$ $T_{И} = 0,6T_{об}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об}\tau}$ $T_{И} = 0,7T_{об}$	$K_p = \frac{T_{об}}{K_{об}\tau}$ $T_{И} = T_{об}$

3.4.38. Если объект регулирования имеет неудовлетворительные динамические характеристики, целесообразно применить [1, с. 109]:

1. Одноконтурную САР.
2. Многоконтурную САР.

Если объект регулирования имеет неудовлетворительные динамические характеристики, то требуется усложнение закона регулирования или переход от одноконтурной системы к многоконтурной, включающей в себя дополнительные (корректирующие) импульсы по возмущениям или вспомогательным выходным координатам.

3.4.39. Многоконтурные САР делятся на комбинированные, каскадные, с вводом производной от промежуточной регулируемой величины, взаимосвязанные по [1, с. 109]:

1. Характеру корректирующего импульса.
2. Назначению.
3. Алгоритму адаптации.
4. Характеру воздействия на регулируемый орган.

Многоконтурные САР включают в свою систему дополнительные (**корректирующие**) импульсы по возмущениям или вспомогательным выходным координатам.

3.4.40. Если на объект регулирования действует одно или несколько возмущающих воздействий и каналы передачи этих воздействий имеют меньшую инерционность, чем каналы передачи регулирующего воздействия, то требуемое качество регулирования может быть обеспечено работой САР (пример такой САР – система регулирования температуры в теплице) [1, с. 109]:

1. Каскадной.
2. Взаимосвязанной.

**3. Комбинированной, то есть действующей по отклонению и по возмущению.**

4. С вводом производной от промежуточной регулируемой величины.

При воздействии на объект регулирования одного или нескольких возмущающих воздействий, и если при этом каналы передачи этих воздействий имеют меньшую инерционность, чем каналы передачи регулирующего воздействия, то обычная одноканальная САР, действующая по отклонению регулируемой величины оказывается неэффективной, в этом случае требуемое качество регулирования может быть обеспечено работой **комбинированной, то есть действующей по отклонению и по возмущению, САР.**

3.4.41. Если объект характеризуется значительной инерционностью, имеет промежуточную (вспомогательную) регулируемую величину, менее инерционную, чем основная, а основной вид возмущения – поступающее по каналу регулирующее воздействие, рекомендуется к использованию САР (пример такой САР – система регулирования температуры нагреваемого теплоносителя за поверхностным теплообменником) [1, с. 110]:

1. Каскадная.
2. Комбинированная.
3. Взаимосвязанная.
4. С вводом производной от промежуточной регулируемой величины.

**Каскадные САР** – тип многоконтурных систем, которые используются в том случае, если основной вид возмущения – поступающее по каналу регулирующее воздействие. При этом сам объект, характеризуемый значительной инерционностью, должен иметь промежуточную (вспомогательную) регулируемую величину, менее инерционную, чем основная.

3.4.42. Если объект управления характеризуется системой взаимных связей между выходными параметрами (одно регулирующее или возмущающее воздействие оказывает влияние на несколько выходных параметров), рекомендуется многоконтурная САР (пример такого объекта – коровник, оборудованный системой приточной вентиляции) [1, с. 113]:

1. Комбинированная.
2. Каскадная.
3. **Взаимосвязанная.**
4. С вводом производной от промежуточной регулируемой величины.

Многосвязные САР – тип многоконтурных систем, который рекомендуется в том случае, если объект управления характеризуется системой **взаимных связей** между выходными параметрами (одно регулирующее или возмущающее воздействие оказывает влияние на несколько выходных параметров).

3.4.43. Если регулируемый параметр распределен по пространственной координате (например, по длине объекта), а регулирующее воздействие подается на его вход, рекомендуется САР [1, с. 112]:

1. Взаимосвязанная
2. Комбинированная.
3. Каскадная.
4. **С вводом производной от промежуточной регулируемой величины.**

САР с **вводом производной от промежуточной регулируемой величины** – вариант каскадной САР, который рекомендуется для случая, когда регулируемый параметр распределен по пространственной координате (например, по длине объекта), а регулирующее воздействие подается на его вход. В результате воздействия дополнительного импульса  $dy_1/dt$  процесс компенсации возмущений начнется раньше, чем произойдет существенное отклонение регулируемой величины  $y$ .

3.4.44. Методы расчета параметров настройки регуляторов (П, ПИ) при синтезе одноконтурных и многоконтурных САР [1, с. 112]:

1. **Одинаковы.**
2. Различны.

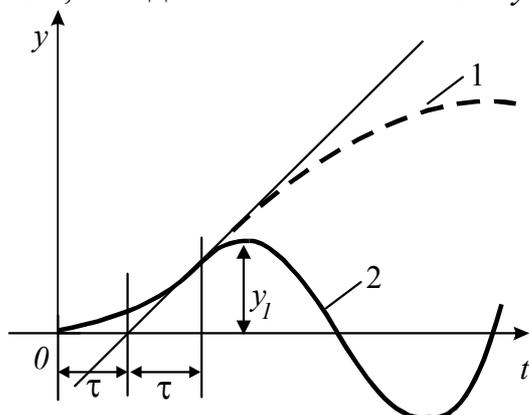
Расчет параметров настройки регуляторов многоконтурных САР производят одним из известных методов, используемых при синтезе одноконтурных САР.

3.4.45. При числе связей  $n > 2$  число перекрестных компенсирующих связей увеличивается до  $n(n-1)$ , и такая многосвязная САР реализуется [1, с. 116]:

1. Просто.
2. **Сложно.**
3. Реализовать невозможно.

**Сложно** реализуется система связанного регулирования при числе связей  $n > 2$ , так как число перекрестных компенсирующих связей увеличивается до  $n(n-1)$ .

3.4.46. Многоемкостные объекты, кривая разгона (1) которых имеет S-образную форму, характеризуются переходным запаздыванием  $\tau$ . Первые  $2\tau$  после нанесения возмущения переходный процесс (2) повторяет кривую разгона. Чем больше  $\tau$ , тем динамическая ошибка  $y_1$  [1, с. 116]:



1. Меньше.
2. Больше.
3. Не зависит.

Поскольку в течение времени  $2\tau$  после нанесения возмущения переходный процесс (2) повторяет кривую разгона, то чем больше  $\tau$ , тем больше будет динамическая ошибка  $y_1$ .

3.4.48. Если объект характеризуется нестационарностью параметров (например, свиарник, динамические характеристики которого зависят от возраста животных), то для получения удовлетворительного качества переходных процессов используется способ, обеспечивающий робастность системы регулирования. Параметры настройки выбираются в расчете на самое неблагоприятное сочетание

$K_0, T_0, \tau$ , обеспечивающее значение  $I = \frac{K_0}{1,5 + \frac{\pi T_0}{4\tau}}$  (например, для П-регулятора) [1,

с. 119]:

1. Минимальное.
2. Максимальное.
3. Равное единице.

Параметры настройки для П-регулятора выбираются в расчете максимума

значения  $I = \frac{K_0}{1,5 + \frac{\pi T_0}{4\tau}}$

3.4.49. Если объект характеризуется нестационарностью параметров и при этом возмущение, изменяющее динамику объекта, можно измерить, то для получения высокого качества регулирования целесообразно применить [1, с. 120]:

**1. Метод параметрической компенсации, то есть автоматического изменения параметров настройки регулятора.**

2. Метод, обеспечивающий робастность системы регулирования.

3. Метод, обеспечивающий малую чувствительность САУ к изменению тех или иных свойств управляемого процесса.

Лучшим методом, обеспечивающим высокое качество регулирования систем с объектами, характеризующимися нестационарностью параметров, и если при этом возмущение, изменяющее динамику объекта, можно измерить, является метод **параметрической компенсации**.

### 3.5. Нелинейные САУ

3.5.1. Система автоматического управления, динамика движения которой описывается нелинейными дифференциальными уравнениями, называется [5, с. 175; 9, с. 209]:

1. **Нелинейная.**

2. **Линейная.**

**Нелинейная САУ** – система автоматического управления, динамика движения которой описывается нелинейными дифференциальными уравнениями. Следует отметить, что реальные САУ преимущественно нелинейны.

3.5.2. Особенности:

- принцип суперпозиции (наложения) неприменим;
- возможность возникновения автоколебаний;
- при возникновении вынужденных колебаний АЧХ может иметь «изогнутый» резонансный пик;
- изменение периода колебаний при затухании переходного процесса;
- значительное разнообразие процессов;
- трудность расчета и исследования из-за примененного математического аппарата

надо учитывать при анализе систем [2, с. 272; 9, с. 211]:

1. Импульсных.

2. Цифровых.

3. **Нелинейных.**

4. Оптимальных.

**Нелинейные САУ** имеют ряд особенностей, которые надо учитывать при их анализе. Это: возможность возникновения автоколебаний, при вынужденных колебаниях АЧХ может иметь «изогнутый» резонансный пик; изменение периода колебаний при затухании переходного процесса; значительное разнообразие процессов; трудность расчета и исследования из-за примененного математического аппарата; невозможность применения принципа суперпозиции (наложения).

3.5.3. Методами припасовывания, гармонической линеаризации, фазовой плоскости исследуют работу САУ [2, с. 276; 9, с. 227]:

1. Линейных.

2. **Нелинейных.**

3. Импульсных.

4. Цифровых.

Методы исследования **нелинейных САУ** в зависимости от вида характеристик, количества нелинейных звеньев, сложности структуры линейной части обращаются к тому или иному математическому методу анализа САУ. Это могут быть методы гармонической линеаризации, припасовывания, фазовой плоскости, моделирования на АВМ и ЭЦВМ.

3.5.4. Метод припасовывания применяется для исследования САУ [2, с. 276; 9, с. 210]:

1. Если заведомо установлен колебательный характер переходного процесса.

**2. Характеристики нелинейностей являются кусочно-линейными.**

3. Характеристики нелинейностей являются нелинейными непрерывными.

Метод припасовывания применяется для исследования нелинейных систем с **кусочно-линейными характеристиками нелинейностей**; относится к числу точных, однако, может применяться в тех случаях, когда порядок дифференциального уравнения линейной части не превышает четырех.

3.5.5. Если в установившемся процессе нелинейная система совершает автоколебания, то для ее исследования рационально применять метод [2, с. 285; 5, с. 175; 9, с. 217]:

1. Припасовывания.

**2. Гармонической линеаризации.**

3. Фазовой плоскости.

4. Последовательных приближений.

Метод **гармонической линеаризации** относится к приближенным методам исследования нелинейных САУ. Его рационально применять, если в установившемся процессе нелинейная система совершает автоколебания. При использовании этого метода структурную схему САУ преобразуют таким образом, чтобы выделить отдельно линейную часть системы в виде некоторой обобщенной передаточной функции  $W_L(p)$  линейных элементов и нелинейную часть с передаточной функцией  $W_H(p)$  нелинейных элементов.

3.5.6. Метод припасовывания является точным методом анализа динамики нелинейных систем и применяется в тех случаях, когда порядок дифференциального уравнения линейной части [2, с. 276; 9, с. 227]:

1. Не ограничен.

**2. Не превышает четырех.**

Метод припасовывания применяется для исследования нелинейных систем с кусочно-линейными характеристиками нелинейностей. Метод относится к числу точных, однако, он может применяться в тех случаях, когда порядок дифференциального уравнения линейной части **не превышает четырех**.

3.5.7. Принципы гармонического баланса (равенства) частот, амплитуд и фаз выходного сигнала эквивалентного линейного элемента и первой гармоники выходного сигнала реального нелинейного элемента положены в основу аналитического обоснования метода [2, с. 285; 5, с. 175; 9, с. 217]:

1. Припасовывания.

**2. Гармонической линеаризации.**

3. Фазовой плоскости.

4. Последовательных приближений.

В основу аналитического обоснования метода **гармонической линеаризации** положен принцип гармонического баланса (равенства) частот, амплитуд и фаз выходного сигнала эквивалентного линейного элемента и первой

гармоники выходного сигнала реального нелинейного элемента. Условием гармонического баланса является равенство  $W_L(j\omega) = -1/W_H(j\omega)$ .

3.5.8. Позволяет определить:

- условия устойчивости нелинейной системы (найти значения изменяемых параметров, при которых система будет устойчива);

- возможные автоколебания в системе (найти их частоту и амплитуду)

метод [2, с. 285; 9, с. 217]:

1. Последовательных приближений.

2. Припасовывания.

**3. Гармонической линеаризации.**

4. Фазовой плоскости.

Метод **гармонической линеаризации** позволяет определить:

- условия устойчивости нелинейной системы (найти значения изменяемых параметров, при которых система будет устойчива);

- возможные автоколебания в системе (найти их частоту и амплитуду).

Если АФЧХ линейного звена зависит от частоты  $\omega$ , то АФЧХ нелинейного звена зависит от  $a$  – амплитуды входных колебаний.

3.5.9. Условием гармонического баланса является равенство [2, с. 285; 6, с. 178; 9, с. 223]:

1.  $W_L(j\omega) = -\frac{1}{W_H(j\omega)}$ .

2.  $W_H(p) = q(a) + \frac{p}{\omega}c(a)$ .

3.  $W_H(j\omega) = q(a) + jc(a)$ .

4.  $y = a_1 \sin \omega t + b_1 \cos \omega t$ .

В основу аналитического обоснования метода гармонической линеаризации положен принцип гармонического баланса (равенства) частот, амплитуд и фаз выходного сигнала эквивалентного линейного элемента и первой гармоники выходного сигнала реального нелинейного элемента. Условием гармонического баланса является равенство  $W_L(j\omega) = -1/W_H(j\omega)$ .

3.5.10. АФЧХ линейного звена  $W_L(j\omega)$  зависит от частоты  $\omega$ . АФЧХ нелинейного звена  $W_H(j\omega)$  зависит от [5, с. 177; 9, с. 223]:

1.  $\omega$  – частоты.

**2.  $a$  – амплитуды входных колебаний.**

3.  $\omega$  и  $a$  – частоты и амплитуды входных колебаний.

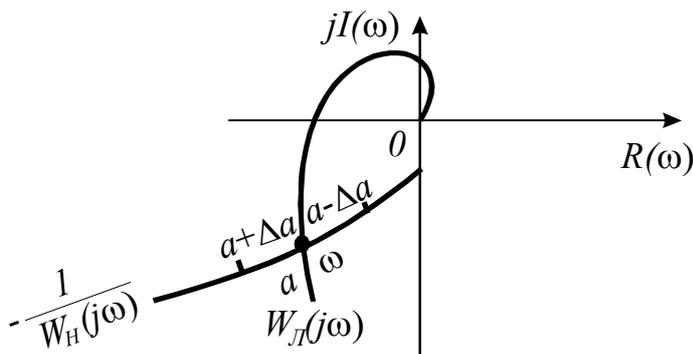
Метод **гармонической линеаризации** позволяет определить:

- условия устойчивости нелинейной системы (найти значения изменяемых параметров, при которых система будет устойчива);

- возможные автоколебания в системе (найти их частоту и амплитуду).

Если АФЧХ линейного звена зависит от частоты  $\omega$ , то АФЧХ нелинейного звена зависит от  $a$  – амплитуды входных колебаний.

3.5.11. На комплексной плоскости построены АФЧХ линейной



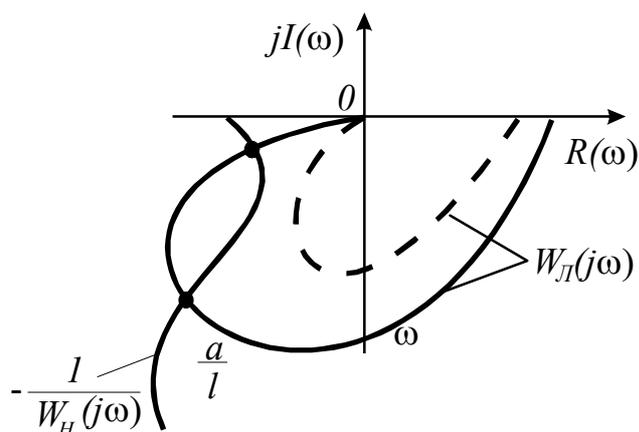
части системы (кривая  $W_L(j\omega)$ ) и кривая  $-\frac{1}{W_H(j\omega)}$  отрицательной обратной АФЧХ нелинейной части системы. Возникают ли автоколебания в данной системе [2, с. 289; 5, с. 179; 9, с. 223]?

1. Нет.
2. Да.

Графический метод определения возникновения автоколебаний в системе

заключается в построении кривых  $W_L(j\omega)$  и  $-\frac{1}{W_H(j\omega)}$ . Если кривые пересекаются, то в системе могут существовать автоколебания. Если не пересекаются, то в системе автоколебания существовать не могут.

3.5.12. На комплексной плоскости построены зависимости  $W_L(j\omega)$  и  $-\frac{1}{W_H(j\omega)}$  (сплошные линии). В системе есть автоколебания, и они являются



недопустимыми. Изменили параметры линейной части системы. Построена новая АФЧХ  $W_L(j\omega)$  (штриховая линия). Система стала [2, с. 289; 5, с. 179; 9, с. 223]:

1. Устойчивая.
2. Неустойчивая.
3. На границе устойчивости.

Графический метод определения возникновения автоколебаний в системе

заключается в построении кривых  $W_L(j\omega)$  и  $-\frac{1}{W_H(j\omega)}$ . Если кривые пересекаются, то в системе могут существовать автоколебания. Если не пересекаются, то в системе автоколебания существовать не могут.

3.5.13. Для анализа нелинейных систем при условиях:

- на вход поступают ступенчатые или линейные воздействия;
- нелинейности зависят от входной величины и не зависят от времени;
- второй порядок дифференциального уравнения

целесообразно использовать метод [2, с. 278]:

1. Припасовывания.
2. Гармонической линеаризации.
3. Фазовой плоскости.
4. Последовательных приближений.

Метод **фазовой плоскости** целесообразно использовать для анализа нелинейных систем при следующих условиях: на вход поступают ступенчатые или линейные воздействия, нелинейности зависят от входной величины и не зависят от времени, дифференциальное уравнение имеет второй порядок. Метод является примером графического решения дифференциальных уравнений.

3.5.14. Плоскость с осями координат, в которой по оси абсцисс отложено отклонение регулируемой величины, а по оси ординат – скорость его изменения, называется [2, с. 278]:

1. **Фазовая.**
2. Комплексная.
3.  $p$ -плоскость.
4.  $z$ -плоскость.

**Фазовой** плоскостью называется плоскость с осями координат, в которой по оси абсцисс отложено отклонение регулируемой величины, а по оси ординат – скорость его изменения.

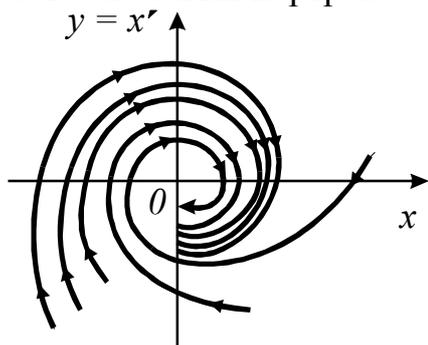
3.5.15. Плоскость со всеми фазовыми траекториями, дающими полное представление о возможных движениях и состоянии равновесия системы, называется [2, с. 278]:

1. Комплексная плоскость.
2. Изображающая точка.
3. **Фазовый портрет.**
4.  $p$ -плоскость.

Фазовой траекторией называется траектория перемещения изображающей точки на фазовой плоскости. Перемещению изображающей точки соответствует изменение состояний системы во времени.

**Фазовый портрет** – плоскость со всеми фазовыми траекториями, которые дают полное представление о возможных движениях и состоянии равновесия системы.

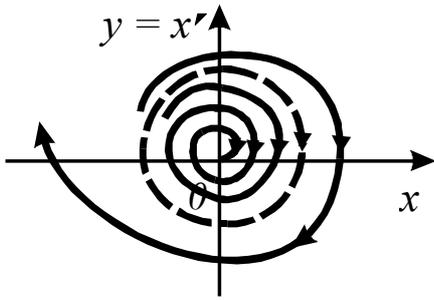
3.5.16. Фазовый портрет соответствует системе [2, с. 279]:



1. **Устойчивой.**
2. Неустойчивой.
3. На границе устойчивости.

Фазовые траектории, сходящиеся к началу координат, свидетельствуют об устойчивости системы. Если фазовые траектории расходящиеся – система неустойчивая. Если изображающая точка движется по замкнутой фазовой траектории – в системе наблюдаются автоколебания.

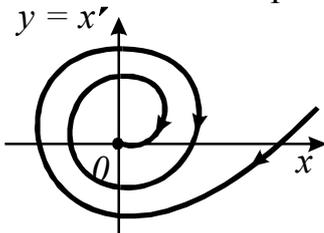
3.5.17. Фазовый портрет соответствует системе [2, с. 279]:



1. Устойчивой.
2. Неустойчивой.
3. Устойчивой при малых и неустойчивой при больших отклонениях от положения равновесия.

Фазовые траектории, сходящиеся к началу координат, свидетельствуют об устойчивости системы. Если фазовые траектории расходящиеся – система неустойчивая. Если изображающая точка движется по замкнутой фазовой траектории – в системе наблюдаются автоколебания.

3.5.18. Фазовой траектории соответствует переходный процесс [2, с. 279]:

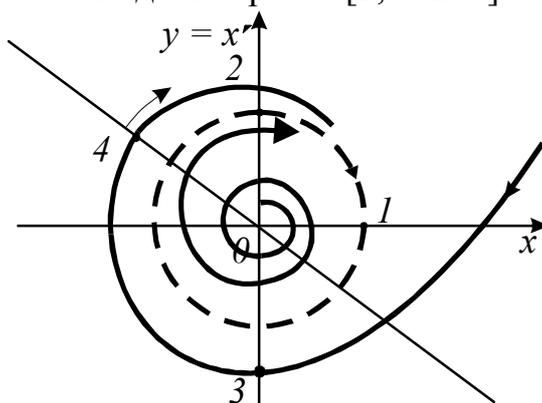


1. Гармонический колебательный.
2. Колебательный расходящийся.
3. Колебательный сходящийся.
4. Аperiodический.

Фазовая траектория затухающего гармонического **колебательного** процесса представляет собой спиралевидную кривую, постепенно приближающуюся к началу координат фазовой плоскости, так как амплитуда отклонения регулируемой величины и скорость его изменения постепенно уменьшаются.

Точка равновесия в начале координат называется устойчивым фокусом.

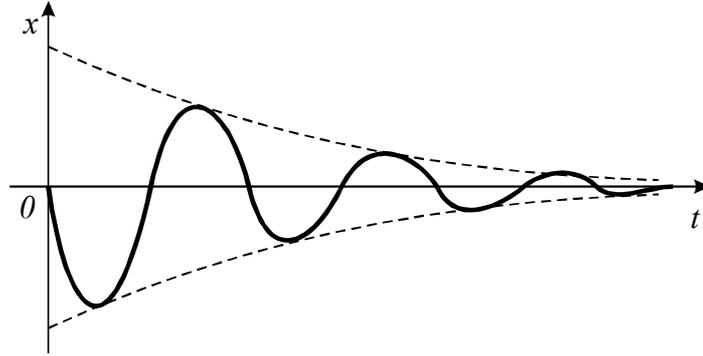
3.5.19. На фазовом портрете системы показана замкнутая фазовая траектория (пунктирная линия), отвечающая автоколебаниям. Значение амплитуды автоколебаний дает отрезок [2, с. 279]:



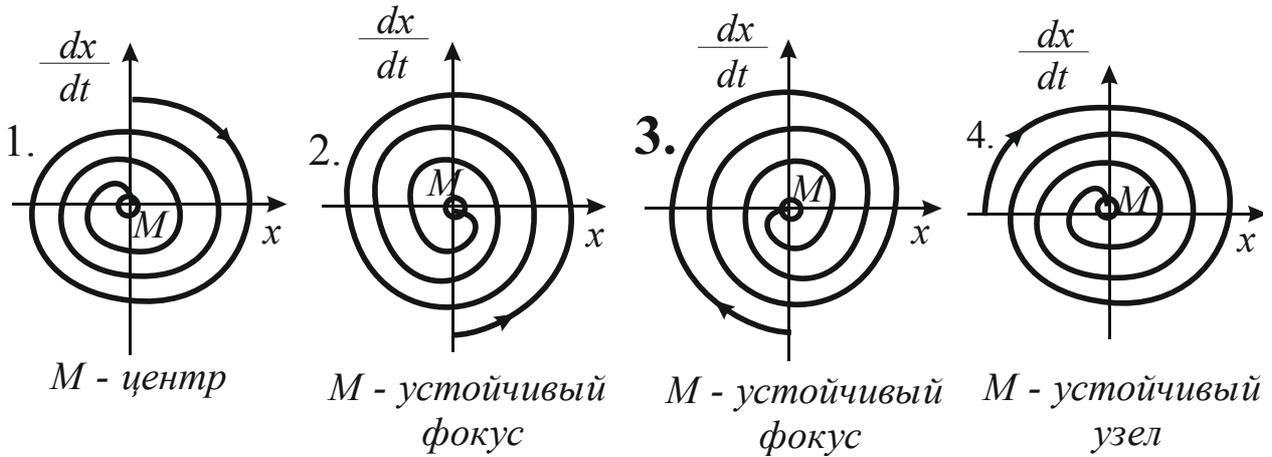
1. 0...1.
2. 0...2.
3. 0...3.
4. 0...4.

Замкнутая фазовая траектория отображает устойчивый цикл колебаний – автоколебания. Отрезок, отсекаемый ею на оси абсцисс, дает значения амплитуды автоколебаний, а отрезок, отсекаемый на оси ординат, дает значение максимальной скорости движения при автоколебаниях.

3.5.20. Переходный процесс в цепи протекает, как показано на рисунке.

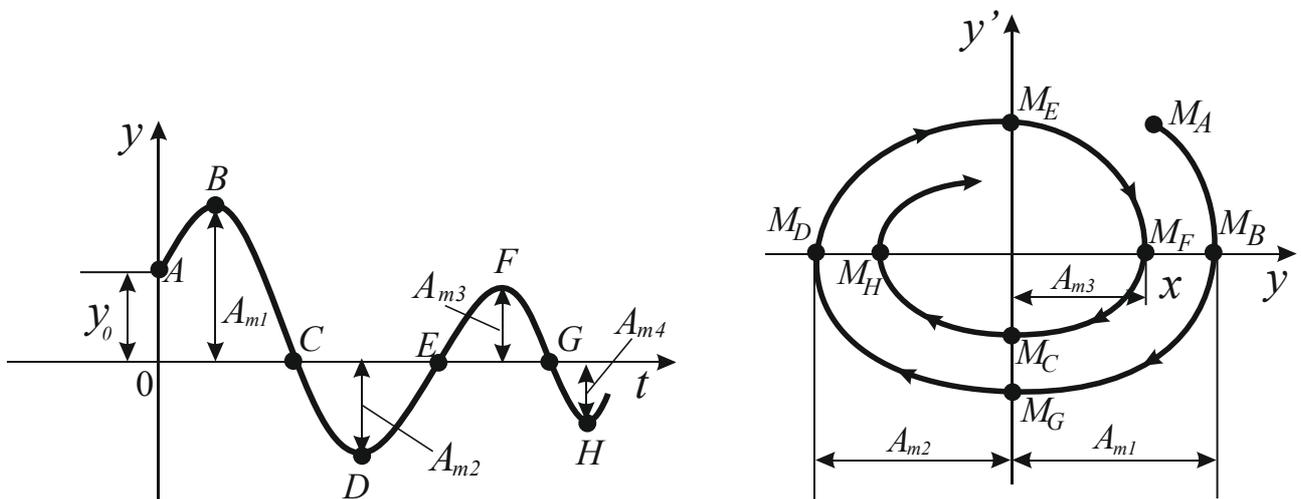


Укажите фазовый портрет, соответствующий данному процессу, и назовите точку  $M$ , в которую сходится процесс [2, с. 279; 15, с. 410].



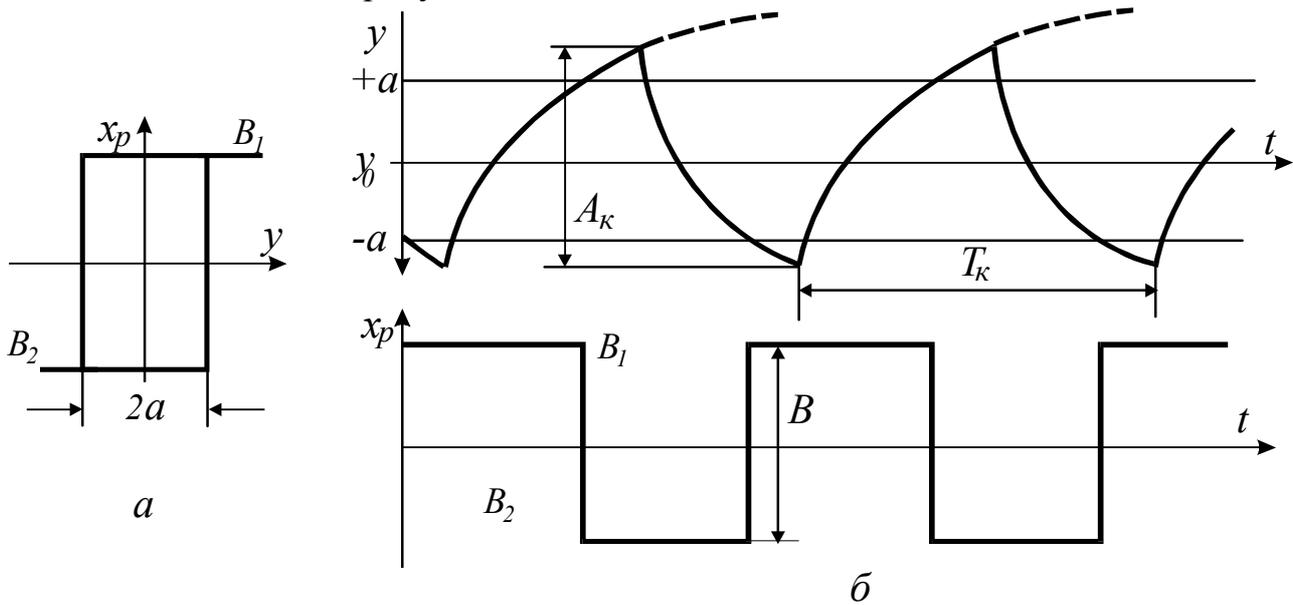
Фазовые траектории, сходящиеся к началу координат, свидетельствуют об устойчивости системы. Если фазовые траектории расходящиеся – система неустойчивая. Если изображающая точка движется по замкнутой фазовой траектории – в системе наблюдаются автоколебания.

Фазовая траектория *затухающего гармонического колебательного процесса* представляет собой спиралевидную кривую, постепенно приближающуюся к началу координат фазовой плоскости, так как амплитуда отклонения регулируемой величины и скорость его изменения постепенно уменьшаются.



3.5.21.

На рисунке



представлены установившиеся автоколебания в САР (б) и статическая характеристика (а) регулятора [1, с.120]:

1. Импульсного.
2. Цифрового.
3. Двухпозиционного.
4. Трехпозиционного.

При синтезе САР с двухпозиционным регулятором даже в отсутствии возмущений системы находятся в режиме установившихся колебаний. **Двухпозиционный регулятор** занимает только два устойчивых состояния: одно, когда отклонение управляемой величины превысит положительный предел  $+\Delta$ , и второе, когда изменится знак отклонения и оно достигнет отрицательного предела  $-\Delta$ . Управляющие воздействия в обоих состояниях одинаковы по значению, но различны по знаку.

3.5.22. Качество процесса регулирования в САР с двухпозиционным регулятором будет удовлетворительным, если выбранные параметры регулятора – зона неоднозначности  $2a$  и величина регулирующего воздействия  $B$  (рис. п. 3.5.21) обеспечат [1, с. 120]:

**1. Минимальную амплитуду  $A_k$ , максимальный период  $T_k$  автоколебаний, среднее значение регулируемой величины  $y_{cp}$  возможно более близкое к заданному значению  $y_0$ .**

2.  $A_k - \min, T_k - \min, y_{cp} = y_0$ .
3.  $A_k - \max, T_k - \max, y_{cp} < y_0$ .
4.  $A_k - \max, T_k - \min, y_{cp} > y_0$ .

При синтезе САР с двухпозиционным регулятором даже в отсутствии возмущений системы находятся в режиме установившихся колебаний. Поэтому выбранные параметры регулятора – зона неоднозначности  $2a$  и величина регулирующего воздействия  $B$  должны обеспечить минимальную амплитуду  $A_k$ , максимальный период  $T_k$  автоколебаний, а среднее значение регулируемой величины  $y_{cp}$  должно быть возможно близким к заданному значению  $y_0$ .

3.5.23. В САР с двухпозиционным регулятором с уменьшением зоны неоднозначности  $2a$  (рис. п. 3.5.21) [1, с. 121]:

1. Уменьшается амплитуда  $A_k$ , но увеличивается период автоколебаний  $T_k$ .
2. Увеличивается  $A_k$ , уменьшается  $T_k$ .
3. Увеличивается  $A_k$ , увеличивается  $T_k$ .
4. **Уменьшается  $A_k$ , уменьшается  $T_k$ .**

Выбранные параметры регулятора – зона неоднозначности  $2a$  и величина регулирующего воздействия  $B$  должны обеспечить минимальную амплитуду  $A_k$ , максимальный период  $T_k$  автоколебаний. Уменьшение зоны неоднозначности снижает амплитуду  $A_k$  и период автоколебаний.

3.5.24. В САР температуры с двухпозиционным регулятором с уменьшением периода автоколебаний  $T_k$  срок службы релейных элементов и электрических нагревателей [1, с. 121]:

1. Увеличивается незначительно.
2. **Уменьшается.**
3. Резко увеличивается.
4. Остается постоянным.

Выбранные параметры регулятора – зона неоднозначности  $2a$  и величина регулирующего воздействия должны обеспечить минимальную амплитуду  $A_k$ , максимальный период  $T_k$  автоколебаний. Уменьшение зоны неоднозначности снижает амплитуду  $A_k$  и период автоколебаний. Если первое обстоятельство улучшает эксплуатационные характеристики автоматизированного процесса, то второе сокращает срок службы релейных элементов и электрических нагревателей.

3.5.25. Для улучшения качества двухпозиционного регулирования в САР температуры целесообразно применить [1, с. 122]:

**1. Регулирование неполным притоком и (или) оттоком энергии или релейно-импульсное регулирование.**

2. Регулятор с переменной структурой.
3. Два канала регулирования.
4. Автоматическое изменение параметров настройки регулятора.

Наиболее простой способ улучшения качества двухпозиционного регулирования – это **регулирование неполным притоком и (или) оттоком энергии или релейно-импульсное регулирование.**

3.5.26. Позиционный регулятор с постоянной скоростью перемещения регулирующего органа целесообразно использовать [1, с. 122]:

1. На объектах без самовыравнивания.
2. **Только на объектах с самовыравниванием.**
3. На емкостных объектах без самовыравнивания.
4. На объектах с передаточным запаздыванием.

Автоматические регуляторы позиционного действия с постоянной скоростью перемещения регулирующего органа рекомендуется применять **только на объектах с самовыравниванием.**

### 3.6. Понятие импульсных и цифровых САУ

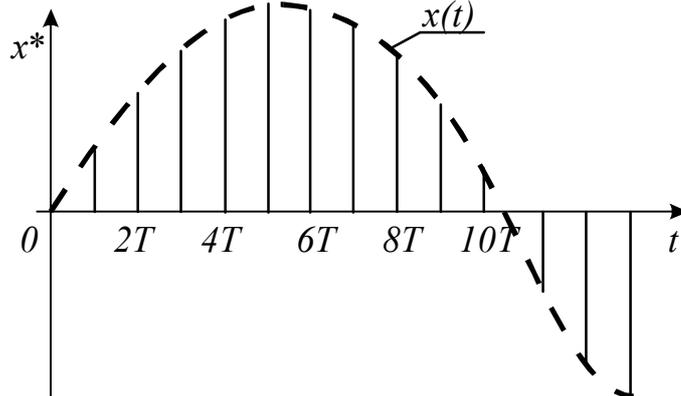
3.6.1. Процесс преобразования непрерывных сигналов в дискретные называется [2, с. 300]:

**1. Квантование (дробление).**

**2. Модуляция.**

**Квантование (дробление)** – процесс преобразования непрерывных сигналов в дискретные. Различают три вида квантования сигналов: по времени, по уровню и одновременно по времени и по уровню

3.6.2. Непрерывный сигнал  $x(t)$ , квантованный по [2, с. 300; 11, с. 242]:



**1. Времени.**

**2. Уровню.**

**3. Времени и уровню.**

**Квантование по времени** соответствует фиксации значений непрерывного сигнала в дискретные, обычно отстоящие друг от друга, моменты времени  $0, T, 2T, \dots, nT$ , где  $T$  – период дискретности или период повторения. Процесс квантования по времени обычно осуществляют с помощью импульсных устройств, изменяющих некоторые параметры выходных импульсов в зависимости от значений входных сигналов. Поэтому этот процесс часто называют импульсной модуляцией.

3.6.3. Процесс фиксации определенных дискретных уровней сигнала в произвольные моменты времени называется квантованием по [2, с. 300]:

**1. Времени.**

**2. Уровню.**

**3. Комбинированное.**

**4. Времени и уровню.**

**Квантование по уровню** – процесс фиксации определенных дискретных уровней сигнала в произвольные моменты времени. САУ, в которых осуществляется квантование по уровню, являются релейными системами. В управляющих устройствах таких систем находят применение двух- или трехпозиционные реле.

3.6.4. Система, в которой осуществляется квантование сигналов по времени и по уровню, называется [2, с. 300]:

**1. Импульсная.**

**2. Релейная.**

**3. Цифровая.**

**4. Экстремальная.**

Квантование по времени и по уровню (комбинированное), когда непрерывный сигнал заменяется ближайшими дискретными по уровню значениями в определенные моменты времени  $0, T, 2T, \dots, nT$ . В результате такого

квантования непрерывная функция преобразуется в дискретную. Системы с квантованием процессов по времени и уровню называются **цифровыми**.

3.6.5. Устройство, осуществляющее квантование входного сигнала по времени, называется [2, с. 300; 11, с. 244]:

1. Функциональный элемент.
2. **Импульсный элемент.**
3. Узел.
4. Блок.

**Импульсный элемент** – устройство, осуществляющее квантование входного сигнала по времени. Импульсный элемент преобразует непрерывный сигнал в последовательность модулированных импульсов.

3.6.6. Выходная величина импульсного элемента (ИЭ)  $x^*$



представляет собой [11, с. 244]:

1. Непрерывный сигнал.
2. **Последовательность импульсов, модулированных входным сигналом.**
3. Релейный сигнал.
4. Случайный сигнал.

Импульсный элемент преобразует непрерывный сигнал в **последовательность модулированных импульсов**.

3.6.7. Изменение любого параметра импульсов ( $A$  – амплитуды;  $jT$  – длительности;  $T$  – периода повторения) в зависимости от входного сигнала называется [2, с. 300; 8, с. 373]:

1. **Модуляция импульсов входным сигналом.**
2. Квантование по времени.
3. Квантование по уровню.
4. Квантование по времени и уровню.

**Модуляция импульсов входным сигналом** – изменение любого параметра импульсов ( $A$  – амплитуды,  $jT$  – длительности,  $T$  – периода повторения) в зависимости от входного сигнала.

3.6.8. ИЭ подразделяются на элементы:

- с АИМ, когда  $A=A(x)$ ;
- с ШИМ, когда  $j=j(x)$  при  $T=\text{const}$ ;
- с ЧИМ, когда  $\omega=\omega(x)$ ;

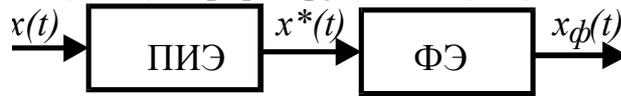
в зависимости от вида [2, с. 300; 8, с. 374]:

1. **Модуляции.**
2. Квантования.
3. Дробления.
4. Конструктивного исполнения.

Импульсные элементы в зависимости от вида модуляции, т. е. от того, какой из параметров импульса изменяется в соответствии с входным модулирующим сигналом, подразделяются на элементы:

- с АИМ (амплитудно-импульсная модуляция), когда  $A=A(x)$ ;  $j=\text{const}$ ;
- с ШИМ (широотно-импульсная модуляция), когда  $j=j(x)$  при  $T=\text{const}$ ;
- с ЧИМ (частотно-импульсная модуляция), когда  $\omega=\omega(x)$ .

3.6.9. При исследовании САУ их реальные ИЭ заменяют последовательным соединением простейшего (ПИЭ) и формирующего (ФЭ) элементов.



На выходе ПИЭ снимается сигнал [2, с. 301; 11, с. 247]:

1.  $S \cdot \delta(t)$ .
2.  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ .
3.  $\sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT)$ .
4.  $w_{\phi}(t)$  – функция веса.

Первичный импульсный элемент (ПИЭ) можно рассматривать как импульсный модулятор с несущей в виде последовательности единичных импульсов – дельта-функций:

$$\delta_T(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT).$$

На выходе ПИЭ получается сигнал

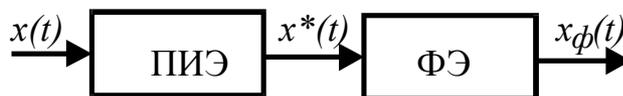
$$x^*(t) = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT).$$

3.6.10. При единичном входном сигнале ПИЭ на выходе ФЭ имеем [2, с. 302]:

1.  $S \cdot \delta(t)$ .
2.  $\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$ .
3.  $w_{\phi}(t)$ .
4.  $\sum_{n=0}^{\infty} x(nT) \delta(t - nT)$ .

Функция веса (импульсная переходная функция)  $w_{\phi}(t)$  – реакция системы (звена) ФЭ на единичное воздействие типа дельта-функции.

3.6.11. Передаточная функция ФЭ



будет [8, с. 377; 11, с. 248]:

1.  $W_{\phi}(p) = L[w_{\phi}(t)]$ .
2.  $W_{\phi}(p) = \frac{1 - e^{-Tp}}{p}$ .
3.  $W_{\phi}(p) = \frac{1 - e^{-jTp}}{p}$ .
4.  $W(z) = \frac{y(z)}{x(z)}$ .

Формирующий элемент характеризуется тем, что его реакции на дельта-функции совпадают по своей форме с импульсными на выходе реального импульсного элемента.

Формирующий элемент имеет передаточную функцию, которая является изображением Лапласа от функции веса  $w_{\Phi}(t)$ :

$$W_{\Phi}(p) = L[w_{\Phi}(t)].$$

3.6.12. Скорость изменения дискретной (решетчатой) функции  $x(nT)$  характеризуется [2, с. 302]:

1. Ее первой производной.
2. **Первой разностью, деленной на период дискретности  $T$ .**
3. Второй разностью.
4. Разностью  $K$ -го порядка.

Скорость изменения решетчатой функции характеризуется ее **первой разностью**, или разностью первого порядка, аналогично тому, как скорость изменения непрерывной функции характеризуется первой производной.

3.6.13. Динамические процессы описываются разностными уравнениями вида

$$\begin{aligned} a_m \Delta^m y(nT) + a_{m-1} \Delta^{m-1} y(nT) + \dots + a_1 \Delta y(nT) + a_0 y(nT) = \\ = b_k \Delta^k x(nT) + b_{k-1} \Delta^{k-1} x(nT) + \dots + b_1 \Delta x(nT) + b_0 x(nT), \end{aligned}$$

где  $x(nT)$  – задающее воздействие;  $y(nT)$  – реакция системы;  $a_i$  и  $b_i$  – постоянные коэффициенты;  $\Delta^i$  – разности  $i$ -х порядков, в системах автоматического управления [2, с. 302; 8, с. 378]:

1. Непрерывных.
2. **Дискретных (импульсных).**
3. Оптимальных.
4. Самонастраивающихся.

В **дискретных САУ** динамические процессы описываются разностными уравнениями, или уравнениями в конечных разностях. Удобным для решения разностных уравнений является операционный метод, основанный на дискретном преобразовании Лапласа, которое представляет собой обобщение обычного преобразования Лапласа на дискретные функции (сигналы).

3.6.14. Удобным для решения разностных уравнений является операционный метод, основанный на дискретном преобразовании Лапласа [8, с. 384; 11, с. 252]:

$$\begin{aligned} 1. \quad x(p) &= \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt. & 2. \quad x^*(p) &= \sum_{n=0}^{\infty} x(nT) e^{-PnT} \\ 3. \quad x(p) &= L[x(t)]. & 4. \quad x(t) &= L^{-1}[x(p)]. \end{aligned}$$

Одним из методов решения разностных уравнений является операционный метод, основанный на дискретном преобразовании Лапласа, которое представляет собой обобщение обычного преобразования Лапласа на дискретные функции (сигналы). Дискретное преобразование устанавливает функциональную связь между дискретными функциями и их изображениями:

$$x^*(p) = D[x^*(t)] = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)e^{-pnT},$$

где  $x^*(t)$  – оригинал,  $x^*(p)$  – изображение.

3.6.15. Основная передаточная функция замкнутой импульсной системы, позволяющая вычислить реакцию системы  $y(nT)$  на задающее воздействие  $x(nT)$ , определяется по формуле [11, с. 252]:

$$\begin{aligned} 1. \quad W^*(p) &= \frac{y^*(p)}{x^*(p)}. & 2. \quad W(z) &= \frac{y(z)}{x(z)}. \\ 3. \quad \Phi(z) &= \frac{W(z)}{1+W(z)}. & 4. \quad \Phi_{\varepsilon}(z) &= \frac{1}{1+W(z)}. \end{aligned}$$

Выражение

$$\Phi(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)}$$

определяет передаточную функцию замкнутой импульсной системы для управляемой переменной по входному воздействию.

3.6.16. Очень удобным на практике оказалось  $z$ -преобразование

$$x(z) = Z[x(nT)] = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)z^{-n},$$

в котором изображением в смысле  $z$ -преобразования является [8, с. 386; 11, с. 255]:

$$1. \quad x(nT). \quad 2. \quad z = e^{pT}. \quad 3. \quad z^{-n}. \quad 4. \quad x(z).$$

$Z$ -преобразование – разновидность дискретного преобразования Лапласа, получается при подстановке  $z = e^{pT}$  в дискретное преобразование Лапласа

$$x(z) = Z[x(nT)] = \sum_{n=0}^{\infty} x(nT)z^{-n},$$

где  $x(nT)$  – оригинал,  $x(z)$  – изображение в смысле  $z$ -преобразования.

3.6.17. Порядок определения передаточной функции  $W(z)$  по известной передаточной функции приведенной непрерывной части (ПНЧ) системы  $W(p)$

– по  $w(p)$  находим функцию веса ПНЧ  $w(t) = L^{-1}[W(p)]$ ;

– по  $w(t)$  -  $w(nT)$  – дискретную функцию веса;

$$- W(z) = Z[w(nT)] = \sum_{n=0}^{\infty} w(nT)z^{-n}$$

применяется в системах [11, с. 252]:

- |                                |                 |
|--------------------------------|-----------------|
| 1. Непрерывных.                | 2. Импульсных.  |
| 3. При случайных воздействиях. | 4. Оптимальных. |

При расчете дискретной системы возможна полная аналогия с **непрерывными** системами в том случае, если импульсный элемент и экстраполятор могут быть представлены непрерывными звеньями.

3.6.18. Если все корни характеристического уравнения  $M(z) = a_m z^m + a_{m-1} z^{m-1} + \dots + a_1 z + a_0$  импульсной САУ лежат внутри круга единичного радиуса, построенного в начале координат комплексной плоскости  $z$ , система [11, с. 260]:

- |                             |                  |
|-----------------------------|------------------|
| 1. <b>Устойчивая.</b>       | 2. Неустойчивая. |
| 3. На границе устойчивости. | 4. Нейтральная.  |

Для устойчивости замкнутой системы необходимо, чтобы все корни характеристического уравнения системы (полюсы передаточной функции замкнутой системы) были расположены внутри окружности единичного радиуса с центром в начале координат плоскости  $z$ .

3.6.19. Характеристическое уравнение

$$M(z) = a_m z^m + a_{m-1} z^{m-1} + \dots + a_1 z + a_0$$

импульсной САУ имеет  $m$  корней  $z_i$  на плоскости  $z$ .

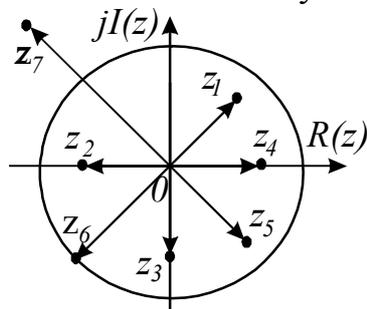
Каждый корень  $z_i$  связан с корнями  $p_i$  на плоскости  $p$ .

Корню  $p_1=0$  соответствует корень [11, с. 260]:

- |              |                  |                  |              |
|--------------|------------------|------------------|--------------|
| 1. $z_1=1$ . | 2. $ z_1  < 1$ . | 3. $ z_1  > 1$ . | 4. $z_1=0$ . |
|--------------|------------------|------------------|--------------|

Импульсная САУ устойчива, если все корни ее характеристического уравнения лежат внутри круга единичного радиуса, построенного в начале координат комплексной плоскости  $z$ . Если хотя бы один из корней лежит на окружности с радиусом  $R=1$ , то система находится на границе устойчивости. При наличии корней  $|z_i| > 1$  система неустойчива.

3.6.20. Расположение корней характеристического уравнения импульсной САУ в плоскости  $z$  соответствует системе [11, с. 260]:



1. Устойчивой.
2. **Неустойчивой.**
3. На границе устойчивости.

Импульсная САУ устойчива, если все корни ее характеристического уравнения лежат внутри круга единичного радиуса, построенного в начале координат комплексной плоскости  $z$ . Если хотя бы один из корней лежит на окружности с радиусом  $R=1$ , то система находится на границе устойчивости. При наличии корней  $|z_i| > 1$  система **неустойчива**.

3.6.21. Устойчивость импульсной системы зависит не только от общего коэффициента передачи в разомкнутом состоянии  $k$ , как это имеет место и в непрерывных системах, но и от периода дискретности  $T$ . Труднее обеспечить устойчивость системы (если  $k=const$ ) при значении  $T$  [11, с. 259]:

1. **Большем.**
2. **Меньшем.**

Устойчивость импульсной САУ зависит не только от общего коэффициента передачи в разомкнутом состоянии  $k$ , как это имеет место и в непрерывных системах, но и от периода дискретности  $T$ . При **большем** значении  $T$  труднее обеспечить устойчивость системы (если  $k=const$ ).

3.6.22. К импульсным системам применим любой из известных критериев устойчивости непрерывных систем. Для этого необходимо произвести билинейное преобразование полинома  $M(z)$  в полином  $M(w)$  по формуле [11, с. 259]:

$$1. z = \frac{1+w}{1-w}. \quad 2. x(z) = \frac{z}{z-1}. \quad 3. z = e^{PT}. \quad 4. x(z) = Z[1(nT)].$$

Устойчивость импульсной САУ зависит не только от общего коэффициента передачи в разомкнутом состоянии  $k$ , как это имеет место и в непрерывных системах, но и от периода дискретности  $T$ . При **большем** значении  $T$  труднее обеспечить устойчивость системы (если  $k=const$ ). К импульсным системам применим любой из известных критериев устойчивости непрерывных систем. Для этого только необходимо произвести билинейное преобразование полинома  $M(z)$  в полином  $M(w)$ , пользуясь выражением  $z = \frac{1+w}{1-w}$ . Такое преобразование позволяет отобразить единичный круг плоскости  $z$  в левую часть комплексной плоскости  $w$ , аналогичную области устойчивости непрерывных систем на плоскости  $p$ .

3.6.23. Оценка показателей качества переходного процесса в импульсных САУ производится по [11, с. 262]:

1. **Импульсной переходной функции  $h(nT)$  – реакции на единичную ступенчатую дискретную функцию  $x(nT)=1(nT)$ .**
2. Изображению реакции системы в смысле  $z$ -преобразования  $y(z)=x(z)\Phi(z)$ .
3. Изображению дискретной переходной функции  $h(z)=Z[h(nT)]$ .

Оценку показателей качества переходного процесса в импульсных системах производят по **импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  – реакции на единичную ступенчатую дискретную функцию  $x(nT)=1(nT)$** . Для получения импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  необходимо по изображению  $h(z)$  найти оригинал  $h(nT)$ , то есть осуществить операцию обратного  $z$ -преобразования.

3.6.24. Изображение дискретной единичной функции определяется зависимостью [11, с. 263]:

$$1. \quad z = \frac{1+w}{1-w}.$$

$$2. \quad h(z) = \frac{z}{z-1} \Phi(z).$$

$$3. \quad x(z) = Z[1(nT)] = \frac{z}{z-1}.$$

$$4. \quad z = e^{pT}.$$

Оценку показателей качества переходного процесса в импульсных системах производят по **импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  – реакции на единичную ступенчатую дискретную функцию  $x(nT)=1(nT)$** . Для получения импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  необходимо по изображению  $h(z)$  найти оригинал  $h(nT)$ , то есть осуществить операцию обратного  $z$ -преобразования.

3.6.25. Изображение дискретной переходной функции импульсной системы определяется по формуле [11, с. 263]:

$$1. \quad \Phi(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)}.$$

$$2. \quad W(z) = Z[w(nT)].$$

$$3. \quad h(z) = Z[h(nT)] = \frac{z}{z-1} \Phi(z).$$

$$4. \quad z = \frac{1+w}{1-w}.$$

Оценку показателей качества переходного процесса в импульсных системах производят по **импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  – реакции на единичную ступенчатую дискретную функцию  $x(nT)=1(nT)$** . Для получения импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  необходимо по изображению  $h(z)$  найти оригинал  $h(nT)$ , то есть осуществить операцию обратного  $z$ -преобразования.

3.6.26. Для получения импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  необходимо [11, с. 262]:

**1. По изображению  $h(z)$  найти оригинал  $h(nT)$ , т.е. осуществить операцию обратного  $z$ -преобразования.**

2. Функцию  $h(z)$  разложить на простые дроби.

3. Функцию  $h(z)$  разложить в степенной ряд по отрицательным степеням  $z$ .

Оценку показателей качества переходного процесса в импульсных системах производят по **импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  – реакции на единичную ступенчатую дискретную функцию  $x(nT)=1(nT)$** . Для получения импульсной переходной функции системы  $h(nT)$  необходимо **по изображению  $h(z)$  найти оригинал  $h(nT)$ , то есть осуществить операцию обратного  $z$ -преобразования.**

### 3.7. Общие сведения о системах оптимального управления

3.7.1. САУ, обеспечивающая наилучшие показатели качества при заданных реальных условиях работы и ограничениях, называется [8, с. 449]:

1. Импульсная.
2. **Оптимальная.**
3. Релейная.
4. Цифровая.

**Оптимальной САУ** называется система, обеспечивающая наилучшие показатели качества при заданных реальных условиях работы и ограничениях.

3.7.2. САУ, осуществляющая наиболее быстрый переход из одного установившегося состояния в другое, является оптимальной по [6, с. 313]:

1. Надежности.
2. Среднеквадратичному отклонению.
3. **Быстродействию.**
4. Установившейся погрешности.

Системы могут быть оптимальными по самым различным показателям: **быстродействию**, установившейся погрешности, среднеквадратичному отклонению, затратам энергии, производительности, качеству продукции, надежности и по целому ряду других показателей.

3.7.3. САУ, обеспечивающая наименьшую среднеквадратичную погрешность при случайных воздействиях, является оптимальной по [6, с. 313]:

1. Производительности.
2. Быстродействию.
3. **Среднеквадратичному отклонению.**
4. Стоимости разработки.

Системы могут быть оптимальными по самым различным показателям: быстродействию, установившейся погрешности, **среднеквадратичному отклонению**, затратам энергии, производительности, качеству продукции, надежности и по целому ряду других показателей.

3.7.4. САУ, обеспечивающая наивысшую в данных условиях точность управления объектом, является оптимальной по [6, с. 313]:

1. Массе.
2. Расходу энергии.
3. Качеству продукции.
4. **Установившейся погрешности.**

Системы могут быть оптимальными по самым различным показателям: быстродействию, **установившейся погрешности**, среднеквадратичному отклонению, затратам энергии, производительности, качеству продукции, надежности и по целому ряду других показателей.

3.7.5. Оптимальные системы по способу функционирования от обыкновенных систем [6, с. 315]:

1. Отличаются значительно.
2. **Не отличаются.**
3. Отличаются незначительно.

Оптимальные системы по способу функционирования **не отличаются** от обыкновенных систем.

3.7.6. Если известна структура системы, и надо найти оптимальные значения ее числовых параметров, при которых обеспечивается заданный критерий оптимальности, необходимо провести [8, с. 449]:

1. **Анализ системы.**

2. Синтез системы.

Оптимальную САУ можно получить двумя способами. В первом известна структура системы и надо найти оптимальные значения ее числовых параметров, при которых обеспечивается заданный критерий оптимальности (**анализ системы**). Во втором – система считается полностью неизвестной и требуется определить ее структуру и параметры так, чтобы она была оптимальной по принятому критерию качества (**синтез системы**).

3.7.7. Если система считается полностью неизвестной и требуется определить ее структуру и параметры так, чтобы она была оптимальной по принятому критерию качества, необходимо провести [1, с. 103; 8, с. 449]:

1. Анализ системы.

2. **Синтез системы.**

Оптимальную САУ можно получить двумя способами. В первом известна структура системы и надо найти оптимальные значения ее числовых параметров, при которых обеспечивается заданный критерий оптимальности (**анализ системы**). Во втором – система считается полностью неизвестной и требуется определить ее структуру и параметры так, чтобы она была оптимальной по принятому критерию качества (**синтез системы**).

3.7.8. Оптимальные системы делятся на линейные и нелинейные, а также на непрерывные и дискретные по [8, с. 453]:

1. Типу критерия оптимальности.

2. Характеру информации об объекте.

3. **Характеристикам объекта управления.**

4. Принципу управления.

Оптимальные САУ делятся:

– на линейные и нелинейные, а также на непрерывные и дискретные по **характеристикам объекта управления;**

– на равномерно-оптимальные, статически-оптимальные, минимально-оптимальные по типу критерия оптимальности.

3.7.9. Оптимальные системы делятся на равномерно-оптимальные, статически-оптимальные, минимально-оптимальные по [8, с. 453]:

1. Характеру информации об объекте.

2. **Типу критерия оптимальности.**

3. Характеристикам объекта управления.

4. Виду дифференциального уравнения.

Оптимальные САУ делятся:

- на линейные и нелинейные, а также на непрерывные и дискретные по характеристикам объекта управления;

- на равномерно-оптимальные, статически-оптимальные, минимально-оптимальные по **типу критерия оптимальности.**

3.7.10. Система, в которой какой-либо наихудший результат лучше, чем подобный наихудший результат в любой другой системе, является [8, с. 453]:

1. **Минимально-оптимальной.**
2. **Равномерно-оптимальной.**
3. **Статистически-оптимальной.**
4. **Наилучшей в среднем.**

Система называется **минимально-оптимальной** в том случае, когда какой-либо наихудший результат лучше, чем подобный наихудший результат в любой другой системе.

3.7.11. Система, наилучшее поведение которой невозможно (или не требуется) обеспечить в каждом отдельном процессе, а критерий оптимальности имеет статистический характер из-за случайных воздействий, является [8, с. 453]:

1. **Минимально-оптимальной.**
2. **Равномерно-оптимальной.**
3. **Статистически-оптимальной.**
4. **С полной информацией.**

Система называется **статистически-оптимальной**, когда невозможно (или не требуется) обеспечить наилучшее поведение системы в каждом отдельном процессе, а критерий оптимальности имеет статистический характер из-за случайных воздействий; такие системы должны быть наилучшими.

3.7.12. В оптимальных системах чаще всего применяется закон регулирования [8, с. 453]:

1. **Пропорциональный.**
2. **Интегральный.**
3. **Пропорционально-интегральный.**
4. **Релейный, но только с более сложным условием переключения.**

В оптимальных САУ чаще всего применяется **релейный закон регулирования, но только с более сложным условием переключения**. Расчет параметров настройки регулятора представляет собой сложную оптимизационную задачу, которая решается методом нелинейного (динамического) программирования. В основу его положено использование принципа оптимальности, согласно которому на каждом этапе, при каких бы условиях он ни был достигнут, нужно стремиться к оптимальному, с учетом этих условий, продолжению всей оставшейся незавершенной части процесса.

3.7.13. Расчет параметров настройки регулятора представляет собой сложную оптимизационную задачу, которая решается методом [6, с. 313; 11, с. 389]:

1. **Припасовывания.**
2. **Нелинейного программирования.**
3. **Фазовой плоскости.**
4. **Логарифмическим.**

Расчет параметров настройки регулятора представляет собой сложную оптимизационную задачу, которая решается методом **нелинейного (динамического) программирования**.

3.7.14. Использование принципа оптимальности, согласно которому на каждом этапе, при каких бы условиях он ни был достигнут, нужно стремиться к оптимальному, с учетом этих условий, продолжению всей оставшейся незавершенной части процесса, положено в основу метода [11, с. 389]:

1. **Нелинейного (динамического) программирования.**
2. С использованием принципа максимума.
3. С использованием графов.
4. Фазовой плоскости.

В основу метода **нелинейного (динамического) программирования** положено использование принципа оптимальности, согласно которому на каждом этапе, при каких бы условиях он ни был достигнут, нужно стремиться к оптимальному, с учетом этих условий, продолжению всей оставшейся незавершенной части процесса.

3.7.15. Числовая величина, зависящая от параметров системы управления или от программы, по которой изменяется управляющая величина на входе системы, называется [6, с. 313]:

1. **Критерий оптимальности.**
2. Выходное воздействие.
3. Контрольное воздействие.
4. Передаточный коэффициент.

**Критерий оптимальности** – числовая величина, зависящая от параметров системы управления или от программы, по которой изменяется управляющая величина на входе системы. Для каждой оптимальной системы определяется конкретный критерий оптимальности. Он составляется так, чтобы для получения удовлетворительных результатов управления иметь его минимальное или максимальное значение.

3.7.16. Критерий оптимальности составляется так, чтобы для получения удовлетворительных результатов управления иметь его значение [6, с. 313]:

1. Среднее.
2. **Минимальное или максимальное.**
3. Равное 0.
4. Промежуточное.

Критерий оптимальности составляется так, чтобы для получения удовлетворительных результатов управления иметь его **минимальное или максимальное** значение.

3.7.17. Для каждой конкретной оптимальной системы определяется критерий оптимальности [6, с. 313]:

1. **Конкретный.**
2. Произвольный.

Для каждой оптимальной системы определяется **конкретный** критерий оптимальности.

3.7.18. Критерий оптимальности обычно выражается в форме [6, с. 313]:

1. Графической.
2. **Математической.**
3. Логической операции.
4. Таблицы истинности.

Критерий оптимальности обычно выражается в **математической** форме. Для расчета его используют значения  $y(t)$ . В качестве критерия берут одну из интегральных оценок или критерий  $I = \min \{C_1(y_1 - y_0) + C_2 t_p\}$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – весовые коэффициенты (обычно  $C_1=0,7$ ;  $C_2=0,3$ );  $y_1$  – перерегулирование;  $y_0$  – заданное значение регулируемой величины;  $t_p$  – время регулирования.

3.7.19. Выражение  $I = \min \{C_1(y_1 - y_0) + C_2 t_p\}$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – весовые коэффициенты (обычно  $C_1=0,7$ ;  $C_2=0,3$ );  $y_1$  – перерегулирование;  $y_0$  – заданное значение регулируемой величины;  $t_p$  – время регулирования, используют для расчета [1, с. 105]:

- |                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. Критерия Рауса.                | 2. Критерия Гурвица.   |
| <b>3. Критерия оптимальности.</b> | 4. Статической ошибки. |

Для расчета критерия оптимальности используют значения  $y(t)$ . В качестве критерия берут одну из интегральных оценок или критерий  $I = \min \{C_1(y_1 - y_0) + C_2 t_p\}$ , где  $C_1$  и  $C_2$  – весовые коэффициенты (обычно  $C_1=0,7$ ;  $C_2=0,3$ );  $y_1$  – перерегулирование;  $y_0$  – заданное значение регулируемой величины;  $t_p$  – время регулирования.

3.7.20. В тех случаях, когда необходимо обеспечить наилучшую работу системы в наихудших возможных условиях, используется критерий оптимальности [8, с. 452]:

- |                                 |                             |
|---------------------------------|-----------------------------|
| 1. Интегральный критерий.       | 2. Интегральный показатель. |
| <b>3. Минимаксный критерий.</b> | 4. Функционал.              |

Для тех случаев, когда необходимо обеспечить наилучшую работу системы в наихудших возможных условиях, используют **минимальный критерий** оптимальности. Такой критерий рассматривается, например, при получении минимального значения наибольшего (максимального) отклонения (перерегулирования) управляемой переменной от некоторой заданной функции во времени.

3.7.21. Для системы, оптимальной по установившейся точности, критерием оптимальности может служить минимум ошибки управления, выраженный

интегралом  $I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt$ . Величина  $I$  называется [6, с. 313]:

- |                        |                                 |
|------------------------|---------------------------------|
| 1. Статическая ошибка. | 2. Коэффициент статизма.        |
| <b>3. Функционал.</b>  | 4. Коэффициент неравномерности. |

Критерий оптимальности характеризует качество функционирования системы, если интегральный **функционал** обеспечивает минимум интеграла

$I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt = \min (\varepsilon(t))$ , который характеризует суммарную ошибку системы за время переходного процесса и минимальные отклонения выходной переменной.

3.7.22. Интегральный функционал характеризует [8, с. 451]:

1. Устойчивость системы.
2. Работоспособность системы.
3. **Качество функционирования системы.**
4. Надежность системы.

Интегральный функционал  $I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt = \min (\varepsilon(t))$  характеризует

суммарную ошибку системы за время переходного процесса и минимальные отклонения выходной переменной.

3.7.23. Система будет оптимальной, если обеспечивается минимум интеграла

$I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt = \min$ . Этот критерий оптимальности характеризует [8, с. 452]:

**1. Суммарную ошибку системы за время переходного процесса и минимальные отклонения выходной переменной.**

2. Минимальное время переходного процесса при единичном воздействии и заданных ограничениях для некоторых координат.

3. Минимальное значение среднеквадратичной ошибки при случайных сигналах.

Критерий оптимальности характеризует качество функционирования системы, если интегральный функционал обеспечивает минимум интеграла

$I = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt = \min (\varepsilon(t))$ , который характеризует суммарную ошибку системы за

**время переходного процесса и минимальные отклонения выходной переменной.**

3.7.24. Как правило, при проектировании системы один из критериев будет иметь доминирующее значение, а другие – второстепенные значения. В этом случае синтез системы производится так, что [8, с. 451]:

**1. Какой-либо из критериев принимает экстремальное значение, а остальные не выходят из области допустимых значений.**

2. Все критерии имеют максимальное значение.

3. Все критерии имеют минимальное значение.

При проектировании системы один из критериев будет иметь доминирующее значение, а другие – второстепенные значения. В этом случае синтез системы производится так, что **какой-либо из критериев принимает экстремальное значение, а остальные не выходят из области допустимых значений.**

3.7.25. Выбор критерия оптимальности – это инженерная или инженерно-экономическая задача. Каждый из критериев является некоторой функцией [8, с. 450]:

1. Одной переменной.

2. **Нескольких переменных.**

Выбор критерия оптимальности – инженерная или инженерно-экономическая задача. В качестве критерия оптимальности могут быть выбраны различные технические, технико-экономические показатели и оценки. Каждый из критериев может являться некоторой функцией **нескольких переменных.**

3.7.26. Обеспечение оптимизации одного из показателей качества работы системы [8, с. 451]:

**1. Обязательно сопровождается ограничениями других показателей ее качества работы.**

2. Не сопровождается ограничениями других показателей ее качества работы.

3. Нет ограничений по любым показателям работы системы.

Обеспечение оптимизации одного из показателей качества работы системы **обязательно сопровождается ограничениями других показателей ее качества работы.** Как правило, при проектировании системы один из критериев будет иметь доминирующее значение, а другие – второстепенные значения. В этом случае синтез системы производится так, что какой-либо из критериев принимает экстремальное значение, а остальные не выходят из области допустимых значений.

3.7.27. Возможности при оптимизации системы по тому или иному критерию с введением нелинейностей в закон регулирования [8, с. 451]:

1. **Значительно расширяются.**

2. Не изменяются.

3. Расширяются незначительно.

4. Резко снижаются.

Возможности при оптимизации системы по тому или иному критерию с введением нелинейностей в закон регулирования **значительно расширяются.**

3.7.28. САУ, в составе которой имеется дополнительное автоматическое устройство, изменяющее алгоритм управления основного автоматического управляющего устройства таким образом, чтобы система в целом осуществляла заданный алгоритм функционирования, называется [1, с. 126]:

1. Автоматическая система поиска.

2. САУ с пробными воздействиями.

**3. Самоприспосабливающаяся (адаптивная) САУ.**

САУ, в составе которой имеется дополнительное автоматическое устройство, изменяющее алгоритм управления основного автоматического управляющего устройства таким образом, чтобы система в целом осуществляла заданный алгоритм функционирования, называется **самоприспосабливающейся или адаптивной.**

3.7.29. Самоприспосабливающиеся системы разделяются на самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, самообучающиеся в зависимости от [1, с. 126]:

1. Алгоритма адаптации.
2. Наличия гибкой обратной связи.
3. Способа формирования управляющего воздействия.
4. Характера воздействия на регулирующий орган.

Системы разделяются на самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, самообучающиеся в зависимости от **алгоритма адаптации**.

3.7.30. В системах экстремального управления (СЭУ) адаптация к изменяющимся условиям работы осуществляется путем изменения [1, с. 126]:

1. **Параметров.**
2. Параметров, структуры и алгоритма управления.
3. Алгоритма управления.
4. Параметров и структуры.

Системой экстремального управления называется САУ, в которой адаптация к изменяющимся условиям работы осуществляется путем изменения **параметров**.

3.7.31. Адаптивные САУ относятся к системам [1, с. 126]:

1. С полной начальной информацией об объекте управления.
2. **С неполной начальной информацией об объекте управления.**
3. С априорной информацией об объекте управления.

Самоприспосабливающаяся (адаптивная) – САУ, в составе которой имеется дополнительное автоматическое устройство, изменяющее алгоритм управления основного автоматического управляющего устройства таким образом, чтобы система в целом осуществляла заданный алгоритм функционирования. В зависимости от алгоритма адаптации эти системы разделяются на самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, самообучающиеся.

3.7.32. В системах экстремального управления для принудительного поиска экстремума используется [1, с. 127]:

1. **Автономный источник колебаний.**
2. Колебания, генерируемые самой системой.

Системы экстремального управления по способу поиска экстремума подразделяются на системы с автоколебательным и принудительным поиском. В первом случае поисковые колебания генерируются самой системой, во втором используется **автономный источник колебаний**.

3.7.33. Система, в которой экстремум достигается за счет изменения одной независимой переменной, называется [1, с. 127]:

1. **Одномерная.**
2. Многомерная.

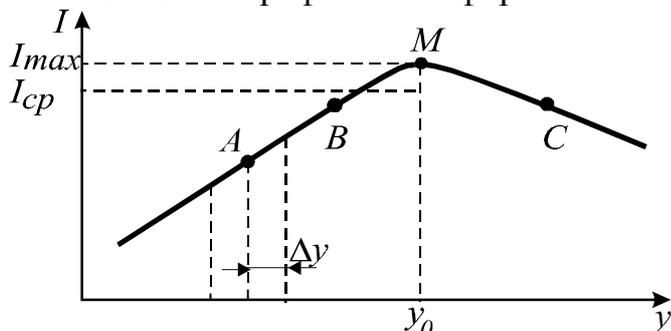
В **одномерных** системах экстремум достигается за счет изменения одной независимой переменной.

3.7.34. Для уменьшения амплитуды колебаний у поиск экстремума нужно вести [1, с. 128]:

1. Непрерывно.
2. **Периодически.**
3. В начале процесса непрерывно, а в конце – периодически.

Поиск экстремума необходимо вести **периодически**, так как это уменьшает величину колебаний  $y$ .

3.7.35. В графической форме показан поиск экстремума способом [1, с. 127]:



1. Наложения гармонических колебаний.
2. Запоминания экстремума.
3. Производной.
4. **Последовательных шагов.**

**Способ последовательных шагов** поиска экстремума системы экстремального управления заключается в организации принудительного изменения величины  $y$  на некоторое значение  $\Delta y$  относительно начальной точки  $A$ . Новые значения  $I$  ( $I=f(y)$ ) сравнивают с тем, которое было, и если эта разность положительна, то  $y$  получает новое приращение  $\Delta y$  того же знака. Если новое значение  $I$  окажется меньше старого, то знак  $\Delta y$  меняют на противоположный и опыт повторяют. В результате система выходит на экстремум  $I$  и колеблется вокруг него в пределах, зависящих от величины  $\Delta y$ .

3.7.36. Какой из способов поиска экстремума заключается в следующем (рис. п. 3.7.35)? Организуется принудительное изменение величины  $y$  на некоторое значение  $\Delta y$  относительно начальной точки  $A$ . Новые значения  $I$  сравнивают с тем, которое было, и если эта разность положительна, то  $y$  получает новое приращение  $\Delta y$  того же знака. Если новое значение  $I$  окажется меньше старого, то знак  $\Delta y$  меняют на обратный и опыт повторяют. В результате система выходит на экстремум  $I$  и колеблется вокруг него в пределах, зависящих от величины  $\Delta y$  [1, с. 127]:

1. Производной.
2. Наложения гармонических колебаний.
3. **Последовательных шагов.**
4. Запоминания экстремума.

**Способ последовательных шагов** поиска экстремума системы экстремального управления заключается в организации принудительного изменения величины  $y$  на некоторое значение  $\Delta y$  относительно начальной точки  $A$ . Новые значения  $I$  ( $I=f(y)$ ) сравнивают с тем, которое было, и если эта разность положительна, то  $y$  получает новое приращение  $\Delta y$  того же знака. Если новое значение  $I$  окажется меньше старого, то знак  $\Delta y$  меняют на противоположный и опыт повторяют. В результате система выходит на экстремум  $I$  и колеблется вокруг него в пределах, зависящих от величины  $\Delta y$ .

3.7.37. Какой способ поиска экстремума характеризуется тем, что система все время работает на увеличение (уменьшение)  $I$ , и, как только это условие будет выполнено, соответствующий максимум (минимум)  $I$  запоминается, и далее система реагирует на отклонение  $I$  от этого нового значения [1, с. 128]?

1. Последовательных шагов.
2. **Запоминания экстремума.**
3. Производной.
4. Наложения гармонических колебаний.

В системах экстремального управления способ **запоминания экстремума** характеризуется тем, что при поиске экстремума система все время работает на увеличение (уменьшение)  $I$ , и, как только это условие будет выполнено, соответствующий максимум (минимум)  $I$  запоминается, и далее система реагирует на отклонение  $I$  от этого нового значения.

3.7.38. Какой из способов поиска экстремума основан на использовании знака производной  $dl/dt$  при принудительном (пробном) изменении  $y$ ? Если находят максимум  $I$ , то изменение знака с плюса на минус должно иметь следствием изменение знака  $\Delta y$  [1, с. 128]:

1. Наложения гармонических колебаний.
2. **Производной.**
3. Запоминания экстремума.
4. Последовательных шагов.

Способ **производной** поиска экстремума в системах экстремального управления основан на использовании знака производной  $dl/dt$  при принудительном (пробном) изменении  $y$ . Если находят максимум  $I$ , то изменение знака с плюса на минус должно иметь следствием изменение знака  $\Delta y$ .

3.7.39. Какой из способов поиска экстремума заключается в наложении на медленно меняющуюся входную величину гармонических колебаний, в результате чего фаза выходных колебаний при прохождении точки экстремума будет меняться на  $180^\circ$ ? Выделяя эти колебания полосовым фильтром и используя фазовый дискриминатор, можно держать систему вблизи экстремума [1, с. 128]:

1. Последовательных шагов.
2. Запоминания экстремума.
3. **Наложения гармонических колебаний.**
4. Производной.

Способ **наложения гармонических колебаний** поиска экстремума в системах экстремального управления заключается в наложении на медленно меняющуюся входную величину гармонических колебаний, в результате чего фаза выходных колебаний при прохождении точки экстремума будет меняться на  $180^\circ$ . Выделяя эти колебания полосовым фильтром и используя фазовый дискриминатор, можно держать систему вблизи экстремума.

3.7.40. Четыре задачи:

- получение информации о динамических характеристиках объекта управления и возмущающих воздействиях;
- формирование показателя качества системы  $I$ ;

- сравнение  $I$  с требуемым значением  $I_0$  и выработка управляющего воздействия;

- изменение параметров управляющего устройства для обеспечения  $I_0$  решаются в процессе работы адаптивной системы [1, с. 129]:

1. Самообучающейся.
2. Самоорганизующейся.
- 3. Самонастраивающейся.**
4. Самоприспосабливающейся.

В процессе работы **самонастраивающейся** САУ решаются следующие задачи:

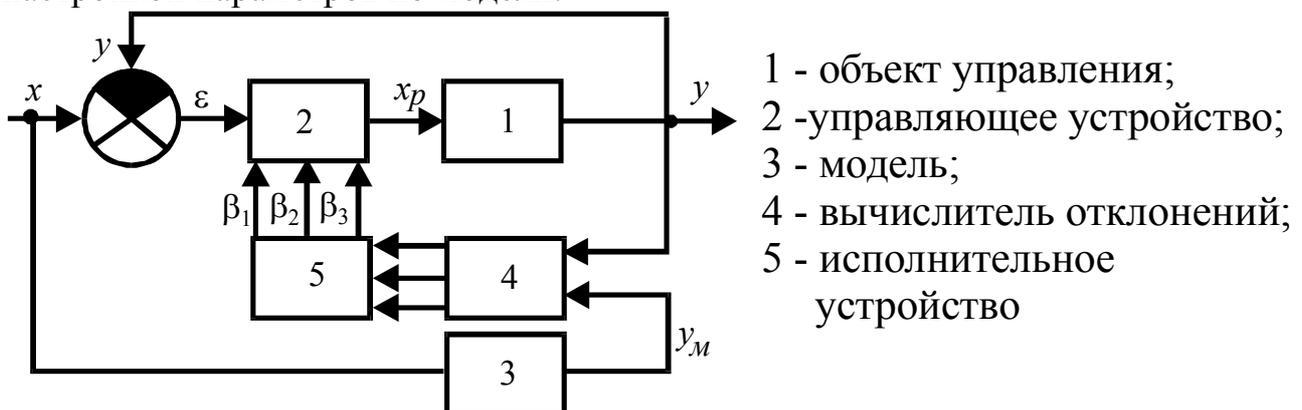
- получение информации о динамических характеристиках объекта управления и возмущающих воздействиях;

- формирование показателя качества системы  $I$ ;

- сравнение показателя  $I$  с требуемым значением  $I_0$  и выработка управляющего воздействия;

- изменение параметров управляющего устройства для обеспечения  $I_0$ .

3.7.41. На рисунке представлена схема самонастраивающейся САУ с настройкой параметров по модели.



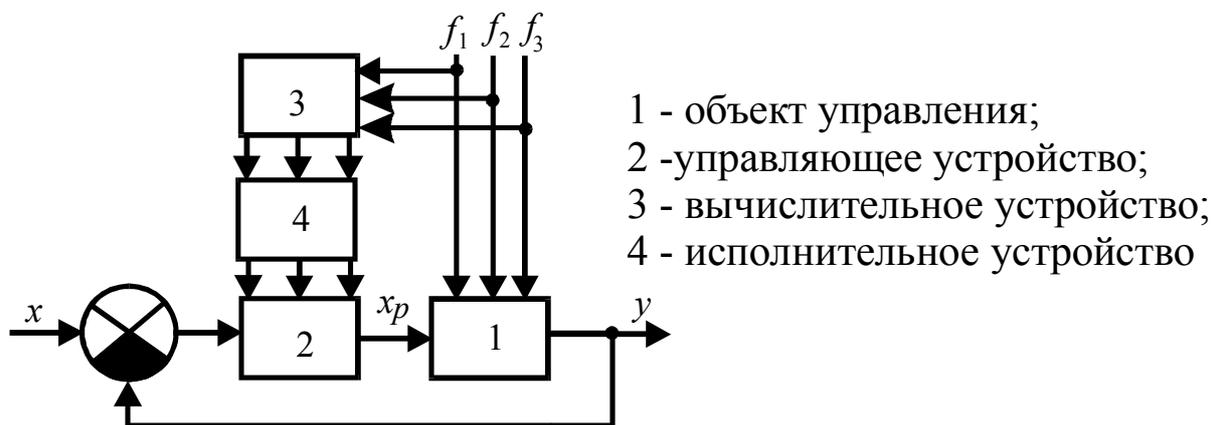
Естественно желание корректировать систему так, чтобы показатель качества соответствовал экстремальному значению. Данная система этому требованию [1, с. 130]:

1. Удовлетворяет.

- 2. Не удовлетворяет, так как нет информации о текущем значении показателя качества  $I$ .**

Система не обеспечивает показатель качества соответствующего экстремальному значению, так как для этого требуется информация о текущем значении показателя качества.

3.7.42. На рисунке представлена схема самонастраивающейся САУ с экстремальной настройкой параметров [1, с. 130]:



- |                                     |                |
|-------------------------------------|----------------|
| 1. С разомкнутыми цепями настройки. | 2. По модели.  |
| 3. С замкнутыми цепями настройки.   | 4. По эталону. |

Корректирующие цепи самонастраивающихся САУ с экстремальной настройкой могут быть разомкнутыми и замкнутыми. **Разомкнутые системы** аналогичны системам регулирования по возмущению. Замкнутые САУ получают информацию не только о возмущающих, но и об управляющих воздействиях и выходных координатах объекта.

### 3.8. Исследование САУ при случайных воздействиях

3.8.1. Процесс (или явление), который при многократном повторении протекает каждый раз несколько иначе, называется [6, с. 288; 16, с. 82]:

- |                    |               |
|--------------------|---------------|
| 1. Динамический.   | 2. Случайный. |
| 3. Установившийся. | 4. Переходный |

**Случайными** называются такие явления или процессы, которые при многократном повторении протекают каждый раз несколько иначе.

3.8.2. Величина, которая в ходе какого-либо процесса может принять одно из многих значений, заранее неизвестное, называется [6, с. 268; 16, с. 76]:

- |                 |               |              |                 |
|-----------------|---------------|--------------|-----------------|
| 1. Управляемая. | 2. Случайная. | 3. Выходная. | 4. Управляющая. |
|-----------------|---------------|--------------|-----------------|

Величина, которая в ходе какого-либо процесса может принять одно из многих значений, заранее неизвестное, называется **случайной** величиной

3.8.3. Случайная величина, которая может принимать отдельные изолированные значения, заранее известные, называется [6, с. 289]:

- |                 |                            |
|-----------------|----------------------------|
| 1. Непрерывная. | 2. Дискретная (прерывная). |
| 3. Независимая. | 4. Зависимая.              |

Случайная величина, которая может принимать отдельные изолированные значения, заранее известные, называется **прерывной (дискретной)** величиной.

3.8.4. Случайная величина, которая может принимать любые значения в определенных пределах, называется [6, с. 289]:

1. Дискретная.
2. **Непрерывная.**
3. Прерывная.
4. Импульсная.

Случайная величина, которая может принимать любые значения в определенных пределах, называется **непрерывной величиной**.

3.8.5. Случайное событие – это явление, которое [6, с. 289]:

1. Должно произойти.
2. Не должно произойти.

**3. Может произойти или не произойти.**

Случайным событием (или просто событием) называется всякое явление, которое **может произойти или не произойти** при осуществлении определенной совокупности условий. Данная совокупность условий может быть воспроизведена неограниченное число раз.

3.8.6. Количественной оценкой возможности появления того или иного события является [6, с. 289]:

1. Математическое ожидание.
2. Среднее арифметическое.
3. Дисперсия.
4. **Вероятность.**

**Вероятность** – количественная мера возможности появления некоторого события при определенных условиях

3.8.7. Отношение количества благоприятных случаев к общему количеству случаев называется [6, с. 289]:

1. Среднее арифметическое.
2. **Вероятность случайного события.**
3. Математическое ожидание.
4. Спектральная плотность.

**Вероятность случайного события** – отношение количества тех наблюдений, при которых рассматриваемое событие наступило, к общему количеству наблюдений.

3.8.8. Вероятность случайного события [6, с. 290]:

1. Равна единице ( $P=1$ ).
2. Равна нулю ( $P=0$ ).

**3. Находится в пределах  $1>P>0$ .**

Вероятность появления случайного события оценивают относительной частотой его появления в конечном числе опытов, проводимых в идентичных контролируемых условиях. Вероятность случайного события находится в пределах  $1>P>0$ . Вероятность достоверного события, которое обязательно произойдет, равна единице ( $P=1$ ). Вероятность невозможного события равна нулю ( $P=0$ ).

3.8.9. Случайные события, если появление события  $A$  не изменяет вероятности появления события  $B$ , называются [6, с. 290]:

1. **Независимые.**
2. Зависимые.
3. Несовместные.
4. Совместные.

В теории вероятностей два случайных события называются **независимыми**, если наступление одного из них не изменяет вероятность наступления другого. Независимыми называются случайные события, если появление события  $A$  не изменяет вероятности появления события  $B$ .

3.8.10. Случайные события, которые могут произойти (но не обязательно происходят) одновременно, называются [6, с. 290]:

1. Несовместные.
2. Совместные.
3. Зависимые.
4. Независимые.

**Совместными** называются случайные события, которые могут произойти (но необязательно происходят) одновременно.

3.8.11. Зависимость между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями называется [6, с. 291]:

1. Случайная функция времени.
2. **Закон распределения случайной величины.**
3. Детерминированная функция времени.
4. Статистическая вероятность события.

**Закон распределения случайной величины** – зависимость между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

3.8.12. Вероятность случайного события, заключающегося в том, что случайная величина  $X$  будет меньше некоторого возможного значения  $x$ , то есть вероятностью выполнения неравенства ( $X < x$ ) будет функция распределения  $F(x) = P(X < x)$ , которая называется [6, с. 291; 16, с. 76]:

1. **Интегральный закон распределения.**
2. Дифференциальный закон распределения.
3. Плотность распределения непрерывной случайной величины.

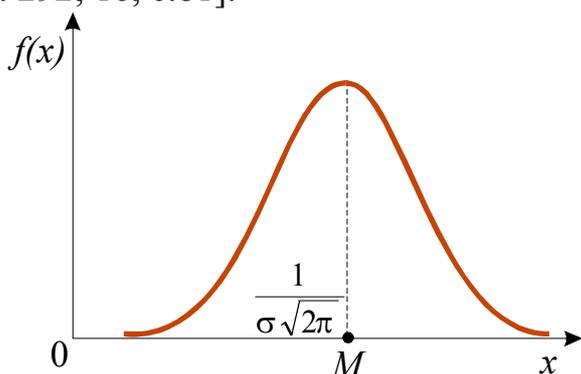
Вероятность того, что случайная величина примет значение меньше некоторого значения  $x$ , называется **интегральным законом распределения** (функцией распределения). Математическая формулировка этого закона имеет вид:  $F(x) = P(X < x)$ ;  $F(\infty) = 1$ .

3.8.13. Если функция распределения  $F(x)$  непрерывной случайной величины  $X$  непрерывна и дифференцируема, то производная от функции распределения  $f(x) = F'(x)$  называется [6, с. 291]:

1. **Плотность распределения непрерывной случайной величины.**
2. Интегральный закон распределения.
3. Условная вероятность случайного события.

Вероятность попадания случайной величины в заданный интервал определяется скоростью изменения функции распределения вероятностей на этом интервале. Скорость изменения непрерывной функции равна ее производной. Это позволяет ввести новую функцию для задания случайной величины. **Плотность распределения непрерывной случайной величины** – производная от функции распределения  $f(x) = F'(x)$ , если функция распределения  $F(x)$  непрерывной случайной величины  $X$  непрерывна и дифференцируема.

3.8.14. На рисунке изображена кривая закона распределения [6, с. 292; 16, с.81]:



1. Биномиального.
2. Пуассона.
3. Экспоненциального.
4. **Нормального (закон Гаусса).**

**Нормальное** распределение, также называемое распределением Гаусса, – распределение вероятностей, которое в одномерном случае задается функцией

плотности распределения:  $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$ . Кривая распределения по

нормальному закону имеет симметричный холмообразный вид. Максимальная ордината кривой, равная  $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ , соответствует точке  $x=M$ ; по мере удаления от точки  $M$  плотность распределения падает, и при  $x \rightarrow \infty$  кривая асимптотически приближается к оси абсцисс.

3.8.15. Сумма произведений всех возможных значений случайной величины

на вероятности этих значений  $M(X) = \sum_{i=1}^n x_i P_i$  называется

[1, с. 47; 6, с.292; 16. с. 77]:

1. **Математическое ожидание дискретной случайной величины.**
2. Среднеквадратичное отклонение случайной величины.
3. Дисперсия случайной величины.
4. Коэффициент корреляции.

**Математическим ожиданием дискретной случайной величины** называют сумму произведений всех ее возможных значений и вероятности их появления

3.8.16. Для непрерывной случайной величины математическое ожидание будет [1, с. 47; 6, с.292; 16. с. 77]:

$$1. M(X) = \sum_{i=1}^n x_i P_i .$$

$$2. M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx.$$

$$3. M(X) = \sum_{i=1}^n x_i / n .$$

$$4. \overset{0}{X} = X - M(X)$$

Математическое ожидание непрерывной случайной величины  $X$ , возможные значения которой принадлежат всей оси  $Ox$ , определяется равенством:

$$M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx.$$

3.8.17. Отклонение случайной величины  $X$  от ее математического ожидания  $\overset{0}{X} = X - M(X)$  называется [6, с.293]:

1. **Центрированная случайная величина  $\overset{0}{X}$ , соответствующая случайной величине  $X$ .**
2. Первый начальный момент.
3. Первый центральный момент.
4. Второй центральный момент.

**Центрированной случайной величиной  $\overset{0}{X}$ , соответствующей случайной величине  $X$ , называется отклонение случайной величины  $X$  от ее математического ожидания.**

3.8.18. Математическое ожидание центрированной случайной величины (первый центральный момент) равно [1, с.47; 6, с.293]:

1.  $M(\overset{0}{X}) < 0$ .
2.  $M(\overset{0}{X}) > 0$ .
3.  $M(\overset{0}{X}) = 0$ .
4.  $\overset{0}{X} = X - M(X)$

Центрированная случайная величина  $\overset{0}{X}$ , соответствующая случайной величине  $X$  отклонения случайной величины  $X$  от ее математического ожидания

$$\overset{0}{X} = X - M(X).$$

Математическое ожидание центрированной случайной величины равно нулю  $M(\overset{0}{X}) = 0$ .

3.8.19. Математическое ожидание квадрата соответствующей центрированной случайной величины называется [6, с.293]:

1. Среднеквадратичное отклонение.
2. Функция распределения.
3. Первый центральный момент.
4. **Дисперсия.**

**Дисперсией** (рассеянием) случайной величины называется математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания.

3.8.20. Дисперсия случайной величины определяется выражением [1, с. 47; 6, с. 293; 16, с. 80]:

$$1. \overset{0}{X} = X - M(X). \quad 2. M(\overset{0}{X}) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)] P_i.$$

$$3. D(X) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 P_i. \quad 4. M(X) = \sum_{i=1}^n x_i P_i.$$

Дисперсией дискретной случайной величины  $D(X)$  называется средний квадрат отклонения случайной величины от ее среднего значения. Дисперсия совпадает с центральным моментом второго порядка, определяется выражением

$$D(X) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 P_i.$$

3.8.21. Для характеристики случайной величины широко пользуются понятием среднеквадратичного отклонения случайной величины  $X$ , которое равно [1, с.47; 6, с.293; 11, с.79]:

$$1. D(X) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 P_i. \quad 2. \overset{0}{X} = X - M(X).$$

$$3. M(X) = \sum_{i=1}^n x_i P_i. \quad 4. \sigma(X) = \sqrt{D(X)}.$$

Среднеквадратичное отклонение  $\sigma_x(t)$  – характеристика случайного процесса  $X(t)$ , определяется выражением  $\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$ , где  $D_x(t)$  – дисперсия случайного процесса.

3.8.22. Связь между случайными величинами и их рассеивание характеризует момент [1, с.47; 6, с.294; 16, с.84]:

1. Корреляционный.
2. Первый начальный.
3. Первый центральный.
4. Второй центральный.

**Корреляционный момент** – второй смешанный центральный момент. Для независимых случайных величин корреляционный момент равен нулю. Корреляционный момент характеризует не только связь между случайными величинами, но и их рассеивание. Если отклонение одной величины от математического ожидания будет мало, то корреляционный момент будет мал, как бы тесно ни были связаны величины  $X$  и  $Y$ .

3.8.23. Для независимых случайных величин корреляционный момент равен [6, с.294]:

1.  $K(X, Y) < 0$ .
2.  $K(X, Y) = 0$ .
3.  $K(X, Y) > 0$ .

Корреляционный момент – второй смешанный центральный момент. Для независимых случайных величин корреляционный момент **равен нулю**. Корреляционный момент характеризует не только связь между случайными величинами, но и их рассеивание. Если отклонение одной величины от

математического ожидания будет мало, то корреляционный момент будет мал, как бы тесно ни были связаны величины  $X$  и  $Y$ .

3.8.24. Для характеристики связи между случайными величинами  $X$  и  $Y$  независимо от их рассеивания применяется [1, с.48; 6, с.294; 16, с.84]:

1. Математическое ожидание.
2. Дисперсия.
3. Коэффициент корреляции.
4. Среднее арифметическое.

**Коэффициент корреляции** применяется для характеристики связи между случайными величинами  $X$  и  $Y$  независимо от рассеивания, определяется из выражения  $r(X, Y) = \frac{K(X, Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)}$ .

3.8.25. Коэффициент корреляции двух случайных величин  $X$  и  $Y$  определяется из выражения [6, с.294]:

1.  $\sigma(X) = \sqrt{D(X)}$ .
2.  $M(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx$ .
3.  $D(X) = \sum_{i=1}^n [x_i - M(X)]^2 P_i$ .
4.  $r(X, Y) = \frac{K(X, Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)}$ .

Коэффициент корреляции применяется для характеристики связи между случайными величинами  $X$  и  $Y$  независимо от рассеивания; определяется из выражения

$$r(X, Y) = \frac{K(X, Y)}{\sigma(X)\sigma(Y)},$$

где  $\sigma(X)$  и  $\sigma(Y)$  – среднеквадратичные отклонения случайных величин  $X$  и  $Y$ . Коэффициент корреляции характеризует степень тесноты связи только линейной зависимости. Коэффициент корреляции для независимых случайных величин равен нулю.

3.8.26. Совокупность значений случайной величины  $X$ , зависящих от времени  $t$ , называется [6, с.295; 16, с.76]:

1. Детерминированная функция времени.
2. Гамма-функция.
3. Факториальная функция.
4. Случайная функция времени (случайный процесс).

**Случайная функция времени (случайный процесс)** – последовательность случайных величин.

3.8.27. Случайная величина, которая получается в фиксированный момент времени случайного процесса, называется [6, с.296]:

1. Сечение случайного процесса.
2. Вероятность случайного события.
3. Статистическая вероятность события.
4. Относительная частота.

Случайная величина  $X_1 = X(t_1)$  представляет собой **сечение случайного процесса** для момента времени  $t=t_1$  случайного процесса  $X(t)$ .

3.8.28. Неслучайная функция времени  $M_x(t)$ , значение которой в любой момент времени равно математическому ожиданию сечения случайного процесса для этого момента времени, называется [6, с.296; 16, с.86]:

1. Дисперсия случайного процесса.
2. Среднеквадратичное отклонение случайного процесса.
3. Корреляционная функция случайного процесса.
- 4. Математическое ожидание случайного процесса.**

Математическое ожидание (среднее значение) случайного процесса – неслучайная (детерминированная) функция времени, значение которой в любой момент времени равно математическому ожиданию сечения случайного процесса для этого момента времени.

3.8.29. Неслучайная функция времени  $D_x(t)$ , значение которой в любой момент времени равно дисперсии сечения случайного процесса для этого момента времени, называется [6, с.296; 16, с.86]:

1. Математическое ожидание случайного процесса.
- 2. Дисперсия случайного процесса.**
3. Корреляционная функция случайного процесса.
4. Среднеквадратичное отклонение случайного процесса.

Среднеквадратичное отклонение  $\sigma_x(t)$  – характеристика случайного процесса  $X(t)$ , определяемого выражением  $\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$ , где  $D_x(t)$  – **дисперсия случайного процесса**.

3.8.30. По формуле  $\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$  определяется характеристика случайного процесса [1, с.47; 6, с.296]:

1. Дисперсия.
2. Математическое ожидание.
- 3. Среднеквадратичное отклонение.**
4. Корреляционная функция.

**Среднеквадратичное отклонение**  $\sigma_x(t)$  – характеристика случайного процесса  $X(t)$ , определяемого выражением  $\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}$ , где  $D_x(t)$  – дисперсия случайного процесса.

3.8.31. Неслучайная функция  $R_x(t, \tau)$  двух моментов времени, которая для каждой пары моментов времени  $t$  и  $t+\tau$  равна корреляционному моменту соответствующих сечений случайного процесса, называется [1, с.48; 6, с.297; 16, с.87]:

- 1. Корреляционная функция случайного процесса**
2. Коэффициент корреляции.
3. Дисперсия случайного процесса.
4. Среднеквадратичное отклонение случайного процесса.

Неслучайная функция двух переменных  $t_1$  и  $t_2$ , значение которой для любой пары  $t_1$  и  $t_2$  равно корреляционному моменту для сечений случайного процесса  $X(t_1)$  и  $X(t_2)$ , называется **корреляционной функцией случайного процесса**.

3.8.32. Случайный процесс, статистические характеристики которого не меняются при изменении момента времени начала отсчета процесса, называется [6, с.297; 16, с.85]:

1. **Стационарный.**
2. **Нестационарный.**
3. **Зависимый.**
4. **Совместный.**

**Стационарным** случайным процессом называется процесс, статистические характеристики которого не меняются при изменении момента времени начала отсчета процесса.

3.8.33. Для стационарного случайного процесса математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение являются [6, с.297; 16, с.85]:

1. **Переменными величинами.**
2. **Постоянными величинами.**

3. Математическое ожидание – переменной величиной, а дисперсия и среднеквадратичное отклонение – постоянными величинами.

Для стационарного случайного процесса математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение являются **постоянными величинами**, а корреляционная функция зависит только от интервала времени  $\tau$  и не зависит от положения начальной точки  $t$  этого интервала на оси времени.

3.8.34. Корреляционная функция  $R_x(\tau)$  стационарного случайного процесса [6, с.297; 16, с.86]:

1. Не зависит от интервала времени  $\tau$  и от положения начальной точки  $t$  этого интервала на оси времени.

2. Не зависит от интервала времени  $\tau$  и зависит от положения начальной точки  $t$  этого интервала на оси времени.

**3. Зависит только от интервала времени  $\tau$  и не зависит от положения начальной точки  $t$  этого интервала на оси времени.**

Для стационарного случайного процесса математическое ожидание, дисперсия и среднеквадратичное отклонение являются постоянными величинами, а корреляционная функция **зависит только от интервала времени  $\tau$  и не зависит от положения начальной точки  $t$  этого интервала на оси времени.**

3.8.35. Стационарный случайный процесс, у которого статистические характеристики, полученные при обработке одной реализации достаточно большой продолжительности, идентичны статистическим характеристикам, полученным при обработке множества реализаций той же общей продолжительности, называется [1, с.48; 6, с.298; 16, с.86]:

1. **Зависимый.**
2. **Эргодический.**
3. **Совместный.**
4. **Независимый.**

Случайный процесс, у которого статистические характеристики, полученные при обработке одной реализации достаточно большой продолжительности, идентичны статистическим характеристикам, полученным при обработке множества реализаций той же общей продолжительности, называется **эргодическим**.

3.8.36. Корреляционная функция стационарного случайного процесса  $R_x(\tau)=R_x(-\tau)$  [1, с.48; 6, с.298; 16, с.87]:

1. Нечетная, симметричная относительно оси ординат.
2. Нечетная, несимметричная относительно оси ординат.
- 3. Четная, симметричная относительно оси ординат.**
4. Четная, несимметричная относительно оси ординат.

Корреляционная функция стационарного случайного процесса  $R_x(\tau)=R_x(\tau)$  является **четной, симметричной относительно оси ординат**.

3.8.37. Если корреляционная функция с возрастанием промежутка времени  $\tau$  стремится к нулю, то соответствующий ей стационарный случайный процесс эргодическим свойством [1, с.48; 6, с.298]:

1. Не обладает.
- 2. Обладает.**

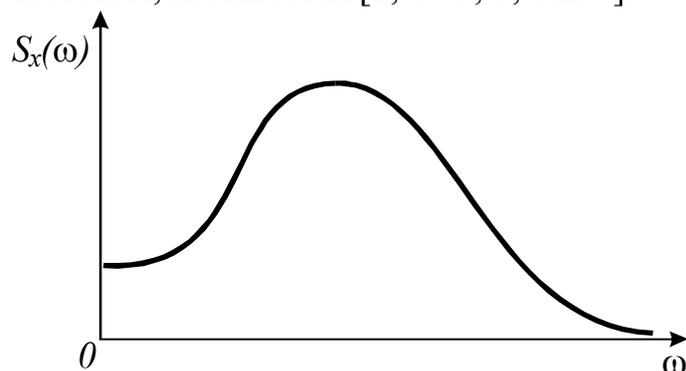
Если корреляционная функция с возрастанием промежутка времени  $\tau$  стремится к нулю, то соответствующий ей стационарный случайный процесс **обладает** эргодическим свойством.

3.8.38. Связь между двумя случайными процессами выражается [1, с.48; 6, с.299]:

- 1. Взаимной корреляционной функцией.**
2. Функцией распределения.
3. Математическим ожиданием.
4. Дисперсией.

**Взаимная корреляционная функция** служит для выражения связи между двумя случайными процессами. Для эргодических стационарных случайных процессов, стационарно между собой связанных, взаимная корреляционная функция выражается смешанным центральным моментом второго порядка.

3.8.39. Кривая  $S_x(\omega)$ , изображающая плотность распределения дисперсий по частотам, называется [1, с.49; 6, с.299]:



1. Кривая корреляционных функций.
2. Реализация стационарного случайного процесса.
3. Кривая нормального закона распределения.
- 4. Спектральная плотность стационарного случайного процесса.**

Кривая  $S_x(\omega)$ , изображающая плотность распределения дисперсий по частотам, называется **спектральной плотностью стационарного случайного процесса**. Площадь, ограниченная кривой  $S_x(\omega)$ , равна дисперсии стационарного случайного процесса.

### 3.8.40. Зависимостями

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \quad R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} dt$$

связаны [1, с.49; 6, с.300]:

#### 1. Спектральная плотность и корреляционная функция стационарного случайного процесса.

2. Математическое ожидание и дисперсия.
3. Дисперсия и среднеквадратичное отклонение.
4. Коэффициент корреляции и математическое ожидание.

Спектральная плотность  $S_x(\omega)$  и корреляционная функция стационарного  $R_x(\tau)$  случайного процесса  $X(t)$  связаны зависимостями

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau,$$

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(\omega) e^{j\omega\tau} dt.$$

3.8.41. Если на вход линейной системы с постоянными параметрами (стационарная линейная система) поступает сигнал  $X(t)$  типа стационарной случайной функции, то выходной сигнал  $Y(t)$  будет также представлять собой стационарную случайную функцию, при этом характеристики сигналов  $X(t)$  и  $Y(t)$  будут [6, с.302]:

1. Одинаковые.
2. Различные.

При подаче на вход стационарной линейной САУ сигнала  $X(t)$  типа стационарной случайной функции выходной сигнал  $Y(t)$  будет также представлять собой стационарную случайную функцию, но с характеристиками, **отличными** от характеристик входного сигнала.

3.8.42. Возмущения, действующие на систему (стационарная линейная САУ), являются, в общем случае, случайными функциями времени. Вследствие этого задача исследования точности работы САУ состоит в определении вероятностных характеристик выходных величин системы по вероятностным характеристикам входных случайных сигналов и заданным характеристикам системы. Достаточно ли значений математического ожидания и корреляционной функции выходной координаты для оценки точности работы САУ [11, с.338; 16, с.88]?

1. Нет.
2. Да.
3. Требуется дополнительная информация.

Стационарная линейная САУ подвергается возмущениям, которые, в общем случае, являются случайными функциями времени. Вследствие этого задача исследования точности работы САУ состоит в определении вероятностных характеристик выходных величин системы по вероятностным характеристикам входных случайных сигналов и заданным характеристикам системы. Для оценки точности работы САУ **достаточно** значений математического ожидания и корреляционной функции выходной координаты.

3.8.43. Для оценки работы линейной САУ при случайных сигналах задача решается в следующей последовательности:

- записывается стационарный случайный процесс, поступающий на вход системы;
- вычисляется корреляционная функция входной случайной величины;
- строится график корреляционной функции и аппроксимируется приближенным аналитическим выражением;
- определяется аналитическое выражение спектральной плотности случайного процесса на входе –  $S_x(\omega)$ ;
- определяется спектральная плотность случайного процесса на выходе  $S_y(\omega)$ ;
- определяется корреляционная функция случайного процесса на выходе  $R_y(\tau)$ ;
- полагая, что  $\tau=0$ , определяется дисперсия случайного процесса на выходе;
- среднеквадратичное отклонение случайного процесса на выходе характеризует ошибку, которую вносят случайные помехи в управление.

По какой зависимости определяется спектральная плотность случайного процесса на выходе ( $n5$ ) [6, с.303]?

$$\begin{array}{ll}
 1. S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2 \cdot S_x(\omega). & 2. R_y(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_y(\omega) e^{j\omega\tau} dt. \\
 3. D_y = R_y(0) = 2 \int_0^{\infty} S_y(\omega) d\omega. & 4. \sigma_y = \sqrt{D_y}.
 \end{array}$$

При преобразовании стационарного случайного процесса линейной системой с постоянными параметрами ее спектральная плотность умножается на квадрат модуля амплитудно-фазовой частотной характеристики системы:

$$S_y(\omega) = |W(j\omega)|^2 \cdot S_x(\omega).$$

### 3.9. Анализ и синтез релейных схем систем автоматики

3.9.1. Техническое устройство, реализующее простую логическую операцию с сигналами, называется [9, с.150]:

1. Логический элемент.
2. Блок.
3. Узел.
4. Звено.

**Логический элемент** – техническое устройство, реализующее простую логическую операцию с сигналами. Логические элементы служат основой построения более сложных логических схем для решения таких логических задач в устройствах и системах автоматики, как сигнализация, блокировка, защита, управление и т.д.

3.9.2. Связь между сигналами, которые могут принимать только два значения, одно из которых обозначается как «1» (единица), а другое – «0» (нуль), называется [9, с.150]:

1. Отрицательная связь.
2. Логическая операция.
3. Жесткая связь.
4. Положительная связь.

Связь между сигналами, которые могут принимать только два значения, одно из которых обозначается как «1» (единица), а другое «0» (нуль), называется **логической операцией**.

3.9.3. Сигнал, принимающий только одно из двух значений («1» – единица, «0» – нуль), называется [9, с.150]:

1. Логическая постоянная.
2. Управляющее воздействие.
3. Логическая переменная.
4. Постоянная времени.

Сигнал, принимающий только одно из двух значений («1» – единица, «0» – нуль), называется **логической переменной**.

3.9.4. Функциональная связь между выходными и входными логическими переменными  $y = \varphi(x_1, x_2, \dots)$  называется [9, с.150]:

1. Функция веса.
2. Передаточная функция.
3. Дополнительная связь.
4. Логическая функция.

**Логическая функция** – функциональная связь между выходными и входными логическими переменными  $y = \varphi(x_1, x_2, \dots)$ .

3.9.5. Относительно сложения  $(x_1 \vee x_2) \vee x_3 = x_1 \vee (x_2 \vee x_3)$  и умножения  $(x_1 \wedge x_2) \wedge x_3 = x_1 \wedge (x_2 \wedge x_3)$  представлен закон математической логики [9, с.153]

1. Переместительный.
2. Сочетательный.
3. Распределительный.
4. Инверсии.

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий.

**Сочетательный** закон математической логики относительно:

сложения  $(x_1 \vee x_2) \vee x_3 = x_1 \vee (x_2 \vee x_3)$ ;

умножения  $(x_1 \wedge x_2) \wedge x_3 = x_1 \wedge (x_2 \wedge x_3)$ .

3.9.6. Относительно сложения  $x_1 \vee x_2 \vee x_3 = x_2 \vee x_3 \vee x_1$  и умножения  $x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 = x_3 \wedge x_2 \wedge x_1$  представлен закон математической логики [9, с.154]

1. **Переместительный.**

2. Сочетательный.

3. Инверсии.

4. Распределительный

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий.

**Переместительный** закон математической логики относительно:

сложения  $x_1 \vee x_2 \vee x_3 = x_2 \vee x_3 \vee x_1$ ;

умножения  $x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 = x_3 \wedge x_2 \wedge x_1$ .

3.9.7. Распределительному закону относительно сложения соответствует [9, с.154]

$$1. (x_1 \vee x_2) \vee x_3 = x_1 \vee (x_2 \vee x_3). \quad 2. x_1 \vee x_2 \vee x_3 = x_2 \vee x_3 \vee x_1.$$

$$3. (x_1 \vee x_2) \wedge x_3 = x_1 \wedge x_3 \vee x_2 \wedge x_3. \quad 4. \overline{x_1 \vee x_2} = \overline{x_1} \wedge \overline{x_2}.$$

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий.

Распределительный закон математической логики относительно сложения:

$$(x_1 \vee x_2) \wedge x_3 = x_1 \wedge x_3 \vee x_2 \wedge x_3.$$

3.9.8. Закону инверсии относительно умножения соответствует [9, с.154]

$$1. (x_1 \wedge x_2) \wedge x_3 = x_1 \wedge (x_2 \wedge x_3). \quad 2. x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 = x_3 \wedge x_2 \wedge x_1.$$

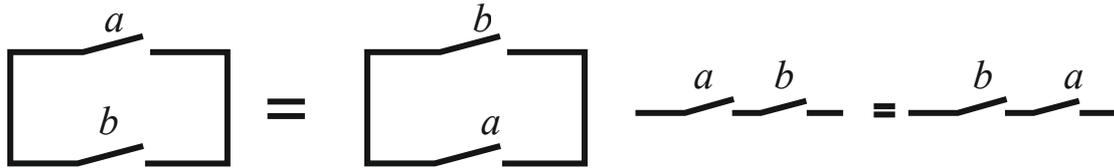
$$3. x_1 \wedge x_2 \vee x_3 = (x_1 \vee x_3) \wedge (x_2 \vee x_3). \quad 4. \overline{x_1 \wedge x_2} = \overline{x_1} \vee \overline{x_2}.$$

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий.

Закон инверсии математической логики относительно сложения:

$$\overline{x_1 \vee x_2} = \overline{x_1} \wedge \overline{x_2}.$$

3.9.9. Схемы соединения контактов:

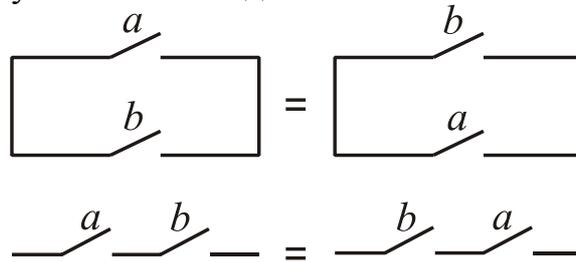


соответствуют закону математической логики [3, с.138]

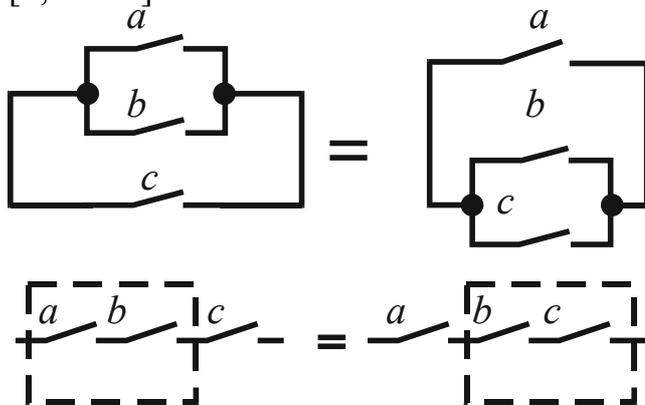
- |                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| 1. Сочетательному.           | 2. Инверсии.           |
| <b>3. Переместительному.</b> | 4. Распределительному. |

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий

Переместительному закону математической логики относительно сложения и умножения соответствуют схемы соединения контактов:

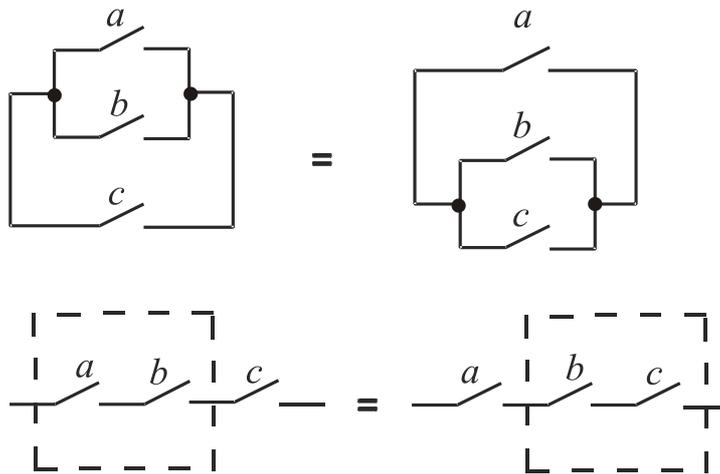


3.9.10. Схемы соединения контактов соответствуют закону математической логики [3, с.138]

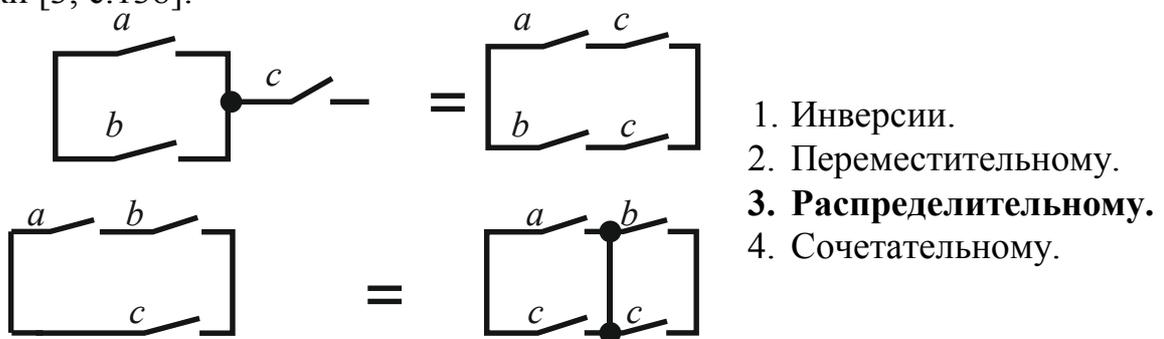


1. Переместительному.
- 2. Сочетательному.**
3. Распределительному.
4. Инверсии.

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий. Сочетательному закону математической логики относительно сложения и умножения соответствуют схемы соединения контактов:



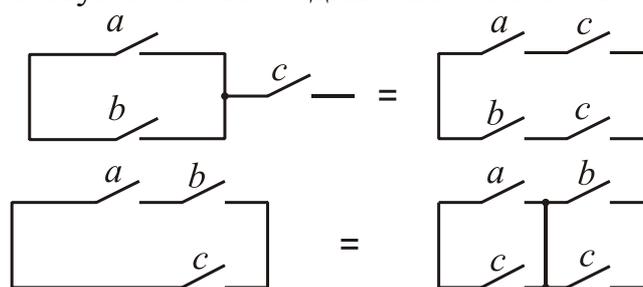
3.9.11. Схемы соединения контактов соответствуют закону математической логики [3, с.138]:



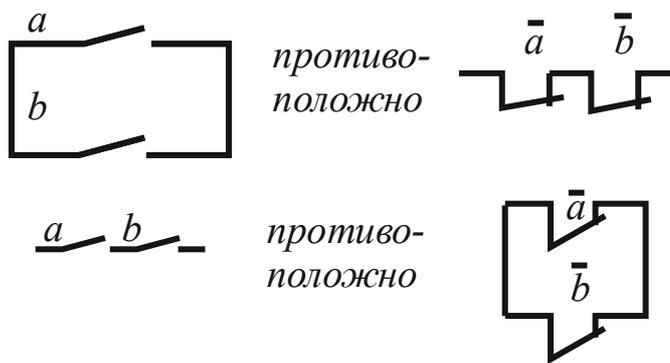
1. Инверсии.
2. Переместительному.
- 3. Распределительному.**
4. Сочетательному.

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий.

Распределительному закону математической логики относительно сложения и умножения соответствуют схемы соединения контактов:



3.9.12. Схемы соединения контактов соответствуют закону математической логики [3, с.138]:



1. Переместительному.
2. Сочетательному.
3. Распределительному.
4. **Инверсии.**

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий.

Закону инверсии математической логики относительно сложения и умножения соответствуют схемы соединения контактов:



3.9.13. Основные законы и их следствия теории релейных схем справедливы для числа членов [3, с.140]:

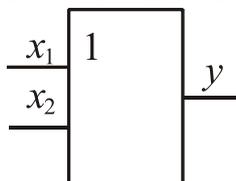
1. Больше 100.
2. Меньше 100.
3. **Для любого числа членов.**

Метод математической логики включает четыре основных закона: сочетательный, переместительный, распределительный, инверсии и ряд их следствий. Законы и их следствия справедливы для **любого числа членов**.

3.9.14. В алгебраической форме логическая функция ИЛИ записывается в следующем виде [9, с.151]:

1.  $y = \overline{x}$ .
2.  $y = x_1 \vee x_2 \vee \dots$
3.  $y = x_1 \wedge x_2 \wedge \dots$
4.  $y = \overline{x_1 \wedge x_2}$ .

Функция ИЛИ (логическое сложение или дизъюнкция) математически записывается как  $y = x_1 \vee x_2$ . Эта функция означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется только тогда, когда имеется сигнал хотя бы на одном из входов  $x_1$  или  $x_2$ . Условное обозначение:



3.9.15. Логическая операция И представлена таблицей истинности [9, с.151]:

$x$	$y$
0	1
1	0

$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

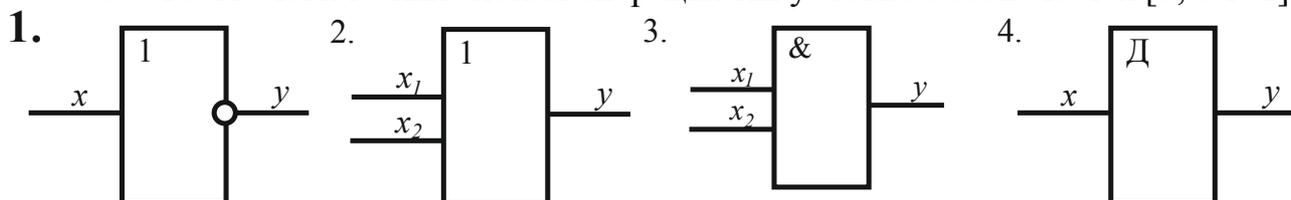
$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Таблица истинности – табличное представление логической схемы (операции), в котором перечислены все возможные сочетания значений истинности входных сигналов (операндов) вместе со значением истинности выходного сигнала (результата операции) для каждого из этих сочетаний.

Схема И реализует конъюнкцию двух или более логических значений:

$x_1$	$x_2$	$y$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3.9.16. На логических схемах операция НЕ условно обозначается [9, с.151]:



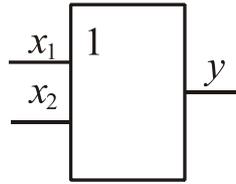
Функция НЕ (логическое отрицание или инверсия) математически записывается как  $y = \bar{x}$ . Она означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента имеется только при отсутствии сигнала на входе  $x$  (и наоборот).

3.9.17. Алгебраической формулой  $y = x_1 \vee x_2$  представлена логическая операция [9, с.151]:

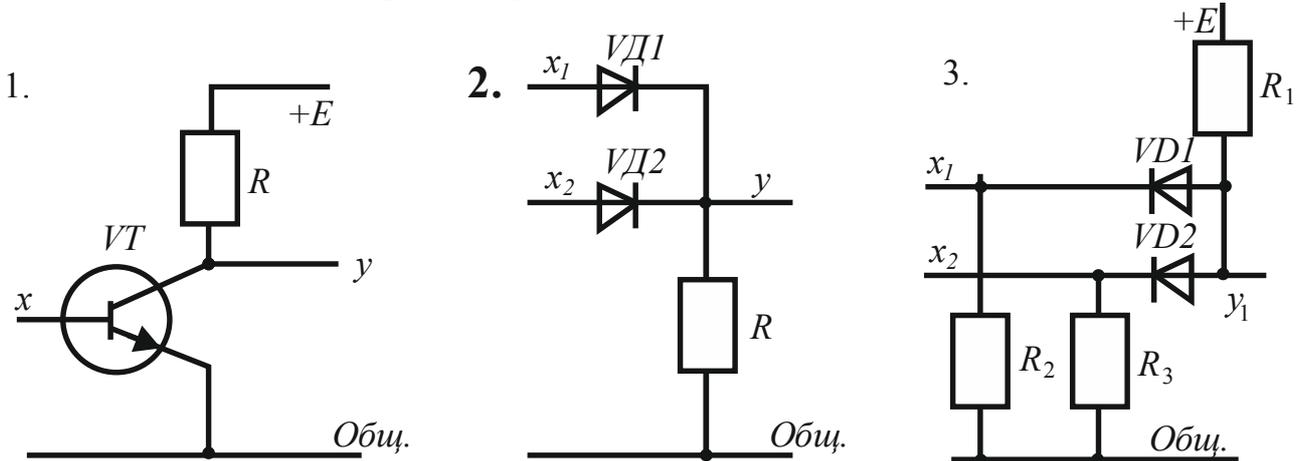
1. Инверсия.      2. Дизъюнкция.      3. Конъюнкция.      4. Повторитель.

Функция ИЛИ (логическое сложение или дизъюнкция) математически записывается как  $y = x_1 \vee x_2$ . Эта функция означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется только тогда, когда имеется сигнал хотя бы на одном из входов  $x_1$  или  $x_2$ .

Условное обозначение:

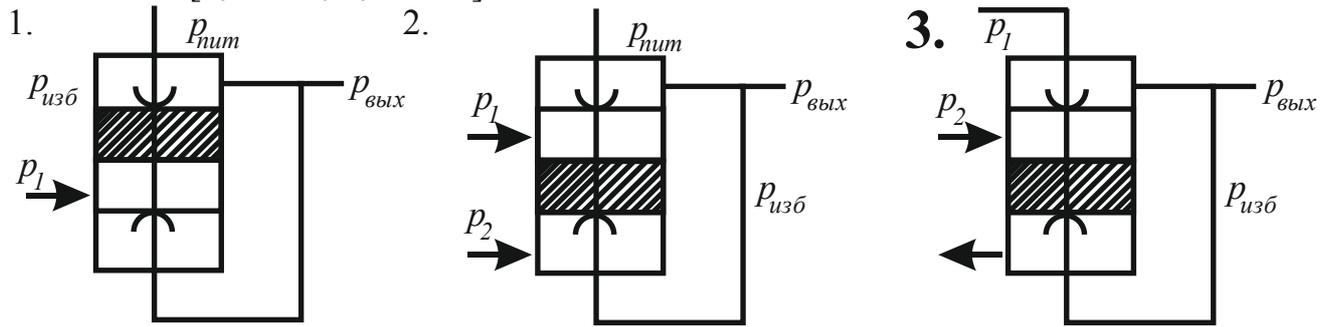


3.9.18. Логическая операция ИЛИ выполняется полупроводниковым логическим элементом [9, с.153]:



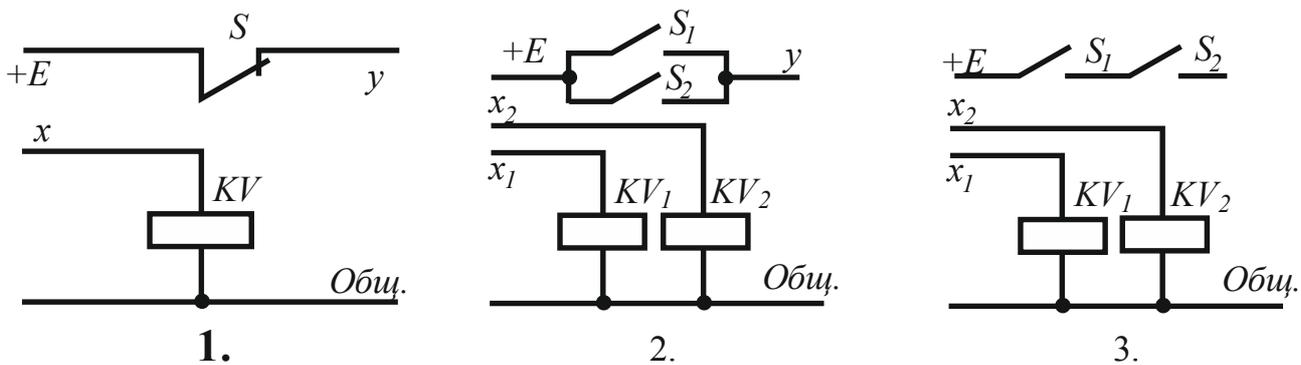
Операция	Логические элементы		
	Электромеханические	Полупроводниковые	Пневматические
НЕ			
ИЛИ			
И			

3.9.19. Логическая операция И выполняется пневматическим логическим элементом [9, с.153; 3, с. 156]:



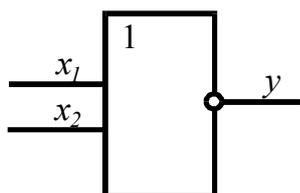
Операция	Логические элементы		
	Электромеханические	Полупроводниковые	Пневматические
НЕ			
ИЛИ			
И			

3.9.20. Логическая операция НЕ выполняется электромеханическим логическим элементом [9, с.153]:



Операция	Логические элементы		
	Электромеханические	Полупроводниковые	Пневматические
НЕ			
ИЛИ			
И			

3.9.21. Логическая операция, которая математически записывается

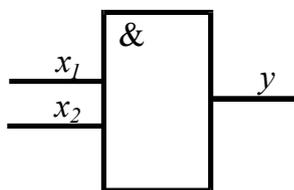


$y = x_1 \vee x_2$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента отсутствует только тогда, когда имеется сигнал хотя бы на одном из входов, называется [2, с.154]:

1. Эквивалентность. 2. Запрет. 3. ИЛИ-НЕ. 4. И-ИЛИ.

Функция **ИЛИ-НЕ** (стрелка Пирса) математически записывается как  $y = x_1 \vee x_2$ . Она означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента отсутствует только тогда, когда имеется сигнал хотя бы на одном из входов.

3.9.22. Логическая операция, которая математически записывается  $y = x_1 x_2$

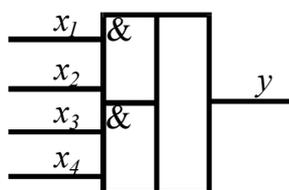


и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента отсутствует только тогда, когда одновременно имеются сигналы на входах  $x_1$  и  $x_2$ , называется [2, с.154]:

1. И-НЕ.            2. И-ИЛИ.            3. Память.            4. Повторение.

Функция **И-НЕ** (штрих Шеффера) математически записывается как  $y = x_1 x_2$ . Она означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента отсутствует только тогда, когда одновременно есть сигналы на входах  $x_1$  и  $x_2$ .

3.9.23. Логическая операция, которая математически записывается

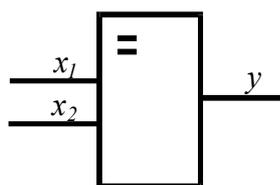


$y = x_1 x_2 \vee x_3 x_4$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется только тогда, когда одновременно есть сигнал на входах  $x_1$  и  $x_2$  или  $x_3$  и  $x_4$ , называется [2, с.154]:

1. ИЛИ-НЕ.            2. Задержка.            3. Импликация.            4. И-ИЛИ.

Функция **И-ИЛИ** математически записывается как  $y = x_1 x_2 \vee x_3 x_4$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется только тогда, когда одновременно есть сигнал на входах  $x_1$  и  $x_2$  или  $x_3$  и  $x_4$ .

3.9.24. Логическая операция, которая математически записывается

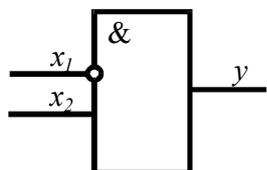


$y = x_1 \cdot x_2 \vee \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента существует только тогда, когда на обоих входах одновременно имеются или отсутствуют сигналы  $x_1$  и  $x_2$ , называется [2, с.155]:

1. Эквивалентность.            2. Запрет.            3. Повторение.            4. Задержка.

Функция **эквивалентность** (равнозначность) математически записывается как  $y = x_1 x_2 \vee \bar{x}_1 \bar{x}_2$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента существует только тогда, когда на обоих входах одновременно имеются или отсутствуют сигналы  $x_1$  и  $x_2$ .

3.9.25. Логическая операция, которая математически записывается  $y = \bar{x}_1 x_2$

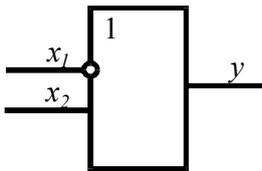


и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется только при наличии сигнала на входе  $x_2$  и отсутствии сигнала на запрещающем входе  $x_1$ , называется [2, с. 155]:

1. НЕ.                      2. Память.                      3. ИЛИ-НЕ.                      4. Запрет.

Функция **Запрет** математически записывается как  $y = \bar{x}_1 x_2$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется только при наличии сигнала на входе  $x_2$  и отсутствии сигнала на запрещающем входе  $x_1$ .

3.9.26. Логическая операция, которая математически записывается

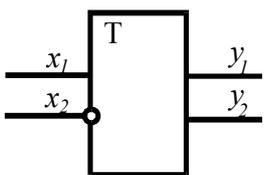


$y = \overline{x_1 \vee x_2}$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента существует только тогда, когда отсутствует сигнал на входе  $x_1$  или имеется на входе  $x_2$ , называется [2, с.155]:

1. Эквивалентность.    2. Задержка.    3. Повторение.    4. **Импликация.**

Функция **Импликация** математически записывается как  $y = \bar{x}_1 \vee x_2$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента существует только тогда, когда отсутствует сигнал на входе  $x_1$  или имеется на входе  $x_2$ .

3.9.27. Логическая операция, которая математически записывается

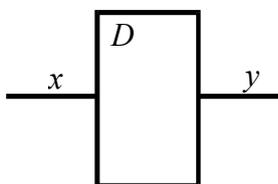


$y_2 = (x_1 \vee y_1) \bar{x}_2$  и означает, что при подаче сигнала на вход  $x_1$  логического элемента появляется сигнал на прямом выходе  $y_2$ . Это состояние сохраняется до подачи сигнала на вход  $x_2$  независимо от состояния входа  $x_1$ . Операция называется [2, с.155]:

1. И-ИЛИ.    2. ИЛИ-НЕ.    3. **Память.**    4. Импликация.

Функция **Память** математически записывается как  $y_2 = (x_1 \vee y_1) \bar{x}_2$  и означает, что при подаче сигнала на вход  $x_1$  логического элемента (включение памяти) появляется сигнал на прямом выходе  $y_2$ . Это состояние сохраняется до подачи сигнала на вход  $x_2$  (отключение памяти), независимо от состояния входа  $x_1$ .

3.9.28. Логическая операция, которая математически записывается

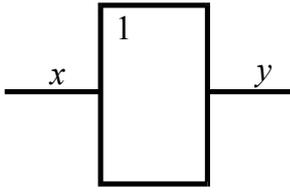


$y = x(t - \tau)$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется через время  $\tau$  после подачи сигнала на вход  $x$ , называется [2, с.155]:

1. **Задержка.**    2. Импликация.    3. Запрет.    4. Эквивалентность.

Функция **Задержка** математически записывается как  $y = x(t - \tau)$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента появляется через время  $\tau$  после подачи сигнала на вход  $x$ .

3.9.29. Логическая операция, которая математически записывается  $y = kx$  и



означает, что выходной сигнал  $y$  логического элемента в  $k$  раз отличается по значению от входного сигнала  $x$ , совпадая с ним по знаку, называется [2, с.155]:

1. И.
2. **Повторение.**
3. Эквивалентность.
4. Память.

Функция **Повторение** математически записывается как  $y=kx$  и означает, что сигнал  $y$  на выходе логического элемента в  $k$  раз отличается по значению от входного сигнала  $x$ , совпадая с ним по знаку.

3.9.30. Схемы разделяют на одноктактные и многотактные по [2, с.150]:

1. Основному назначению.
2. Конструктивному исполнению.
3. Виду используемой энергии.
4. **Характеру работы.**

Релейные схемы по **характеру работы** разделяются на одноктактные и многотактные.

Многотактные релейные – схемы, в которых существует определенная последовательность действия приемных, промежуточных и исполнительных элементов.

Одноктактные релейные – схемы, в которых состояние исполнительных элементов однозначно определяется состоянием других (приемных) элементов в каждый данный момент. В них не предусматривается какая-либо определенная последовательность действия приемных и исполнительных элементов.

3.9.31. Состояние исполнительных элементов однозначно определяется состоянием других (приемных) элементов в каждый данный момент. Не предусматривается какая-либо определенная последовательность действия приемных и исполнительных элементов в схемах [2, с.150]:

1. **Одноктактных.**
2. Многотактных.
3. Расположения.
4. Подключения.

**Одноктактные** релейные – схемы, в которых состояние исполнительных элементов однозначно определяется состоянием других (приемных) элементов в каждый данный момент. В них не предусматривается какая-либо определенная последовательность действия приемных и исполнительных элементов.

3.9.32. Существует определенная последовательность действия приемных, промежуточных и исполнительных элементов в схемах [2, с.150]:

1. Одноктактных.
2. **Многотактных.**
3. Общих.
4. Расположения.

**Многотактные** релейные – схемы, в которых существует определенная последовательность действия приемных, промежуточных и исполнительных элементов.

3.9.33. Изменение состояния какого-либо элемента или одновременное изменение состояния нескольких элементов носит название [2, с.153]:

1. **Такт работы схемы.**
2. Процесс.
3. Режим.
4. Фаза.

**Такт работы схемы** – изменение состояния какого-либо элемента или одновременное изменение состояния нескольких элементов.

3.9.34. Непрерывный ряд тактов, в течение которого какой-либо элемент схемы находится во включенном состоянии, называется [2, с.153]:

1. **Период включения элемента.**
2. Период отключения элемента.
3. Период дискретности.
4. Время включения элемента.

**Период включения (отключения) элемента** – непрерывный ряд тактов, в течение которого какой-либо элемент схемы находится во включенном (выключенном) состоянии.

3.9.35. Чтобы упростить процесс составления многотактных схем обычно пользуются табличной формой записи изменения состояния всех элементов схемы, причем включенное состояние элементов обозначают знаком «плюс» (+), а отключенное – знаком «минус» (-). Это будет таблица [2, с.153]:

1. Рауса.
2. Непрерывных функций.
3. **Включения.**
4. Дискретных функций.

**Таблица включения** служит для упрощения процесса составления многотактных схем. В нее последовательно записывают изменения состояния всех элементов схемы, причем включенное состояние элементов обозначают знаком «плюс» (+), а отключенное – знаком «минус» (-).

3.9.36. Метод анализа многотактных релейных схем, заключающийся в использовании специальных приемов математического аппарата, разработанного для многотактных схем, называется [2, с.154]:

1. Табличный.
2. Осциллографирования.
3. **Аналитический.**
4. Временных диаграмм.

**Аналитический** метод анализа многотактных релейных схем заключается в использовании специальных приемов математического аппарата, разработанного для многотактных схем.

3.9.37. Для анализа многотактных релейных схем при пусконаладочных и ремонтных работах чаще всего применяют метод [2, с.153]:

1. Аналитический.
2. Временных диаграмм.
3. Табличный.
4. **Осциллографирования.**

**Метод осциллографирования** широко используется при выполнении пусконаладочных и ремонтных работ многотактных релейных схем.

3.9.38. Изображение схемы релейной системы, показывающее количество и состав структурных элементов, а также конфигурацию соединений между элементами, называют [2, с.153]:

1. Функциональная схема.
2. **Структура релейной схемы.**
3. Принципиальная схема.
4. Монтажная схема.

**Структура релейной схемы** – изображение схемы релейной системы, показывающее количество и состав структурных элементов, а также конфигурацию соединений между элементами.

3.9.39. Релейные схемы делятся на параллельно-последовательные и мостовые по [2, с.153]:

1. **Виду соединений.**
2. Основному назначению.
3. Характеру работы.
4. Конструктивному исполнению.

Релейные схемы по **виду соединений** делятся на параллельно-последовательные (тип П) и мостовые (тип Н). По сравнению с параллельно-последовательными схемами в мостовых схемах значительно меньше контактов.

3.9.40. По сравнению с параллельно-последовательными схемами (тип П) в мостовых схемах (тип Н) [2, с.153]:

1. Больше контактов.
2. **Значительно меньше контактов.**
3. Число контактов в обоих типах схем одинаково.

Релейные схемы по виду соединений делятся на параллельно-последовательные (тип П) и мостовые (тип Н). По сравнению с параллельно-последовательными схемами в мостовых схемах **значительно меньше контактов.**

3.9.41. Структурная формула релейной схемы может быть записана в виде аналитического выражения, если схема представлена [2, с.153]:

1. Графическими символами.
2. **Буквенными обозначениями.**
3. Цифровыми обозначениями.
4. Буквенными и цифровыми обозначениями.

Структура релейной схемы – это изображение схемы релейной системы, показывающее количество и состав структурных элементов, а также конфигурацию соединений между элементами. Структурная формула релейной схемы может быть в виде аналитического выражения, если схема представлена **буквенными обозначениями.**

3.9.42. Возможно ли составить соответствующие структурную формулу и схему, если условия работы какого-либо элемента описаны словесно [2, с.153]?

1. **Да.**
2. Нет.

Структура релейной схемы – это изображение схемы релейной системы, показывающее количество и состав структурных элементов, а также конфигурацию соединений между элементами.

Структурная формула релейной схемы может быть в виде аналитического выражения, если схема представлена буквенными обозначениями.

3.9.43. Нахождение структуры схемы по заданным условиям ее работы является одной из основных задач при изучении релейных систем автоматики и носит название [3, с.158]:

1. Анализ релейных схем.
2. Синтез релейных схем.

Анализ и синтез релейных схем с использованием законов и следствий законов алгебры логики позволяют получить схему системы с минимальным числом реле и контактов.

Анализ релейных схем предполагает определение условий работы каждого реле и последовательности их действия. Это является одной из основных задач при изучении релейных систем автоматики.

**Синтез релейных схем** предполагает нахождение структуры схемы по заданным условиям ее работы.

3.9.44. Определение условий работы каждого реле и последовательности их действия является одной из основных задач при изучении релейных систем автоматики и носит название [3, с.158]:

1. Анализ релейных схем.
2. Синтез релейных схем.

Анализ и синтез релейных схем с использованием законов и следствий законов алгебры логики позволяют получить схему системы с минимальным числом реле и контактов.

**Анализ релейных схем** предполагает определение условий работы каждого реле и последовательности их действия. Это является одной из основных задач при изучении релейных систем автоматики.

**Синтез релейных схем** предполагает нахождение структуры схемы по заданным условиям ее работы.

3.9.45. Одним и тем же условиям может удовлетворять большое число схем, отличающихся используемыми элементами, режимами работы, числом и способами соединения элементов, электрическими характеристиками и т.д. Это является особенностью устройств [3, с.159]:

1. Дискретного действия.
2. Непрерывного действия.

Особенностью удовлетворять одним и тем же условиям в больших количествах схем, отличающихся используемыми элементами, режимами работы, числом и способами соединения элементов, электрическими характеристиками и т.д., обладают устройства **дискретного действия**.

3.9.46. Описание словесного алгоритма управления, выбор языка и задание условий работы на нем, построение диаграмм тактов и таблиц состояний включает в себя [3, с.160]:

1. Анализ САУ.
2. Абстрактный синтез дискретных систем.
3. Синтез САУ.
4. Структурный синтез дискретных систем.

**Абстрактный синтез дискретных систем** включает в себя описание словесного алгоритма управления, выбор языка и задание условий работы на нем, построение диаграмм тактов и таблиц состояний

3.9.47. Для заданных таблиц состояний осуществляется формализованная запись условий работы, проводится выбор аппаратурной реализации схем управления, выполняется минимизация и оптимизация структурных формул, проводится построение принципиальной электрической схемы управления при проведении [3, с.160]:

1. Анализа САУ.
2. Структурного синтеза дискретных систем.
3. Синтеза САУ.
4. Абстрактного синтеза дискретных систем.

При проведении **структурного синтеза дискретных систем** для заданных таблиц состояний осуществляется формализованная запись условий работы, проводится выбор аппаратурной реализации схем управления, выполняется минимизация и оптимизация структурных формул, проводится построение принципиальной электрической схемы управления.

3.9.48. При разработке логического устройства [5, с.110]:

**1. Сначала формируют словесное описание его алгоритма действия. Затем составляют удовлетворяющую этому описанию логическую функцию (абстрактный синтез) и далее разрабатывают структурную логическую схему устройства (структурный синтез).**

2. Сначала проводят абстрактный синтез, затем структурный синтез, формируют алгоритм действия.

3. Проводят структурный синтез, затем абстрактный синтез, формируют алгоритм действия.

При разработке логических устройств **сначала формируют словесное описание алгоритма действия. Затем составляют удовлетворяющую этому описанию логическую функцию (абстрактный синтез) и далее разрабатывают структурную логическую схему устройства (структурный синтез).**

3.9.49. При проектировании систем автоматики стремятся создать надежно работающую схему с минимальным количеством аппаратуры. Анализ и синтез релейных схем с использованием законов и следствий законов алгебры логики позволяют получить схему системы с числом реле и контактов [3, с.161]:

1. Минимальным.
2. Максимальным.

Анализ и синтез релейных схем с использованием законов и следствий законов алгебры логики позволяют получить схему системы с **минимальным** числом реле и контактов

3.9.50. При каком способе минимизации релейных схем для системы записывают логическую функцию и, применяя законы алгебры логики и их следствия, находят минимальную форму записи функции, на основе которой выполняют реализацию схемы [3, с.159]?

- |                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| 1. Матричный.     | 2. Карта Карно.        |
| 3. Матрица Карно. | 4. <b>Интуитивный.</b> |

**Интуитивный способ** минимизации релейных схем заключается в записи логической функции для системы и, в результате применения законов алгебры логики и их следствия, нахождении минимальной формы записи функции, на основе которой выполняют реализацию схемы.

3.9.51. Методы непосредственного упрощения и Квайна-Мак-Класки, используемые при минимизации дискретных схем, применимы для устройств, имеющих [3, с.169]:

1. Только один входной сигнал и любое число выходных сигналов.
2. **Любое число входных сигналов и только один выходной сигнал.**
3. Один входной сигнал и не менее двух выходных сигналов.

Методы непосредственного упрощения и Квайна-Мак-Класки, используемые при минимизации дискретных схем, применимы для устройств, имеющих **любое число входных сигналов и только один выходной сигнал.**

### 3.10. Микропроцессорные системы управления

3.10.1. Цифровой аппаратно- или программно-управляющий автомат, выполняющий функции управления автономным или входящим в состав системы устройством, его сопряжения с интерфейсом системы, работающий по однозначно заданным алгоритмам без взаимодействия с человеком-оператором, называется [5, с.139; 12, с.236]:

- |                       |          |          |               |
|-----------------------|----------|----------|---------------|
| 1. <b>Контроллер.</b> | 2. Узел. | 3. Блок. | 4. Модулятор. |
|-----------------------|----------|----------|---------------|

Специализированное техническое устройство, предназначенное для управления другими устройствами путем получения информации в виде цифровых данных или аналого-дискретного сигнала от внешнего устройства (ЭВМ, датчики или иное устройство), преобразования этой информации по специальному алгоритму и выдачи управляющих воздействий в виде цифрового или аналого-дискретного сигнала называется **контроллером**. Чаще всего контроллеры представляют собой программируемые устройства, имеющие в своем составе программируемые логические интегральные схемы или специализированные процессоры.

3.10.2. Контроллер, не рассчитанный на работу с внешними устройствами и памятью большого объема, является [5, с.139; 12, с.236]:

- |                       |                   |                |
|-----------------------|-------------------|----------------|
| 1. <b>Простейшим.</b> | 2. Универсальным. | 3. Барабанным. |
|-----------------------|-------------------|----------------|

Контроллеры подразделяются на:

- **простейшие** – не рассчитанные на работу с внешними устройствами и с памятью большого объема;
- универсальные – оперирующие 8-16-разрядными словами, имеют ОЗУ и ПЗУ и достаточно развитую систему ввода-вывода;



устройствами дискретного и логического управления. Программируется ремиконт с помощью специализированной клавишной панели.

3.10.6. К достоинствам ремиконта относятся [16, с.258]:

1. Только возможность сопряжения его с аналоговыми и дискретными датчиками.

2. Только возможность сопряжения его с исполнительными механизмами пропорционального, позиционного, интегрирующего и другого действия.

3. Только возможность сопряжения его с устройствами дискретного и логического управления.

**4. Возможности, указанные в п. 1, 2, 3.**

**Ремиконт** – регулирующий микроконтроллер, служащий центральным звеном локальной системы управления. Его входные цепи рассчитаны на подключение аналоговых и дискретных датчиков (информация преобразуется в цифровую форму и обрабатывается в микро-ЭВМ), а выходные цепи формируют аналоговые и дискретные сигналы для управления исполнительными механизмами пропорционального, позиционного, интегрирующего и другого действия, а также устройствами дискретного и логического управления. Программируется ремиконт с помощью специализированной клавишной панели.

3.10.7. Устройство, управляемое человеком-оператором и состоящее из микропроцессора, полупроводниковой памяти, интерфейса ввода-вывода, пульта управления и источников электропитания, объединенных общей несущей конструкцией, называется [12, с.236]:

1. Мини-ЭВМ.

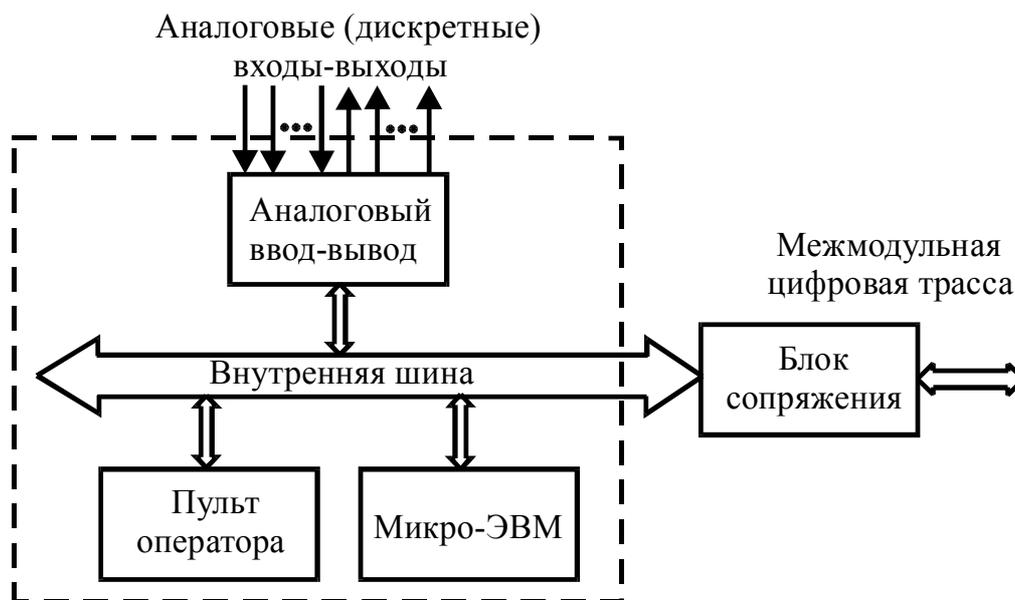
2. Микро-ЭВМ.

3. Вычислительная система.

4. Виртуальная ЭВМ.

ЭВМ, состоящая из микропроцессора, полупроводниковой памяти, средств связи с периферийными устройствами и при необходимости – пульта управления и источника питания, объединенных общей несущей конструкцией называется, **микро-ЭВМ**.

3.10.8. На рисунке представлена схема [16, с.257]:



1. Ремиконта.
2. Одноконтурной системы управления с микро-ЭВМ.
3. Многомикроспроцессорной системы управления.
4. Системы с автономными управляющими микро-ЭВМ.

**Ремиконт** – регулирующий микроконтроллер, служащий центральным звеном локальной системы управления. Его входные цепи рассчитаны на подключение аналоговых и дискретных датчиков (информация преобразуется в цифровую форму и обрабатывается в микро-ЭВМ), а выходные цепи формируют аналоговые и дискретные сигналы для управления исполнительными механизмами пропорционального позиционного, интегрирующего и другого действия, а также устройствами дискретного и логического управления. Программируется ремиконт с помощью специализированной клавишной панели (пульта оператора).

3.10.9. Функциональная часть ЭВМ, предназначенная для запоминания и (или) выдачи данных, называется [16, с.250]:

1. Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ).
2. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ).
3. Запоминающее устройство (ЗУ).
4. **Память.**

**Память** – функциональная часть ЭВМ, предназначенная для запоминания и (или) выдачи данных.

3.10.10. Алгоритм преобразования данных в форме последовательности команд ЭВМ, называется [16, с.251]:

1. Файл.
2. Данные.
3. Команда.
4. **Программа.**

Представленная в объективной форме совокупность данных и команд, предназначенных для функционирования ЭВМ и других компьютерных устройств в целях получения определенного результата, называется **программой**.

3.10.11. Упорядоченное множество объектов и отношений между ними называется [16, с.251]:

1. Структура.

2. Архитектура.

3. Интерфейс.

4. Функциональный узел.

**Структурой** называется упорядоченное множество объектов и отношений между ними.

3.10.12. Совокупность общих принципов построения и характеристик технических и программных средств обработки данных, определяющих функциональные и эксплуатационные параметры изделия и существенных для организации его эффективного применения, называется [16, с.251]:

1. Структура.      2. Архитектура.      3. Интерфейс.      4. Регистр.

Наиболее общие принципы построения ЭВМ, реализующие программное управление работой и взаимодействием основных ее функциональных узлов называется **архитектурой ЭВМ**.

3.10.13. Совокупность алгоритмических правил, электрических характеристик и конструктивных требований, обеспечивающих соединение взаимодействующих элементов системы, называется [12, с.249]:

1. Интерфейс.      2. Программа.      3. Команда.      4. Данные.

Совокупность логических и физических принципов взаимодействия компонентов технических средств вычислительной системы, т.е. совокупность правил алгоритмов и временных соглашений по обмену данными между компонентами вычислительной системы, а также совокупность физических, механических и функциональных характеристик средств подключения, реализующих такое взаимодействие, называется **интерфейсом**.

3.10.14. Интерфейсы разделяются на системные, процессорные и периферийные по [12, с.250]:

1. Конструктивному исполнению.      2. Виду энергии.  
3. Системным признакам.      4. Основному назначению.

Интерфейсы разделяются по **системным признакам** на периферийные, процессорные и системные:

- периферийный интерфейс, устанавливающий принципы взаимодействия между периферийным устройством и его контроллером.
- процессорный интерфейс микропроцессора, сопрягаемый с системным интерфейсом через соответствующий адаптер магистралей.
- системный интерфейс обеспечивает сопряжение ЭВМ или процессоров между собой в составе сосредоточенных или распределенных микропроцессорных систем.

3.10.15. Интерфейс, устанавливающий принципы взаимодействия между периферийным устройством и его контроллером, называется [12, с.250]:

1. Процессорный.      2. Периферийный.      3. Системный.

Интерфейсы разделяются по системным признакам на периферийные, процессорные и системные:

- **периферийный интерфейс**, устанавливающий принципы взаимодействия между периферийным устройством и его контроллером.
- процессорный интерфейс микропроцессора, сопрягаемый с системным интерфейсом через соответствующий адаптер магистралей.
- системный интерфейс обеспечивает сопряжение ЭВМ или процессоров между собой в составе сосредоточенных или распределенных микропроцессорных систем.

3.10.16. Интерфейс, обеспечивающий сопряжение ЭВМ или процессоров между собой в составе сосредоточенных или распределенных микропроцессорных систем, называется [12, с.250]:

1. **Системный.**
2. Периферийный.
3. Процессорный.

Интерфейсы разделяются по системным признакам на периферийные, процессорные и системные:

- периферийный интерфейс, устанавливающий принципы взаимодействия между периферийным устройством и его контроллером.
- процессорный интерфейс микропроцессора, сопрягаемый с системным интерфейсом через соответствующий адаптер магистралей.
- **системный интерфейс** обеспечивает сопряжение ЭВМ или процессоров между собой в составе сосредоточенных или распределенных микропроцессорных систем.

3.10.17. Интерфейс микропроцессора, сопрягаемый с системным интерфейсом через соответствующий адаптер магистралей, называется [12, с.250]:

1. Периферийный.
2. Системный.
3. **Процессорный.**

Интерфейсы разделяются по системным признакам на периферийные, процессорные и системные:

- периферийный интерфейс, устанавливающий принципы взаимодействия между периферийным устройством и его контроллером.
- **процессорный интерфейс** микропроцессора, сопрягаемый с системным интерфейсом через соответствующий адаптер магистралей.
- системный интерфейс обеспечивает сопряжение ЭВМ или процессоров между собой в составе сосредоточенных или распределенных микропроцессорных систем.

3.10.18. Интерфейсы делятся на внутрисхемные, внутripлатные, внутривлочные и межблочные по [12, с.250]:

1. Системным признакам.
2. **Конструктивному исполнению.**
3. Виду энергии.
4. Функциональному назначению.

Интерфейсы по **конструктивному исполнению** делятся на: внутрисхемные, внутripлатные, внутривлочные и межблочные.

3.10.19. Управляющие сигналы, представляющие собой инструкции на машинном языке и определяющие требуемую операцию и данные или адреса данных, над которыми выполняется эта операция, называются [12, с.259]:

1. Код.
2. Команда.
3. Задание.
4. Вектор.

Управляющие сигналы, представляющие собой инструкции на машинном языке и определяющие требуемую операцию и данные или адреса данных, над которыми выполняется эта операция, называются **командой**.

3.10.20. Один из важнейших показателей при выборе микропроцессора – система команд – разделяется на арифметико-логические команды, команды перехода и команды обмена по [12, с.259]:

1. Конструктивному исполнению.
2. **Функциональным признакам.**
3. Системным признакам.
4. Заданию.

Система команд при выборе микропроцессора по **функциональным признакам** разделяется на: арифметико-логические команды, команды перехода и команды обмена.

3.10.21. Цифровые системы автоматического управления (ЦСАУ), реализуемые по базе мини-ЭВМ или микропроцессоров, по сравнению с традиционными (аналоговыми) обеспечивают квантование регулируемой величины и регулирующего воздействия по [1, с.123]:

1. Времени.
2. Уровню.
3. **Времени и уровню.**

Цифровые автоматические системы реализуются на базе мини-ЭВМ или микропроцессоров. По сравнению с традиционными (аналоговыми), они обеспечивают квантование регулируемой величины и регулирующего воздействия, причем как по **уровню**, так и по **времени**.

3.10.22. Преимущества

- стабильность характеристик и отсутствие дрейфа;
- высокая точность и разрешающая способность;
- возможность реализации очень сложных алгоритмов (за счет программного обеспечения);
- возможность управления медленно изменяющимися процессами;
- экономичность (50...100 контуров регулирования);
- помехоустойчивость

присущи системам автоматического управления [1, с.123]:

1. Импульсным.
2. Релейным.
3. **Цифровым.**
4. Оптимальным.

**Цифровые САУ** имеют достоинства:

- стабильность характеристик и отсутствие дрейфа;
- высокая точность и разрешающая способность;
- возможность реализации очень сложных алгоритмов (за счет программного обеспечения);
- возможность управления медленно изменяющимися процессами;
- экономичность (50-100 контуров регулирования);
- помехоустойчивость.

3.10.23. Цифровая САУ обычно реализует закон регулирования [1, с.124]:

1. Пропорциональный.
2. Интегральный.
3. Пропорционально-интегральный.

**4. Пропорционально-интегрально-дифференциальный.**

Цифровые централизованные САУ создают на базе мини-ЭВМ. В системах используют разнообразные периферийные устройства связи с объектом управления и оператором. Обычно такие системы реализуют ПИД закон регулирования, при этом цифровой регулятор всегда уступает аналоговому, поскольку часть информации в процессе дискретизации теряется.

3.10.24. Алгоритмы регулирующих воздействий двух видов

– позиционные алгоритмы, при которых ЭВМ выдает полное значение регулирующего или управляющего воздействия;

– скоростные алгоритмы, при которых ЭВМ формирует приращения регулирующих воздействий

может формировать САУ [1, с.125]:

1. Цифровая на базе микро-ЭВМ.
2. Импульсная.
3. Релейная.
4. Позиционная.

**Цифровые САУ** могут формировать алгоритмы регулирующих воздействий двух видов:

– позиционные алгоритмы, при которых ЭВМ выдает полное значение регулирующего или управляющего воздействия;

– скоростные алгоритмы, при которых ЭВМ формирует приращение регулирующих воздействий.

В первом случае интегрирование регулирующего воздействия происходит в ЭВМ, во втором – в исполнительном механизме.

3.10.25. Проще реализуются и очень удобны при переходе с аналогового управления на цифровое и обратно [1, с.126]:

1. Позиционные алгоритмы.
2. Скоростные алгоритмы.

**Скоростные алгоритмы** проще реализуются, и при отказе ЭВМ исполнительные механизмы остаются на прежнем месте. Эти алгоритмы очень удобны также при переходе с аналогового управления на цифровое и обратно.

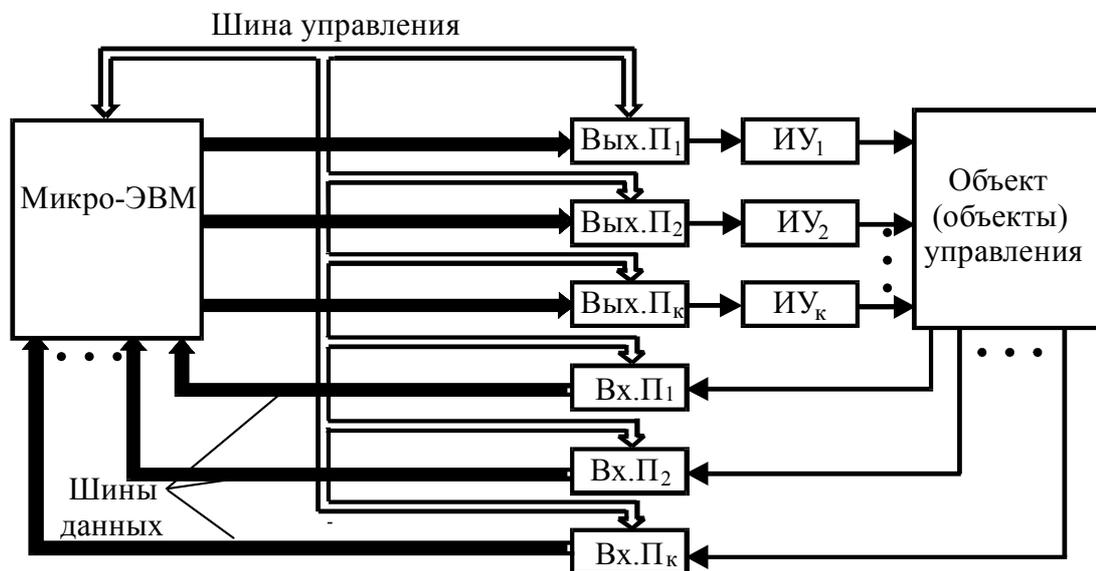
3.10.26. Точность стабилизации параметра возрастает с увеличением разрядности входного преобразователя и уменьшением интервала дискретности  $\Delta t$ . Как правило,  $0,0025T_C < \Delta t < 0,125T_C$ , где  $T_C$  – период собственных колебаний аналоговой САУ. Обычно  $\Delta t$  при регулировании с помощью ЦСАУ на базе мини-ЭВМ расхода – 1 с, давления и уровня – 5 с, температуры – 20 с, химического состава – 60 с. Для решения этих же задач с помощью микропроцессорной ЦСАУ интервал дискретности  $\Delta t$  будет [1, с.126]:

1. Больше.
2. Таким же.
3. Меньше.

Точность стабилизации параметра возрастает с увеличением разрядности входного преобразователя и **уменьшением** интервала дискретности  $\Delta t$ . Как

правило,  $0,0025T_C < \Delta t < 0,125T_C$ , где  $T_C$  - период собственных колебаний аналоговой САУ. Обычно  $\Delta t$  при регулировании с помощью цифровой САУ на базе мини-ЭВМ расхода – 1 с, давления и уровня – 5 с, температуры – 20 с, химического состава – 60с. Для микропроцессорных цифровых САУ  $\Delta t=0,3$  с.

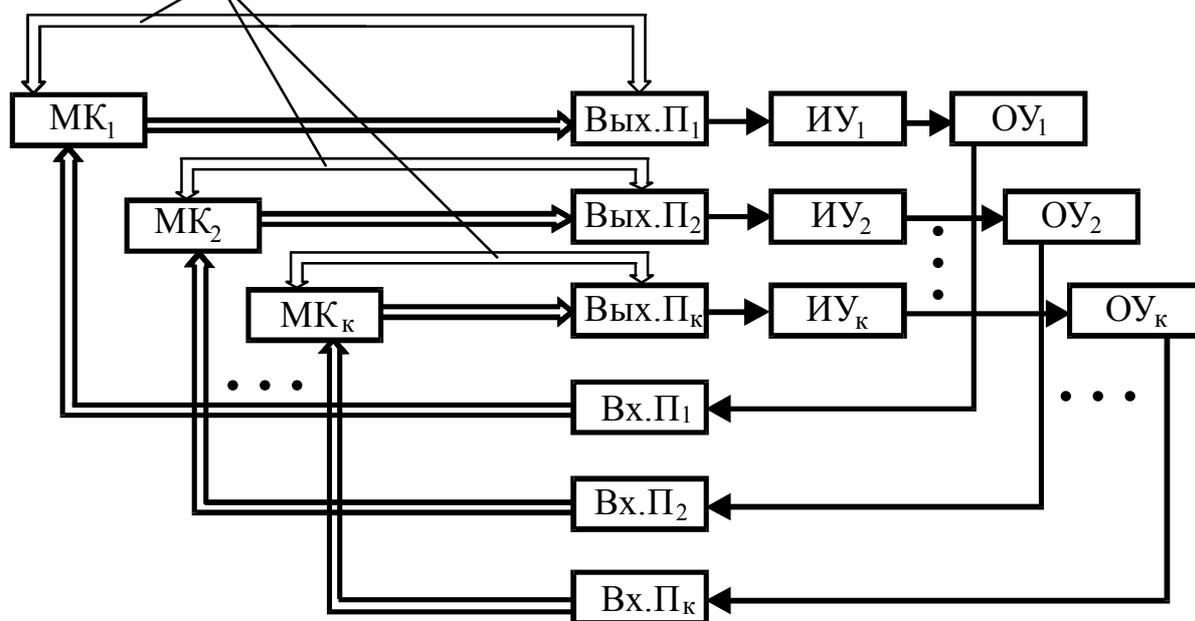
3.10.27. На схеме представлена система управления [16, с.252]:



1. С центральной управляющей микро-ЭВМ.
2. С автономными микро-ЭВМ.
3. С микроконтроллерами.

3.10.28. На рисунке представлена схема [16, с.253]:

Автономные шины управления



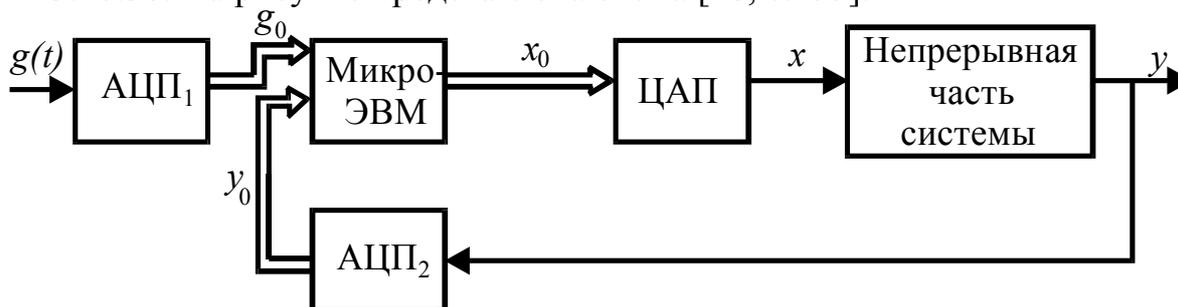
1. Системы с центральной управляющей микро-ЭВМ.
2. Одноконтурной системы управления с микро-ЭВМ.
3. Системы с автономными управляющими микро-ЭВМ.
4. Виртуальной структуры системы управления с центральной микро-ЭВМ.

3.10.29. В целях увеличения надежности, производительности и гибкости микро-ЭВМ в системах управления применяют [16, с.254]:

1. **Многомашинные или многомикропроцессорные системы.**
2. Систему с центральной управляющей микро-ЭВМ.
3. Одноконтурную систему управления с микро-ЭВМ.

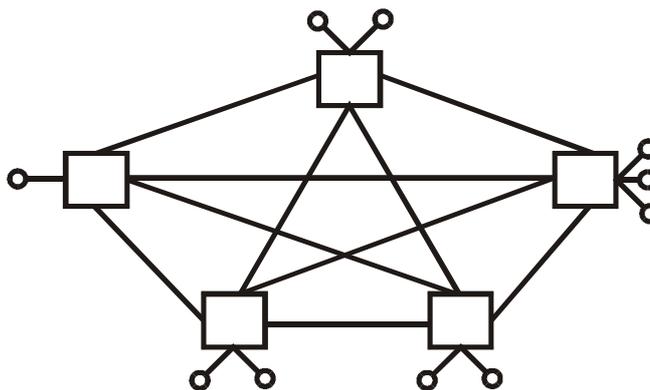
**Цифровая микропроцессорная САУ** представляет собой микроЭВМ со всеми необходимыми для выполнения функций регулирования устройствами. Она имеет преимущество в надежности, производительности, гибкости и дешевизне за счет функциональной и пространственной децентрализации.

3.10.30. На рисунке представлена схема [16, с.255]:



1. Многомикропроцессорной системы управления.
2. **Одноконтурной системы управления с микро-ЭВМ.**
3. Виртуальной структуры системы управления с центральной микро-ЭВМ.
4. Системы с центральной управляющей микро-ЭВМ.

3.10.31. На рисунке представлена система с сетевой топологией, где прямоугольниками схематически показаны микро-ЭВМ, а кружками – объекты управления. В случае выхода из строя любой микро-ЭВМ в системе сохраняется по меньшей мере количество каналов связи со всеми другими микро-ЭВМ [16, с.254]:



1. Один.
2. Два.
3. Три.
4. Четыре.

### 3.11. Системы телемеханики

3.11.1. Область науки и техники, охватывающая теорию и технические средства автоматической передачи на расстояние команд управления и информации о состоянии объекта, называется [1, с. 7; 3, с. 297]:

**1. Телемеханика.** 2. Автоматика. 3. Кибернетика. 4. Метрология.

Область науки и техники, охватывающая теорию и технические средства автоматической передачи на расстояние команд управления и информации о состоянии объекта, называется **телемеханикой**.

3.11.2. Раздел телемеханики, включающий в себя методы и технические средства передачи на расстояние команд управления режимами технологических процессов, установок в целом, положениями различных узлов и т.п., называется [3, с. 297]:

1. Телесигнализация. 2. Телерегулирование.  
3. Телеизмерение. 4. **Телеуправление.**

Раздел телемеханики, включающий в себя методы и технические средства передачи на расстояние команд управления режимами технологических процессов, установок в целом, положениями различных узлов и т.п., называется **телеуправлением**.

3.11.3. Часть телемеханики, охватывающая методы и технические средства передачи на расстояние информации о протекании технологических процессов, работе установок в целом, положении отдельных элементов и т.п., называется [3, с. 297]:

1. Телеуправление. 2. Телеизмерение.  
**3. Телесигнализация.** 4. Телерегулирование.

Часть телемеханики, охватывающая методы и технические средства передачи на расстояние информации о протекании технологических процессов, работе установок в целом, положении отдельных элементов и т.п., называется **телесигнализацией**.

3.11.4. Раздел телемеханики, включающий в себя методы и технические средства передачи на расстояние результатов измерений каких-либо контролируемых параметров (постоянных или изменяющихся во времени), называется [3, с. 297]:

**1. Телеизмерение.** 2. Телесигнализация.  
3. Телеуправление. 4. Телерегулирование.

Раздел телемеханики, включающий в себя методы и технические средства передачи на расстояние результатов измерений каких-либо контролируемых параметров (постоянных или изменяющихся во времени), называется **телеизмерением**.

3.11.5. Часть телемеханики, охватывающая методы и технические средства передачи на расстояние команд регулирования, называется [3, с. 297]:

1. Телеуправление.
2. Телесигнализация.
3. Телеизмерение.
4. **Телерегулирование.**

**Телерегулирование** – часть телемеханики, охватывающая методы и технические средства передачи на расстояние команд регулирования.

3.11.6. Создать гибкую систему дистанционного управления работой сложных и рассредоточенных установок и объектов можно [3, с. 298]:

1. С применением средств телемеханики.
2. С применением средств автоматики.
3. С применением средств связи.
4. **При правильном сочетании средств телемеханики, автоматики и связи.**

Система телемеханики сообщает системе автоматизации лишь первичные действия, которые обуславливают начало и конец автоматического цикла операций. Автоматизация обеспечивает непосредственное выполнение сигналов-команд систем телемеханики. **Правильное сочетание средств телемеханики, автоматики и связи** позволяет создавать гибкую систему дистанционного управления работой сложных и рассредоточенных установок и объектов.

3.11.7. Совокупность устройств пункта управления (ПУ) и устройств контролируемого пункта (КП) называется [3, с. 298]:

1. Агрегатная система телемеханической техники.
2. **Телемеханический комплекс.**
3. Диспетчерское оборудование.

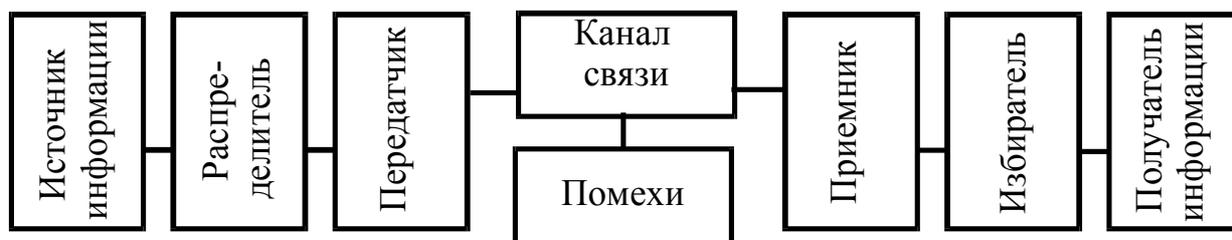
**Телемеханический комплекс** – совокупность устройств пункта управления и устройств контролируемого пункта.

3.11.8. Совокупность телемеханического комплекса, датчиков, средств обработки информации, диспетчерского оборудования и каналов связи, выполняющих задачу централизованного контроля и управления территориально рассредоточенными объектами, называется [3, с. 298]:

1. Система автоматики.
2. **Система телемеханики.**
3. Система кибернетики.
4. Обыкновенная система.

**Система телемеханики** – совокупность телемеханического комплекса, датчиков, средств обработки информации, диспетчерского оборудования и каналов связи, выполняющих задачу централизованного контроля и управления территориально-рассредоточенными объектами.

3.11.9. Функциональная схема системы [3, с. 297]:



1. Телеуправления.
2. Телесигнализации.
3. Телеизмерения.
4. Телеконтроля.

**Телеуправление** – раздел телемеханики, включающий в себя методы и технические средства передачи на расстояние команд управления режимами технологических процессов, установок в целом, положениями различных узлов и т.п.

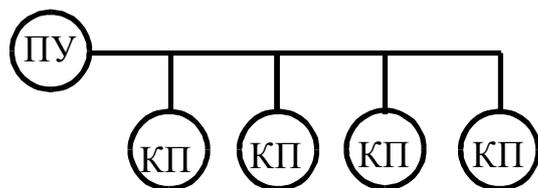
3.11.10. Системы телемеханики разделяются на радиальные, цепочные, древовидные по [3, с. 300]:

1. Принципу действия.
2. Назначению.
3. Структуре линий связи.
4. Конструктивному исполнению.

Системы телемеханики разделяются:

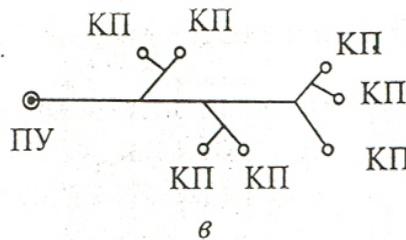
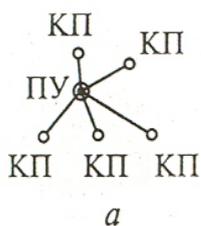
- по **принципу действия** – на радиальные, цепочные, древовидные;
- по характеру сообщений – на дискретные и непрерывные;
- по принципу передачи сообщений – на циклические и спорадического действия

3.11.11. На рисунке представлена структура системы телемеханики [3, с. 300]:



1. Радиальная.
2. Цепочная.
3. Древовидная.

Системы телемеханики обеспечивают управление из одного ПУ большим числом КП, расположенных самым различным образом и на самых различных расстояниях. Соответственно, могут различаться и соединяющие их линии связи. В зависимости от взаимного расположения ПУ и КП линии связи могут быть с радиальной, цепочной и древовидной структурами.



*Линия связи радиальной (а), цепочной (б) и древовидной (в) структур.*

Многоточечная структура телемеханической сети, в которой устройства контролируемых телемеханических пунктов соединены общим каналом связи с устройством телемеханического пункта (пункта управления) называется **цепочной** структурой телемеханической сети (ГОСТ 26.005-82).

3.11.12. Системы телемеханики делятся на дискретные и непрерывные по [3, с. 301]:

1. Назначению.
2. Принципу действия.
3. Структуре линий связи.
4. **Характеру сообщений.**

Системы телемеханики разделяются:

- по принципу действия – на радиальные, цепочные, древовидные;
- по **характеру сообщений** – на дискретные и непрерывные;
- по принципу передачи сообщений – на циклические и спорадического действия

3.11.13. Системы телемеханики разделяются на циклические и спорадического действия по [3, с. 301]:

1. **Принципу передачи сообщений.**
2. Назначению.
3. Характеру сообщений.
4. Структуре линий связи.

Системы телемеханики разделяются:

- по принципу действия – на радиальные, цепочные, древовидные;
- по **характеру сообщений** – на дискретные и непрерывные;
- по принципу передачи сообщений – на циклические и спорадического действия

3.11.14. Передача информации происходит только при изменении состояния объекта или изменении измеряемого параметра на заданную величину в системе [3, с. 301]:

1. Циклического действия.
2. **Спорадического действия.**

В системах телемеханики **спорадического действия** передача информации происходит только при изменении состояния объекта или измеряемого параметра на заданную величину.

3.11.15. Среднее количество информации, передаваемое по каналу связи в единицу времени, называется [3, с. 304]:

1. Коэффициент избыточности.
2. Пропускная способность.
3. **Скорость передачи.**
4. Коэффициент передачи.

**Скоростью передачи** в системах телемеханики называется среднее количество информации, передаваемое по каналу связи в единицу времени.

3.11.16. Метод обеспечения передачи многих сигналов по одной линии связи или в одной полосе частот, называется [3, с. 311]:

1. **Разделение сигналов.**
2. Избирание сигналов.
3. Квантование сигналов.
4. Модуляция.

**Разделение сигналов** является методом обеспечения передачи многих сигналов по одной линии связи или в одной полосе частот.

3.11.17. Методы избирания сигналов делятся на циркулярные и нециркулярные или комбинационные в зависимости от [3, с. 313]:

1. Метода разделения импульсов.
2. Принципа работы системы.
3. Квантования сигналов.
4. Назначения системы.

Методы избирания сигналов в зависимости от **метода разделения импульсов** делятся на циркулярные и нециркулярные или комбинационные.

3.11.18. Выбирает из большого числа закодированных сигналов тот, который был послан от источника информации, и преобразует его в величину, удобную для приема объектом управления [2, с. 196; 3, с. 299]:

1. Распределитель.
2. Передатчик.
3. Приемник.
4. **Дешифратор.**

Избиратель (**дешифратор**) – элемент системы телемеханики, выбирающий из большого числа закодированных сигналов тот, который был послан от источника информации, и преобразует его в величину, удобную для приема объектом управления.

3.11.19. Наибольшей универсальностью обладают устройства телемеханики, использующие для передачи условного сигнала в виде тока или напряжения с качественными признаками [3, с. 311]:

1. Полярность.
2. Амплитуда.
3. Фаза.
4. **Длительность импульсов и пауз, частота.**

Устройства в системах телемеханики, использующие для передачи условного сигнала в виде тока или напряжения с качественными признаками **длительности импульсов и пауз, частоты**, обладают наибольшей универсальностью.

Кроме этого могут использоваться и такие качественные признаки как полярность, амплитуда и фаза.

3.11.20. Совокупность устройств и физических сред, передающих сигналы на расстояние, называется [3, с. 314]:

1. Передатчик.
2. Распределитель.
3. **Канал связи.**
4. Источник информации.

Совокупность устройств и физических сред, передающих сигналы на расстояние, называется **каналом связи**. В канал связи обычно входят сами линии связи, усилители и другие вспомогательные устройства. Для создания каналов связи применяются линии связи (кабельные и воздушные), линии электропередач высокого напряжения, радиолинии.

3.11.21. В полудуплексном канале связи сигналы передаются [3, с. 315]:

1. Только в одном направлении.
2. В обоих направлениях одновременно.
3. **В обоих направлениях, но с разделением во времени (попеременно).**

Каналы связи, в зависимости от способа передачи сигналов, классифицируют на несколько видов. Симплексный канал направляет сигналы только в одном направлении. Полудуплексный канал позволяет передать сигналы в **двух направлениях, но поочередно**. Такая передача экономически целесообразна также в любых типах каналов при взаимодействии типа «запрос-ответ», когда перед ответом необходимо время для обработки запроса.

3.11.22. При использовании линии электропередачи в качестве канала связи для передачи сигналов применяется спектр частот в диапазоне [3, с. 315]:

1. 0...300 Гц.
2. 300...3000 Гц.
3. 3...6 кГц.
4. **30...500 кГц.**

Совокупность устройств и физических сред, передающих сигналы на расстояние, называется каналом связи. В канал связи обычно входят сами линии связи, усилители и другие вспомогательные устройства. Для создания каналов связи применяются линии связи (кабельные и воздушные), линии электропередач высокого напряжения, радиолинии.

При использовании линии электропередачи в качестве канала связи применяется спектр частот в диапазоне **30...500 кГц**.

3.11.23. Принцип уравновешенного моста используется при уплотнении канала связи линии [2, с. 198; 3, с. 314]:

1. Телеграфной.
2. **Телефонной.**
3. ЛЭП ВН.
4. ЛЭП НН.

При использовании **телефонной** линии в качестве канала связи применяется метод уплотнения по принципу уравновешенного моста.

3.11.24. Принцип передачи сигналов, предполагающий, что общее число посылаемых импульсов должно быть равно числу объектов управления или сигнализации, называется [2, с. 200; 3, с. 311]:

1. Кодовый.
2. Комбинационный.
3. **Независимых посылок.**

Принцип передачи сигналов, предполагающий, что общее число посылаемых импульсов должно быть равно числу объектов управления или сигнализации, называется методом **независимых посылок**.

3.11.25. Общее число возможных управляемых объектов  $N$  при числе импульсов  $n$  с признаками  $m$  определяется по формуле  $N=m^n$  при передаче сигналов с использованием принципа [2, с. 200; 3, с. 311]:

1. Независимых посылок.
2. **Комбинационного.**

**Комбинационный** (кодовый) принцип передачи сигналов построен на использовании нескольких сигналов с различным сочетанием импульсных признаков. Общее число возможных управляемых объектов  $N$  при числе импульсов  $n$  с признаками  $m$  определяется по формуле  $N=m^n$ .

3.11.26. При достаточно большом числе объектов (свыше 100) по условиям уменьшения времени передачи (значительное сокращение числа импульсов в цикле передачи) предпочтительнее в применении принцип передачи сигналов [2, с. 200; 3, с. 312]:

### 1. Независимых посылок.

### 2. Кодовый.

**Кодовый** принцип передачи сигналов применяется при достаточно большом числе объектов (свыше 100) по условиям уменьшения времени передачи (значительное сокращение числа импульсов в цикле передачи).

3.11.27. На два типа систем: интенсивности и с модулированными или кодовыми сигналами разделяют по характеру сигнала системы [2, с. 204; 3, с. 323]:

1. Телесигнализации.

2. Телеуправления.

**3. Телеизмерения.**

4. Телерегулирования.

В **системах телеизмерения** контролируемая величина преобразуется в электрический сигнал, удобный для передачи по каналу связи. Параметры сигнала выбирают такими, чтобы его искажения из-за помех и изменения характеристик канала связи были незначительными. По характеру сигнала выделяют два типа систем: системы интенсивности и системы с модулированными или кодовыми сигналами.

3.11.28. Балансные системы телеизмерения по сравнению с небалансными обеспечивают точность измерения [2, с. 204; 3, с. 324]:

**1. Более высокую.**

2. Менее высокую.

В системах интенсивности измеряемая величина преобразуется в э.д.с. или напряжение постоянного тока, подаваемые в линию связи и измеряемые приемным прибором с малым потреблением. Системы интенсивности выполняются как небалансными (некомпенсационными), так и балансными (компенсационными). Балансные системы по сравнению с небалансными обеспечивают **более высокую точность измерения**. Этот тип систем применяется для коротких проводных линий связи (15-20 км). Это системы ближнего действия.

3.11.29. Балансные (компенсационные), небалансные (не компенсационные) системы относятся к типу систем телеизмерения [2, с. 204; 3, с. 324]:

**1. Интенсивности.**

2. С модулированными сигналами.

3. С кодовыми сигналами.

4. Дальнего действия.

В системах **интенсивности** измеряемая величина преобразуется в э.д.с. или напряжение постоянного тока, подаваемые в линию связи и измеряемые приемным прибором с малым потреблением. Системы интенсивности выполняются как небалансными (некомпенсационными), так и балансными (компенсационными). Балансные системы по сравнению с небалансными обеспечивают более высокую точность измерения. Этот тип систем применяется для коротких проводных линий связи (15-20 км). Это системы ближнего действия.

3.11.30. Для передачи измерений практически на любые расстояния используются системы [2, с. 205; 3, с. 326]:

**1. С модулированными (кодовыми) сигналами.**

2. Балансные.

3. Небалансные.

4. Интенсивности.

Системы телеизмерения с модулированными (кодowymi) сигналами – системы, в которых сигналы модулируются по продолжительности, частоте или фазе. Такие системы предназначены для работы по длинным линиям связи с переменными характеристиками, в том числе и по уплотненным линиям. Это системы дальнего действия.

3.11.31. Методы управления: двухступенчатый, иерархический или многоступенчатый, циркулярный и циклический опрос применяют в системах [3, с. 329]:

1. Телеизмерения.
2. Телеуправления и телесигнализации.
3. Автоматики.
4. Кибернетики.

Системы телеуправления и телесигнализации используют методы управления: двухступенчатый, иерархический или многоступенчатый, циркулярный, а также циклический опрос. Применение методов разделения и избирания сигналов дает возможность многократно использовать линии связи.

3.11.32. Применение методов разделения и избирания сигналов в технике телеуправления и телесигнализации дает возможность использовать линии связи [2, с. 199; 3, с. 311]:

1. Однократно.
2. Многократно.

Системы телеуправления и телесигнализации используют методы управления: двухступенчатый, иерархический или многоступенчатый, циркулярный, а также циклический опрос. Применение методов разделения и избирания сигналов дает возможность многократно использовать линии связи.

3.11.33. Известительная сигнализация [3, с. 330]:

1. Предупреждает о выходе измеряемого параметра за заранее установленные пределы.
2. Подтверждает выполнение команд при телеуправлении.
3. Сигнализирует о состоянии объектов и системы.
4. Работает по методу «темного» либо «светлого» щита.

Системы телесигнализации при их работе получают следующие сигналы:

- о состоянии ОУ и самих систем телемеханики;
- **подтверждающие выполнение команды с ПУ** (известительная сигнализация);
- о выходе измеряемого параметра за заранее установленные пределы (предупредительная и аварийная сигнализация);
- по методу «светлого» либо «темного» щита.

В большинстве систем телеуправления обратный канал используется обычно в виде известительной сигнализации, с помощью которой осуществляется квитирование, или подтверждение принятой команды. Даже в простейших устройствах телеуправления, в которых отсутствует обратная известительная сигнализация, сведения о выполнении или невыполнении команды получают другими средствами.

## ГЛАВА 4

### ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

4.1. Различают полеводство, животноводство, птицеводство, перерабатывающие предприятия по [1, с. 32; 2, с. 31]:

1. Функциональному признаку.
2. **Производственному признаку.**
3. Конструктивному признаку.
4. Технологическому циклу.

Сельскохозяйственное производство включает в себя ряд крупных отраслей: животноводство, птицеводство, полеводство, овощеводство и т. д. Такое деление проводят по **производственному признаку**. Содержание отрасли определяется видом производимого продукта, а структура отрасли – характером и объемом технологических процессов и операций.

4.2. Объекты автоматизации разделены на механические, тепловые, электрические, биологические, химические, гидравлические по [1, с. 33]:

1. **Типу технологических процессов.**
2. Агрегатному состоянию обрабатываемого материала.
3. Виду технологического цикла.
4. **Динамическим свойствам.**

Приведенное деление объектов автоматизации по **типу технологических процессов** отражает основное определяющее явление в объекте, но в нем могут протекать одновременно и другие процессы, играющие второстепенную роль. Классификация типовых технологических процессов дает возможность разработать общий подход к решению задачи автоматизации всего класса, несмотря на технологическую специфику.

4.3. В основу деления объектов автоматизации на безынерционные, апериодические, колебательные, дифференцирующие, интегрирующие, с запаздыванием положены [1, с. 33]:

1. Степень автоматизации.
2. Взаимосвязь технологического и транспортного движений.
3. Конструктивный признак.
4. **Динамические свойства.**

Для автоматического управления объектом важно знать его **динамические свойства**, существенно влияющие на устойчивость и качество регулирования. Сельскохозяйственные объекты автоматизации различают по динамическим свойствам: безынерционные, апериодические (I-го порядка, II-го порядка), колебательные, дифференцирующие, интегрирующие, с запаздыванием.

4.4. Объекты автоматизации делятся на непрерывные проточные и с промежуточными емкостями, периодические с самовыравниванием и без самовыравнивания по [1, с. 33]:

1. Типу технологических процессов.
2. Функциональному признаку.
- 3. Технологическому циклу.**
4. Поточности производства.

Сельскохозяйственные объекты автоматизации по **технологическому циклу** делятся на: непрерывные (прямоточные, с промежуточными емкостями); периодические (с самовыравниванием, без самовыравнивания). Автоматизации легче поддаются объекты с непрерывным циклом и несколько сложнее – объекты с периодическими процессами, особенно не имеющие свойств самовыравнивания.

4.5. Объекты автоматизации делятся на объекты с несовмещенным, совмещенным и независимым движениями по [1, с. 33]:

- 1. Взаимосвязи технологического и транспортного движений.**
2. Динамическим свойствам.
3. Функциональному признаку.
4. Связи с биологическими процессами.

По **взаимосвязи технологического и транспортного движений** сельскохозяйственные объекты автоматизации делятся на три класса:

- с несовмещенным движением (транспортное – транспортеры, нории и др.; технологическое – вентиляторы, сушилки и др.);
- с совмещенным движением (дробилки, запарники кормов, доильные установки, зерноочистительные машины и др.);
- с независимым движением (физиологические процессы в растениях и животных).

4.6. Объекты автоматизации делятся на объекты с твердым, волокнистым, тестообразным, жидким, газообразным состояниями обрабатываемого материала по [1, с. 33]:

1. Типу технологических процессов.
2. Виду используемой энергии.
3. Функциональному признаку.
- 4. Агрегатному состоянию обрабатываемого материала.**

Сельскохозяйственные объекты автоматизации различают по **агрегатному состоянию обрабатываемого материала**. Волокнистое: крупнофракционное (сено, навоз), мелкофракционное (сенная мука, солома); газообразное: свободное (воздух, газ), под давлением (пар, воздух); жидкое: однородные (вода, молоко), неоднородные (пищевые отходы); твердое: сплошная масса (металл, дерево), сыпучие (зерно, мука), штучные (овощи, фрукты); тестообразное: сплошная масса (животный жир, масло), штучные (творог, яйца). Агрегатное состояние материала на входе в объект может отличаться коренным образом от состояния на выходе из объекта. Это оказывает существенное влияние на выбор воспринимающих и исполнительных органов систем автоматики.

4.7. Совокупность приемов и операций, целесообразно направленных на перевод материала или продукта из исходного в необходимое конечное состояние представляет собой [1, с. 37; 2, с. 33]:

1. **Технологический процесс.**
2. Производственный процесс.
3. Установочный режим функционирования.
4. Технологический цикл.

Весь комплекс технологических процессов в их развитии и связи образует **технологическую цепочку**. Ее обоснование помогает рассчитать объем работ по операциям и определить количество машин, увязать входящие в систему машины по производительности и мощности, выбрать рациональное агрегатирование их и степень необходимой универсализации. Таким образом, обеспечивается поточность производства. И, наконец, важнейшая роль, которая отводится цепочке: она должна являться технологической основой для создания комплекса машин – автоматов.

4.8. Определенная совокупность организационных и технологических действий, обеспечивающих нормальное протекание технологического процесса с целью превращения исходного продукта в искомый результат, представляет собой [1, с. 37; 2, с. 33]:

1. **Технологическую операцию.**
2. Технологическую цепочку.
3. Производственный процесс.
4. Технологический цикл.

**Технологическая операция** – определенная совокупность организационных и технологических действий, обеспечивающих нормальное протекание технологического процесса с целью превращения исходного продукта в искомый результат. Операция является основным этапом любого режима функционирования, от проведения которого зависят все его составляющие.

4.9. При связывании технологических операций в составной сложный режим функционирования необходимо установить зависимость между ними [1, с. 37; 2, с. 33]:

1. Только временную.
2. **Порядковую и временную.**
3. Порядковую.
4. Безразлично.

Технологические операции связываются (с точки зрения автоматизации) в составной сложный режим функционирования. При этом необходимо установить функциональную зависимость между заданными значениями операций одного режима и возникновением, прекращением или изменением операций другого, последующего; установить **порядковую и временную** зависимости между началом и концом операции.

4.10. Режимы функционирования – установочный, рабочий, биологический, транспортный, обслуживания составляют [1, с. 37; 2, с. 33]:

1. **Технологический процесс.**
2. Производственный процесс.
3. Технологическую операцию.
4. Технологическую цепочку.

**Технологический процесс** составляют режимы функционирования:

- установочный, связанный с подготовкой машин и объектов к выполнению их основных функций;

- рабочий, обусловленный взаимодействием объекта или машин с материалом или рабочей средой;
- биологический или физико-химический, связанный с длительным естественным процессом накопления растительной или животноводческой продукции;
- транспортный, включающий перемещение машин, рабочих органов, животных или материала;
- режим обслуживания, представляющий собой технический уход за машиной, зоотехническое обслуживание животных и агротехническое обеспечение жизнедеятельности растений.

4.11. Период времени, через который повторяется выход изделия (продукта) с поточной линии, называется [1, с. 37; 2, с. 36]:

1. Такт.
2. Время регулирования.
3. Постоянная времени.
4. Коэффициент использования календарного фонда времени.

**Такт** определяется по формуле  $T = \frac{F\eta}{n}$ , где  $F$  – календарный отрезок времени (год, квартал, смена), за который определяется период  $T$ ;  $\eta$  – коэффициент использования конкретного времени;  $n$  – количество выпускаемых изделий за календарное время  $F$ . При построении поточных технологических процессов или отдельных его операций стремятся обеспечить длительность их протекания, равную или кратную периоду  $T$ . Чем меньше время  $T$ , тем выше уровень непрерывности и ритмичности производства, тем больше процесс приспособлен к поточности.

4.12. Производство, характеризующееся непрерывностью движения объекта обработки (заготовки, детали, продукта) с определенным тактом, принято называть [1, с. 33; 2, с. 36]:

1. Поточное.
2. Автоматизированное.
3. Ручное.
4. Непрерывное.

Степень совершенствования организации производства зависит от того, насколько полно реализованы принципы специализации, пропорциональности, параллельности, прямоочности, ритмичности, то есть **поточности** процессов.

4.13. Сельскохозяйственное производство как ОУ характеризуется целым рядом специфических особенностей: неразрывная связь техники с биологическими объектами; большое разнообразие ТП; типов, конструкций, характеристик и режимов работы машин и установок; рассредоточенность техники, сезонность ее работы в году и непродолжительное использование в течение суток; работа установок на открытом воздухе и др. Вследствие перечисленных особенностей и ряда других причин методы и средства автоматизации и требования к ним в сельском хозяйстве от промышленных [1, с. 26]:

1. Значительно отличаются.
2. Не отличаются.

Условия работы средств автоматики в сельском хозяйстве очень тяжелые, и вероятность возникновения их неисправностей значительно выше, чем в ряде других отраслей народного хозяйства. Методы и средства автоматизации и требования к ним в сельском хозяйстве **значительно отличаются** от промышленных. Средства автоматики должны быть многообразными, относительно недорогими, простыми по устройству и надежными в эксплуатации.

4.14. Этапы – изучение свойств ОУ и создание его математической модели; выявление наиболее целесообразных способов управления; техническое осуществление разработанной системы управления входят в состав общей методики [1, с. 22]:

1. Анализа САУ ТП.

**2. Синтеза САУ ТП.**

**Синтез САУ технологических процессов** предполагает выбор структурной схемы и значений параметров ее отдельных звеньев, обеспечивающих заданную точность в установившемся режиме и характер переходного процесса, удовлетворяющий заданным показателям качества. Окончательно значения этих параметров устанавливаются в процессе наладки и настройки системы в условиях работы.

4.15. Путем последовательного объединения систем управления отдельными ТП при условии обеспечения максимальной универсальности систем, надежности и рационального использования новейших методов построения автоматических систем и технических средств [1, с. 17]:

1. Решаются вопросы механизации сельского хозяйства.

2. Решаются вопросы комплексной электрификации сельского хозяйства.

**3. Строится автоматизированная система управления сельскохозяйственным производством (АСУП).**

Такое поэтапное построение автоматизированной системы управления сельскохозяйственным производством (АСУП) позволяет получить наибольший эффект от внедрения автоматических устройств при минимальных затратах, связанных с автоматизацией важнейших звеньев ТП.

4.16. В основу построения АСУП положен [1, с. 17]:

1. Принцип логического управления.

**2. Иерархический принцип, определяющий порядок взаимодействия отдельных частей управляющей системы.**

3. Программное управление.

4. Комбинированное управление.

В основу построения АСУП положен **иерархический принцип, определяющий порядок взаимодействия отдельных частей управляющей системы.** САУ ТП находятся на самой низкой ступени иерархической лестницы систем управления, на средней ступени – АСУ ТП, и на более высокой – АСУП.

4.17. В решении проблемы автоматизации управления сельскохозяйственным производством в целом задача автоматизации управления локальными ТП [1, с. 18]:

1. Является первоочередной.
2. Решается на последующих этапах.

Задача автоматизации управления локальными ТП – **первоочередная** в решении проблемы автоматизации управления сельскохозяйственным производством в целом. Технические решения по автоматизации таких ТП обычно являются типовыми, не несущими в себе специальных признаков, связанных с особенностями сельскохозяйственного производства. Задачи таких систем управления – обеспечение эффективности и надежности технологического оборудования.

4.18. САУ ТП – чисто технические устройства, непосредственно выполняющие заданный алгоритм функционирования установок, действующих независимо одна от другой, находятся на ступени иерархической лестницы систем управления [1, с. 8]:

1. Самой низкой.
2. Средней.
3. Более высокой.

САУ ТП представляет собой совокупность автоматического управляющего устройства и объекта управления, взаимодействующих между собой в процессе функционирования (без непосредственного участия человека). САУ ТП находятся на **самой низкой** ступени иерархической лестницы систем управления.

4.19. Человеко-машинная система, предназначенная для контроля режимов работы, сбора и обработки информации о протекании технологических процессов локальных производств, называется [1, с. 8]:

1. САУ ТП.
2. АСУ ТП.
3. АСУП.
4. САР.

Обычно **АСУ ТП** охватывает отдельные цехи, животноводческие и птицеводческие фермы, хранилища, хозяйства в целом. АСУ ТП в сочетании с ЭВМ помогает диспетчеру и руководителю предприятия оперативно находить решения по оптимальному управлению производственным процессом, опираясь на показатели отдельных технологических операций.

4.20. АСУ ТП находятся на ступени иерархической лестницы систем управления [1, с. 8]:

1. Самой низкой.
2. Средней.
3. Более высокой.

АСУ ТП находятся **на средней ступени** иерархической лестницы систем управления. Это системы управления сложными ТП, которые характеризуются большим объемом перерабатываемой информации и не могут управляться автоматическим устройством без участия человека. В этом случае функции управления распределяются между человеком-оператором и вычислительной машиной, способной переработать практически неограниченный объем информации.

4.21. Человеко-машинная система, обеспечивающая автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления в различных сферах, главным образом, в организационно-экономической деятельности человека, например, управление хозяйственно-плановой деятельностью отрасли, называется [1, с. 8]:

1. САУ ТП.
2. АСУ ТП.
3. АСУП.
4. САР.

АСУП может осуществлять управление хозяйственно-плановой деятельностью отрасли, предприятием, комплексом, территориальным регионом, то есть управление системой сельскохозяйственных подразделений.

4.22. Использование ЭВМ в системе управления расширяет возможности осуществления сложных алгоритмов управления при большом числе переменных величин, характеризующих ход ТП. Управляющая микро-ЭВМ может работать в одном из трех режимов: информационно-советующем, супервизорного управления, непосредственного цифрового управления в зависимости от [1, с. 21]:

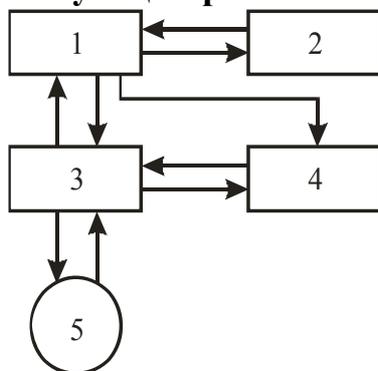
1. Агрегатного состояния обрабатываемого материала.
2. **Достигнутого уровня совершенства технического и программного обеспечения.**
3. Типа технологического процесса.
4. Технологического цикла.

Важнейшим условием использования микро-ЭВМ в системах управления производством является не только **совершенство их программного обеспечения, но и техническая надежность.**

4.23. Управляющая микро-ЭВМ выдает оператору рекомендации по управлению ТП, которые он анализирует и либо принимает, либо отвергает на основании текущей информации и предыдущего опыта. Такой режим работы микро-ЭВМ называется [1, с. 21]:

1. Супервизорное управление.
2. **Информационно-советующий.**
3. Непосредственное цифровое управление.

Работа микро-ЭВМ в системах управления ТП в **информационно-советующем режиме:**



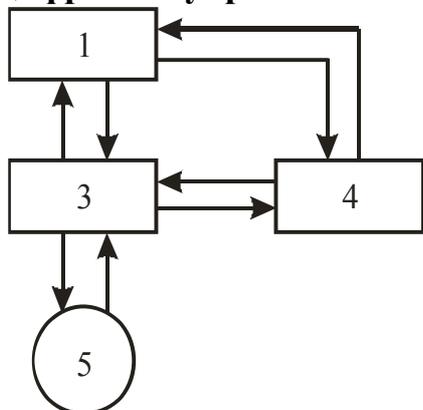
- 1 – технологический процесс (объект управления);
- 2 – локальные автоматические системы (ЛАС);
- 3 – пульт контроля и управления (ПКУ);
- 4 – управляющая микро-ЭВМ;
- 5 – оператор.

Реализацию принятого решения осуществляют вручную, через ПКУ. Основная тяжесть задачи управления (автоматическое регулирование, защита и сигнализация) ложится на ЛАС.

4.24. Микро-ЭВМ, непосредственно воздействующая на ТП через исполнительные устройства, работает в режиме [1, с. 21]:

1. Информационно-советующем.
2. Супервизорного управления.
- 3. Непосредственного цифрового управления.**

Работа микро-ЭВМ в системах управления ТП в режиме **непосредственного цифрового управления**:



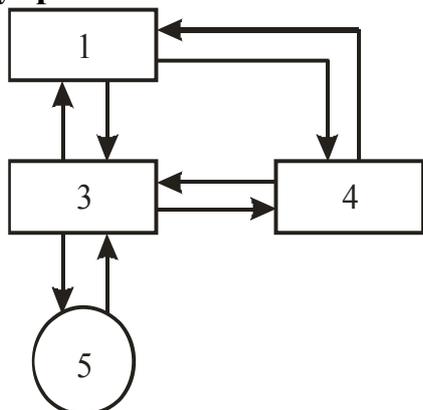
- 1 – технологический процесс (объект управления);
- 3 – пульт контроля и управления (ПКУ);
- 4 – управляющая микро-ЭВМ;
- 5 – оператор.

Микро-ЭВМ, обязательно обладающая высокой степенью надежности, непосредственно воздействует на ТП через исполнительные устройства. ЛАС в этом случае не используют.

4.25. Контроль и коррекцию работы локальных автоматических систем выполняет микро-ЭВМ. Оператор вмешивается в работу автоматических систем только в случае обнаружения тех или иных нарушений хода ТП. Такой режим работы микро-ЭВМ называется [1, с. 21]:

1. Информационно-советующий.
- 2. Режим супервизорного управления.**
3. Режим непосредственного цифрового управления.

Работа микро-ЭВМ в системах управления ТП в режиме **супервизорного управления**:



- 1 – технологический процесс (объект управления);
- 3 – пульт контроля и управления (ПКУ);
- 4 – управляющая микро-ЭВМ;
- 5 – оператор.

4.26. Различают варианты оперативного управления ТП: децентрализованный контроль и управление, централизованный контроль и управление, автоматизированное оперативное управление, полностью автоматическое управление в зависимости от [1, с. 24]:

1. Назначения системы.
2. **Функций, выполняемых оператором.**
3. Типа технологических процессов.
4. Поточности производства.

В результате автоматизации ТП непосредственное участие человека в системе управления не является необходимым, тем более что технические средства превосходят человека по физическим характеристикам, надежности работы при выполнении повторяющихся операций, возможности хранить информацию и т.д. В этой связи в зависимости от **функций, выполняемых оператором**, возможно несколько вариантов оперативного управления ТП: децентрализованный контроль и управление, автоматизированное оперативное управление, полностью автоматическое управление.

## ГЛАВА 5

### НАДЕЖНОСТЬ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

5.1. Свойство изделия (элемента, устройства, системы) выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в строго нормированных пределах при заданных режимах и условиях эксплуатации в течение требуемого промежутка времени, называется [2, с. 313; 5, с. 183]:

1. **Надежность.**
2. Устойчивость.
3. Самовыравнивание.
4. Работоспособное состояние.

**Надежность** – сложное, комплексное свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортировки. Надежность включает ряд более простых свойств (в отдельности или в определенном сочетании): безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Оценивают надежность по количественным показателям, имеющим вероятностный характер.

5.2. Свойство системы сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях эксплуатации называется [2, с. 313; 5, с. 183]:

1. Долговечность.
2. **Безотказность.**
3. Ремонтпригодность.
4. Сохраняемость.

**Безотказность** – свойство объекта (системы) непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки. Под наработкой понимают продолжительность или объем работы объекта (системы). Под работоспособным состоянием понимают состояние объекта (системы), при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

5.3. Приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов называется [2, с. 313; 5, с. 183]:

1. Безотказность.
2. Долговечность.
3. Ремонтопригодность.
4. Сохраняемость.

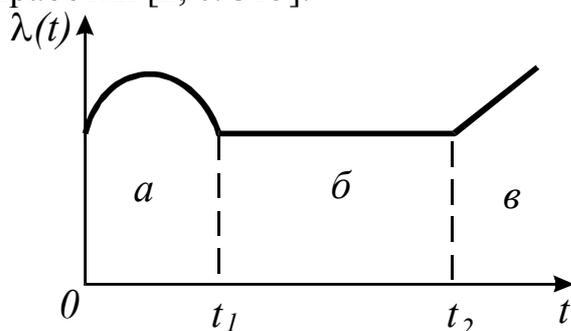
**Ремонтопригодность** – приспособленность объекта к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов (повреждений), к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

5.4. Опасность (интенсивность) отказов определяется по формуле [2, с. 314; 5, с. 84]:

1.  $N_{cp} = \frac{N_n + N_k}{2}$ .
2.  $P(t) = 1 - q(t)$ .
3.  $\lambda(t) = \frac{\Delta N}{N_{cp} \Delta t}$ .
4.  $\Delta N = N_n - N_k$ .

**Интенсивность отказов  $\lambda(t)$**  однотипных элементов представляет собой отношение числа отказывающих в единицу времени элементов  $\Delta N$  к среднему числу элементов  $N_{cp}$ , продолжающих исправно работать в данный отрезок времени  $\Delta t$ . Величина  $\lambda(t)$  определяется на основе сбора статистических данных о продолжительности исправной работы элементов автоматики; ее нетрудно определить и экспериментально.

5.5. На графической зависимости опасности отказов  $\lambda(t)$  укажите этап приработки [2, с. 315]:



1. а.
2. б.
3. в.

**Этап приработки (а)** характеризуется повышенной интенсивностью отказов. Из строя выходит сравнительно большое количество элементов. Это происходит из-за производственных дефектов и ошибок, допущенных при сборке и монтаже.

5.6. Вероятность того, что отказ устройства (прибора, элемента) в течение времени  $t$  не наступит, называется [2, с. 316; 5, с. 184]:

1. Вероятность безотказной работы  $P(t)$ .
2. Сохраняемость.
3. Интенсивность отказов  $\lambda(t)$ .
4. Ремонтопригодность.

**Вероятность безотказной работы  $P(t)$**  – вероятность того, что при заданных условиях эксплуатации в течение определенного времени отказа объекта не

произойдет. Для технических объектов сельскохозяйственного назначения  $P(t)$  находится в пределе от 0,99 до 0,75. При расчетах  $P_i(t)$  определяют через  $\lambda_i$  и время эксплуатации  $t$ :  $P_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ .

5.7. Событие, противоположное вероятности безотказной работы, называется [2, с. 316; 5, с. 184]:

1. Кратковременный отказ.
2. Внезапный отказ.
3. Постепенный отказ.
4. **Вероятность отказа  $q(t)$ .**

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и **вероятность отказа  $q(t)$**  представляют собой противоположные события, изменяющиеся от 0 до 1, то есть их сумма равна единице:  $P(t)+q(t)=1$ . Вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказа  $q(t)$  служат количественной мерой надежности элементов и систем.

5.8. Вероятность безотказной работы САУ при последовательном соединении элементов равна [2, с. 316; 5, с. 184]:

1.  $\lambda(t) = \frac{\Delta N}{N_{cp} \Delta t}$ .
2.  $P(t) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P_i(t)]$ .
3.  $q(t) = 1 - P(t)$ .
4.  $P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$ .

При последовательном соединении  $n$  элементов вероятность безотказной работы системы определяется (в соответствии с теоремой о совместном выполнении независимых событий) произведением  $P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$ , где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента. Вероятностный характер означает, что нельзя с полной достоверностью сказать, в какой момент времени произойдет отказ.

5.9. Функция  $P(t)$  [2, с. 316; 5, с. 184]:

1. Изменяется по гармоническому закону.
2. **Монотонно убывающая.**
3. Изменяется скачкообразно.
4. Монотонно возрастающая.

Функция  $P(t)$  обладает следующими очевидными свойствами:  $P(t)$  – функция, **монотонно убывающая**; при  $t=0$  функция  $P(t)=1$ ; при  $t \rightarrow \infty$  функция  $P(t)$  стремится к нулю.

5.10. Вероятность безотказной работы может иметь значения [2, с. 316; 5, с. 184]:

1.  $0 \leq P(t) \leq 1$ .
2.  $P(t) < 0$ .
3.  $P(t) > 1$ .

Вероятность безотказной работы  $P(t)$  может изменяться в пределах от 0 до 1. Технические средства автоматики имеют этот показатель на уровне 0,75...0,99.

5.11. Во времени вероятность безотказной работы системы на этапе нормальной работы изменяется по закону [2, с. 316; 5, с. 184]:

1.  $P(t) = e^{-k\lambda t}$ .
2.  $q(t) = 1 - P(t)$ .
3.  $\lambda(t) = \frac{\Delta N}{N_{cp} \Delta t}$ .
4.  $P(t) = 1 - q(t)$ .

Для технических средств автоматики с известной степенью допущения можно считать, что на этапе нормальной работы ( $\lambda = const$ ) функция  $P(t)$  носит экспоненциальный характер  $P(t) = e^{-k\lambda t}$ , где  $k$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние окружающей среды на увеличение  $\lambda(t)$ . Для лабораторных условий  $k=1$ , для стационарных наземных устройств  $k=10 \dots 15$ , для мобильных агрегатов  $k=25 \dots 30$ .

5.12. Вероятность безотказной работы системы будет тем ниже, чем [2, с. 316; 5, с. 184]:

1. Меньше элементов входит в ее состав.
2. **Больше элементов входит в ее состав.**
3. Безразлично.

Вероятность безотказной работы САУ определяется зависимостью

$$P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

С увеличением числа элементов, входящих в состав системы

вероятность безотказной работы ее будет уменьшаться.

5.13. Вероятность безотказной работы системы в сравнении с вероятностью безотказной работы самого ненадежного элемента будет [2, с. 316; 5, с. 184]:

1. **Ниже.**
2. Выше незначительно.
3. Равны между собой.
4. Значительно выше.

В соответствии с теоремой о совместном выполнении независимых событий вероятность безотказной работы системы (произведение  $P_i(t)$ ) будет **ниже** вероятности безотказной работы самого ненадежного элемента.

5.14. Среднее время исправной работы группы элементов определяется по формуле [2, с. 314; 5, с. 184]:

1.  $t_{cp.om.} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$ .
2.  $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_N}{N}$ .
3.  $P(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$ .
4.  $k_{\Gamma} = \frac{t_{II}}{t_{II} + t_{II}}$ .

Если имеется  $N$  элементов со временем исправной работы каждого соответственно  $t_1, t_2, \dots, t_N$ , то среднее время их исправной работы

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_N}{N}.$$

На этапе нормальной работы ( $\lambda = const$ )  $t_{cp} = 1/\lambda$ .

5.15. Коэффициент вынужденного простоя системы определяется по формуле [2, с. 314; 5, с. 185]:

$$1. k_{\Gamma} = \frac{t_{II}}{t_{II} + t_{\Pi}}$$

$$2. K_{\Pi} = \frac{t_{\Pi}}{t_{II} + t_{\Pi}}$$

$$3. t_{cp} = \frac{1}{\lambda(t)}$$

$$4. t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_N}{N}$$

Коэффициент вынужденного простоя системы автоматики  $k_{\Pi}$  – отношение времени вынужденных простоев  $t_{\Pi}$  к сумме времени исправной работы  $t_{II}$  и времени вынужденных простоев  $k_{\Pi} = \frac{t_{\Pi}}{t_{II} + t_{\Pi}}$ . Сумма коэффициентов вынужденного простоя и готовности равна единице:  $k_{\Pi} + k_{\Gamma} = 1$ .

5.16. Схемные способы повышения надежности относятся к мерам по обеспечению надежности элементов и систем при их [2, с. 317; 5, с. 185]:

1. Проектировании.
2. Производстве.
3. Эксплуатации.
4. Хранении.

В процессе **проектирования** наибольший эффект дают схемные способы повышения надежности: упрощение схем, ограничение последствий отказов, резервирование. Не менее эффективными являются и конструктивные способы: выбор надежных элементов, облегчение режима работы, унификация элементов и узлов, ремонтпригодность.

5.17. Внутриэлементный, отдельный, автономный, общий способы составляют группу приемов повышения надежности при [2, с. 317; 5, с. 186]:

1. Резервировании.
2. Изготовлении.
3. Эксплуатации.
4. Упрощении схем.

**Резервирование** предполагает рациональное использование избыточных элементов и отдельных узлов так, чтобы при отказе какого-либо элемента его функции выполнялись резервным. Способы резервирования: автономный – применяется несколько независимых систем автоматики, выполняющих одну и ту же задачу; внутриэлементный – заключается в резервировании внутренних связей элемента; общий – резервируется вся схема, за исключением входных и выходных устройств; отдельный – заключается в резервировании устройства автоматики по отдельным узлам.

5.18. Какие условия окружающей среды считаются нормальными для работы технических средств автоматики [2, с. 317]?

	Температура, °K	Относительная влажность, %	Давление, $\frac{H}{M^2}$
1.	273...283	25...40	53200...79800
2.	<b>288...298</b>	<b>45...75</b>	<b>86450...106400</b>
3.	303...313	80...90	113050...119700

Нормальные условия окружающей среды для работы технических средств автоматики: температура **288...298°К**; относительная влажность **45...75%**; давление **86450...106400  $\frac{Н}{м^2}$** . Явление коррозии возникает при критической в этом отношении влажности, равной, в зависимости от состава воздуха, 60...70%.

5.19. По сокращению расхода топлива или энергии, увеличению надежности и долговечности работы энергетического оборудования, экономичности работы систем энергообеспечения, повышению КПД силовых установок определяют составную часть экономической эффективности автоматизации (эффект) [1, с. 27; 2, с. 320]:

1. Трудовой.
2. Структурный.
3. Технологический.
4. **Энергетический.**

Экономическая эффективность автоматизации складывается из трудового, структурного, технологического и **энергетического** эффектов. Трудовой эффект связан с сокращением прямых затрат живого труда обслуживающего персонала на выполнение ТП. Структурный эффект обусловлен сокращением регулирующих и запасных емкостей, уменьшением служебных помещений и инженерных коммуникаций, снижением металлоемкости и стоимости оборудования и т.д. Технологический эффект обусловлен, в основном, увеличением производства продукции за счет автоматизации ТП.

5.20. Срок окупаемости капитальных затрат на автоматизацию при одинаковом годовом объеме производства определяется по формуле [1, с. 29; 5, с. 188]:

$$1. E = 1/T_{o.n.}.$$

$$2. T_o = \frac{K_a - K_n}{I_n - I_a}$$

$$3. p = \frac{Ц - С}{С} \cdot 100\%.$$

$$4. Z = EK + И.$$

$K_n$  и  $K_a$  – капитальные затраты соответственно неавтоматизированного и автоматизированного производств;  $I_n$  и  $I_a$  – эксплуатационные годовые издержки соответственно неавтоматизированного и автоматизированного производств;  $E$  – нормативный коэффициент экономической эффективности дополнительных капитальных затрат;  $Ц$  – оптовая цена продукции;  $С$  – себестоимость продукции;  $Z$  – приведенные расчетные затраты.

Одним из основных показателей эффективности автоматизации является срок окупаемости капитальных затрат  $T_o = \frac{K_a - K_n}{I_n - I_a}$ . Расчетный  $T_o$  сравнивают с нормативным  $T_{o.n.}$ , который устанавливается директивными органами. Нормативный коэффициент экономической эффективности  $E$  представляет собой величину, обратную нормативному сроку окупаемости  $T_{o.n.}$ :  $E=1/T_{o.n.}$ .

5.21. Приведенные расчетные затраты на автоматизацию определяются по формуле [1, с. 30; 5, с. 189]:

$$1. P = \Pi - C. \quad 2. E = 1/T_{o.n.}. \quad 3. z = Z/Q. \quad 4. Z = EK + И.$$

$T_{o.n.}$  – нормативный срок окупаемости капитальных затрат;  $K$  – удельные капитальные вложения в производственные фонды при внедрении средств автоматики;  $\Pi$  – абсолютная прибыль;  $Q$  – объем продукции.

Приведенные расчетные затраты на автоматизацию  $Z$  служат обобщающим показателем эффективности капитальных вложений  $Z = EK + И$ . часто пользуются показателем удельных приведенных затрат  $z = Z/Q$ .

5.22. Чем меньше срок окупаемости капитальных затрат  $T_o$ , тем эффективность автоматизации [1, с. 30; 5, с. 189]:

1. Ниже.

2. Выше.

По сроку окупаемости капитальных затрат  $T_o$  судят о степени эффективности автоматизации: чем меньше срок окупаемости, тем **выше** эффективность.

5.23. По формуле  $\Delta Z_T = \frac{Z_{тн} - Z_{та}}{Z_{тн}} \cdot 100\%$  определяют [2, с. 323; 5, с. 190]:

1. Снижение затрат труда.

2. Понижение технологичности.

3. Сокращение аварийности.

4. Рентабельность.

Повышение производительности труда, произошедшее в результате автоматизации, отражает **снижение затрат труда**, выраженное в процентах

$\Delta Z_T = \frac{Z_{тн} - Z_{та}}{Z_{тн}} \cdot 100\%$ , где  $Z_{тн}$  – затраты труда на единицу продукции при неавтоматизированном способе производства;  $Z_{та}$  – то же при автоматизированном способе производства.

5.24. Рентабельность производства, характеризующая уровень доходности производства, то есть относительное значение чистой прибыли, определяется по формуле [1, с. 30; 2, с. 322]:

$$1. P = \Pi - C. \quad 2. P = \frac{\Pi - C}{C} \cdot 100\% \quad 3. H = \Pi / C \quad 4. Z = EK + И.$$

Обобщающим показателем эффективности автоматизации является рентабельность производства. Она связана с денежным измерением затрат труда и характеризует уровень доходности производства, то есть относительное значение чистой прибыли  $P = \frac{\Pi - C}{C} \cdot 100\%$ , где  $\Pi$  – оптовая цена продукции;  $C$  – себестоимость продукции.

## Ответы

### Глава 1. Общие сведения о системах и элементах автоматики

#### 1.1. Основные понятия, определения и терминология автоматики

1.1.1. – 2	1.1.17. – 4	1.1.33. – 3	1.1.49. – 1	1.1.65. – 4
1.1.2. – 2	1.1.18. – 2	1.1.34. – 2	1.1.50. – 3	1.1.66. – 2
1.1.3. – 1	1.1.19. – 2	1.1.35. – 3	1.1.51. – 2	1.1.67. – 3
1.1.4. – 2	1.1.20. – 1	1.1.36. – 2	1.1.52. – 3	1.1.68. – 2
1.1.5. – 3	1.1.21. – 2	1.1.37. – 1	1.1.53. – 2	1.1.69. – 4
1.1.6. – 2	1.1.22. – 2	1.1.38. – 4	1.1.54. – 1	1.1.70. – 2
1.1.7. – 1	1.1.23. – 3	1.1.39. – 4	1.1.55. – 1	1.1.71. – 4
1.1.8. – 1	1.1.24. – 1	1.1.40. – 4	1.1.56. – 3	1.1.72. – 1
1.1.9. – 2	1.1.25. – 1	1.1.41. – 1	1.1.57. – 3	1.1.73. – 2
1.1.10. – 1	1.1.26. – 2	1.1.42. – 1	1.1.58. – 2	1.1.74. – 3
1.1.11. – 1	1.1.27. – 1	1.1.43. – 2	1.1.59. – 3	1.1.75. – 4
1.1.12. – 3	1.1.28. – 1	1.1.44. – 2	1.1.60. – 4	1.1.76. – 1
1.1.13. – 1	1.1.29. – 1	1.1.45. – 1	1.1.61. – 1	1.1.77. – 3
1.1.14. – 2	1.1.30. – 3	1.1.46. – 1	1.1.62. – 1	1.1.78. – 2
1.1.15. – 3	1.1.31. – 1	1.1.47. – 4	1.1.63. – 3	
1.1.16. – 3	1.1.32. – 2	1.1.48. – 2	1.1.64. – 1	

#### 1.2. Математическое описание элементов САУ

1.2.1. – 2	1.2.8. – 2	1.2.15. – 2	1.2.22. – 1	1.2.29. – 3
1.2.2. – 3	1.2.9. – 4	1.2.16. – 1	1.2.23. – 4	1.2.30. – 2
1.2.3. – 1	1.2.10. – 1	1.2.17. – 3	1.2.24. – 1	1.2.31. – 3
1.2.4. – 3	1.2.11. – 4	1.2.18. – 2	1.2.25. – 4	1.2.32. – 4
1.2.5. – 1	1.2.12. – 4	1.2.19. – 2	1.2.26. – 3	1.2.33. – 3
1.2.6. – 2	1.2.13. – 1	1.2.20. – 2	1.2.27. – 1	1.2.34. – 4
1.2.7. – 1	1.2.14. – 2	1.2.21. – 4	1.2.28. – 4	1.2.35. – 3
				1.2.36. – 1

#### 1.3. Объекты управления

1.3.1. – 1	1.3.14. – 3	1.3.27. – 1	1.3.40. – 3	1.3.53. – 3
1.3.2. – 1	1.3.15. – 2	1.3.28. – 1	1.3.41. – 4	1.3.54. – 1
1.3.3. – 1	1.3.16. – 3	1.3.29. – 3	1.3.42. – 1	1.3.55. – 4
1.3.4. – 4	1.3.17. – 1	1.3.30. – 2	1.3.43. – 3	1.3.56. – 2
1.3.5. – 1	1.3.18. – 4	1.3.31. – 2	1.3.44. – 1	1.3.57. – 2
1.3.6. – 1	1.3.19. – 2	1.3.32. – 1	1.3.45. – 2	1.3.58. – 1
1.3.7. – 4	1.3.20. – 1	1.3.33. – 2	1.3.46. – 1	1.3.59. – 1
1.3.8. – 3	1.3.21. – 2	1.3.34. – 1	1.3.47. – 4	1.3.60. – 2
1.3.9. – 2	1.3.22. – 2	1.3.35. – 2	1.3.48. – 1	1.3.61. – 2
1.3.10. – 2	1.3.23. – 1	1.3.36. – 3	1.3.49. – 2	1.3.62. – 1
1.3.11. – 1	1.3.24. – 1	1.3.37. – 1	1.3.50. – 4	
1.3.12. – 3	1.3.25. – 1	1.3.38. – 3	1.3.51. – 1	
1.3.13. – 2	1.3.26. – 3	1.3.39. – 2	1.3.52. – 1	

## Глава 2. Технические средства автоматики и телемеханики

### 2.1. Основные понятия о государственной системе приборов (ГСП)

2.1.1. – 4	2.1.6. – 2	2.1.11. – 2	2.1.16. – 4	2.1.21. – 2
2.1.2. – 1	2.1.7. – 3	2.1.12. – 3	2.1.17. – 1	2.1.22. – 1
2.1.3. – 1	2.1.8. – 2	2.1.13. – 4	2.1.18. – 2	
2.1.4. – 3	2.1.9. – 2	2.1.14. – 3	2.1.19. – 1	
2.1.5. – 3	2.1.10. – 3	2.1.15. – 1	2.1.20. – 1	

### 2.2. Датчики

2.2.1 – 1	2.2.16 – 1	2.2.31 – 4	2.2.46 – 4	2.2.61 – 3
2.2.2 – 4	2.2.17 – 1	2.2.32 – 2	2.2.47 – 2	2.2.62 – 1
2.2.3 – 3	2.2.18 – 2	2.2.33 – 2	2.2.48 – 4	2.2.63 – 3
2.2.4 – 1	2.2.19 – 3	2.2.34 – 4	2.2.49 – 3	2.2.64 – 4
2.2.5 – 2	2.2.20 – 1	2.2.35 – 2	2.2.50 – 1	2.2.65 – 1
2.2.6 – 2	2.2.21 – 3	2.2.36 – 2	2.2.51 – 1	2.2.66 – 4
2.2.7 – 4	2.2.22 – 2	2.2.37 – 3	2.2.52 – 2	2.2.67 – 3
2.2.8 – 1	2.2.23 – 3	2.2.38 – 4	2.2.53 – 4	2.2.68 – 4
2.2.9 – 1	2.2.24 – 4	2.2.39 – 2	2.2.54 – 4	2.2.69 – 1
2.2.10 – 1	2.2.25 – 1	2.2.40 – 1	2.2.55 – 3	2.2.70 – 2
2.2.11 – 1	2.2.26 – 2	2.2.41 – 1	2.2.56 – 2	2.2.71 – 4
2.2.12 – 4	2.2.27 – 2	2.2.42 – 3	2.2.57 – 4	2.2.72 – 2
2.2.13 – 1	2.2.28 – 1	2.2.43 – 2	2.2.58 – 4	2.2.73 – 2
2.2.14 – 4	2.2.29 – 3	2.2.44 – 3	2.2.59 – 2	
2.2.15 – 2	2.2.30 – 2	2.2.45 – 1	2.2.60 – 3	

### 2.3. Задающие и сравнивающие устройства

2.3.1. – 3	2.3.4. – 3	2.3.7. – 1	2.3.10. – 2	2.3.13. – 3
2.3.2. – 1	2.3.5. – 3	2.3.8. – 3	2.3.11. – 2	
2.3.3. – 4	2.3.6. – 1	2.3.9. – 2	2.3.12. – 1	

### 2.4. Усилители

2.4.1 – 4	2.4.8 – 2	2.4.15 – 2	2.4.22 – 3	2.4.29 – 1
2.4.2 – 1	2.4.9 – 1	2.4.16 – 3	2.4.23 – 2	2.4.30 – 3
2.4.3 – 4	2.4.10 – 3	2.4.17 – 2	2.4.24 – 4	2.4.31. – 1
2.4.4 – 3	2.4.11 – 3	2.4.18 – 3	2.4.25 – 2	2.4.32. – 2
2.4.5 – 1	2.4.12 – 1	2.4.19 – 1	2.4.26 – 1	
2.4.6 – 1	2.4.13 – 1	2.4.20 – 2	2.4.27 – 1	
2.4.7 – 3	2.4.14 – 1	2.4.21 – 3	2.4.28 – 3	

## 2.5. Релейные элементы и специальные устройства

2.5.1 - 1	2.5.16 - 3	2.5.31 - 2	2.5.46 - 2	2.5.61 - 4
2.5.2 - 2	2.5.17 - 2	2.5.32 - 4	2.5.47 - 2	2.5.62 - 3
2.5.3 - 1	2.5.18 - 4	2.5.33 - 4	2.5.48 - 2	2.5.63 - 1
2.5.4 - 4	2.5.19 - 2	2.5.34 - 2	2.5.49 - 1	2.5.64 - 2
2.5.5 - 4	2.5.20 - 3	2.5.35 - 2	2.5.50 - 4	2.5.65 - 1
2.5.6 - 1	2.5.21 - 2	2.5.36 - 3	2.5.51 - 2	2.5.66 - 3
2.5.7 - 1	2.5.22 - 4	2.5.37 - 3	2.5.52 - 3	2.5.67 - 2
2.5.8 - 1	2.5.23 - 2	2.5.38 - 4	2.5.53 - 1	2.5.68 - 3
2.5.9 - 4	2.5.24 - 3	2.5.39 - 1	2.5.54 - 3	2.5.69 - 4
2.5.10 - 1	2.5.25 - 2	2.5.40 - 4	2.5.55 - 1	2.5.70 - 2
2.5.11 - 3	2.5.26 - 2	2.5.41 - 2	2.5.56 - 2	2.5.71 - 1
2.5.12 - 1	2.5.27 - 1	2.5.42 - 1	2.5.57 - 1	2.5.72 - 2
2.5.13 - 1	2.5.28 - 3	2.5.43 - 2	2.5.58 - 2	2.5.73 - 1
2.5.14 - 1	2.5.29 - 2	2.5.44 - 3	2.5.59 - 2	
2.5.15 - 1	2.5.30 - 3	2.5.45 - 1	2.5.60 - 3	

## 2.6. Исполнительные механизмы и регулирующие органы

2.6.1 - 1	2.6.7 - 3	2.6.13 - 2	2.6.19 - 4	2.6.25 - 3
2.6.2 - 1	2.6.8 - 1	2.6.14 - 3	2.6.20 - 2	2.6.26 - 2
2.6.3 - 1	2.6.9 - 2	2.6.15 - 1	2.6.21 - 2	2.6.27 - 1
2.6.4 - 3	2.6.10 - 2	2.6.16 - 2	2.6.22 - 2	2.6.28 - 1
2.6.5 - 2	2.6.11 - 3	2.6.17 - 1	2.6.23 - 2	2.6.29 - 3
2.6.6 - 1	2.6.12 - 3	2.6.18 - 4	2.6.24 - 2	

## 2.7. Источники электропитания и стабилизаторы

2.7.1 - 1	2.7.5 - 4	2.7.9 - 1	2.7.13 - 1	2.7.17 - 3
2.7.2 - 2	2.7.6 - 1	2.7.10 - 3	2.7.14 - 3	
2.7.3 - 4	2.7.7 - 2	2.7.11 - 2	2.7.15 - 1	
2.7.4 - 3	2.7.8 - 2	2.7.12 - 3	2.7.16 - 2	

## 2.8. Автоматические регуляторы

2.8.1 - 1	2.8.8 - 1	2.8.15 - 2	2.8.22 - 2	2.8.29 - 2
2.8.2 - 1	2.8.9 - 2	2.8.16 - 3	2.8.23 - 4	2.8.30 - 4
2.8.3 - 2	2.8.10 - 3	2.8.17 - 1	2.8.24 - 2	2.8.31 - 1
2.8.4 - 1	2.8.11 - 4	2.8.18 - 2	2.8.25 - 2	2.8.32 - 3
2.8.5 - 2	2.8.12 - 2	2.8.19 - 3	2.8.26 - 3	2.8.33 - 2
2.8.6 - 2	2.8.13 - 1	2.8.20 - 1	2.8.27 - 1	2.8.34 - 4
2.8.7 - 2	2.8.14 - 2	2.8.21 - 1	2.8.28 - 3	2.8.35 - 4
				2.8.36 - 4

## Глава 3. Системы автоматического управления

### 3.1. Общие свойства САУ

3.1.1. – 1	3.1.8 – 2	3.1.15 – 2	3.1.22. – 2	3.1.29. – 2
3.1.2. – 1	3.1.9. – 2	3.1.16. – 3	3.1.23. – 1	3.1.30. – 1
3.1.3. – 1	3.1.10. – 3	3.1.17. – 1	3.1.24. – 1	3.1.31. – 3
3.1.4. – 2	3.1.11. – 4	3.1.18 – 1	3.1.25 – 2	3.1.32. – 2
3.1.5 – 2	3.1.12. – 4	3.1.19. – 3	3.1.26. – 4	3.1.33. – 2
3.1.6. – 3	3.1.13. – 1	3.1.20. – 3	3.1.27. – 3	3.1.34. – 1
3.1.7. – 3	3.1.14. – 4	3.1.21. – 4	3.1.28 – 3	3.1.35 – 2
				3.1.36. – 2

### 3.2. Устойчивость САУ

3.2.1. – 1	3.2.7. – 4	3.2.13. – 2	3.2.19. – 2	3.2.25 – 2
3.2.2. – 1	3.2.8 – 2	3.2.14. – 1	3.2.20. – 1	3.2.26. – 1
3.2.3. – 3	3.2.9. – 2	3.2.15 – 2	3.2.21. – 1	3.2.27. – 3
3.2.4. – 3	3.2.10. – 4	3.2.16. – 3	3.2.22. – 4	
3.2.5 – 3	3.2.11. – 2	3.2.17. – 1	3.2.23. – 2	
3.2.6. – 3	3.2.12. – 4	3.2.18 – 3	3.2.24. – 2	

### 3.3. Качество САУ

3.3.1. – 2	3.3.10. – 3	3.3.19. – 3	3.3.28 – 4	3.3.37. – 2
3.3.2. – 2	3.3.11. – 4	3.3.20. – 3	3.3.29. – 4	3.3.38 – 2
3.3.3. – 3	3.3.12. – 1	3.3.21. – 2	3.3.30. – 2	3.3.39. – 1
3.3.4. – 1	3.3.13. – 2	3.3.22. – 1	3.3.31. – 4	3.3.40. – 4
3.3.5 – 1	3.3.14. – 1	3.3.23. – 4	3.3.32. – 3	3.3.41. – 3
3.3.6. – 4	3.3.15 – 1	3.3.24. – 1	3.3.33. – 1	3.3.42. – 2
3.3.7. – 3	3.3.16. – 2	3.3.25 – 2	3.3.34. – 2	3.3.43. – 1
3.3.8 – 1	3.3.17. – 2	3.3.26. – 2	3.3.35 – 1	
3.3.9. – 1	3.3.18 – 1	3.3.27. – 2	3.3.36. – 2	

### 3.4. Синтез САУ с заданными показателями качества регулирования

3.4.1. – 1	3.4.11. – 1	3.4.21. – 1	3.4.31. – 2	3.4.41. – 1
3.4.2. – 2	3.4.12. – 2	3.4.22. – 1	3.4.32. – 1	3.4.42. – 3
3.4.3. – 1	3.4.13. – 3	3.4.23. – 2	3.4.33. – 3	3.4.43. – 4
3.4.4. – 3	3.4.14. – 2	3.4.24. – 1	3.4.34. – 1	3.4.44. – 1
3.4.5 – 2	3.4.15 – 2	3.4.25 – 1	3.4.35 – 4	3.4.45 – 2
3.4.6. – 2	3.4.16. – 4	3.4.26. – 2	3.4.36. – 3	3.4.46. – 2
3.4.7. – 2	3.4.17. – 1	3.4.27. – 2	3.4.37. – 1	3.4.47. – 1
3.4.8 – 3	3.4.18 – 1	3.4.28 – 3	3.4.38 – 2	3.4.48 – 2
3.4.9. – 1	3.4.19. – 4	3.4.29. – 2	3.4.39. – 1	3.4.49. – 1
3.4.10. – 3	3.4.20. – 1	3.4.30. – 2	3.4.40. – 3	

### 3.5. Нелинейные САУ

3.5.1. – 1	3.5.6. – 2	3.5.11. – 2	3.5.16. – 1	3.5.21. – 3
3.5.2. – 3	3.5.7. – 2	3.5.12. – 1	3.5.17. – 3	3.5.22. – 1
3.5.3. – 2	3.5.8 – 3	3.5.13. – 3	3.5.18 – 3	3.5.23. – 4
3.5.4. – 2	3.5.9. – 1	3.5.14. – 1	3.5.19. – 1	3.5.24. – 2
3.5.5 – 2	3.5.10. – 2	3.5.15 – 3	3.5.20. – 3	3.5.25 – 1
				3.5.26. – 2

### 3.6. Понятие импульсных и цифровых САУ

3.6.1. – 1	3.6.6. – 2	3.6.11. – 1	3.6.16. – 4	3.6.21. – 1
3.6.2. – 1	3.6.7. – 1	3.6.12. – 2	3.6.17. – 2	3.6.22. – 1
3.6.3. – 2	3.6.8 – 1	3.6.13. – 2	3.6.18 – 1	3.6.23. – 1
3.6.4. – 3	3.6.9. – 3	3.6.14. – 2	3.6.19. – 1	3.6.24. – 3
3.6.5 – 2	3.6.10. – 3	3.6.15 – 3	3.6.20. – 2	3.6.25 – 3
				3.6.26. – 1

### 3.7. Общие сведения о системах оптимального управления

3.7.1. – 2	3.7.10. – 1	3.7.19. – 3	3.7.28 – 3	3.7.37. – 2
3.7.2. – 3	3.7.11. – 3	3.7.20. – 3	3.7.29. – 1	3.7.38 – 2
3.7.3. – 3	3.7.12. – 4	3.7.21. – 3	3.7.30. – 1	3.7.39. – 3
3.7.4. – 4	3.7.13. – 2	3.7.22. – 3	3.7.31. – 2	3.7.40. – 3
3.7.5. – 2	3.7.14. – 1	3.7.23. – 1	3.7.32. – 1	3.7.41. – 2
3.7.6. – 1	3.7.15 – 1	3.7.24. – 1	3.7.33. – 1	3.7.42. – 1
3.7.7. – 2	3.7.16. – 2	3.7.25 – 2	3.7.34. – 2	
3.7.8. – 3	3.7.17. – 1	3.7.26. – 1	3.7.35 – 4	
3.7.9. – 2	3.7.18 – 2	3.7.27. – 1	3.7.36. – 3	

### 3.8. Исследование САУ при случайных воздействиях

3.8.1. – 2	3.8.10. – 2	3.8.19. – 4	3.8.28 – 4	3.8.37. – 2
3.8.2. – 2	3.8.11. – 2	3.8.20. – 3	3.8.29. – 2	3.8.38 – 1
3.8.3. – 2	3.8.12. – 1	3.8.21. – 4	3.8.30. – 3	3.8.39. – 4
3.8.4. – 2	3.8.13. – 1	3.8.22. – 1	3.8.31. – 1	3.8.40. – 1
3.8.5 – 3	3.8.14. – 4	3.8.23. – 2	3.8.32. – 1	3.8.41. – 2
3.8.6. – 4	3.8.15 – 1	3.8.24. – 3	3.8.33. – 2	3.8.42. – 2
3.8.7. – 2	3.8.16. – 2	3.8.25 – 4	3.8.34. – 3	3.8.43. – 1
3.8.8 – 3	3.8.17. – 1	3.8.26. – 4	3.8.35 – 2	
3.8.9. – 1	3.8.18 – 3	3.8.27. – 1	3.8.36. – 3	

### 3.9. Анализ и синтез релейных схем систем автоматики

3.9.1. – 1	3.9.11. – 3	3.9.21. – 3	3.9.31. – 1	3.9.41. – 2
3.9.2. – 2	3.9.12. – 4	3.9.22. – 1	3.9.32. – 2	3.9.42. – 1
3.9.3. – 3	3.9.13. – 3	3.9.23. – 4	3.9.33. – 1	3.9.43. – 2

3.9.4. – 4	3.9.14. – 2	3.9.24. – 1	3.9.34. – 1	3.9.44. – 1
3.9.5 – 2	3.9.15 – 3	3.9.25 – 4	3.9.35 – 3	3.9.45 – 1
3.9.6. – 1	3.9.16. – 1	3.9.26. – 4	3.9.36. – 3	3.9.46. – 2
3.9.7. – 3	3.9.17. – 2	3.9.27. – 3	3.9.37. – 4	3.9.47. – 2
3.9.8 – 4	3.9.18 – 2	3.9.28 – 1	3.9.38 – 2	3.9.48 – 1
3.9.9. – 3	3.9.19. – 3	3.9.29. – 2	3.9.39. – 1	3.9.49. – 1
3.9.10. – 2	3.9.20. – 1	3.9.30. – 4	3.9.40. – 2	3.9.50. – 4
				3.9.51. – 2

### **3.10. Микропроцессорные системы управления**

3.10.1. – 1	3.10.7. – 2	3.10.13. – 1	3.10.19. – 2	3.10.25 – 2
3.10.2. – 1	3.10.8 – 1	3.10.14. – 3	3.10.20. – 2	3.10.26. – 3
3.10.3. – 2	3.10.9. – 4	3.10.15 – 2	3.10.21. – 3	3.10.27. – 1
3.10.4. – 3	3.10.10. – 4	3.10.16. – 1	3.10.22. – 3	3.10.28 – 3
3.10.5 – 1	3.10.11. – 1	3.10.17. – 3	3.10.23. – 4	3.10.29. – 1
3.10.6. – 4	3.10.12. – 2	3.10.18 – 2	3.10.24. – 1	3.10.30. – 2
				3.10.31. – 2

### **3.11. Системы телемеханики**

3.11.1. – 1	3.11.8 – 2	3.11.15 – 3	3.11.22. – 4	3.11.29. – 1
3.11.2. – 4	3.11.9. – 1	3.11.16. – 1	3.11.23. – 2	3.11.30. – 1
3.11.3. – 3	3.11.10. – 3	3.11.17. – 1	3.11.24. – 3	3.11.31. – 2
3.11.4. – 1	3.11.11. – 2	3.11.18 – 4	3.11.25 – 2	3.11.32. – 2
3.11.5 – 4	3.11.12. – 4	3.11.19. – 4	3.11.26. – 2	3.11.33. – 2
3.11.6. – 4	3.11.13. – 1	3.11.20. – 3	3.11.27. – 3	
3.11.7. – 2	3.11.14. – 2	3.11.21. – 3	3.11.28 – 1	

## **Глава 4. Характеристика сельскохозяйственного производства как объекта автоматизации**

4.1. - 2	4.6. - 4	4.11. - 1	4.16. - 2	4.21. - 3
4.2. - 1	4.7. - 1	4.12. - 1	4.17. - 1	4.22. - 2
4.3. - 4	4.8. - 1	4.13. - 1	4.18. - 1	4.23. - 2
4.4. - 3	4.9. - 2	4.14. - 2	4.19. - 2	4.24. - 3
4.5. - 1	4.10. - 1	4.15. - 3	4.20. - 2	4.25. - 2
				4.26. - 2

## **Глава 5. Надежность и технико-экономические показатели работы систем автоматизации**

5.1. – 1	5.6. – 1	5.11. – 1	5.16. – 1	5.21. – 4
5.2. – 2	5.7. – 4	5.12. – 2	5.17. – 1	5.22. – 2
5.3. – 3	5.8. – 4	5.13. – 1	5.18. – 2	5.23. – 1
5.4. – 3	5.9. – 2	5.14. – 2	5.19. – 4	5.24. – 2
5.5. – 1	5.10. – 1	5.15. – 2	5.20. – 2	

## Список использованных источников

1. Бородин И.Ф., Рысс А.А. Автоматизация технологических процессов. – М.: Агропромиздат, 1996. – 351 с.
2. Бородин И.Ф., Кирилин Н.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. – М.: Колос, 1977. – 328 с.
3. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. и др. Средства автоматики и телемеханики. – М.: Агропромиздат, 1992. – 351 с.
4. ГОСТ 17194-71. Автоматические системы управления технологическими процессами в промышленности. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1971. – 10 с.
5. Загинайлов В.И., Шеповалова Л.Н. Основы автоматики. – М.: Колос, 2001. – 199 с.
6. Иванов А.А. Теория автоматического управления и регулирования. – М.: Недра, 1970. – 352 с.
7. Кравцов А.В. Метрология и электрические измерения. – М.: Колос, 1999. – 216 с.
8. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1973. – 528 с.
9. Мартыненко И.И. и др. Автоматика и автоматизация производственных процессов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 335 с.
10. Назаров Г.И. и др. Электропривод и применение электрической энергии в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1972. – 446 с.
11. Основы автоматического регулирования и управления / Под ред. В.М. Пономарева и А.П. Литвинова. – М.: Высшая школа, 1974. – 439 с.
12. Справочник по средствам автоматики / Под ред. В.Э. Низе и И.В. Антика. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 504 с.
13. Справочник по электроизмерительным приборам / Под ред. К.К. Илюнина. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 784 с.
14. Сборник вопросов по курсу «Электронные приборы» / Под ред. Р.А. Нилендера. – М.: Энергия, 1971. – 296 с.
15. Сборник программированных задач по теоретическим основам электротехники. / Под ред. Н.Г. Максимовича и И.Б. Куделько. – Львов: Вища школа, 1976. – 504 с.
16. Шавров А.В., Коломиец А.П. Автоматика. – М.: Колос, 1999. – 264 с.

*Учебно-теоретическое издание*

**Теория автоматического управления. Сборник тестовых заданий с комментариями** : учебное пособие / сост. А.В. Рожнов. — Караваево : Костромская ГСХА, 2021. — 282 с. ; 20 см. — 50 экз. — Текст непосредственный.

*Учебное пособие издаётся в авторской редакции*

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия" 156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Караваево, уч. городок, д. 34

Компьютерный набор. Подписано в печать 17/05/2021. Заказ № 246. Формат 60x84/16. Тираж 50 экз. Усл. печ. л. 17,04. Бумага офсетная. Отпечатано 17/05/2021. Цена 385,00 руб.

вид издания: первичное (электронная версия)  
(редакция от 6.04.2021 № 246)

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии на цифровом дубликаторе. Качество соответствует предоставленным оригиналам.

(Электронная версия издания - I:\подразделения \рио\издания\2021\246.pdf)



2021\*246

Цена 385,00 руб.

ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА



2021\*246

(Электронная версия издания - I:\подразделения \рио\издания\2021\246.pdf)