

Логотип
им. Д.И.Менделеева

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Москва

2012

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Российский химико-технологический университет
им. Д. И. Менделеева

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Москва

2012

Составители: А. В. Беспалов, В. Н. Грунский, Н. И. Харитонов

УДК 66.0:681

ББК

И

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор

Российского химико-технологического университета

им. Д. И. Менделеева

Л. С. Гордеев

Профессор, проректор по учебной работе

Московского государственного университета инженерной экологии

М. Г. Беренгартен

Системы управления химико-технологическими процессами.

Иллюстративные материалы: учеб. пособие / сост. А. В. Беспалов, В. Н.

Грунский, Н. И. Харитонов. – М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 76 с.

Иллюстративно представлены теоретические основы курса «Системы управления химико-технологическими процессами» и практическая реализация систем управления химико-технологическими процессами. Пособие необходимо и полезно для усвоения материала лекций и при выполнении практических занятий, подготовке к зачётам и экзаменам по курсу «Системы управления химико-технологическими процессами».

Предназначено для студентов по направлению подготовки 240100 Химическая технология. Также может быть полезно и для студентов других направлений подготовки.

УДК 66.0:681

ББК

© Российский химико-технологический
университет им. Д. И. Менделеева, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	Содержание учебной дисциплины «Системы управления химико-технологическими процессами».....	4
2	Рекомендуемая литература	9
3	Основные понятия управления химико-технологическими процессами.....	11
4	Основы теории автоматического управления.....	18
5	Системы автоматического управления	33
6	Измерение технологических параметров.....	40
7	Основы проектирования систем управления химико-технологическими процессами	56
8	Основные сведения об АСУ ТП в химической промышленности	70
9	Свойства преобразования Лапласа.....	74
10	Преобразование Лапласа некоторых функций	75

1 СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ»

1. Введение

Значение автоматического управления для развития химической промышленности. Особенности управления химико-технологическим процессом (ХТП). Технико-экономический эффект внедрения автоматизированных систем управления. Роль управления в обеспечении безопасности химического производства и охраны окружающей среды. Связь курса «Системы управления химико-технологическими процессами» с другими дисциплинами.

2. Основные понятия управления химико-технологическими процессами

2.1. Основные термины и определения.

2.2. Экстенсивные (количественные) и интенсивные (качественные) параметры ХТП. Возмущающие и управляющие воздействия.

2.3. Иерархия управления. Особенности управления химическим предприятием и управления технологическим процессом.

2.4. Основные принципы управления: управление по задающему воздействию, управление по возмущающему воздействию, управление по отклонению, комбинированное управление.

2.5. Классификация систем управления: по характеру изменения задающего воздействия, по числу контуров, по числу управляемых параметров, по характеру управляющих воздействий, по энергетическим признакам, по математическому описанию.

2.6. Структурные схемы системы автоматического управления (САУ). Функциональная структура системы автоматического регулирования (САР).

2.7. Качество процесса управления. Переходные процессы. Типовые переходные характеристики. Устойчивость. Показатели качества, характеризующие точность регулирования, быстродействие, колебательность системы в переходном процессе. Интегральные показатели качества регулирования. Типовые оптимальные процессы регулирования.

3. Основы теории автоматического управления

3.1. Математические модели САУ. Декомпозиция САУ. Принцип суперпозиции. Звенья направленного и ненаправленного действия. Составление дифференциальных уравнений элементов САУ. Линеаризация уравнений.

3.2. Динамические характеристики САУ. Использование преобразования Лапласа для анализа САУ. Передаточная функция звена.

Временные характеристики. Типовые входные воздействия. Переходная функция. Импульсная переходная функция. Рамповая переходная функция. Переходная характеристика, импульсная переходная характеристика, рамповая переходная характеристика. Временной анализ систем управления. Частотные характеристики. Частотная передаточная функция. Частотный анализ систем управления.

3.3. Структурные схемы. Последовательное, параллельное соединение звеньев. Соединение звеньев с обратной связью. Эквивалентные преобразования структурных схем.

3.4. Типовые динамические звенья. Звенья с распределёнными и с сосредоточенными параметрами. Статические звенья нулевого, первого и второго порядка. Звено запаздывания. Интегрирующие и дифференцирующие звенья. Неустойчивые (квазистатические) звенья. Релейные звенья.

3.5. Устойчивость линейных САУ с обратной связью. Взаимосвязь устойчивости и запаздывания в САУ. Критерии устойчивости (алгебраические, частотные) САУ. Понятия о запасе устойчивости. Расчет САУ на устойчивость.

4. Системы автоматического управления

4.1. Классификация объектов управления: одномерные и многомерные объекты, односвязные и многосвязные объекты, линейные и нелинейные объекты, объекты с распределенными и сосредоточенными параметрами.

4.2. Объекты управления и их основные свойства: ёмкость, самовыравнивание, запаздывание. Методы определения свойств объектов управления.

4.3. Основные законы регулирования: пропорциональный, интегральный, пропорционально–интегральный (ПИ), пропорционально-дифференциальный (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) законы. Позиционное регулирование. Регуляторы на основе искусственных нейронных сетей. Цифровые ПИД-регуляторы. Цифровые и робастные системы управления.

4.4. Определение оптимальных параметров настройки промышленных регуляторов. Методы выбора закона регулирования, исходя из свойств объекта.

5. Измерение технологических параметров химико-технологического процесса.

5.1. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

5.2. Основные термины и определения метрологии. Погрешности измерений приборов. Основные методы измерения технологических параметров.

5.3. Статические и динамические свойства средств измерительной техники.

5.4. Измерительные преобразователи. Структура и надёжность измерительного преобразователя. Промежуточные преобразователи.

Нормирующие преобразователи. Аналоговые и цифровые системы преобразований.

5.5. Измерение электрических величин – носителей информации о состоянии химико-технологического процесса. Цифровые измерительные приборы. Способы передачи информации на расстояние. Линии связи. Организация дистанционной диагностики процесса.

5.6. Измерение и контроль основных технологических параметров.

Измерение давления. Основные приборы и особенности их эксплуатации в химической промышленности.

Измерение температуры. Контактные и бесконтактные методы. Погрешности измерения температуры и способы их устранения или учёта.

Измерение расхода и количества. Погрешности измерения расхода и количества.

Измерение уровня жидкости и сыпучих материалов.

Измерение состава и физико-химических свойств веществ. Автоматические анализаторы газов и жидкостей.

6. Основные сведения об автоматизированных системах управления химико-технологическими процессами (АСУ ТП) в химической промышленности

6.1. Назначение и основные функции АСУ ТП.

6.2. Разновидности АСУ ТП. Децентрализованные, централизованные и распределённые АСУ.

6.3. Режимы работы АСУ ТП: автоматизированные и автоматические. ЭВМ, применяемые в АСУ ТП.

6.4. Обеспечение АСУ ТП: техническое, программное, математическое, информационное и т.д.

6.5. Обеспечение надёжности функционирования АСУ ТП.

6.6. Примеры систем управления в химической промышленности.

7. Основы проектирования АСУ ТП

7.1. Динамические характеристики и особенности управления типовыми процессами и аппаратами химической технологии (теплообменники, массообменная аппаратура, химические реакторы и др.).

7.2. Регулирование основных технологических параметров: расхода, давления, температуры, уровня, рН.

7.3. Технические средства систем автоматического управления.

Основные разновидности управляющих устройств, применяемых в системах управления ХТП. Регуляторы прямого и непрямого действия. Принципы построения управляющих устройств: первый уровень агрегатизации – элементный, второй уровень агрегатизации – модульный, третий уровень агрегатизации – блочный. Особенности использования управляющих устройств для создания одноконтурных и многоконтурных САУ.

Вспомогательное оборудование. Исполнительные устройства. Типы и характеристики исполнительных механизмов и регулирующих органов. Расчёт регулирующих органов. Преобразователи, задающие устройства, усилители.

7.4. Стадии проектирования систем управления: разработка технического задания, эскизная разработка, разработка технического проекта. Оформление проектного задания на автоматизацию технологического процесса. Выбор точек измерения, контроля, управляемых параметров и управляющих воздействий. Стандарты и условные обозначения для технологических схем.

Заключение

Основные выводы по курсу. Современные тенденции в развитии систем управления химико-технологическими процессами.

2 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 690 с.

2. Беспалов А. В., Харитонов Н. И. Задачник по системам управления химико-технологическими процессами. Учебное пособие для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 307 с.

Дополнительная

1. Беспалов А. В., Харитонов Н. И., Золотухин С. Е., Финякин Л. Н., Садиленко А. С., Грунский В. Н. Динамические звенья. Временные характеристики. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2002. 80 с.

2. Беспалов А. В., Харитонов Н. И., Золотухин С. Е., Финякин Л. Н., Садиленко А. С., Грунский В. Н. Динамические звенья. Частотные характеристики. Учебное пособие. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2002. 84 с.

3. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 3-х т. Т.1. Анализ и статистическая динамика систем автоматического управления / Под ред. Н. Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. 748 с.

4. Дудников Е. Г., Казаков А. В., Софиева Ю. Н., Софиев А. Х., Цирлин А. М. Автоматическое управление в химической промышленности. М.: Химия, 1987. 368 с.

5. Иванова Г. М., Кузнецов Н. Д., Чистяков В. С. Теплотехнические измерения и приборы. М.: Энергоатомиздат, 1984. 229 с.

6. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергия, 1980. 512 с.

7. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условных приборов и средств автоматизации в схемах ГОСТ 21.404-85. М.: Издательство стандартов, 1985. 16 с.

8. Практикум по автоматике и системам управления производственными процессами/ Под ред. И. М. Масленникова. М.: Химия, 1986. 336 с.

3 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

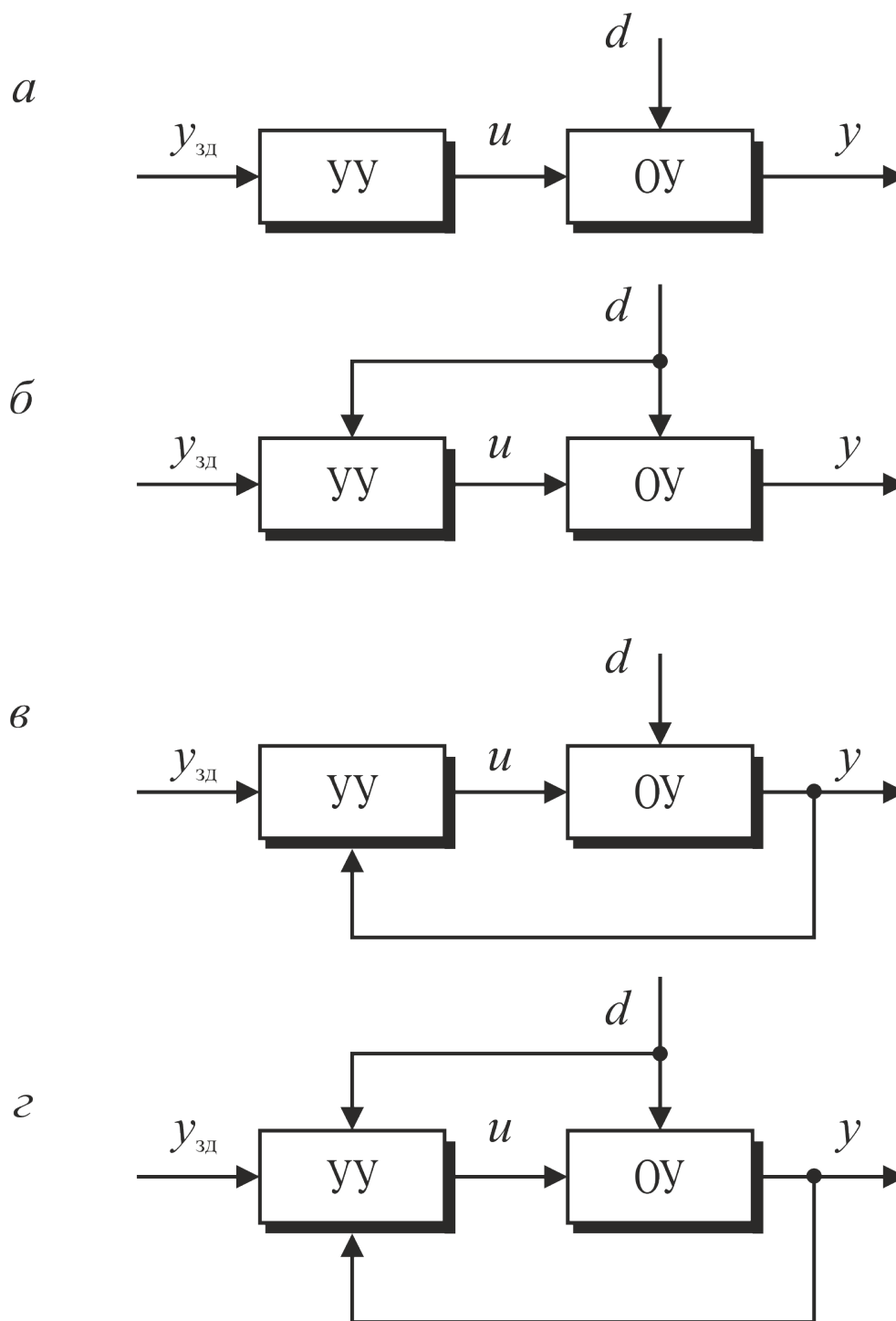


Рис. 1. Структурные схемы систем автоматического управления:

а – управление по задающему воздействию; *б* – управление по возмущающему воздействию; *в* – управление по отклонению регулируемого параметра от заданного значения; *г* – комбинированное управление (ОУ – объект управления; УУ – управляющее устройство)

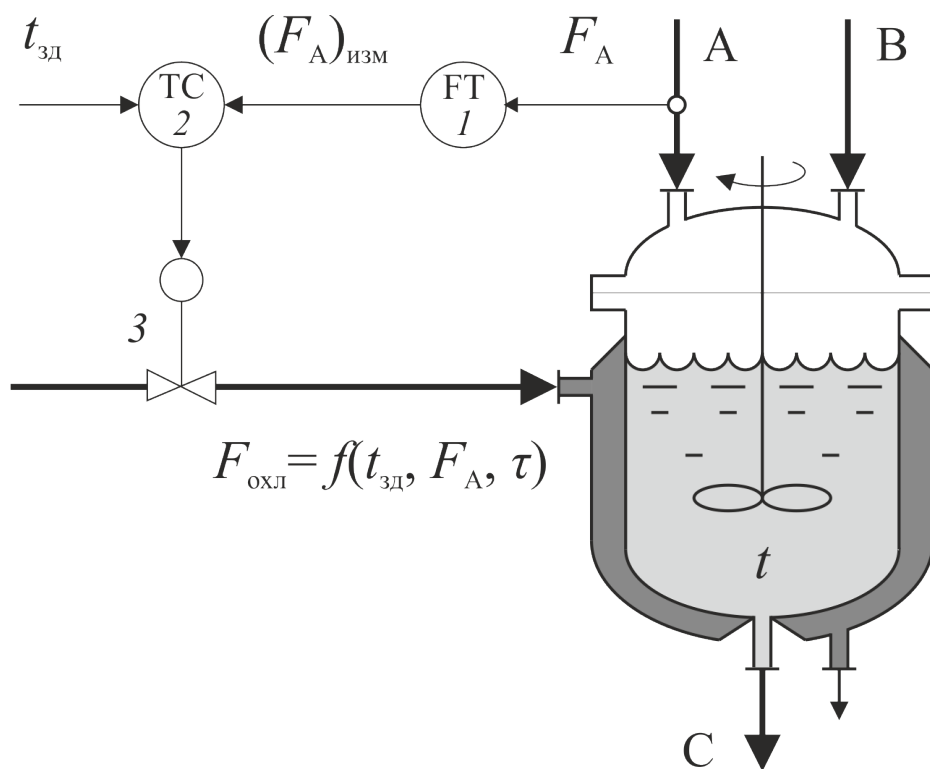


Рис. 2. Пример регулирования температуры в химическом реакторе по возмущающему воздействию:

1 – датчик расхода; 2 – регулятор; 3 – исполнительное устройство

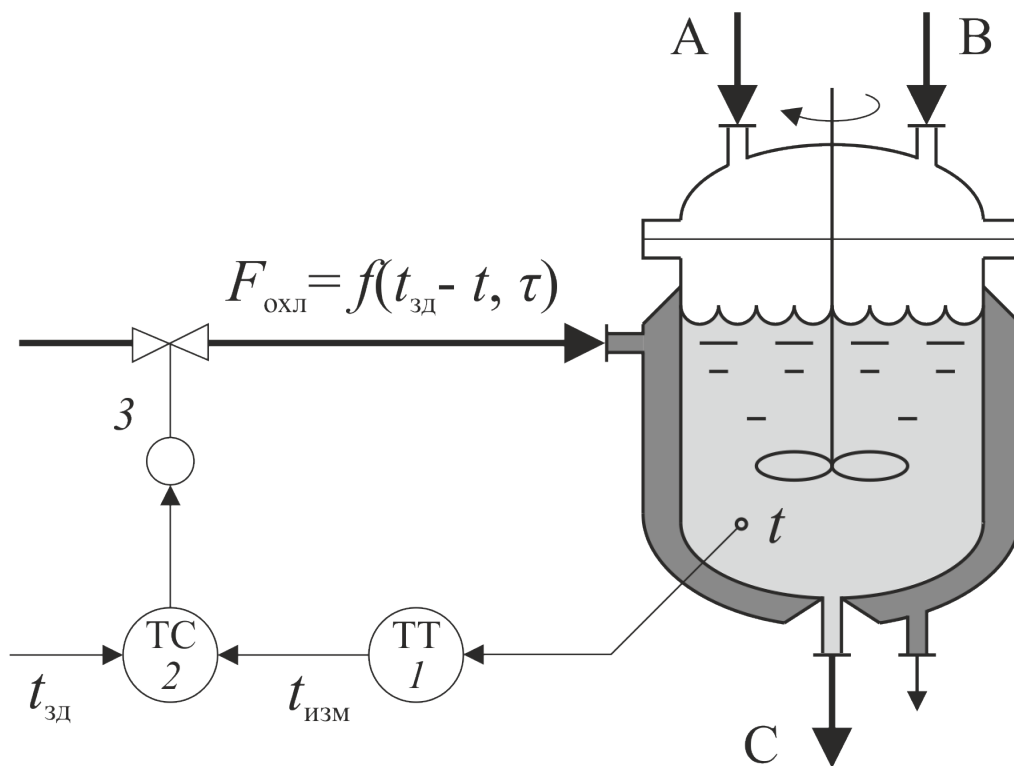


Рис. 3. Пример регулирования температуры в химическом реакторе по отклонению регулируемого параметра от заданного значения:

1 – датчик температуры; 2 – регулятор; 3 – исполнительное устройство

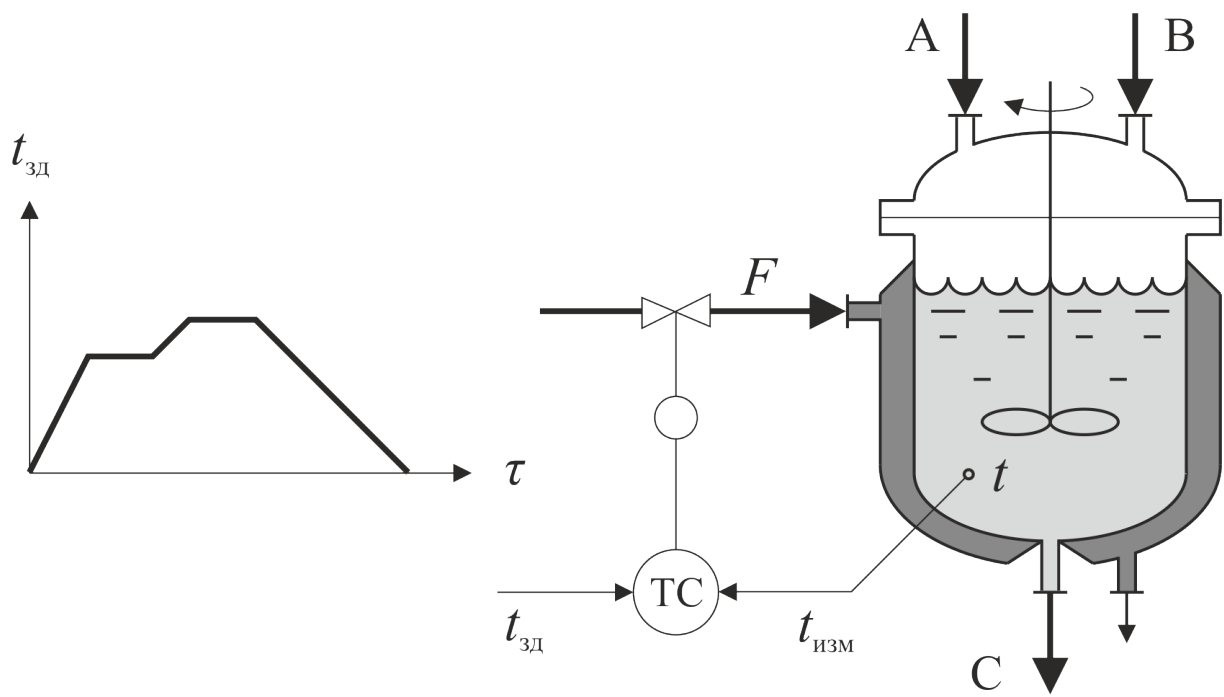


Рис. 4. Пример программной САР

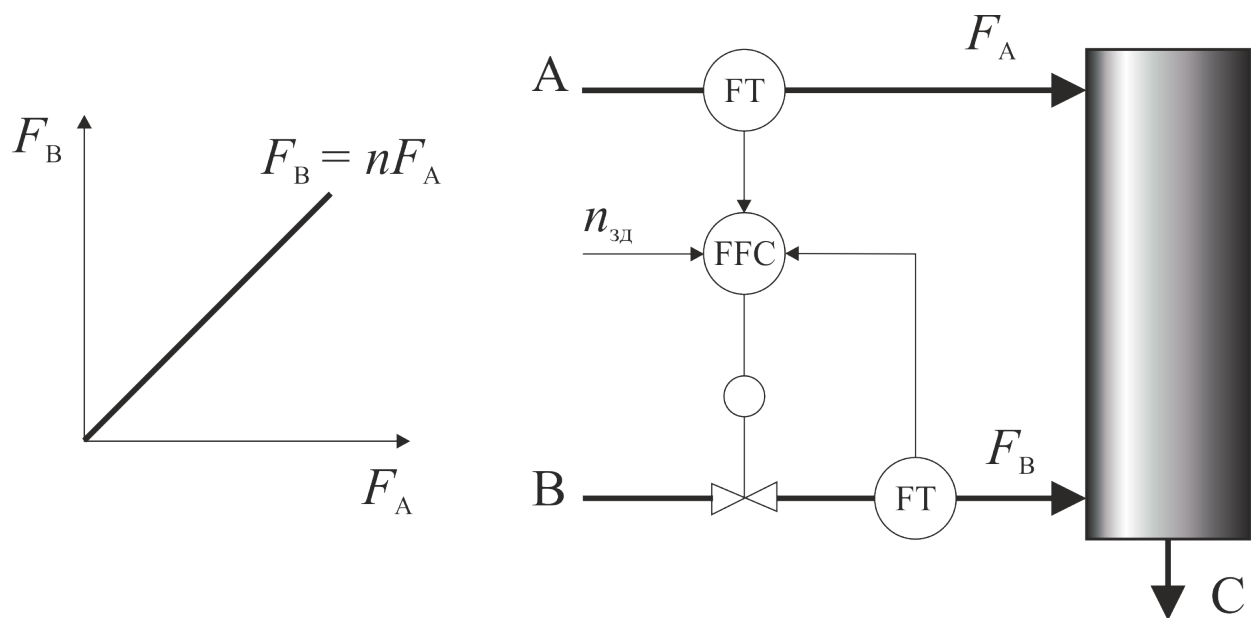


Рис. 5. Пример следящей САР

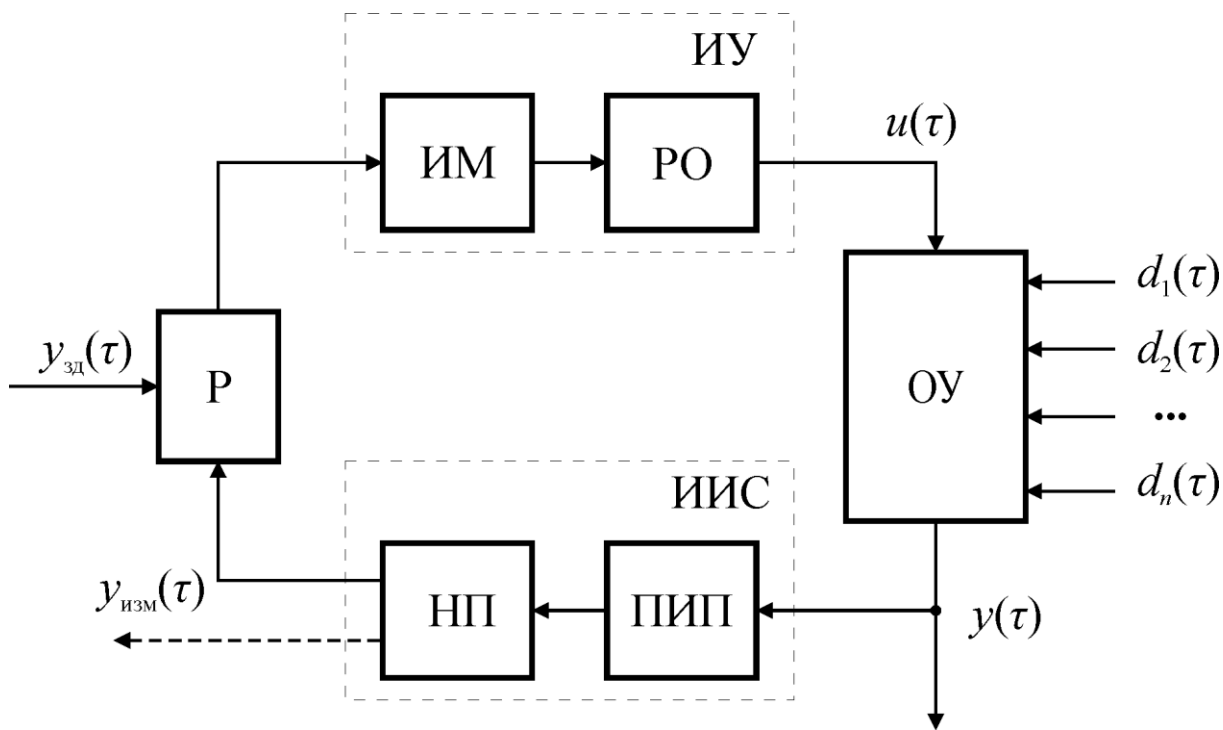


Рис. 6 Функциональная схема САР:

ОУ – объект управления; ПИП – первичный измерительный преобразователь; НП – нормирующий преобразователь; ИИС – информационно-измерительная система; P – регулятор; ИУ – исполнительное устройство; ИМ – исполнительный механизм; РО – регулирующий орган

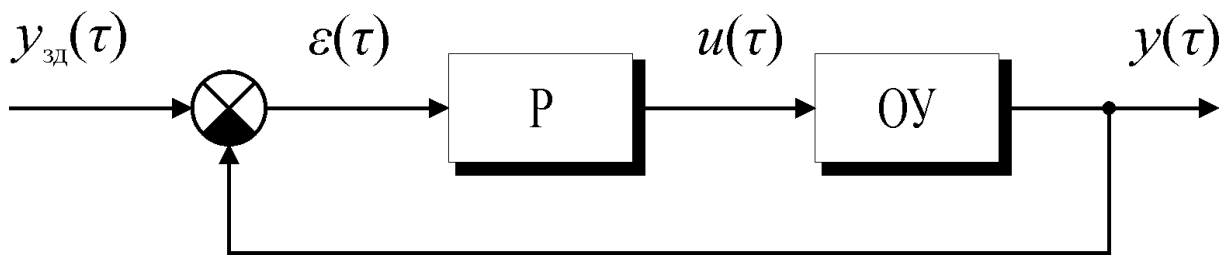


Рис. 7. Структурная схема САР по каналу задающего воздействия

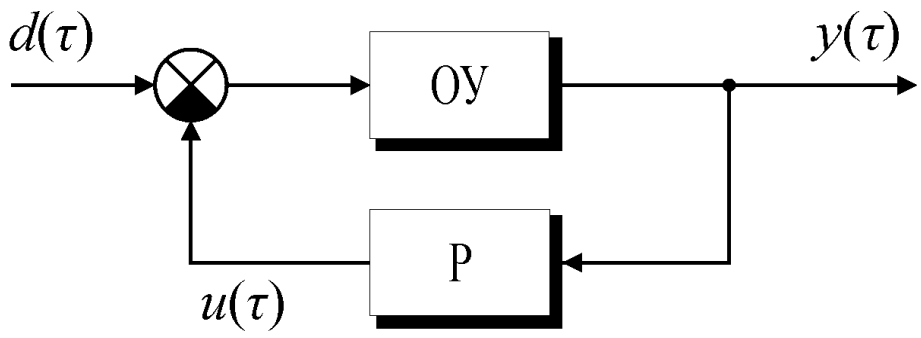


Рис. 8. Структурная схема САР по каналу возмущающего воздействия

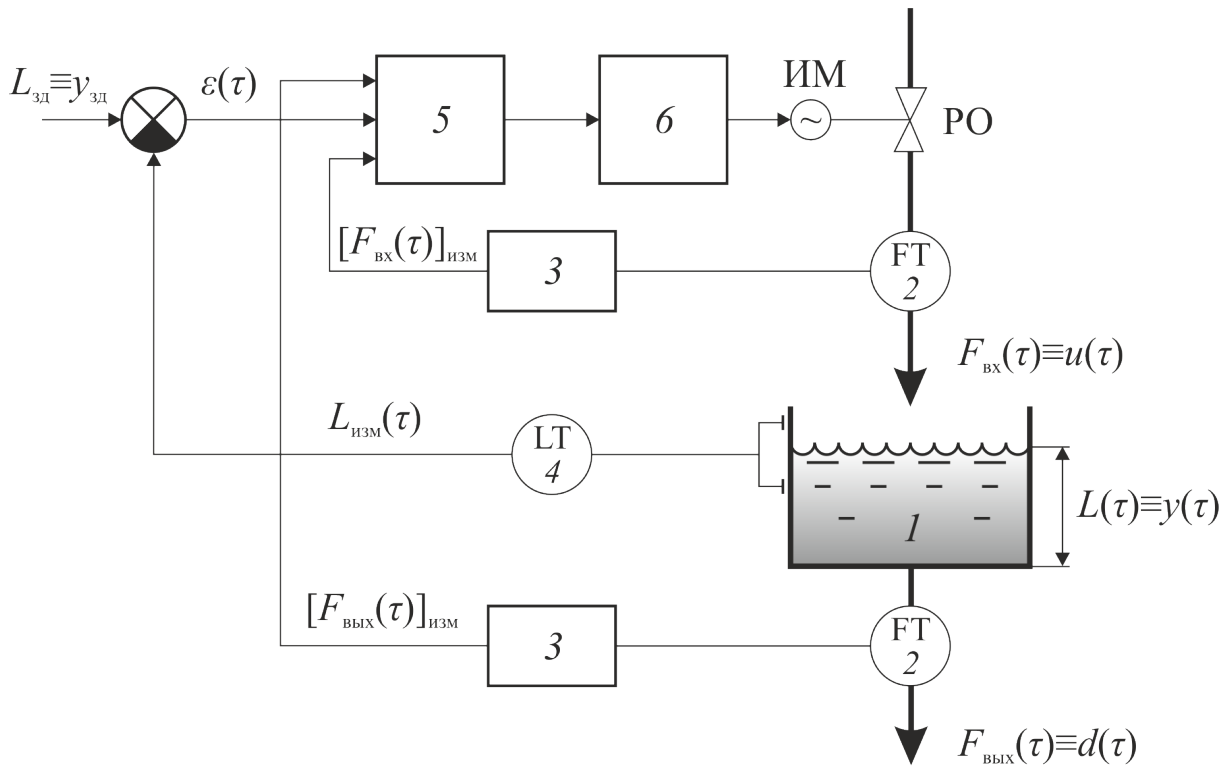


Рис. 9. Схема САУ уровня жидкости в резервуаре:

1 – резервуар; 2 – измерители расхода; 3 – алгебраические блоки извлечения квадратного корня; 4 – уровнемер;
5 – регулятор; 6 – усилитель мощности

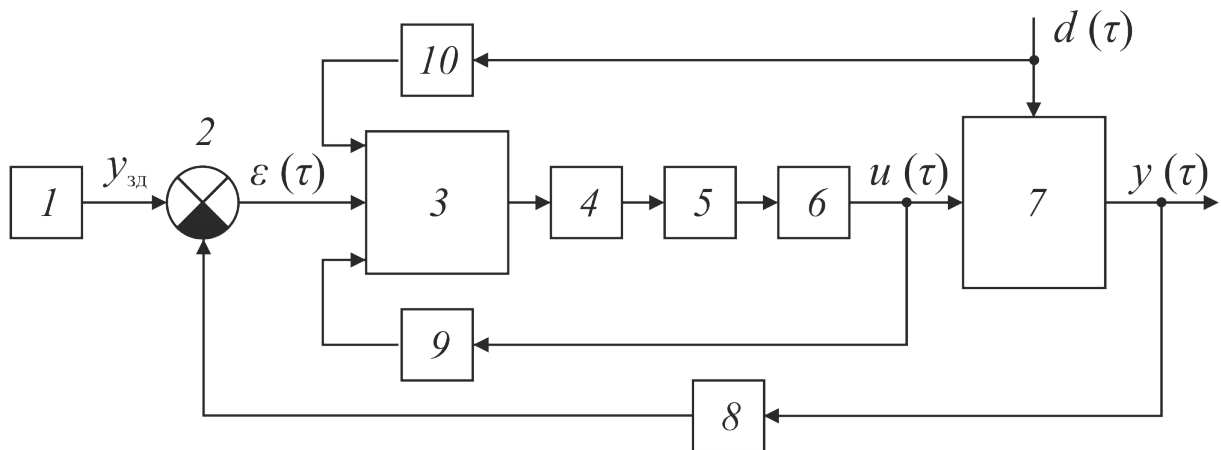


Рис. 10. Функциональная схема САУ уровня жидкости в резервуаре:

1 – задающее устройство; 2 – элемент сравнения; 3 – регулятор; 4 – усилитель мощности; 5 – электропривод;
6 – регулирующий орган; 7 – объект управления (резервуар); 8 – уровнемер; 9, 10 – линейные расходомеры

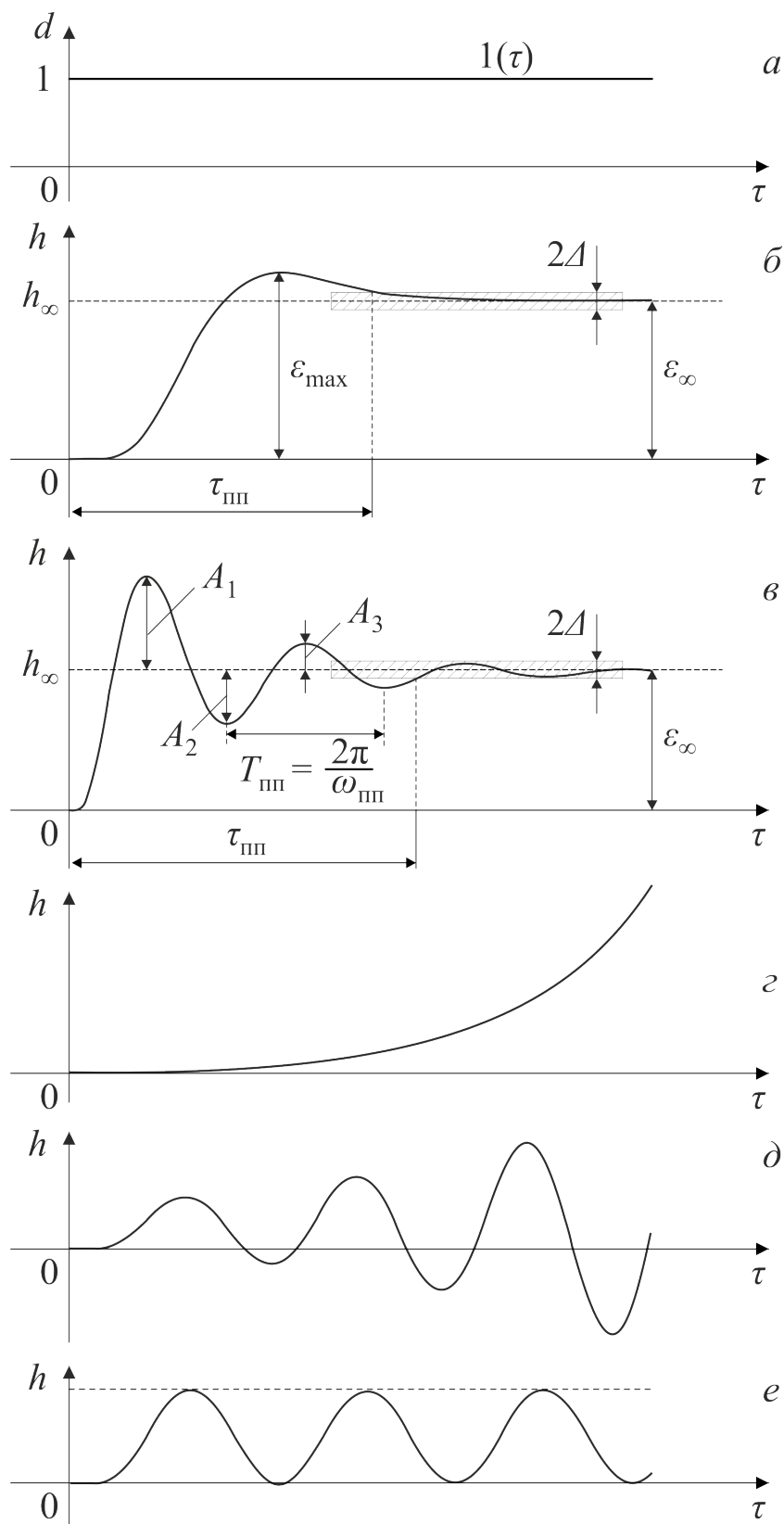


Рис. 11. Возможный вид переходных характеристик системы регулирования

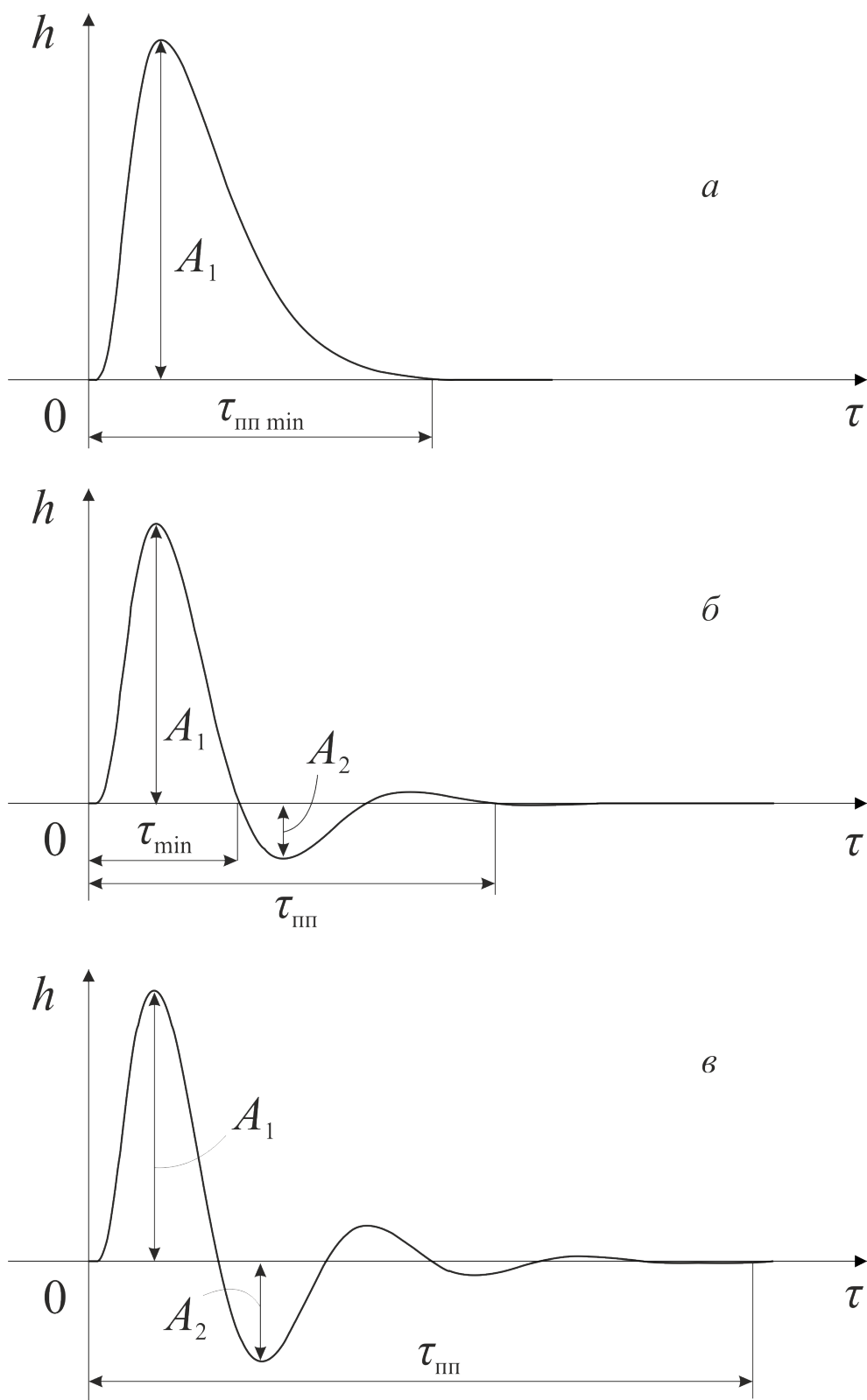


Рис. 12. Типовые оптимальные переходные процессы регулирования:

a – граничный аperiodический процесс с минимальным временем регулирования; *б* – процесс с 20-процентным перерегулированием и минимальным временем первого полупериода; *в* – процесс с минимальным интегралом от квадрата ошибки

4 ОСНОВЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

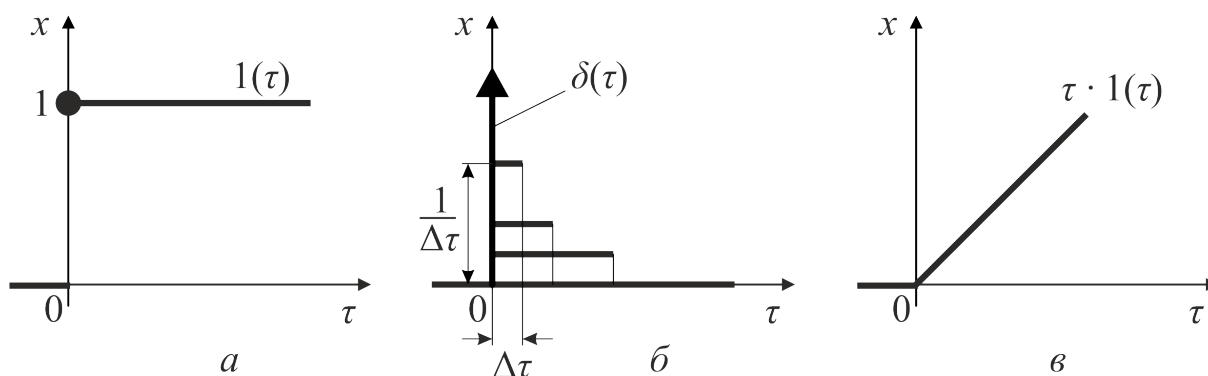


Рис. 13. Типовые входные воздействия:

a – единичное ступенчатое воздействие; *б* – единичное импульсное воздействие; *в* – единичное рамповое воздействие

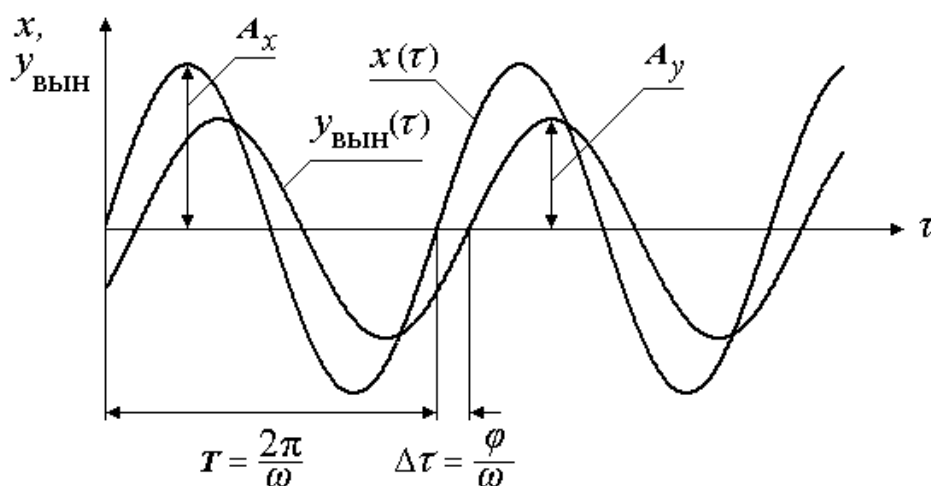


Рис. 14. Гармонические сигналы на входе $x(\tau)$ и выходе $y_{\text{вын}}(\tau)$ устойчивого линейного стационарного динамического звена в установившемся режиме

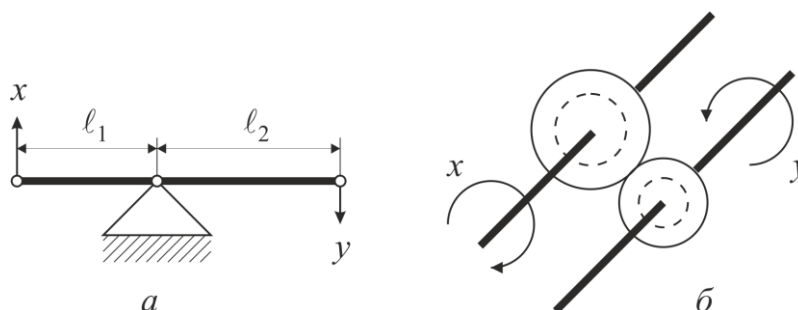


Рис. 15. Примеры статического звена нулевого порядка:

a – рычаг; *б* – зубчатая передача

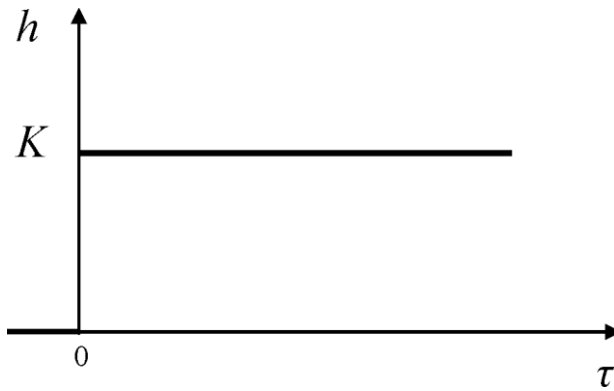


Рис. 16. Переходная характеристика статического звена нулевого порядка

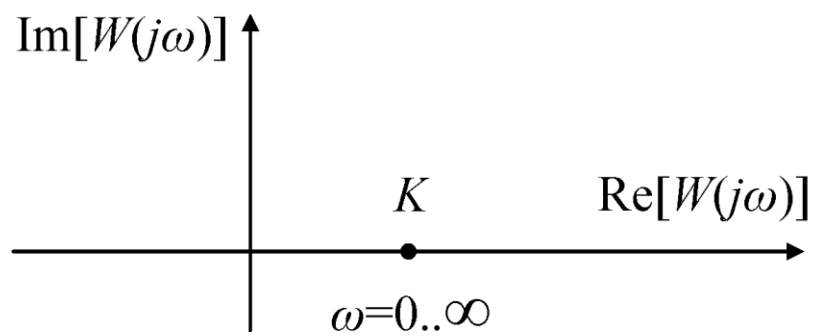


Рис. 17. АФЧХ статического звена нулевого порядка

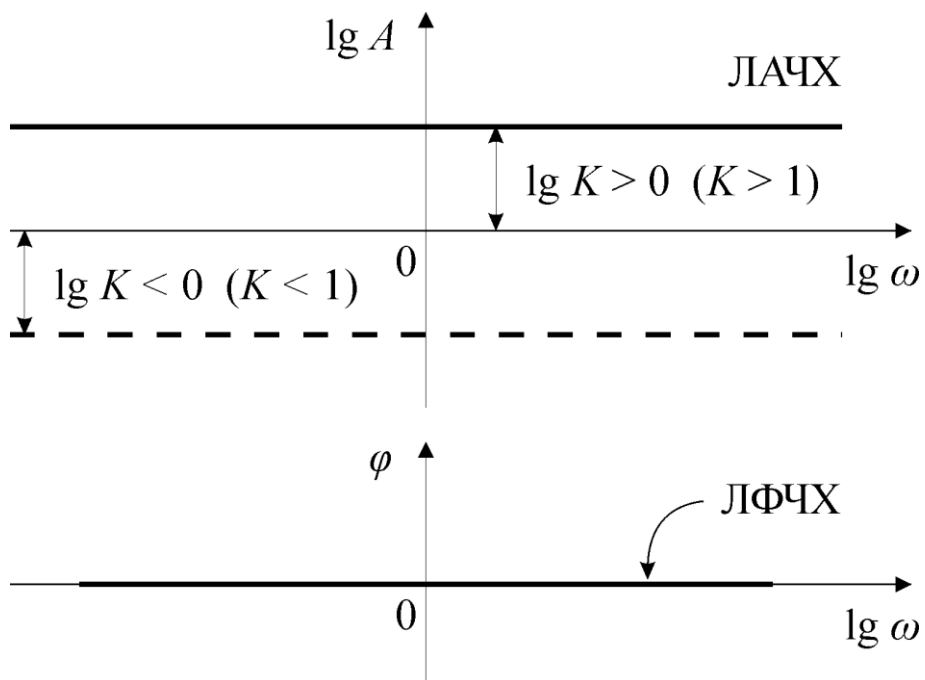


Рис. 18. Диаграмма Бодé статического звена нулевого порядка

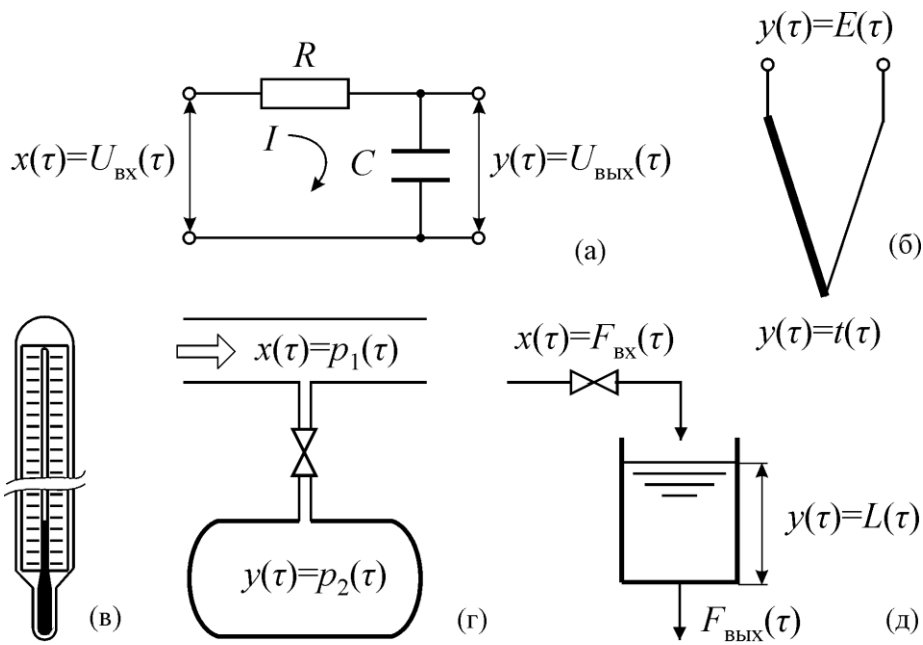


Рис. 19. Примеры статического звена первого порядка:

a – электрический RC-фильтр; *б* – термопара; *в* – термометр расширения; *г* – резервуар с сжатым газом; *д* – резервуар со свободным истечением жидкости

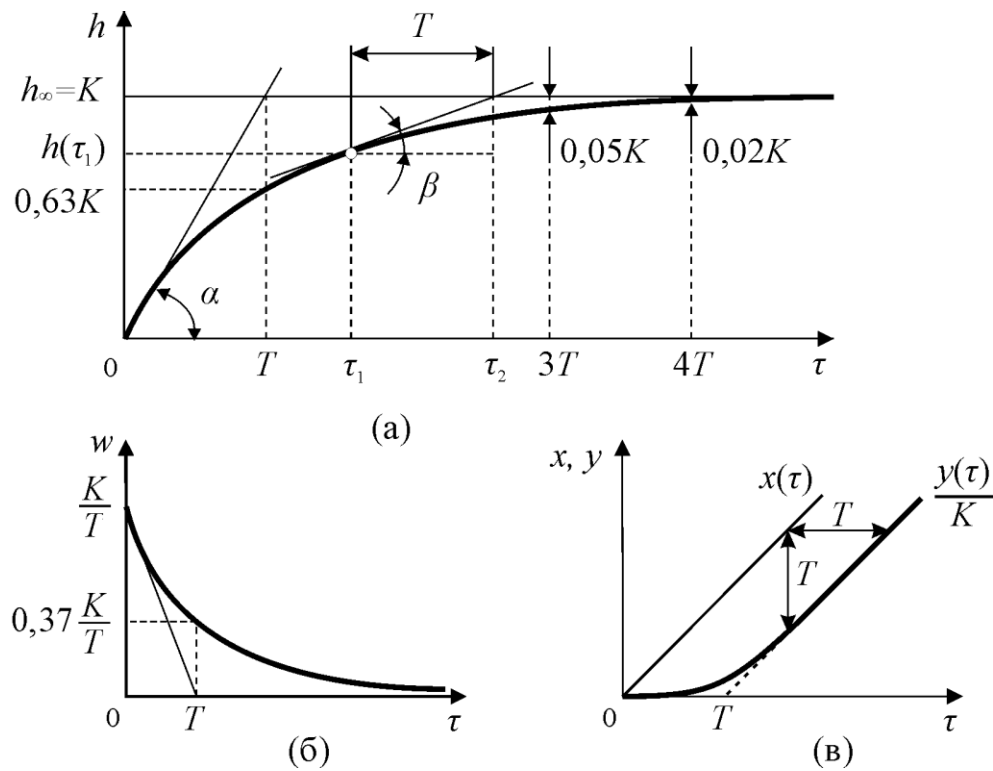


Рис. 20. Временные характеристики статического звена первого порядка:

a – переходная характеристика; *б* – импульсная переходная характеристика; *в* – рамповая переходная характеристика

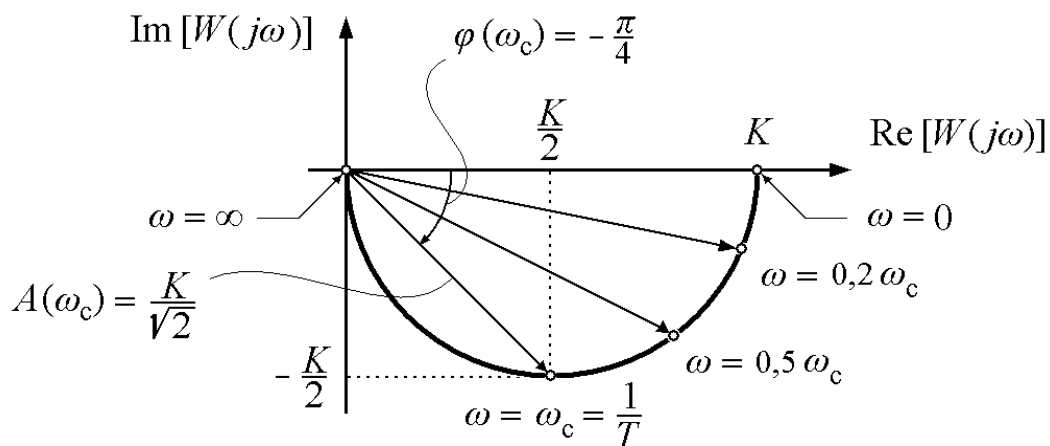


Рис. 21. АФЧХ статического звена первого порядка

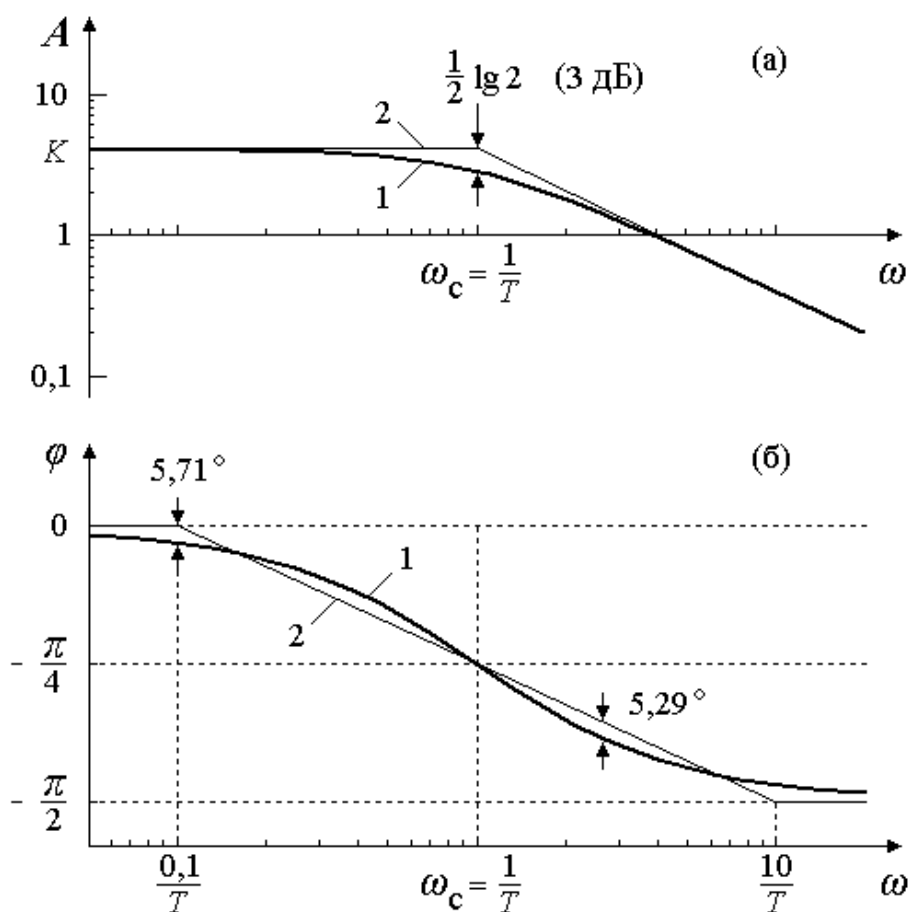


Рис. 22. Логарифмические частотные характеристики статического звена первого порядка:

1 – точные; 2 – приближённые

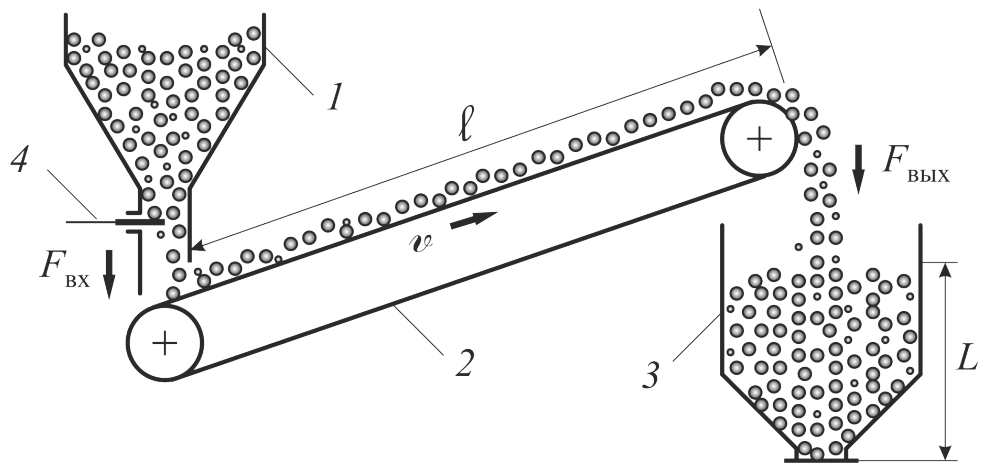


Рис. 23. Пример звена запаздывания:

1 – бункер; 2 – ленточный транспортёр; 3 – приёмный бункер; 4 – шибер дозировки сыпучего вещества

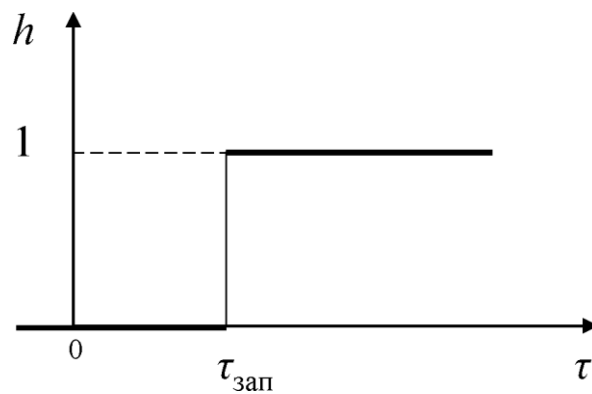


Рис. 24. Переходная характеристика звена запаздывания

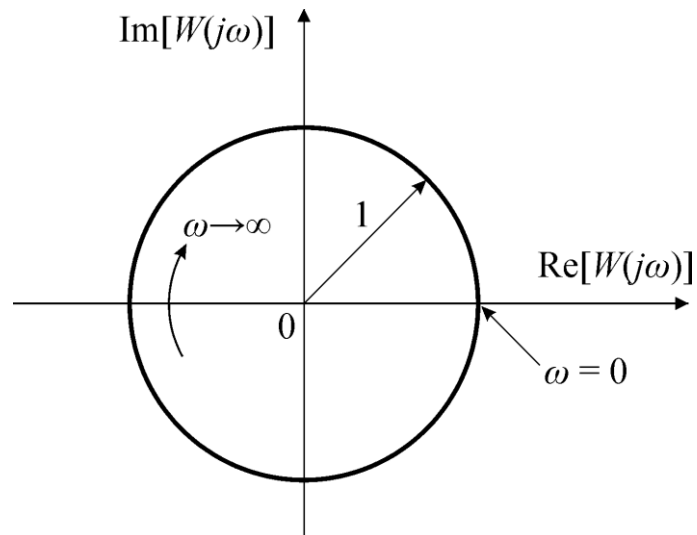


Рис. 25. АФЧХ звена запаздывания

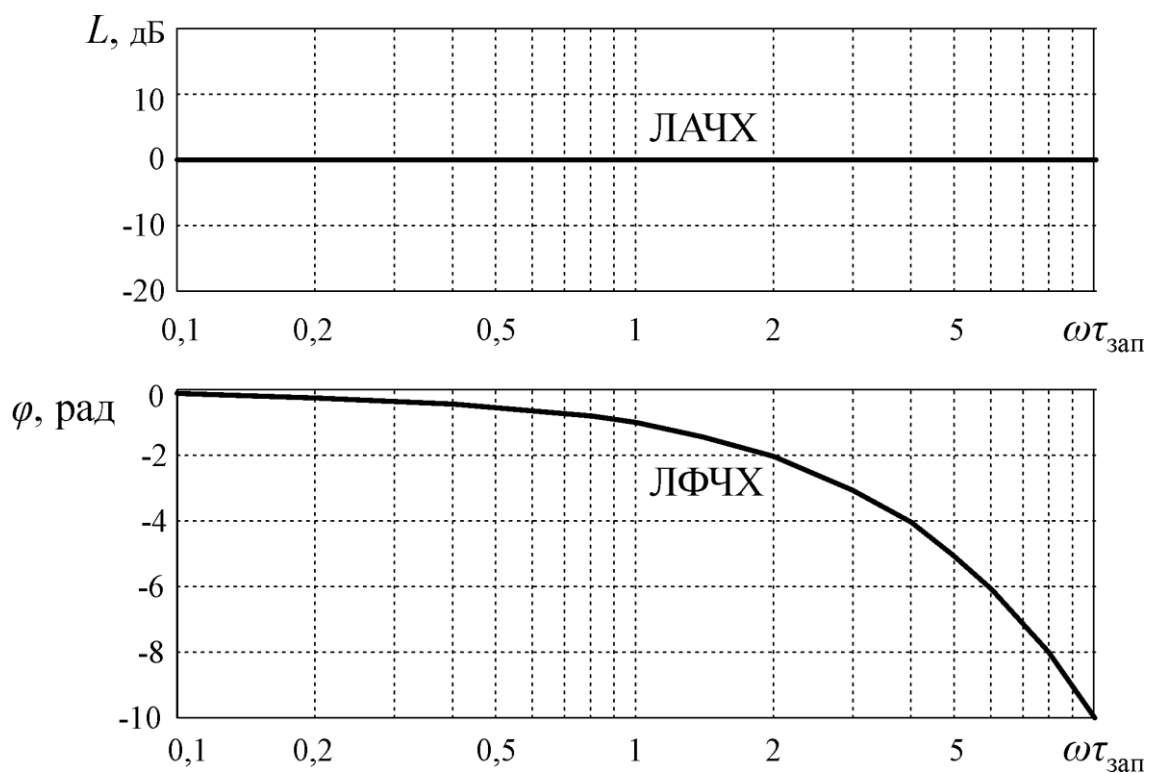


Рис. 26. Диаграмма Бодé звена запаздывания

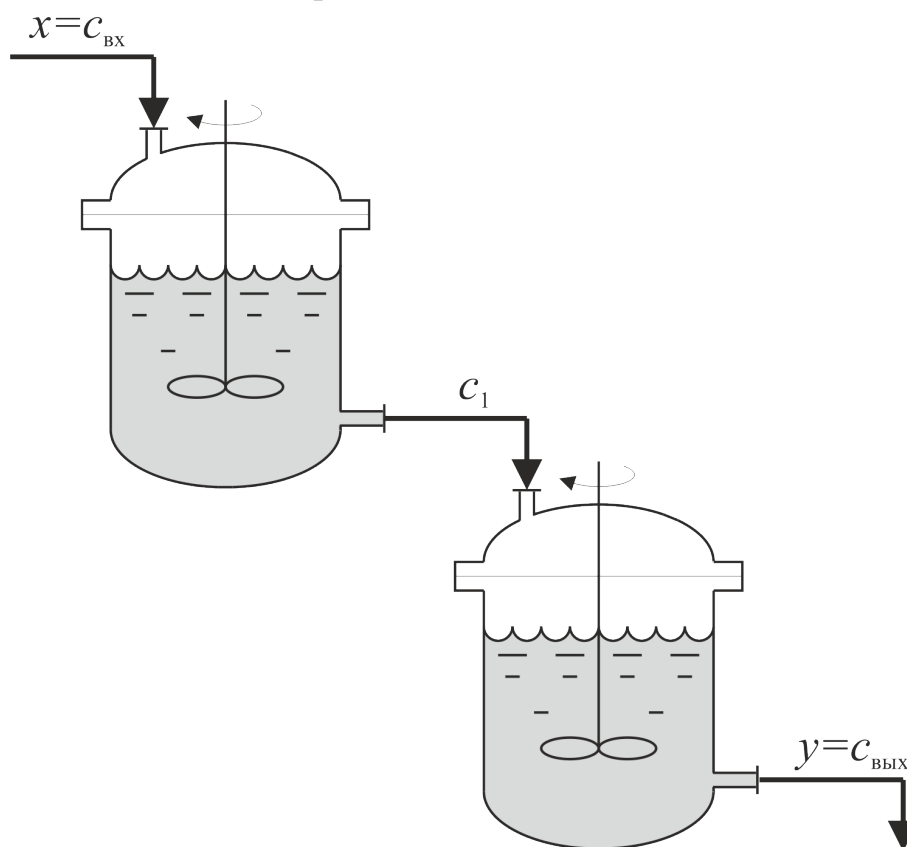


Рис. 27. Пример аperiodического статического звена второго порядка: каскад двух реакторов, работающих в режиме идеального смешения

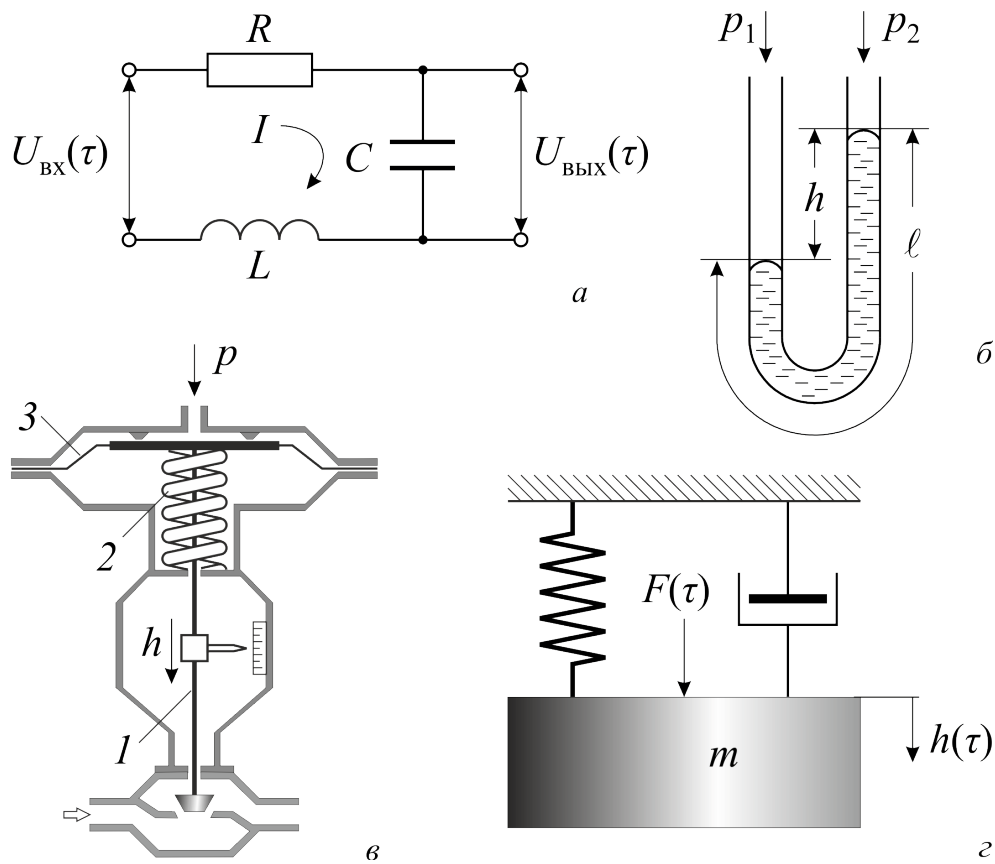


Рис. 28. Примеры колебательного статического звена второго порядка:
a – электрическая цепь типа колебательного контура RCL; *б* – U-образный жидкостный дифманометр;
в – мембранный исполнительный механизм (*1* – шток; *2* – пружина; *3* – мембрана); *г* – механический демпфер

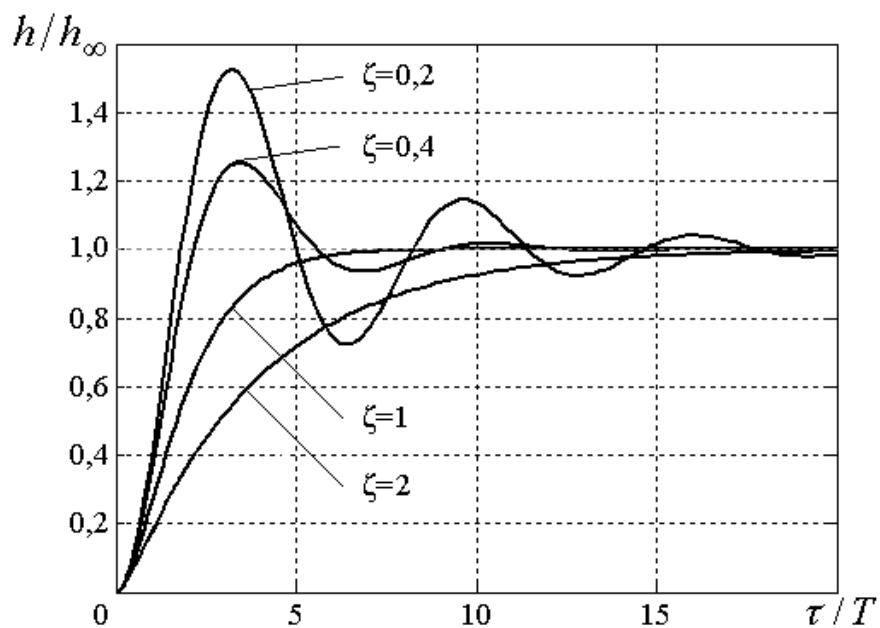


Рис. 29. Переходные характеристики статического звена второго порядка при различных значениях коэффициента демпфирования

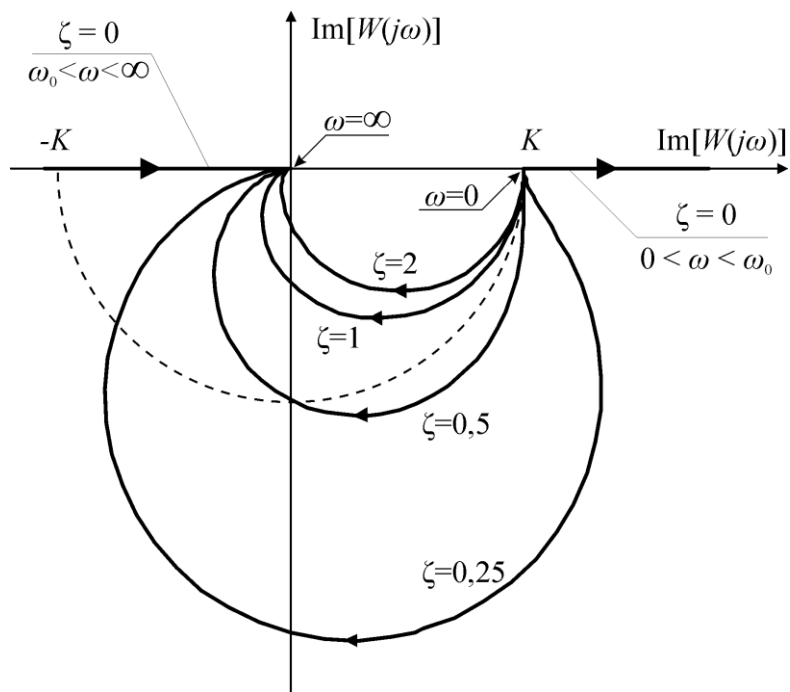


Рис. 30. АФЧХ статического звена второго порядка при различных значениях коэффициента демпфирования

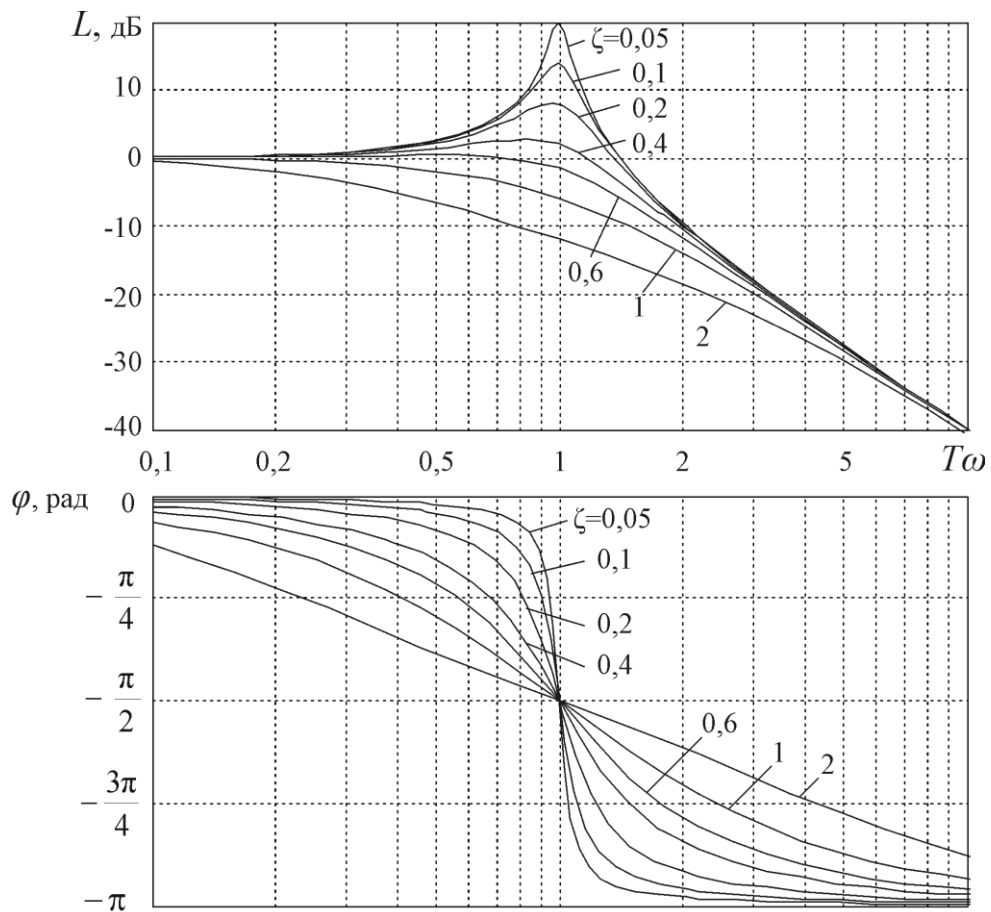


Рис. 31. ЛАЧХ и ЛФЧХ статического звена второго порядка при различных значениях коэффициента демпфирования

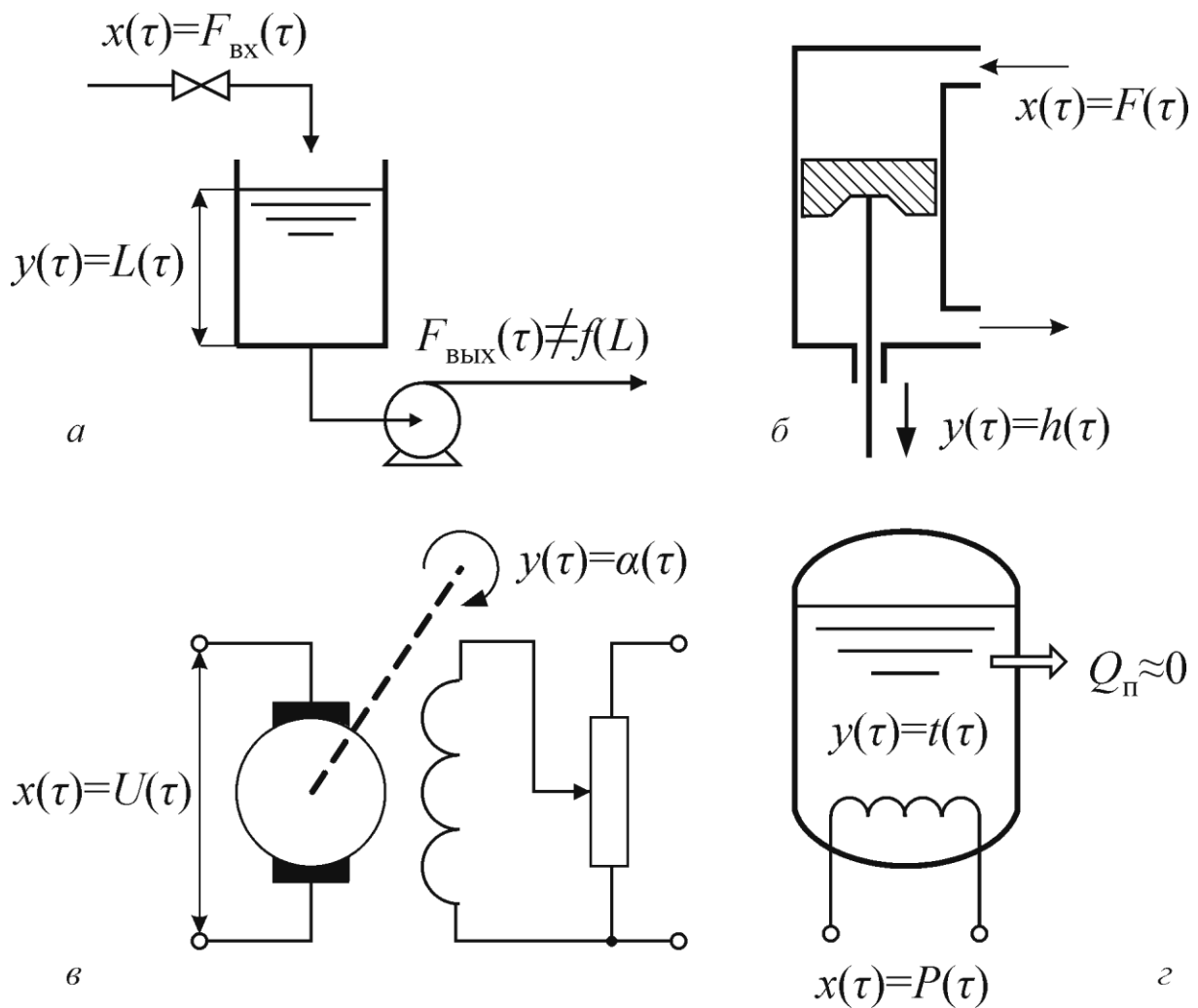


Рис. 32. Примеры идеального интегрирующего звена:

a – резервуар с насосом на линии стока, производительность которого не зависит от уровня жидкости в резервуаре; *б* – поршневой гидравлический исполнительный механизм; *в* – электродвигатель постоянного тока; *г* – резервуар с тепловым потоком, не зависящим от температуры резервуара

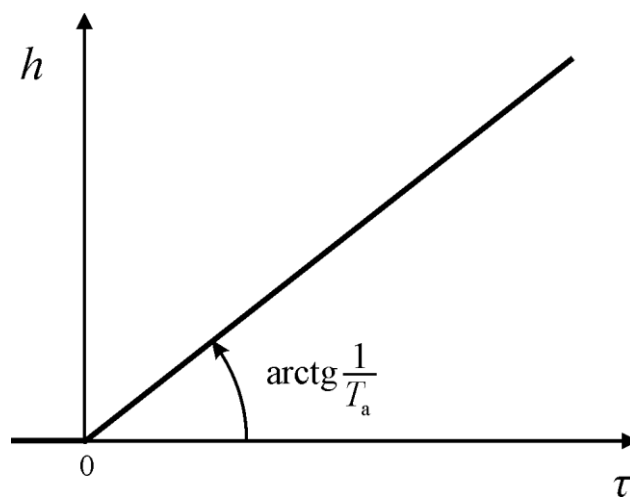


Рис. 33. Переходная характеристика идеального интегрирующего звена

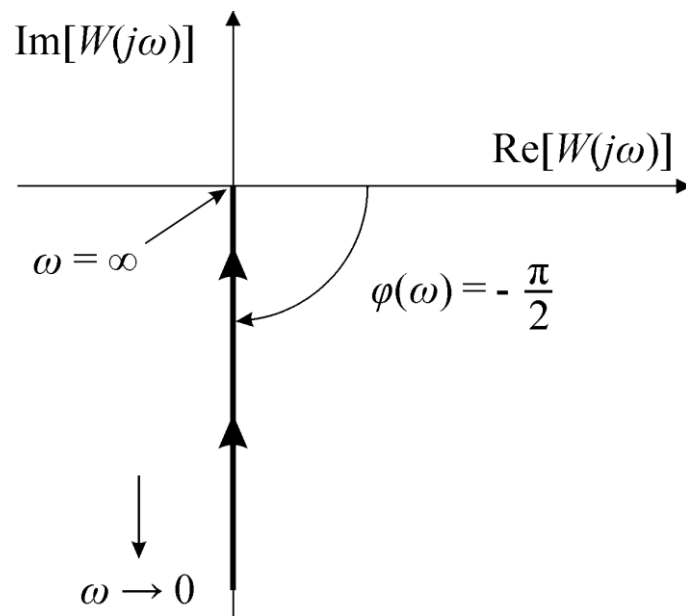


Рис. 34. АФЧХ идеального интегрирующего звена

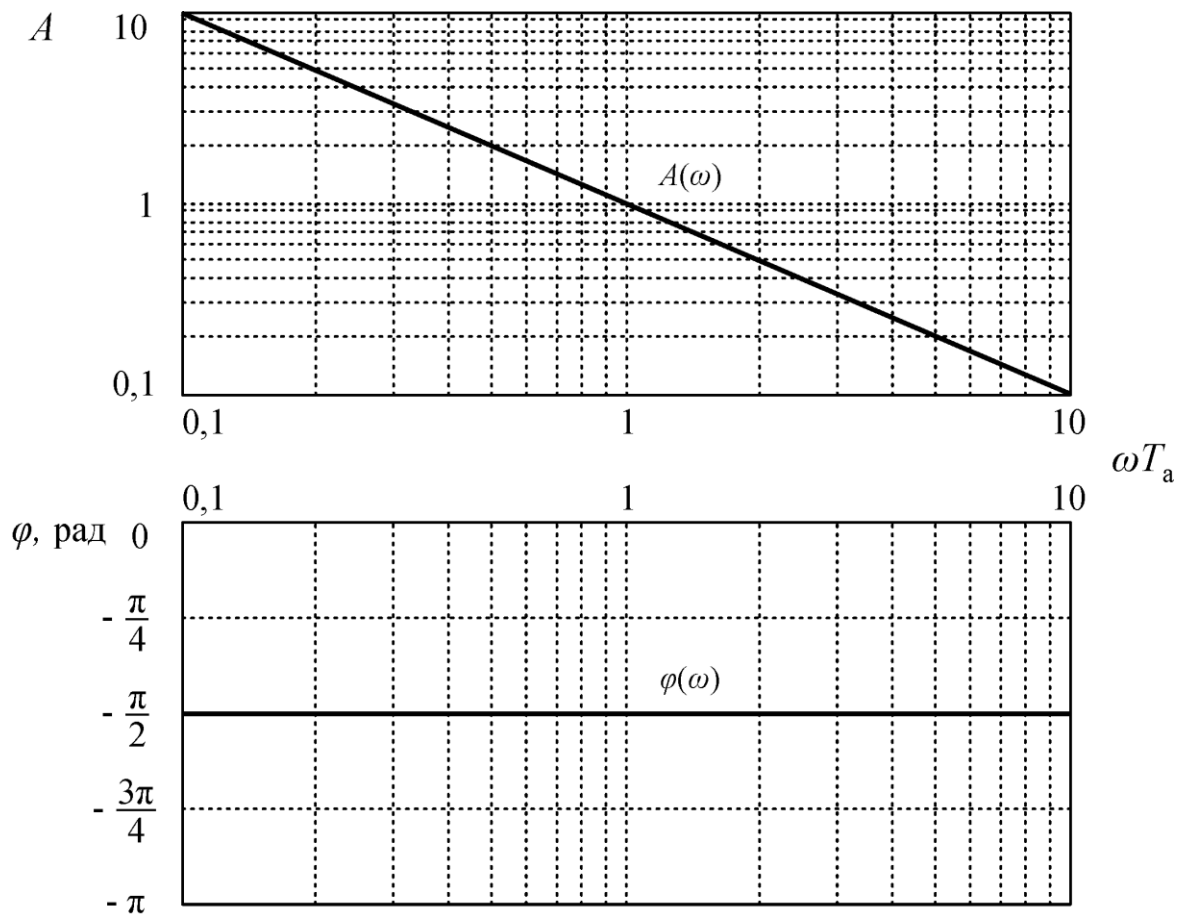


Рис. 35. Диаграмма Бодé идеального интегрирующего звена

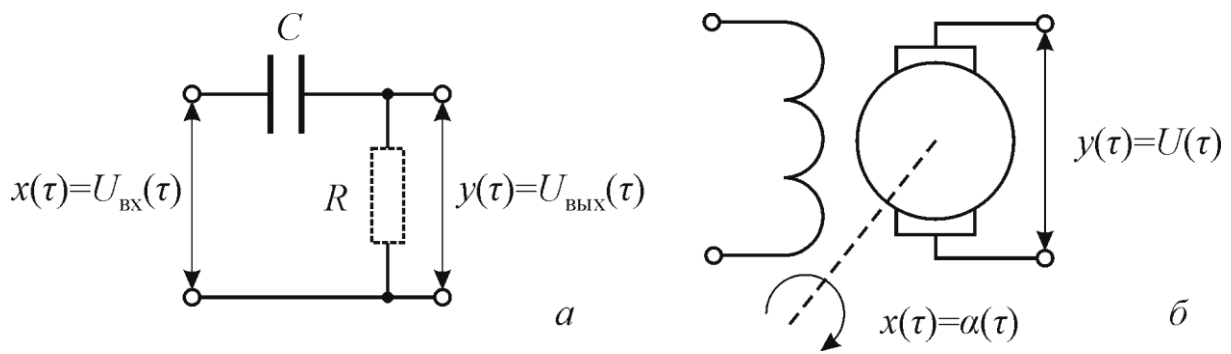


Рис. 36. Примеры идеального дифференцирующего звена:

a – электрическая CR-цепь (*R* пренебрежимо мало); *б* – тахогенератор

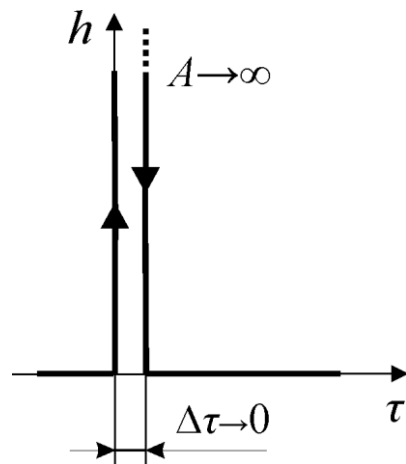


Рис. 37. Переходная характеристика идеального дифференцирующего звена

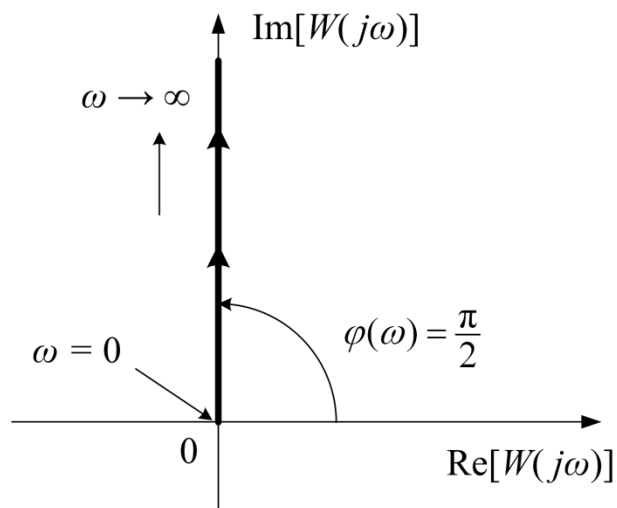


Рис. 38. АФЧХ идеального дифференцирующего звена

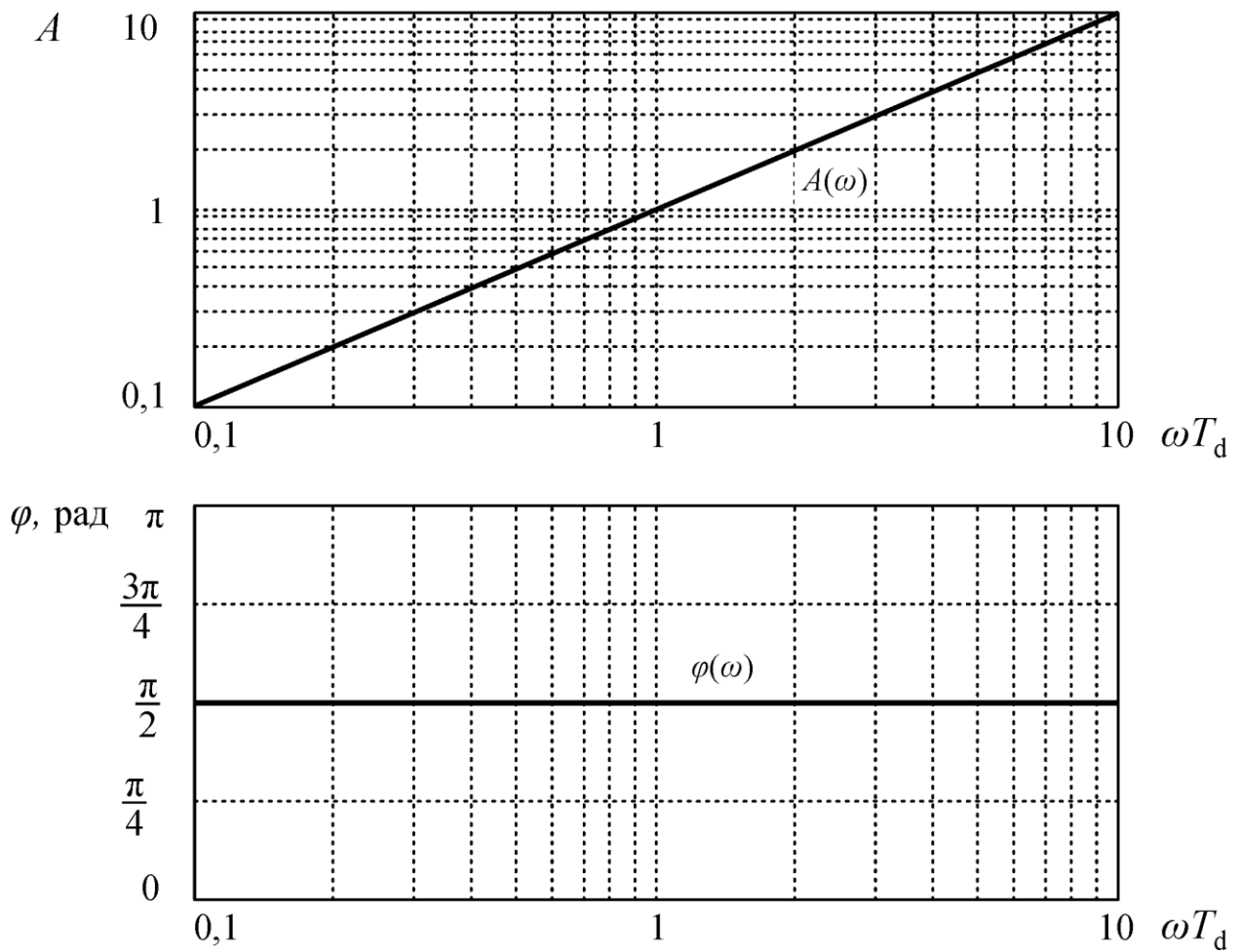


Рис. 39. Диаграмма Бодé идеального дифференцирующего звена

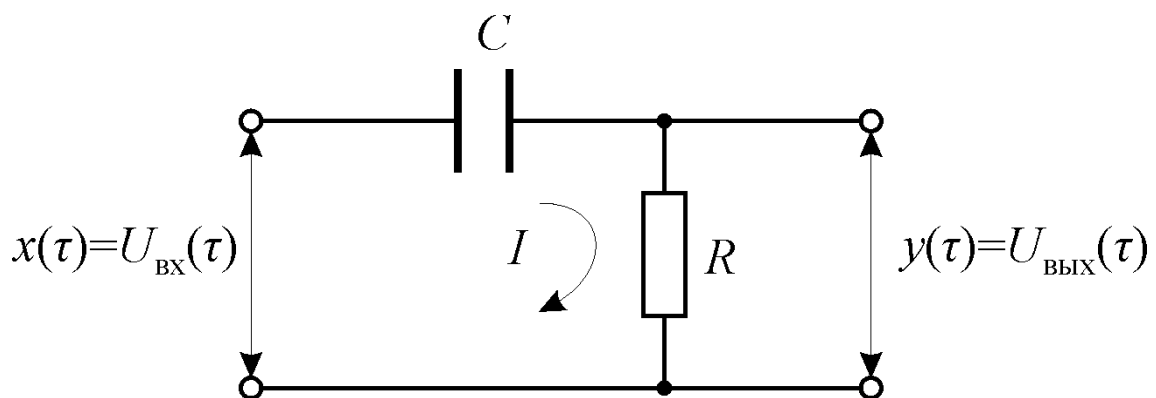


Рис. 40. Пример реального дифференцирующего звена: электрическая CR-цепь

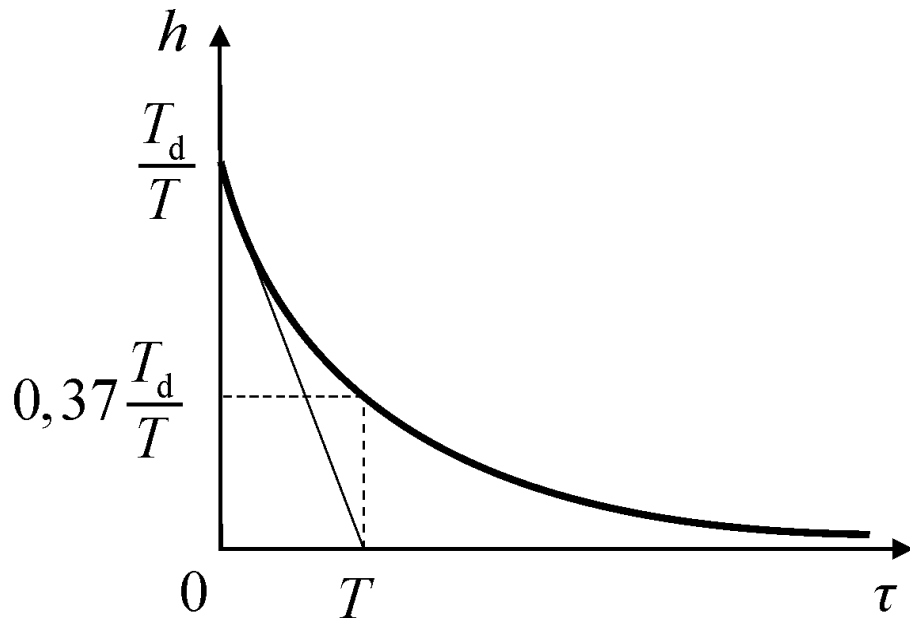


Рис. 41. Переходная характеристика реального дифференцирующего звена

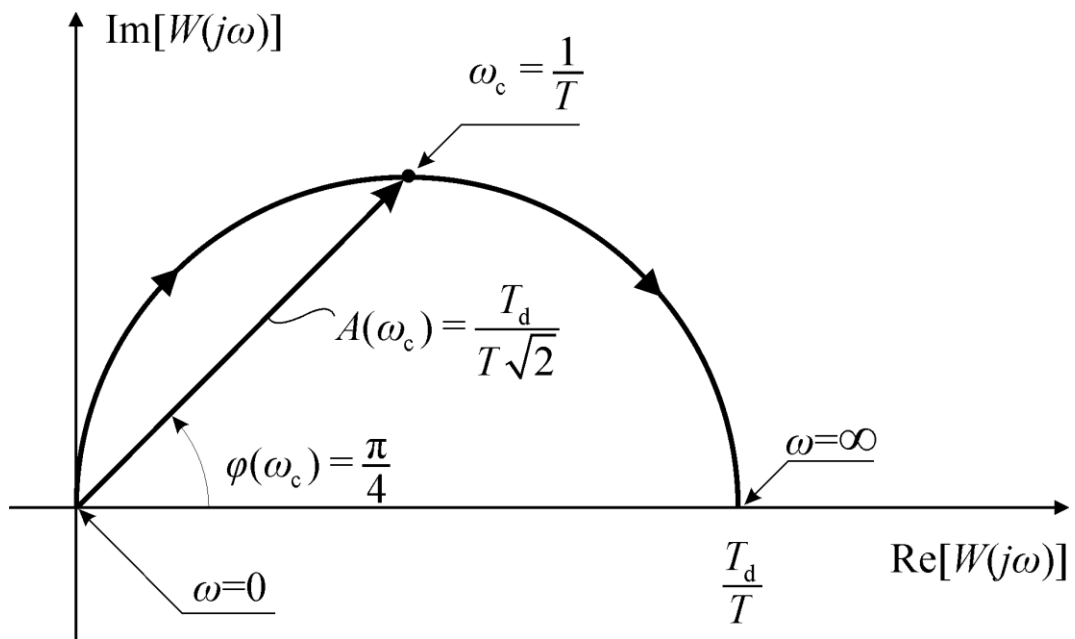


Рис. 42. АФЧХ реального дифференцирующего звена

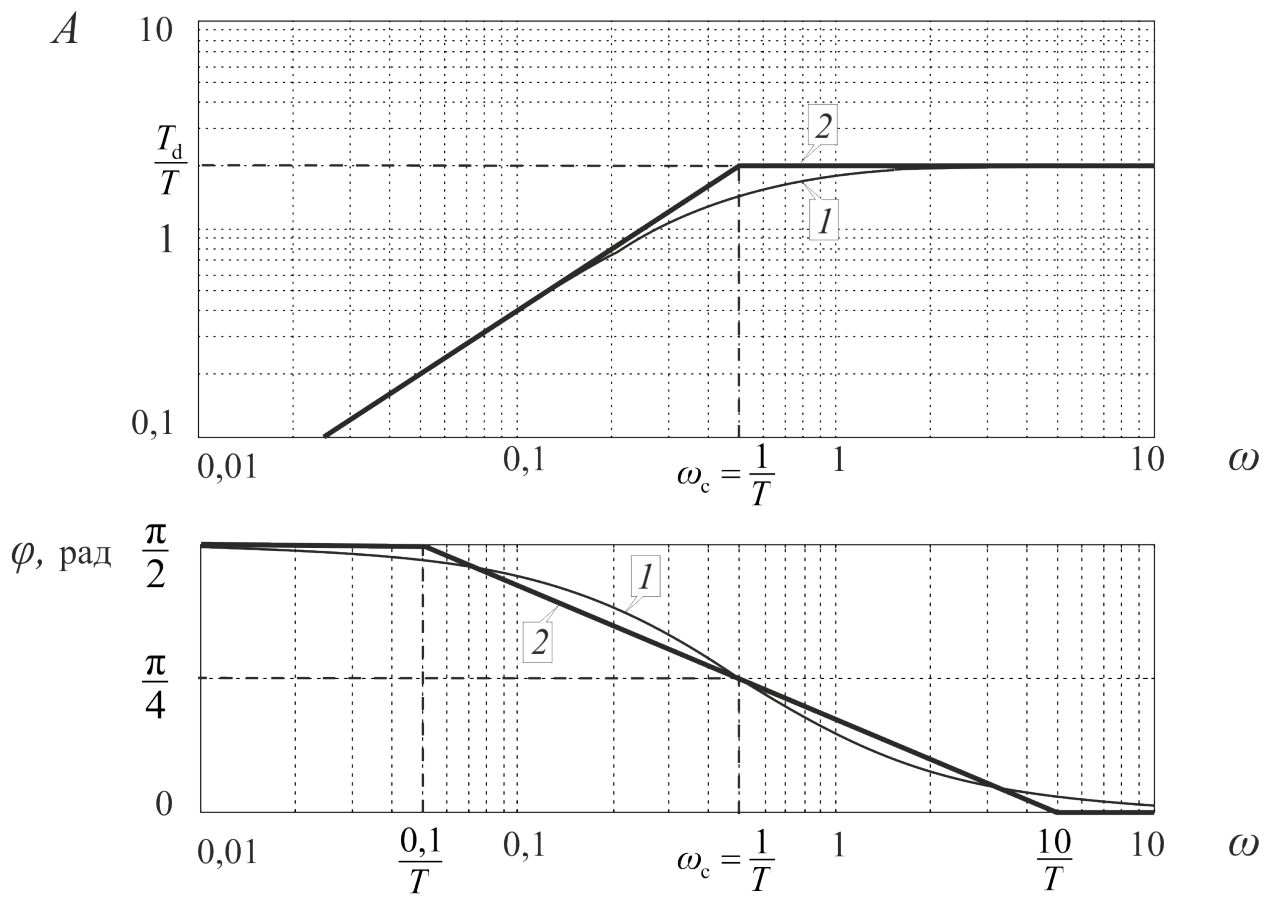


Рис. 43. Диаграмма Бодé реального дифференцирующего звена:

1 – точные характеристики; 2 – приближённые характеристики

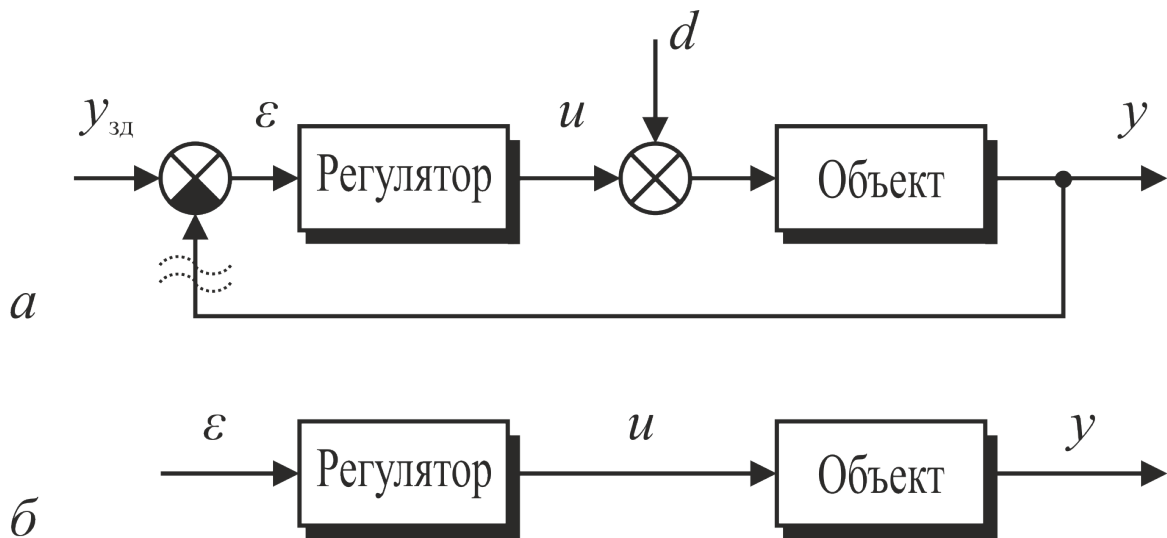


Рис. 44. Структурная схема САУ с обратной связью:

а – замкнутая система (пунктиром показано место возможного размыкания); *б* – разомкнутая система

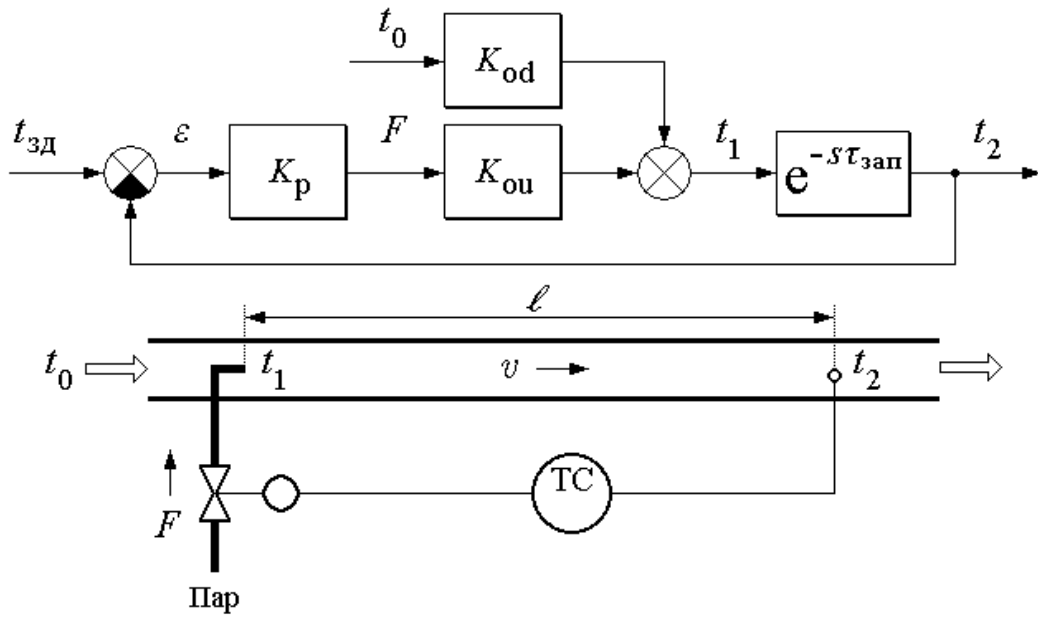


Рис. 45. Система регулирования температуры в объекте с запаздыванием

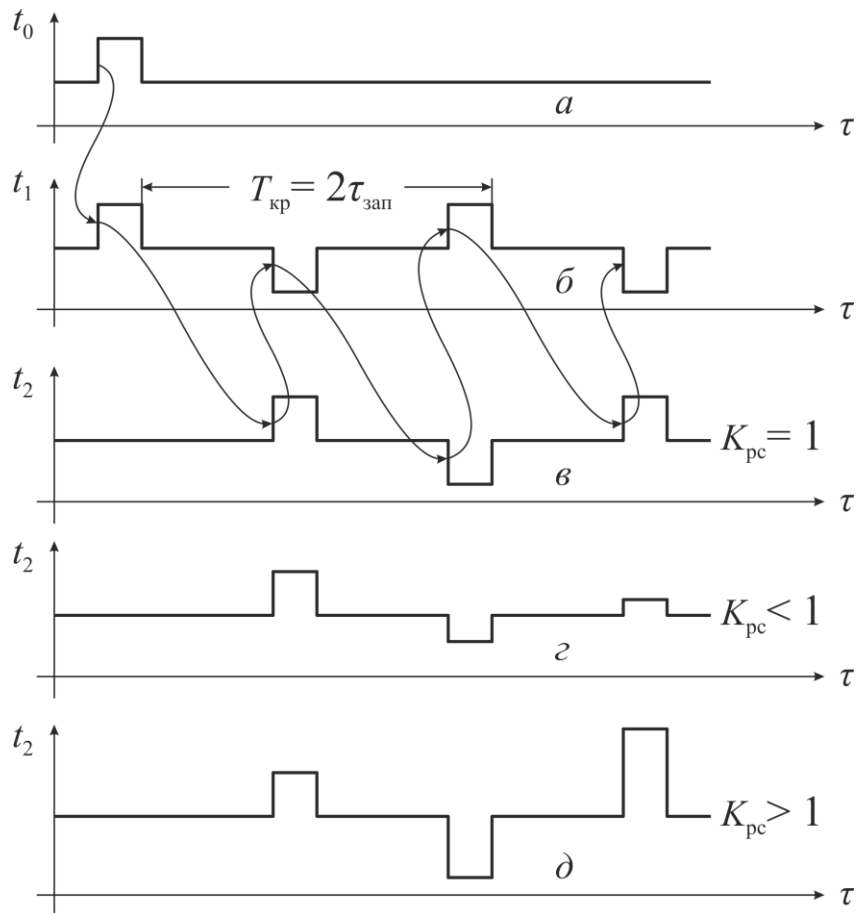


Рис. 46. Реакция системы регулирования температуры в объекте с запаздыванием на импульсное возмущающее воздействие

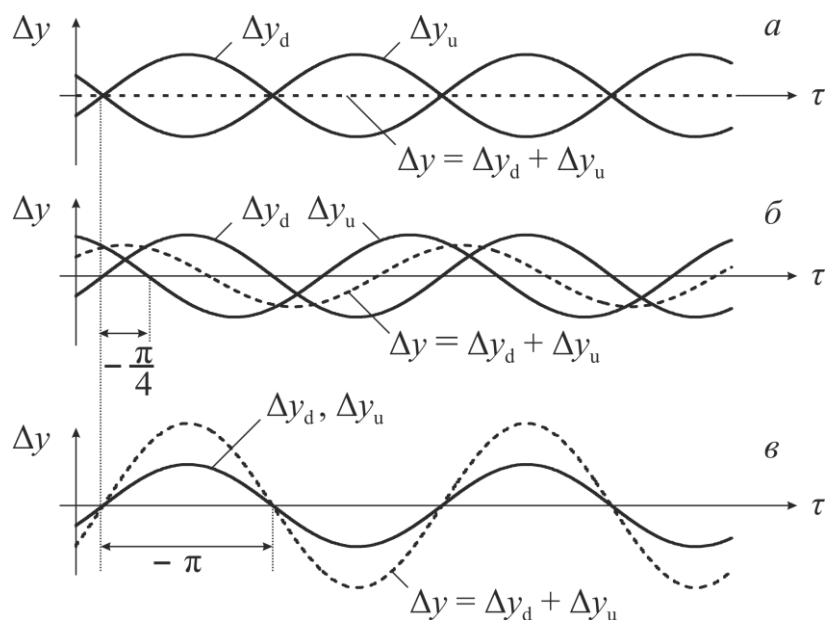


Рис. 47. Появление в системе регулирования положительной обратной связи: *a* – отрицательная обратная связь действует в течение всего периода колебаний (изменение регулируемого параметра за счёт возмущающего воздействия Δy_d компенсируется изменением регулируемого параметра за счёт управляющего воздействия Δy_u); *б* – в течение части периода колебаний действует положительная обратная связь; *в* – положительная обратная связь действует в течение всего периода колебаний (управляющее воздействие увеличивает отклонение регулируемого параметра, вызванное возмущающим воздействием)

5 СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

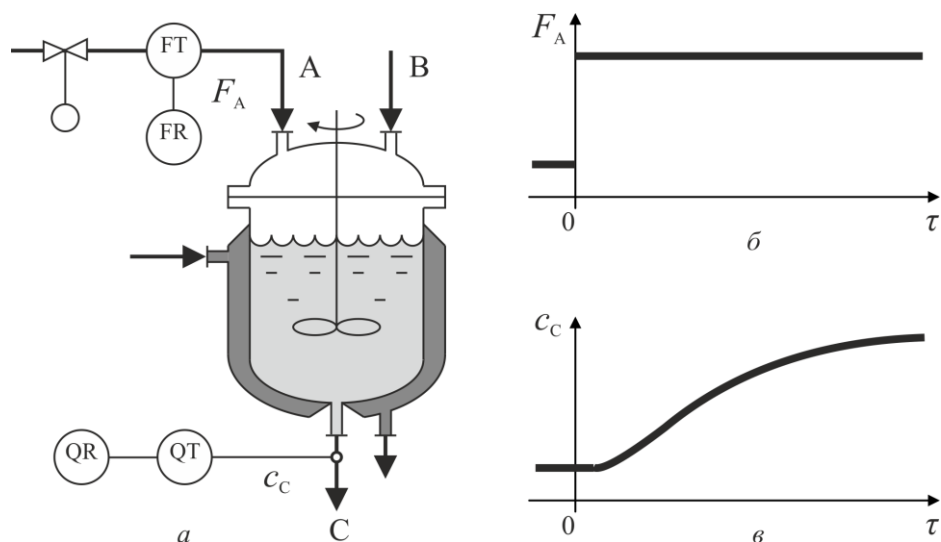


Рис. 48. Экспериментальное определение переходной характеристики реактора: *a* – схема установки; *б* – ступенчатое изменение расхода компонента А (входное воздействие); *в* – изменение концентрации продукта С (переходная характеристика)

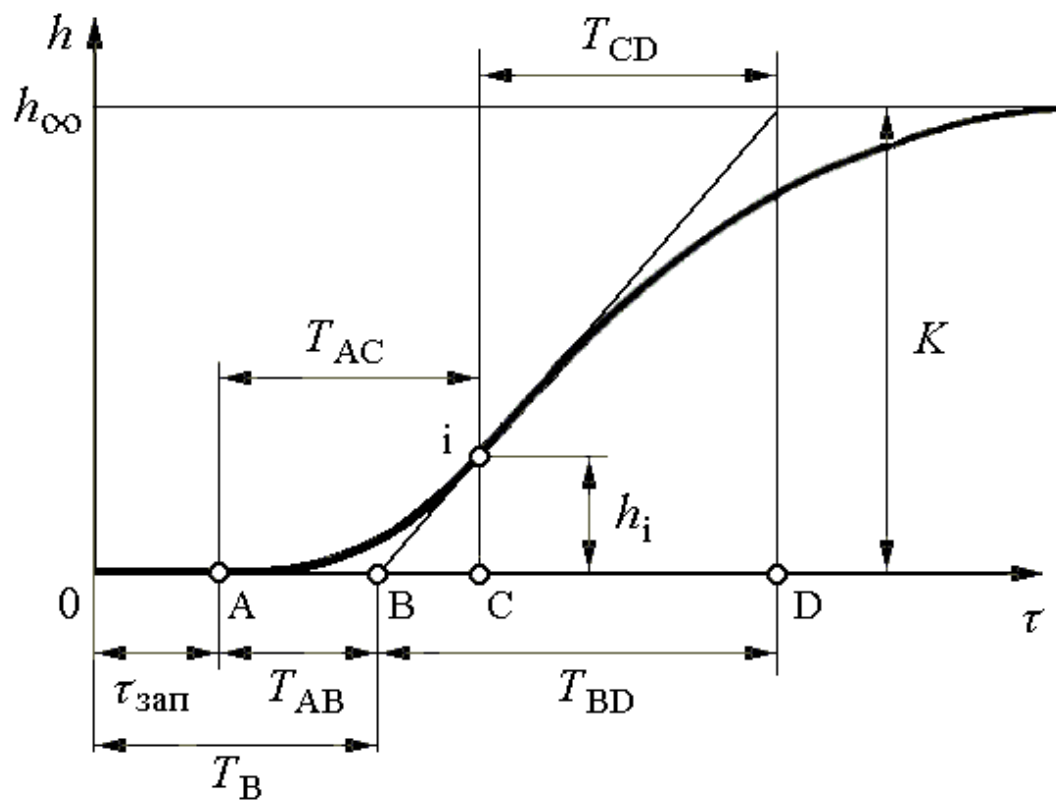


Рис. 49. Определение параметров модели объекта по экспериментальной переходной характеристике

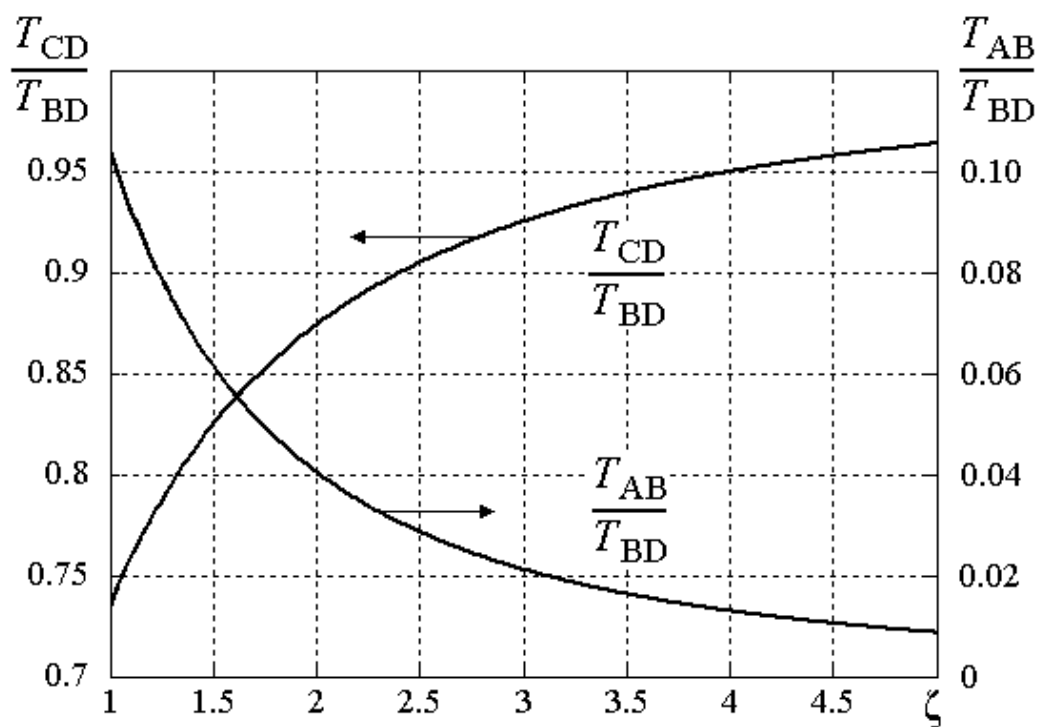


Рис. 50. Номограмма для определения параметров модели объекта

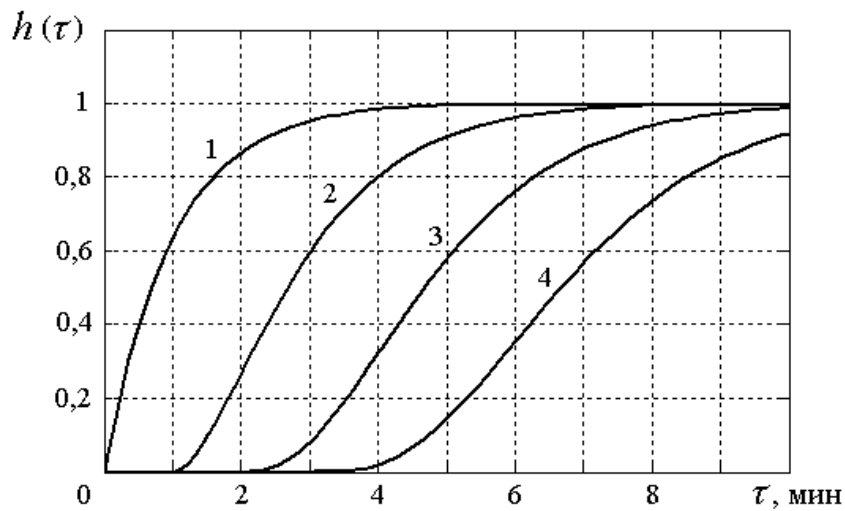


Рис. 51. Переходные характеристики устойчивых объектов разного порядка

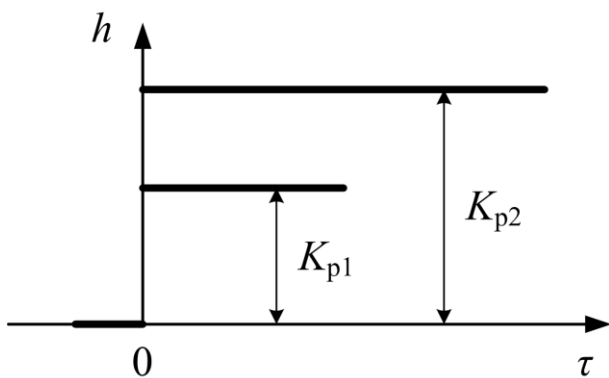


Рис. 52. Переходные характеристики П-регулятора

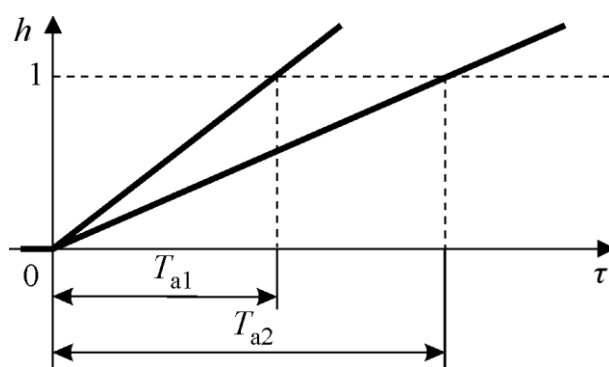


Рис. 53. Переходные характеристики И-регулятора

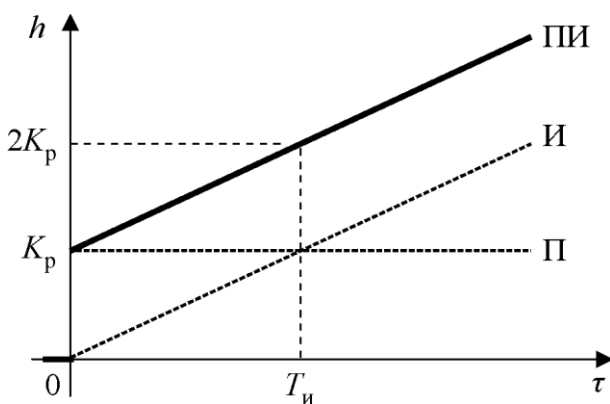


Рис. 54. Переходная характеристика ПИ-регулятора

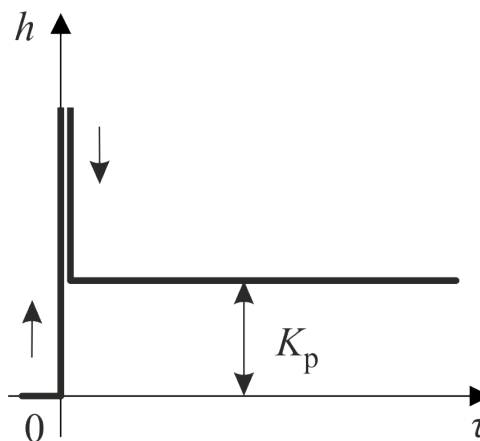


Рис. 55. Переходная характеристика ПД-регулятора

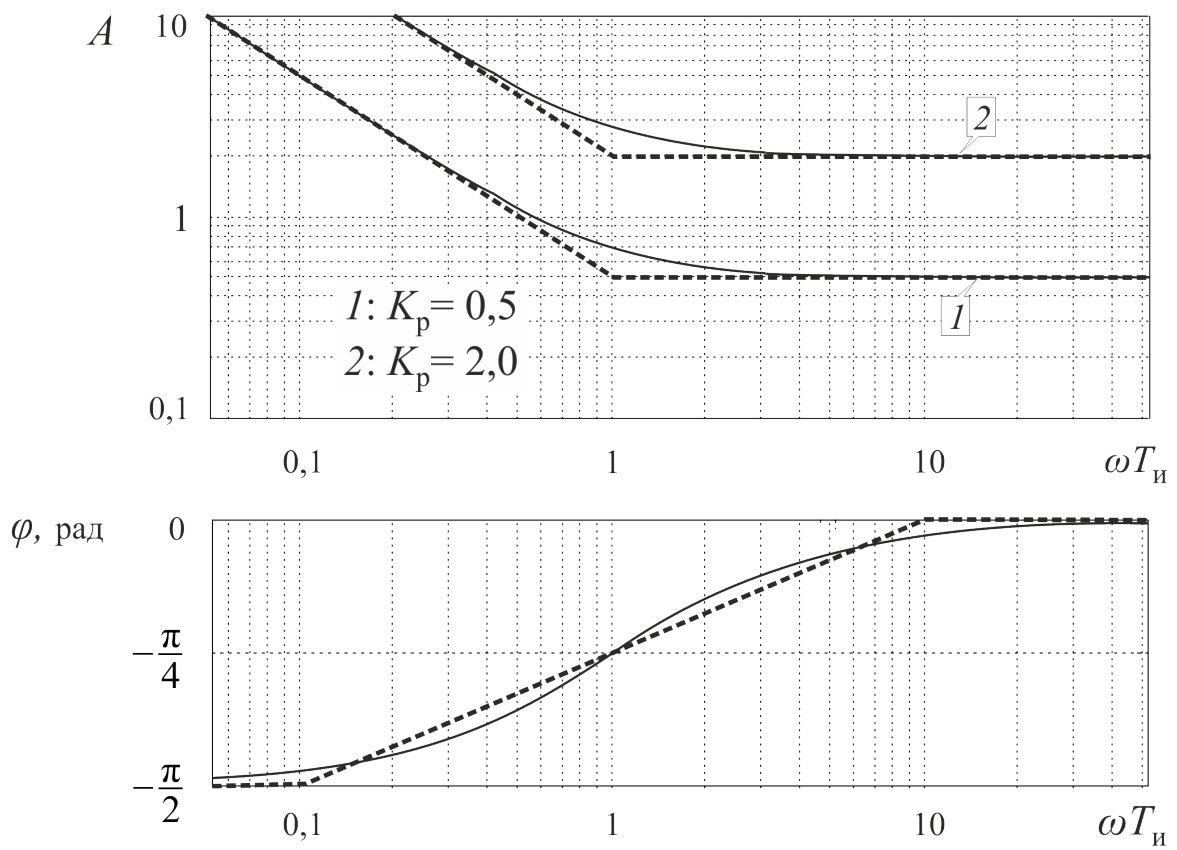


Рис. 56. Диаграмма Бодé ПИ-регулятора

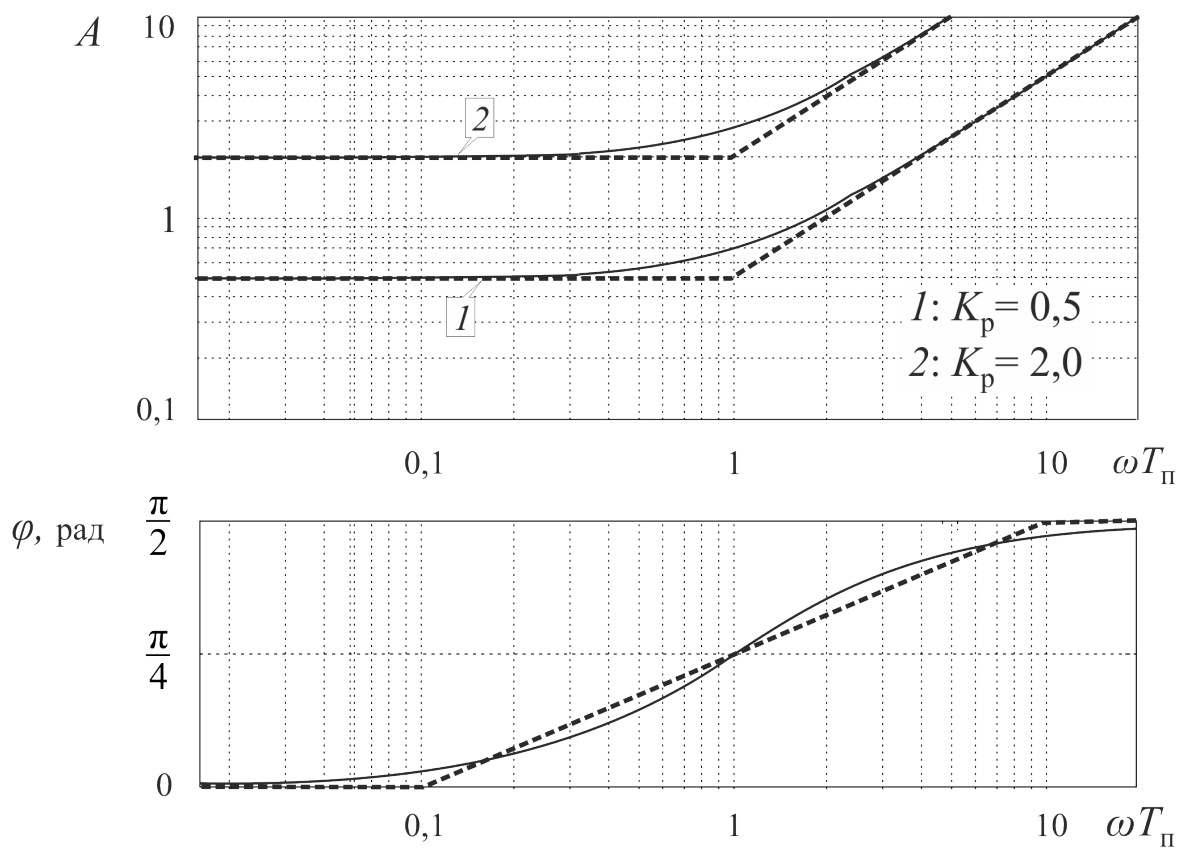


Рис. 57. Диаграмма Бодé ПД-регулятора

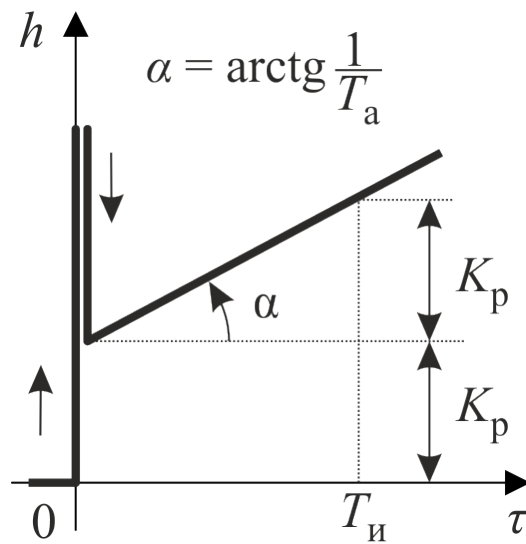


Рис. 58. Переходная характеристика ПИД-регулятора

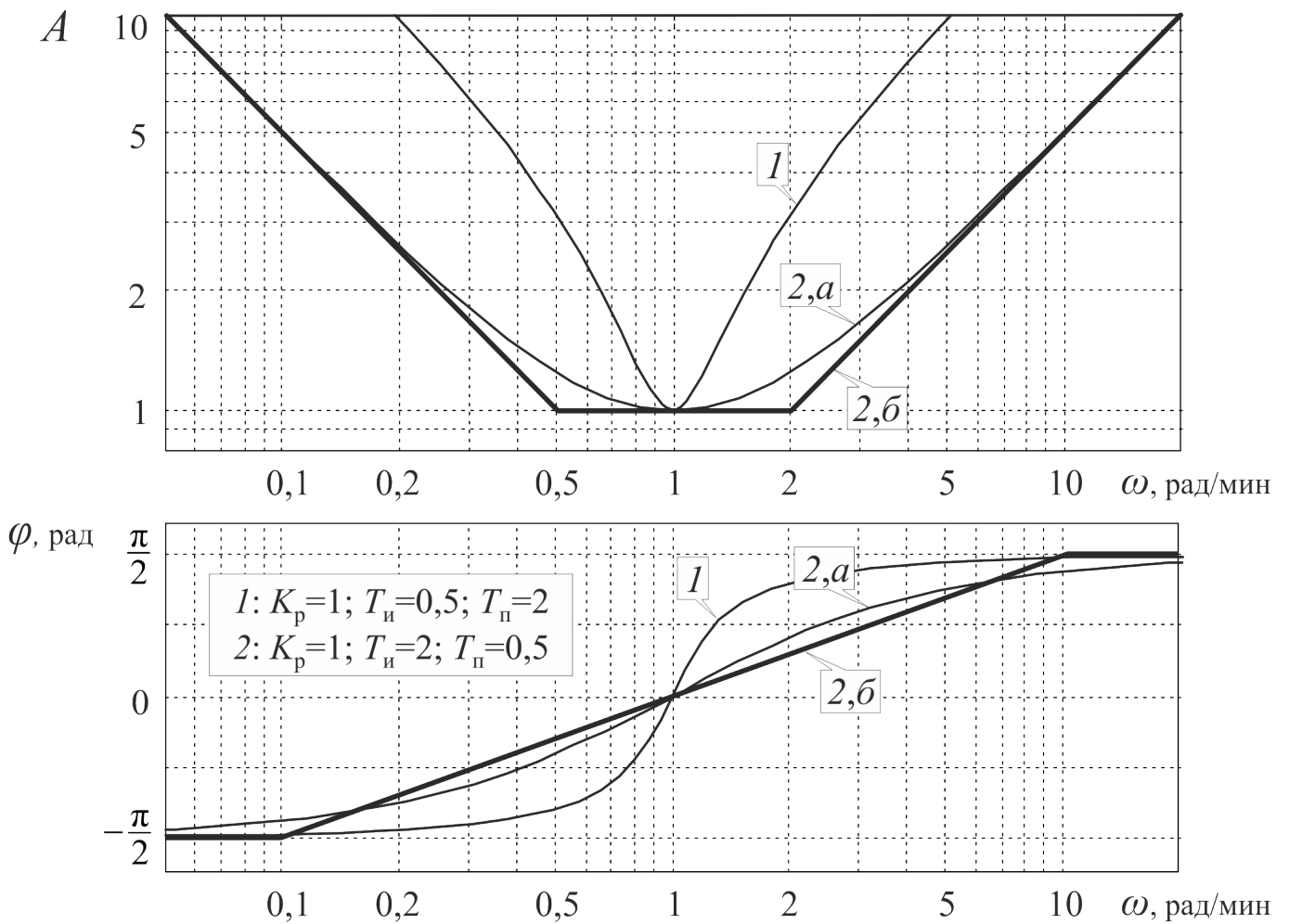


Рис. 59. Диаграмма Бодé ПИД-регулятора: точные (1, 2а) и аппроксимированные (2б) ЛАЧХ и ЛФЧХ

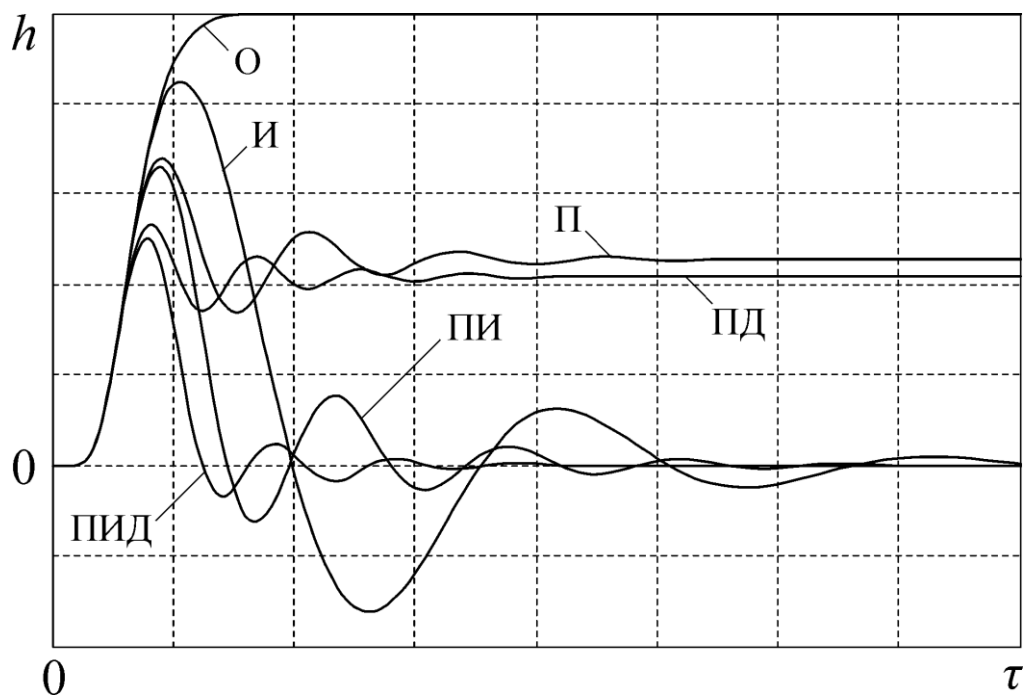


Рис. 60. Переходные процессы в объекте регулирования (О) и в системах регулирования с разными регуляторами (И, П, ПД, ПИ, ПИД)

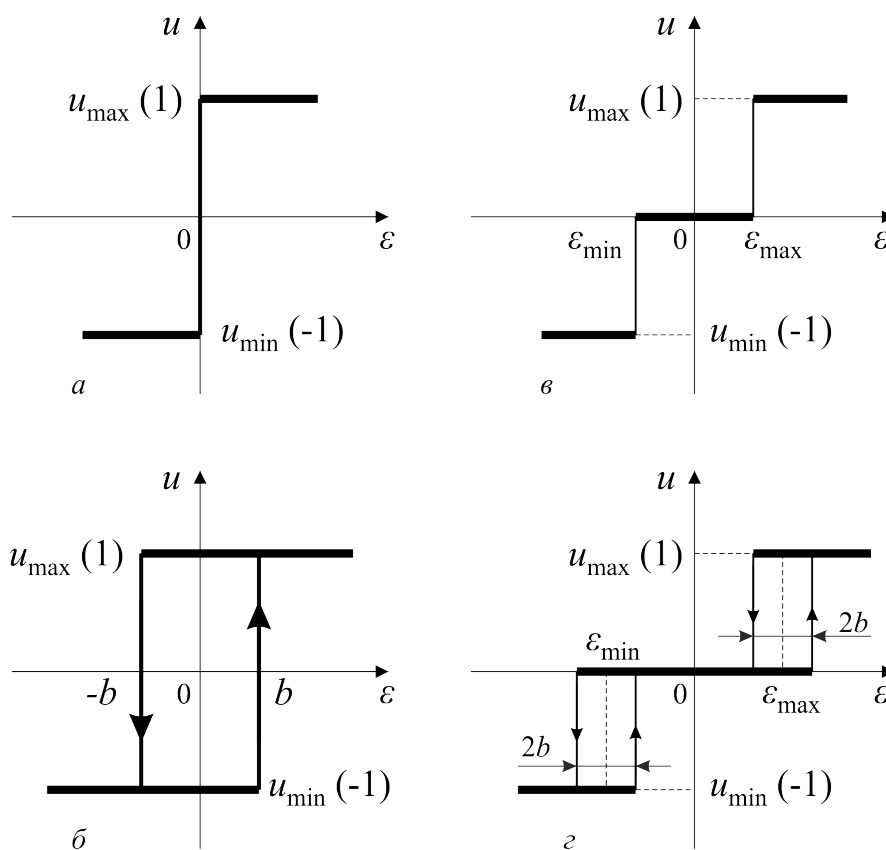


Рис. 61. Статические характеристики двухпозиционного (а, б) и трёхпозиционного (в, г) регуляторов:

a – идеальная релейная; *б* – релейная с зоной неоднозначности; *в* – релейная с зоной нечувствительности; *г* – релейная с зоной нечувствительности и зонами неоднозначности

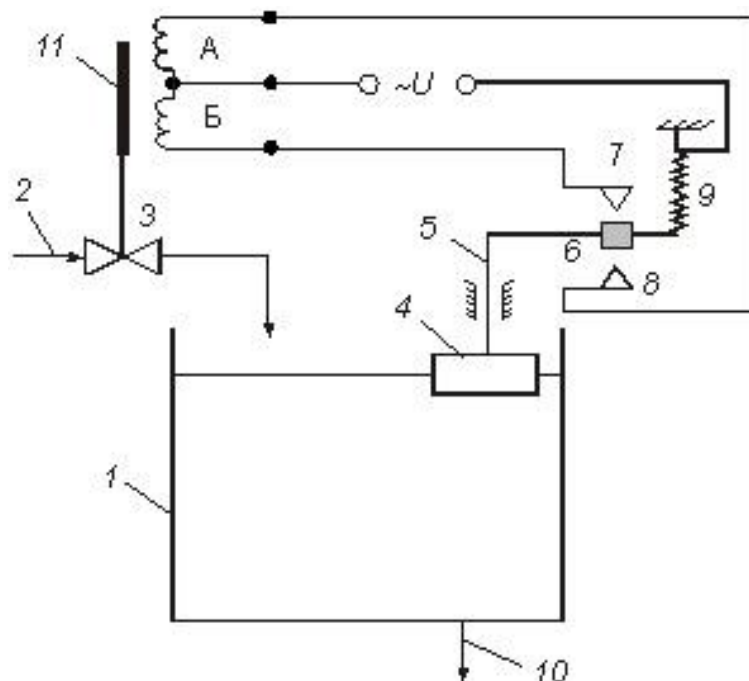


Рис. 62. Схема системы регулирования уровня жидкости в резервуаре двухпозиционным регулятором:

1 – резервуар (объект управления); 2, 10 – трубопроводы; 3 – клапан (регулирующий орган); 4 – поплавок (чувствительный элемент); 5 – шток; 6 – рычаг-контакт; 7, 8 – подвижные упоры-контакты; 9 – пружина; 11 – сердечник электромагнита; А, Б – обмотки электромагнита

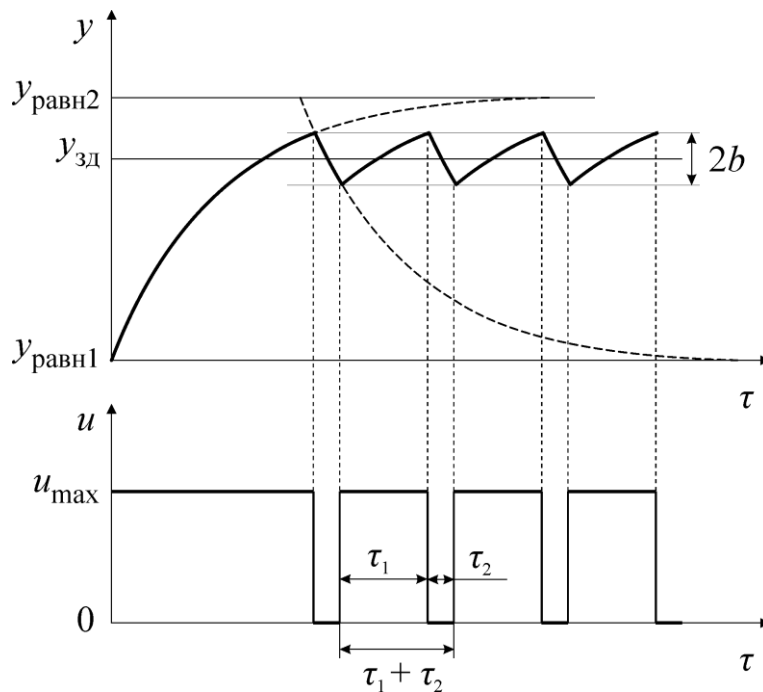


Рис. 63. Переходный процесс в системе регулирования с двухпозиционным регулятором

6 ИЗМЕРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

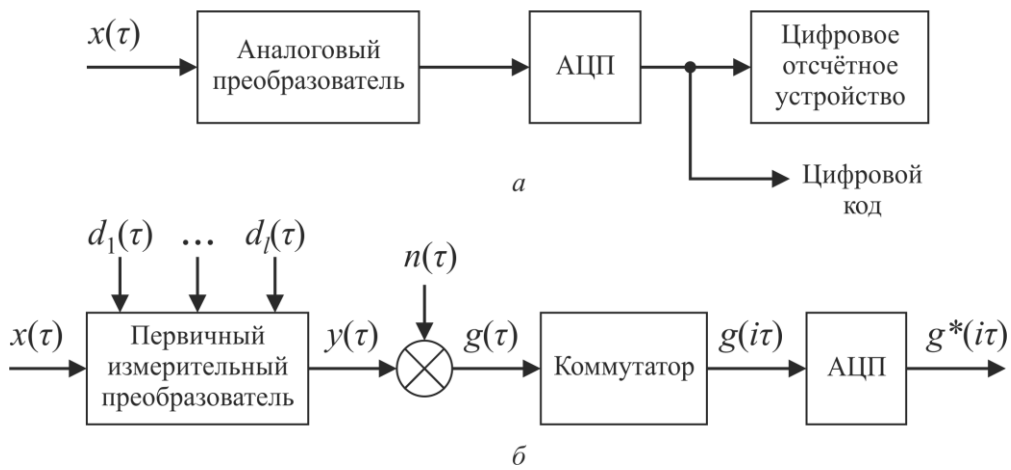


Рис. 64. Структурные схемы: *a* – цифрового измерительного устройства; *б* – информационного измерительного канала ИИС

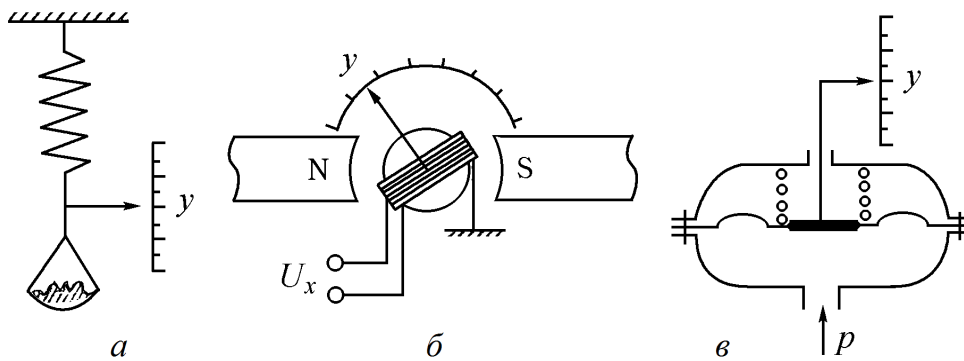


Рис. 65. Примеры измерительных устройств прямого действия:

a – пружинные весы; *б* – милливольтметр; *в* – мембранный манометр

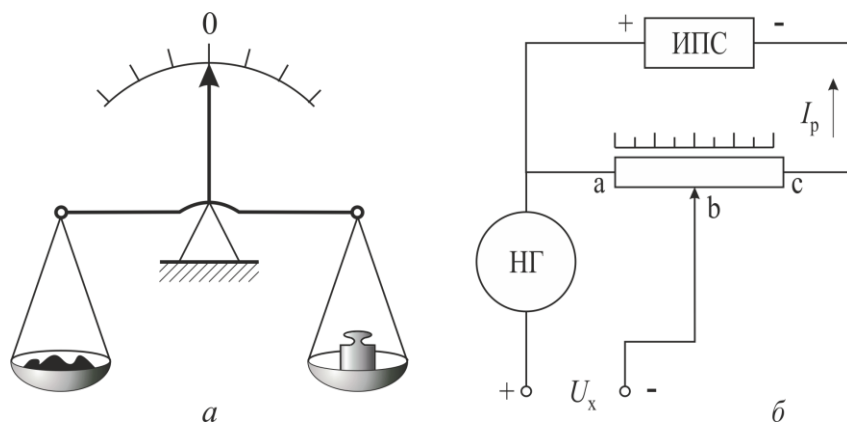


Рис. 66. Примеры измерительных устройств, основанных на методе сравнения с мерой:

a – рычажные весы; *б* – потенциометр

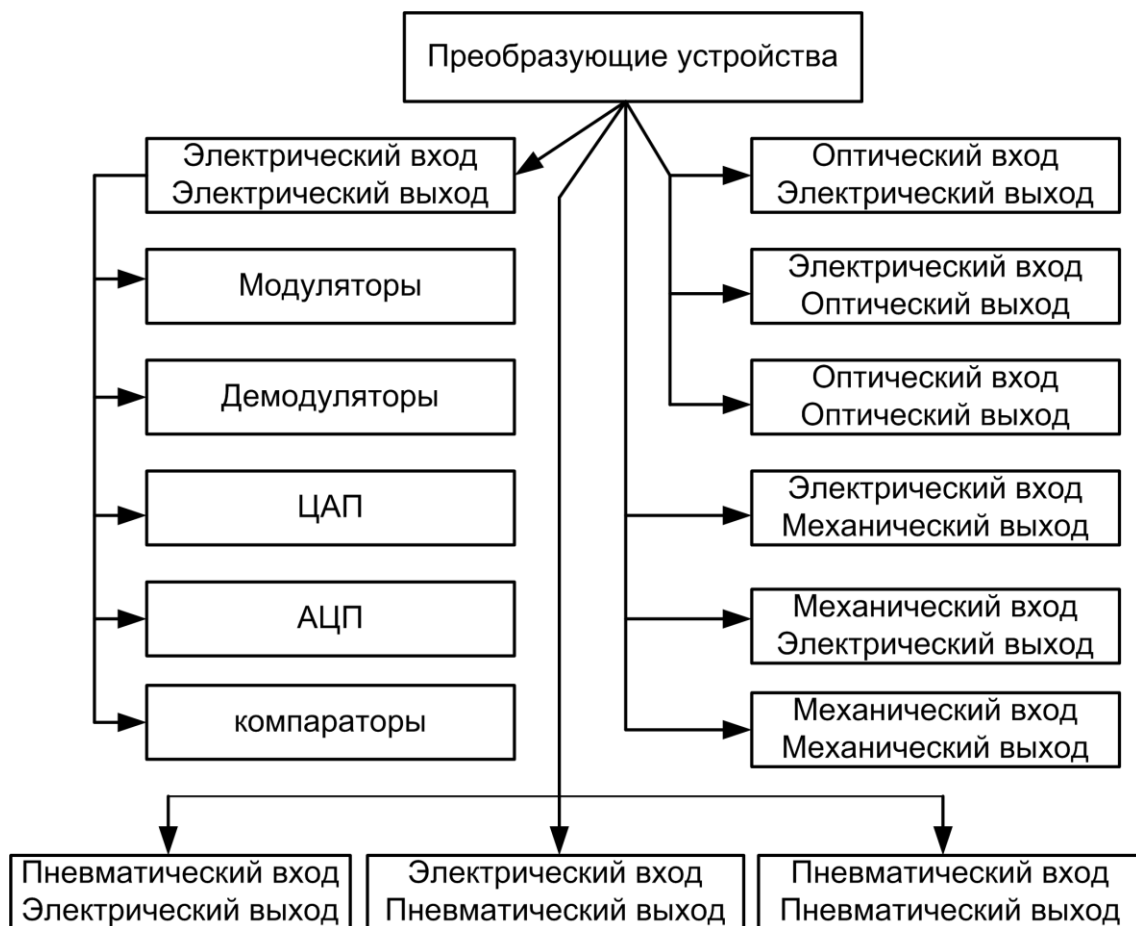


Рис. 67. Классификация промежуточных измерительных преобразователей

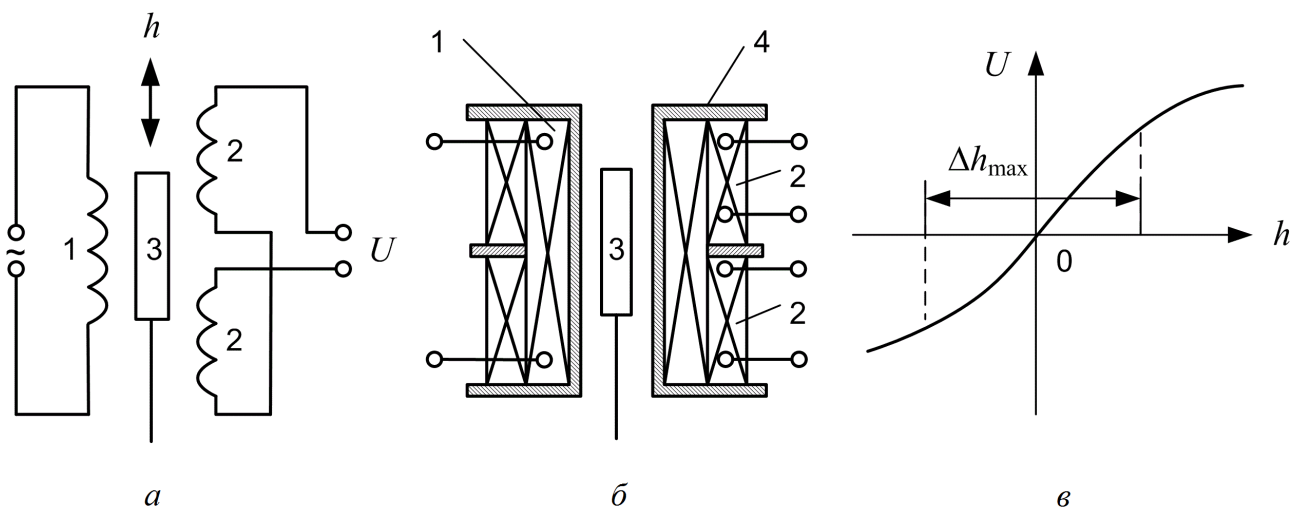


Рис. 68. Индуктивный преобразователь:

a – электрическая схема; *б* – конструкция передающего дифференциально-трансформаторного преобразователя (*1* – первичная обмотка; *2* – секции вторичной обмотки; *3* – подвижный сердечник; *4* – каркас преобразователя);
в – статическая характеристика (Δh_{\max} – рабочий диапазон перемещения сердечника)

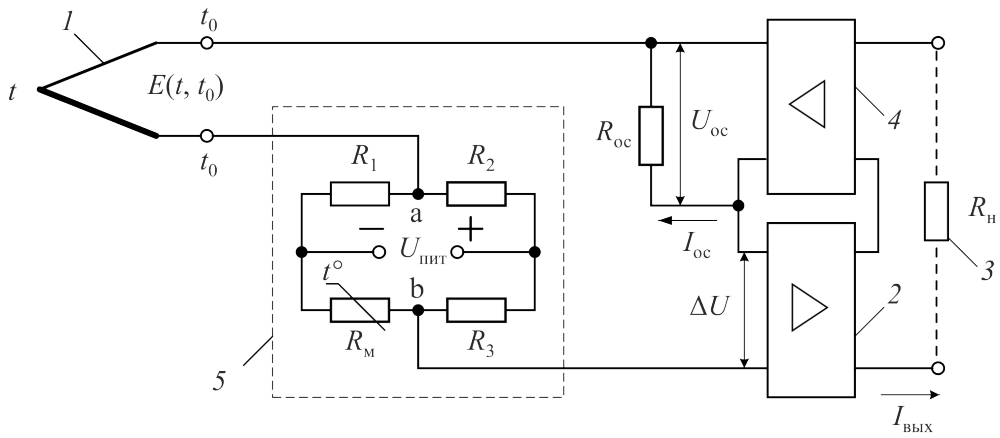


Рис. 69. Схема токового измерительного (нормирующего) преобразователя для термопар:

1 – термопара; 2 – усилитель; 3 – внешняя цепь; 4 – усилитель обратной связи; 5 – корректирующий мост

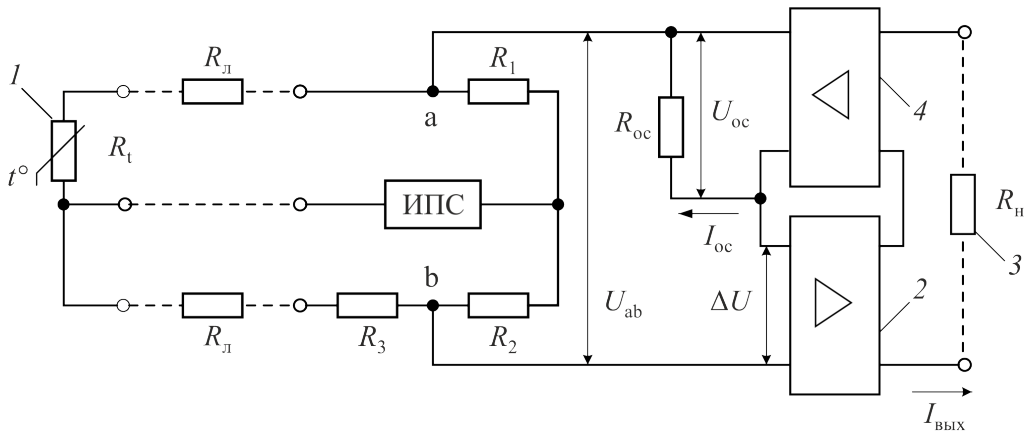


Рис. 70. Схема токового измерительного (нормирующего) преобразователя для термопреобразователей сопротивления:

1 – термопреобразователь сопротивления; 2 – усилитель; 3 – внешняя цепь; 4 – усилитель обратной связи

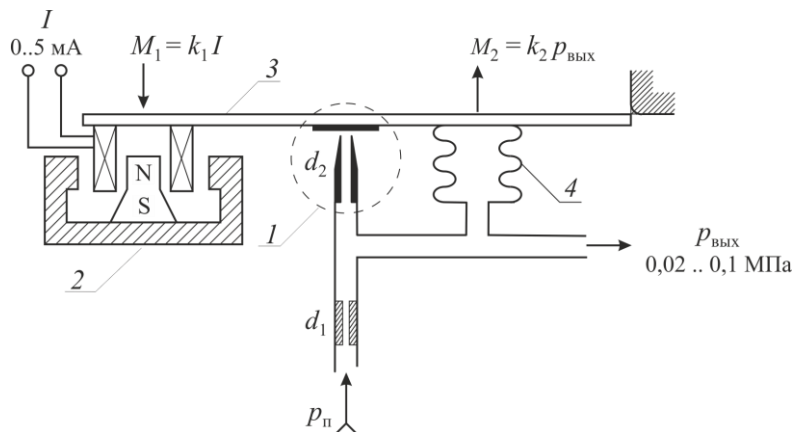


Рис. 71. Схема электропневмопреобразователя:

1 – преобразователь типа сопло–заслонка; 2 – постоянный магнит; 3 – рычаг с рамкой; 4 – сильфон отрицательной обратной связи

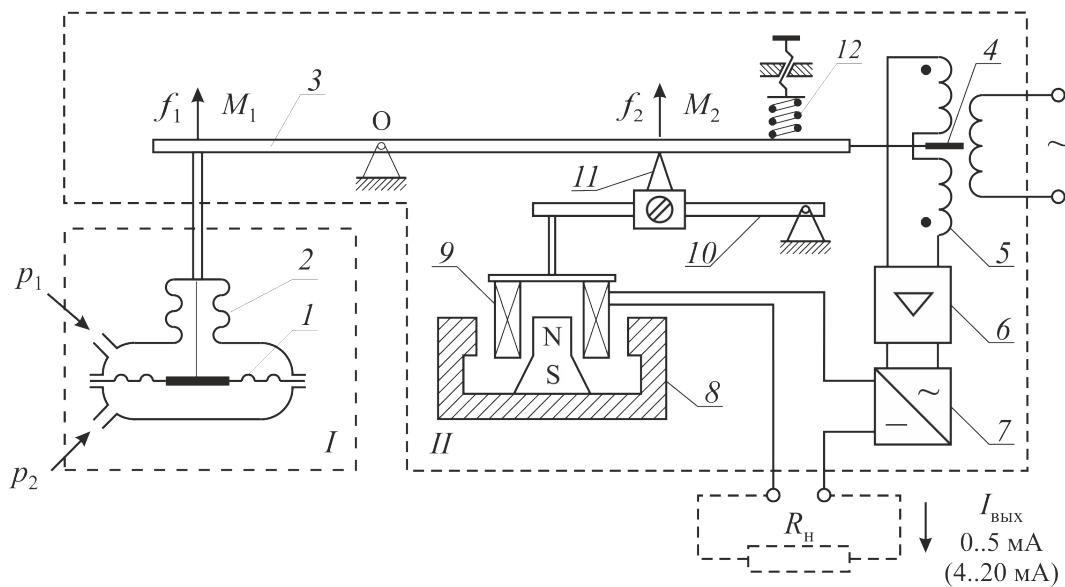


Рис. 72. Схема токового унифицированного измерительного преобразователя с силовой компенсацией:

I – мембранный дифманометр; *II* – унифицированный токовый электросиловой преобразователь; 1 – вялая мембрана дифманометра; 2 – уплотняющий сильфон; 3 – основной рычаг; 4 – флажок индикатора; 5 – индикатор рассогласования дифференциально-трансформаторного типа; 6 – усилитель; 7 – выпрямитель; 8 – постоянный магнит; 9 – катушка; 10 – вспомогательный рычаг; 11 – подвижная опора; 12 – пружина для установки начального значения выходного сигнала; R_H – сопротивление внешней нагрузки

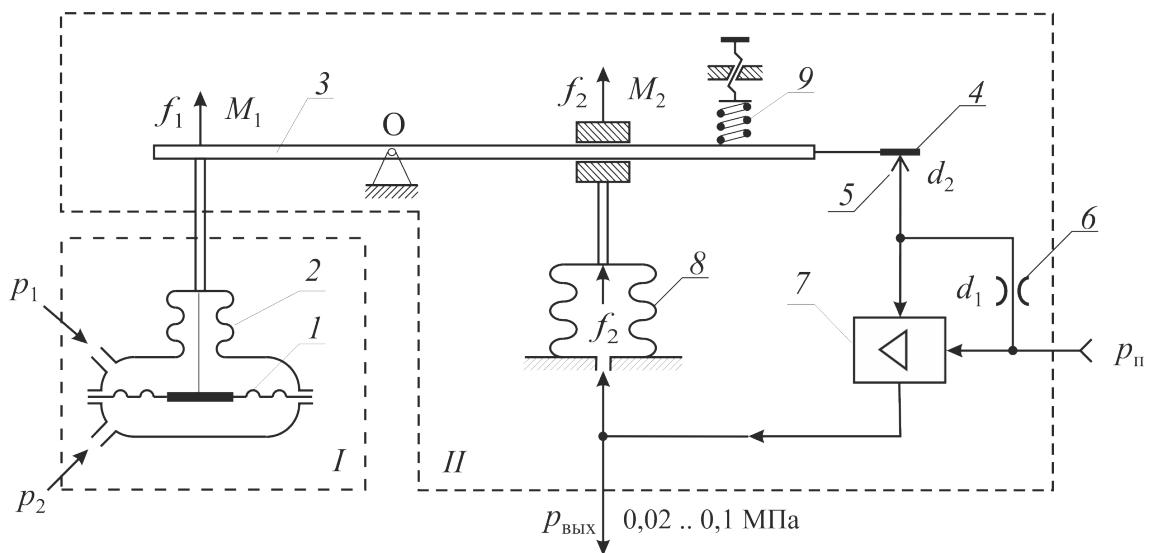


Рис. 73. Схема пневматического унифицированного измерительного преобразователя с силовой компенсацией:

I – мембранный дифманометр; *II* – унифицированный пневмосиловой преобразователь; 1 – вялая мембрана дифманометра; 2 – уплотняющий сильфон; 3 – основной рычаг; 4, 5 – индикатор рассогласования типа сопло-заслонка; 6 – постоянный дроссель; 7 – усилитель мощности; 8 – сильфон отрицательной обратной связи; 9 – пружина для установки начального значения выходного сигнала

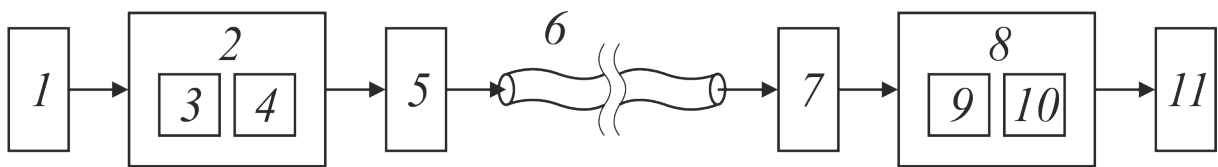


Рис. 74. Схема волоконно-оптической системы передачи информации:

1 – первичный измерительный преобразователь; 2 – электронно-оптический преобразователь; 3 – модулятор; 4 – источник света; 5 – устройство излучения; 6 – световод; 7 – устройство вывода излучения; 8 – приёмный оптический модуль; 9 – усилитель; 10 – фотодетектор; 11 – устройство отображения информации

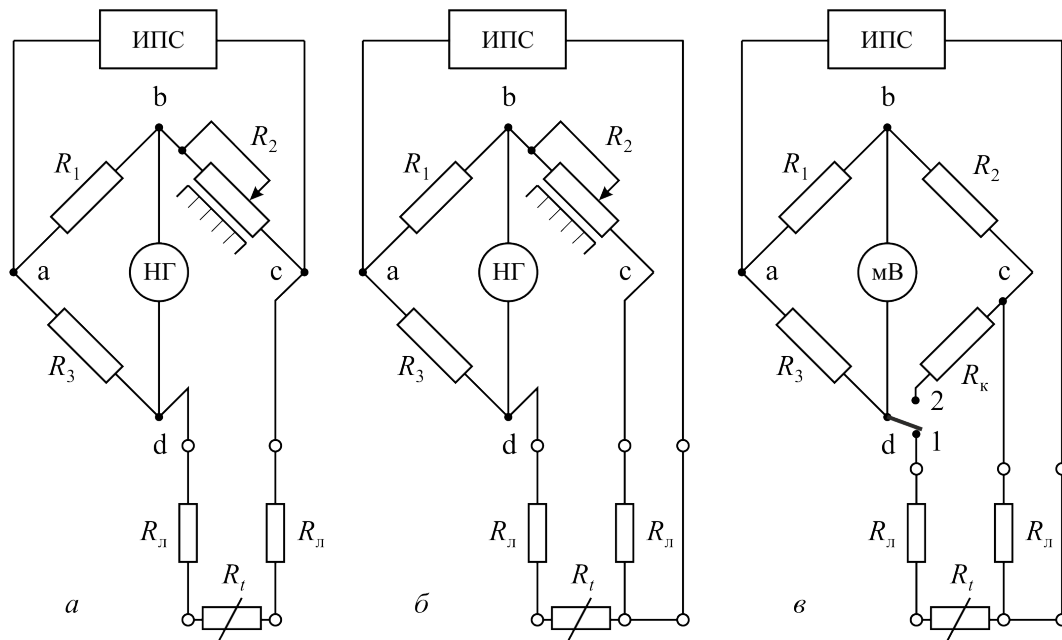


Рис. 75. Схемы измерительных мостов для измерения электрического сопротивления:

а – уравновешенный мост (двухпроводное подключение термопреобразователя сопротивления R_t);
б – уравновешенный мост (трёхпроводное подключение R_t); *в* – неуравновешенный мост (трёхпроводное подключение R_t)

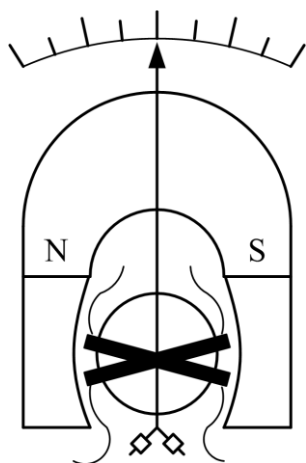


Рис. 76. Схема магнитоэлектрического логóметра

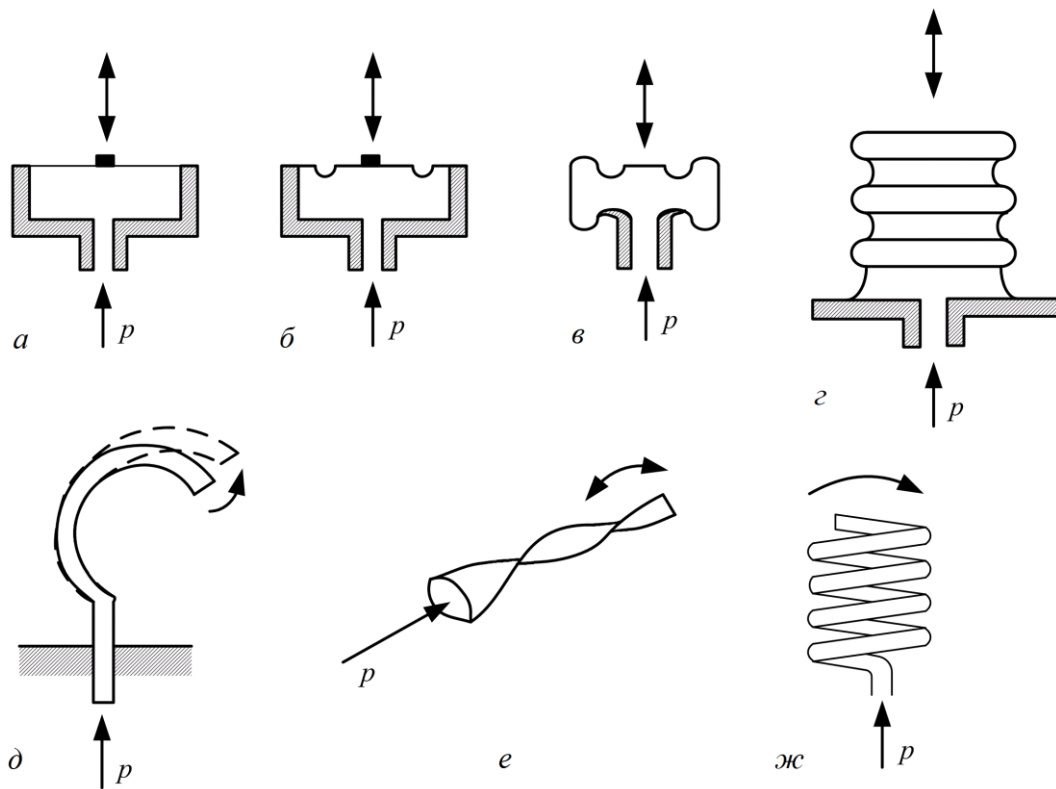


Рис. 77. Деформационные измерительные преобразователи давления:

a – плоская диафрагма; *б* – гофрированная диафрагма; *в* – мембрана (анероидная коробка); *г* – сифон;
д – одновитковая трубка Бурдона; *е* – скрученная трубка Бурдона; *ж* – многовитковая трубка Бурдона

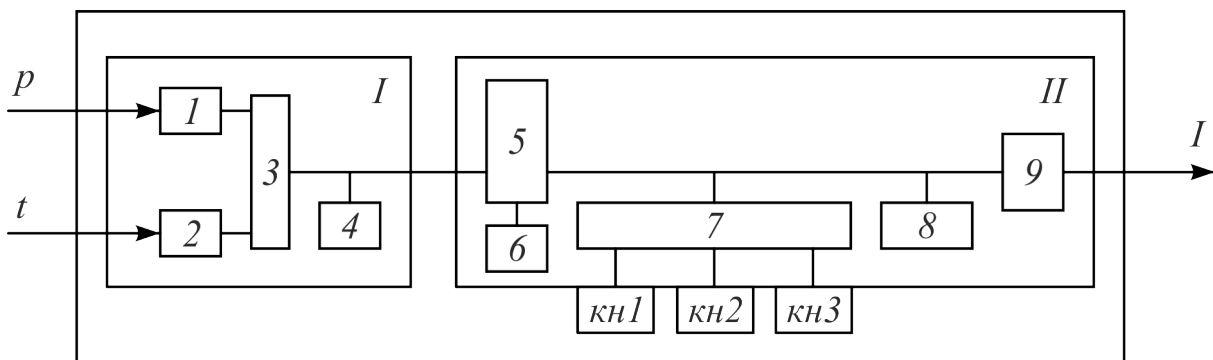


Рис. 78. Структурная схема микропроцессорного датчика (*p* – измеряемое давление; *t* – контролируемая температура; *I* – выходной унифицированный сигнал постоянного тока):

I – сенсорный модуль: *1* – преобразователь давления; *2* – преобразователь температуры; *3* – АЦП; *4* – память сенсорного блока

II – электронный модуль: *5* – микропроцессор; *6* – память электронного блока; *7* – блок настройки параметров; *8* – цифровой индикатор; *9* – ЦАП; *кн1*, *кн2*, *кн3* – кнопочные переключатели

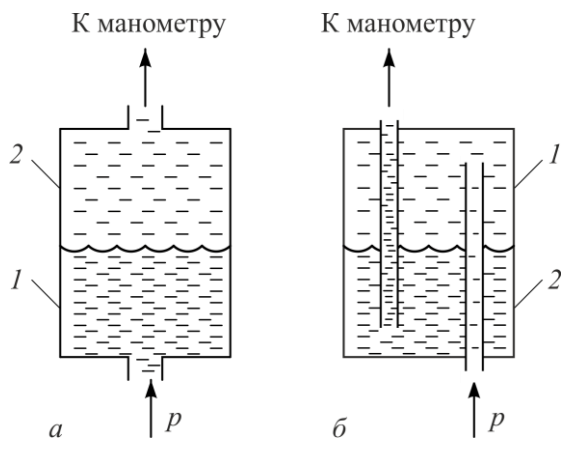


Рис. 79. Разделительные сосуды с разделительными жидкостями (1 - измеряемая жидкость; 2 - разделительная жидкость):

a - разделительная жидкость легче измеряемой;
б - разделительная жидкость тяжелее измеряемой

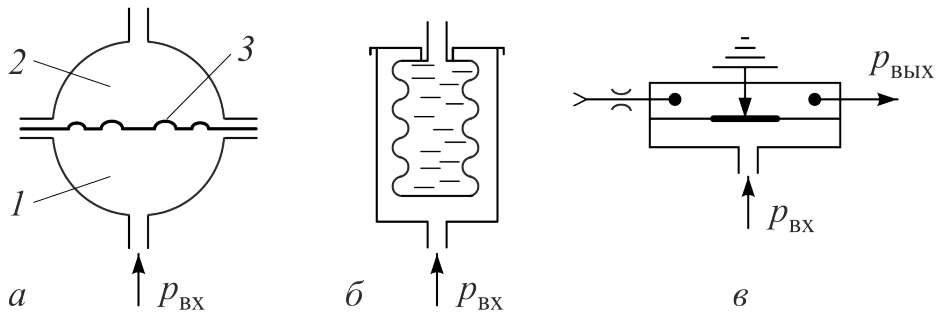


Рис. 80. Разделительные сосуды с гибкими разделителями:

a - мембранные (1 - измеряемая жидкость; 2 - нейтральная жидкость; 3 - гибкая мембрана); *б* - силфонные;
в - разделитель-пневмоповторитель

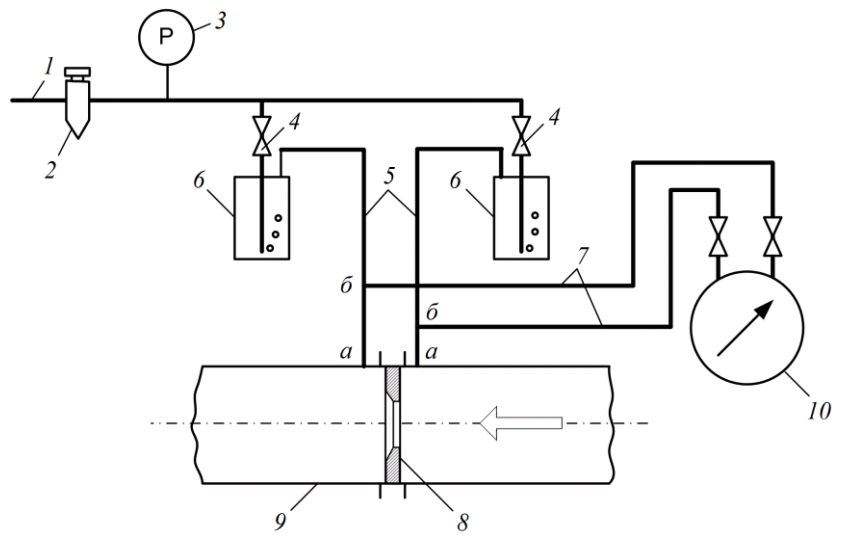


Рис. 81. Защита дифманометра с использованием непрерывной продувки соединительных трубок воздухом:

1 - линия подачи воздуха; 2 - фильтр; 3 - манометр; 4 - регулировочные игольчатые вентили; 5 - продувочные трубки; 6 - указатели расхода воздуха; 7 - соединительные (импульсные) трубки дифманометра; 8 - сужающее устройство (диафрагма); 9 - производственный трубопровод; 10 - дифманометр

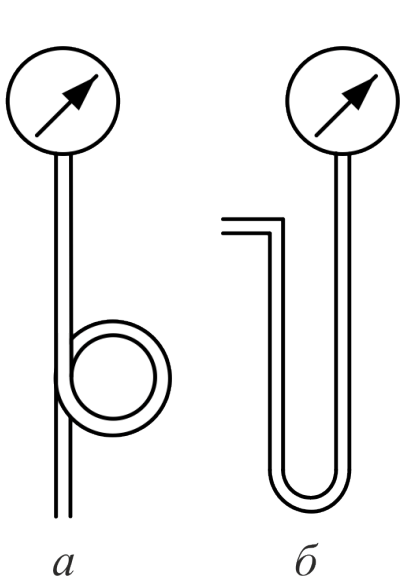


Рис. 82.

Защита манометров от действия горячей среды:

a – сифонная кольцеобразная трубка; *б* – сифонная U-образная трубка

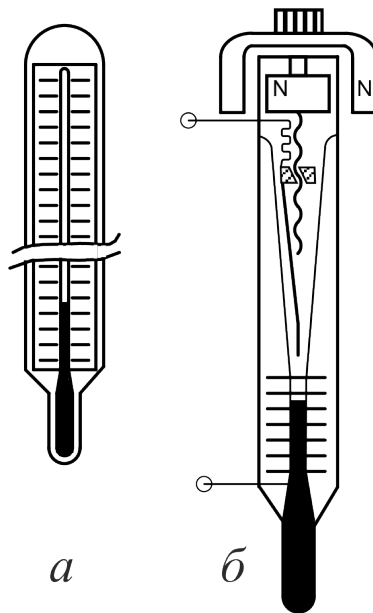


Рис. 83.

Стеклянные жидкостные термометры:

a – обыкновенный с вложенной шкалой; *б* – электроконтактный с подвижным контактом для установки задания

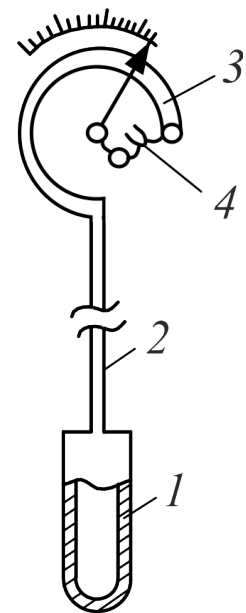


Рис. 84.

Манометрический термометр:

1 – термобаллон; *2* – капилляр; *3* – манометр; *4* – биметаллический компенсатор

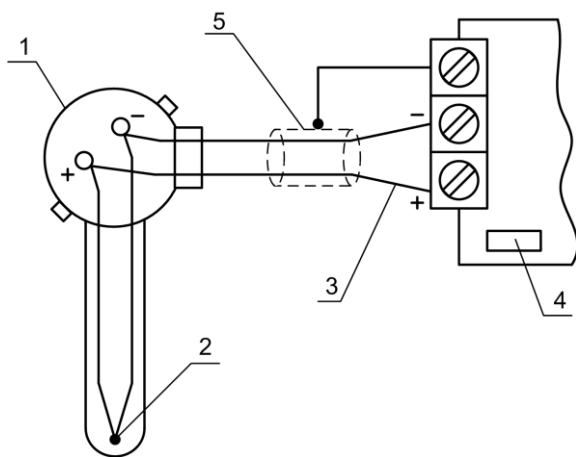


Рис. 85. Подключение термоэлектрического преобразователя к измерительному прибору

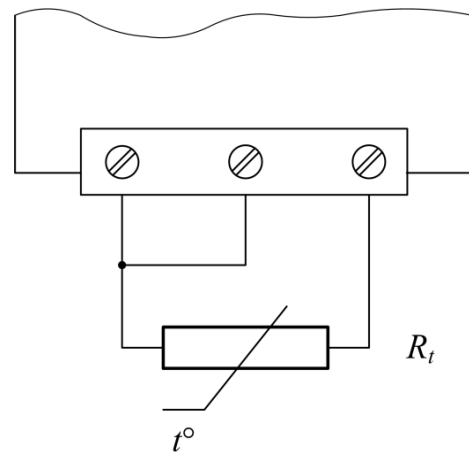


Рис. 86. Подключение термопреобразователя сопротивления к измерительному прибору по трёхпроводной схеме

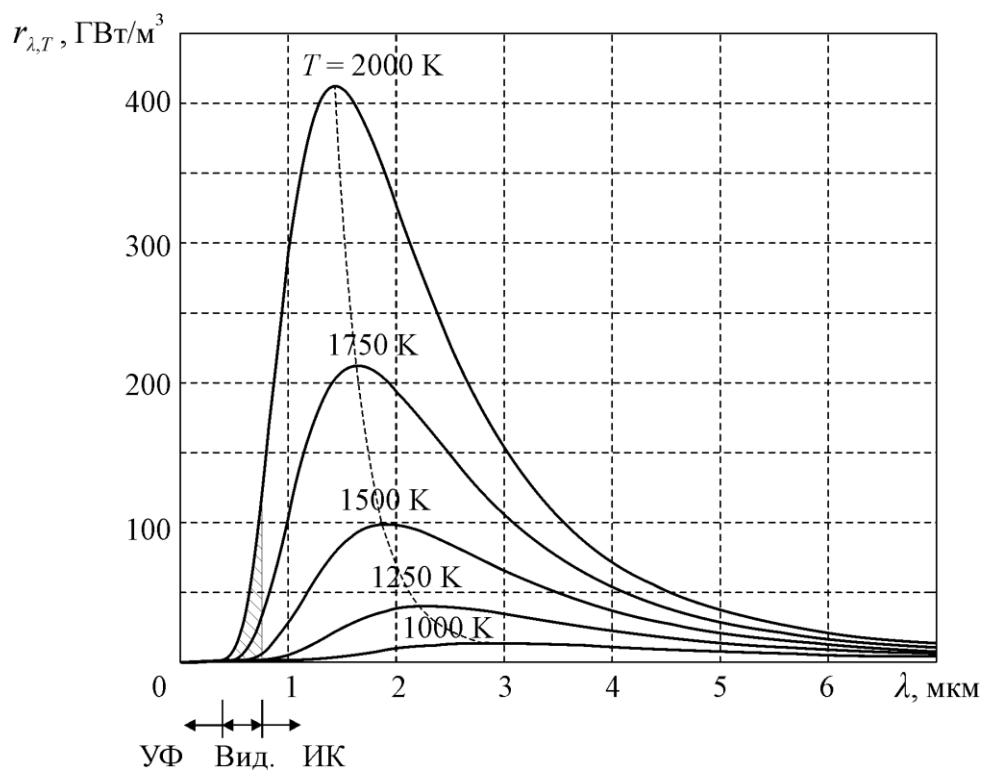


Рис. 87. Зависимость спектральной плотности энергетической светимости абсолютно чёрного тела от длины волны для различных температур

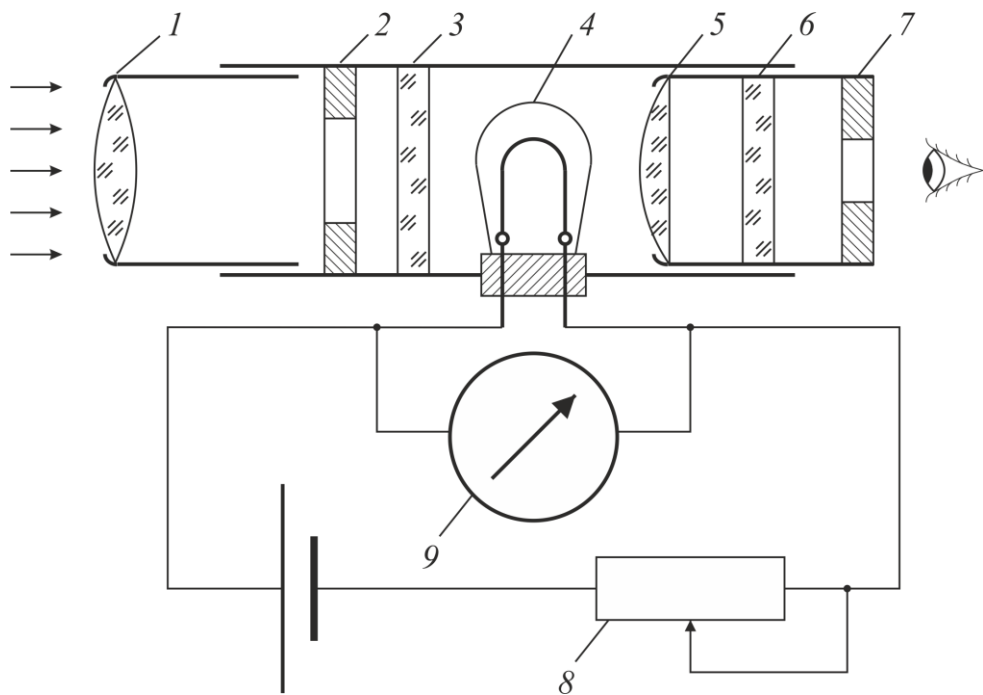


Рис. 88. Яркостный пирометр с «исчезающей» нитью накаливания:
 1 – объектив; 2, 7 – диафрагмы; 3, 6 – фильтры; 4 – пирометрическая лампа; 5 – окуляр; 8 – реостат; 9 – измерительный прибор

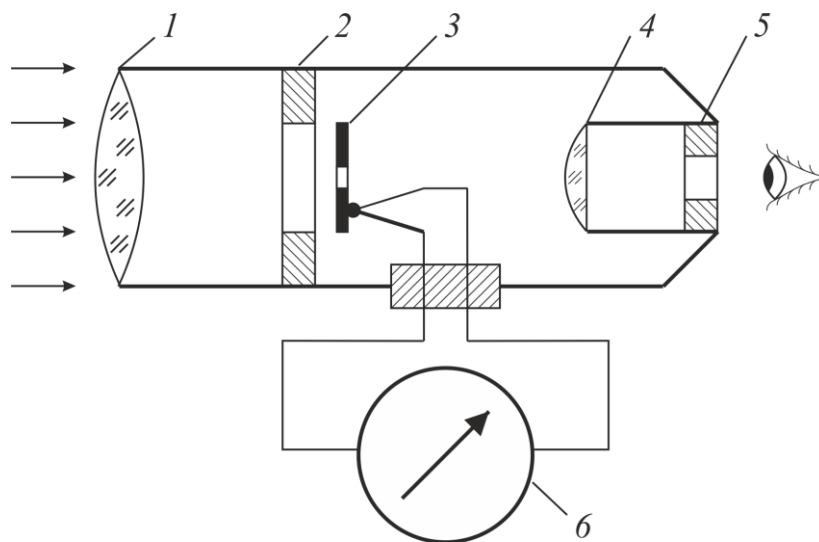


Рис. 89. Радиационный пирометр:

1 – объектив; 2, 5 – диафрагмы; 3 – термобатарея; 4 – окуляр; 5 – измерительный прибор

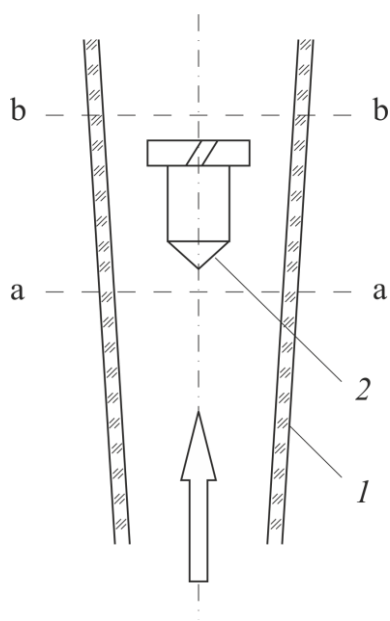


Рис. 90. Ротаметр:

1 – конусная стеклянная трубка; 2 – поплавок

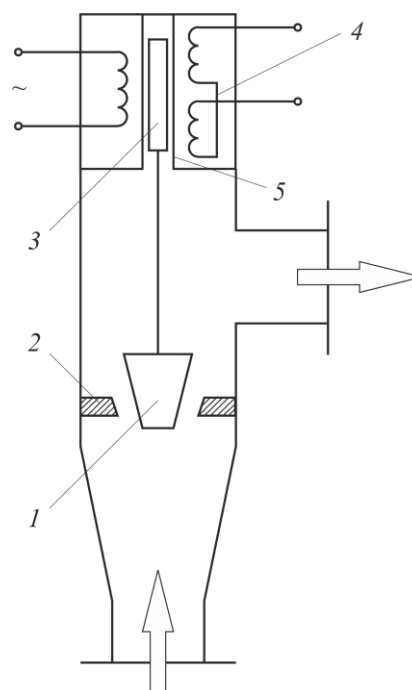


Рис. 91. Ротаметр с дифференциально-трансформаторным датчиком:
1 – поплавок; 2 – диафрагма; 3 – сердечник;
4 – дифференциально-трансформаторный преобразователь; 5 – разделительная трубка

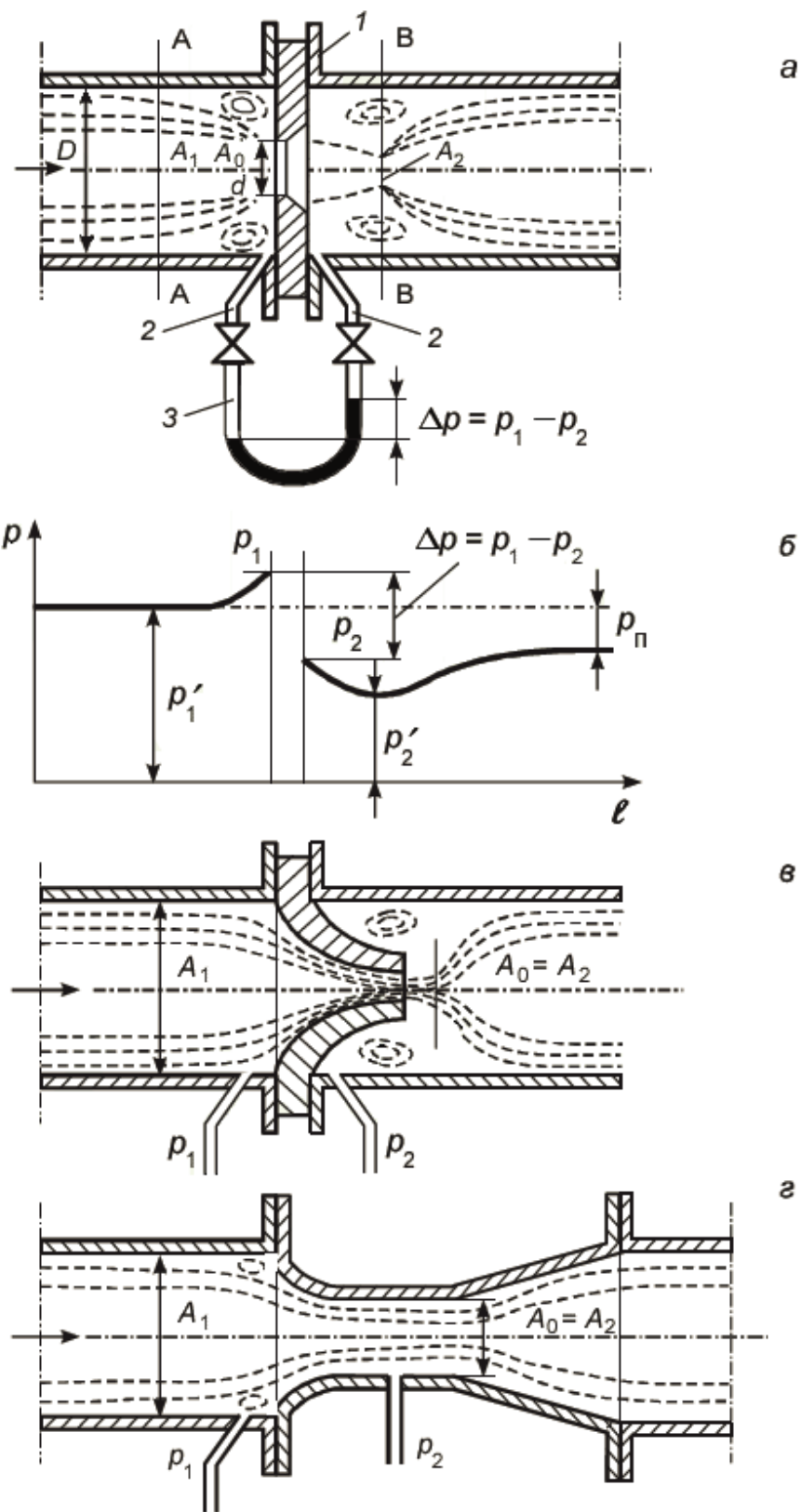


Рис. 92. Расходомеры переменного перепада давления:

a – структура потока, проходящего через диафрагму (*1* – диафрагма; *2* – импульсные трубки; *3* – U-образный дифманометр); *б* – распределение статического давления p по длине трубопровода ℓ вблизи диафрагмы; *в* – сопло; *г* – сопло Вентури

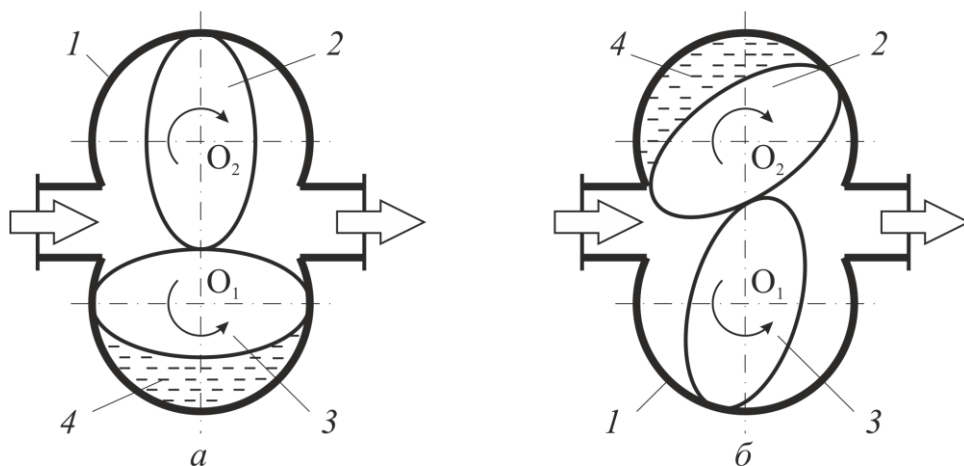


Рис. 93. Счётчик с овальными шестернями:

1 – измерительная камера; 2, 3 – овальные шестерни; 4 – объём жидкости, отсекаемый каждой шестернёй за пол-оборота; а – положение шестерён, при котором нижняя шестерня является ведущей, а верхняя – ведомой;

б - верхняя шестерня является ведущей, а нижняя – ведомой

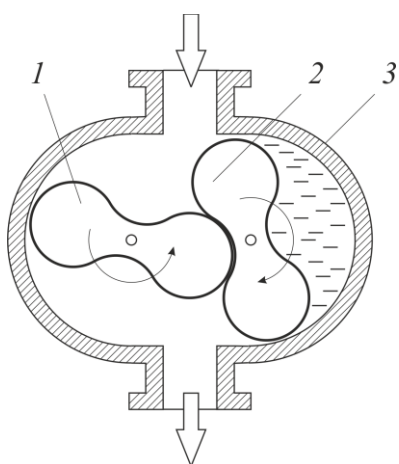


Рис. 94. Ротационный газовый счётчик:

1, 2 – роторы лемнискатной формы; 3 – корпус

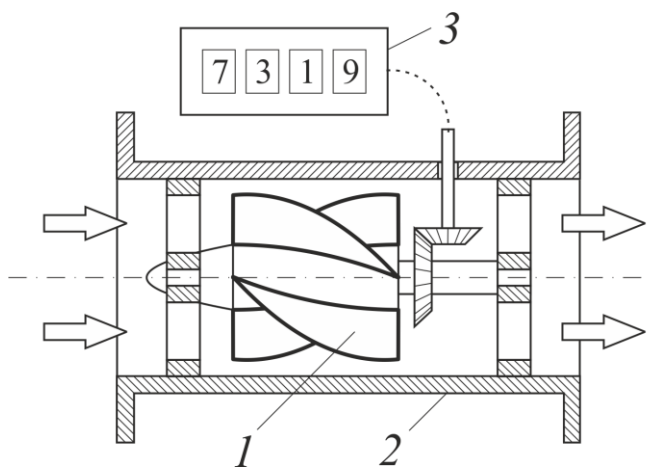


Рис. 95. Объёмный счётчик с аксиальной турбинкой:

1 – винтовая турбинка; 2 – корпус; 3 – счётчик

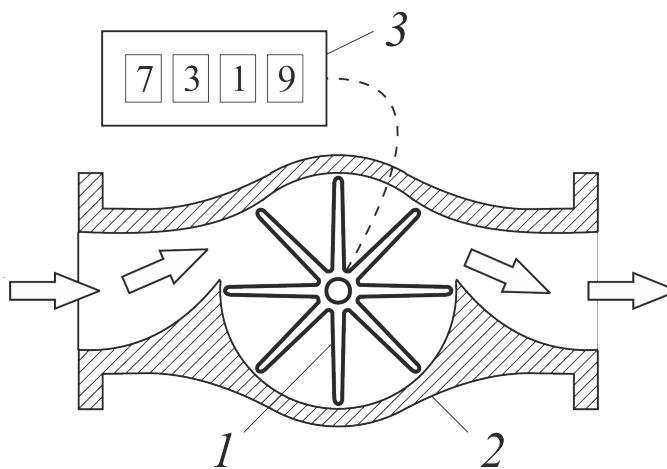


Рис. 96. Объёмный счётчик с тангенциальной турбинкой:

1 – турбинка; 2 – корпус; 3 – счётчик

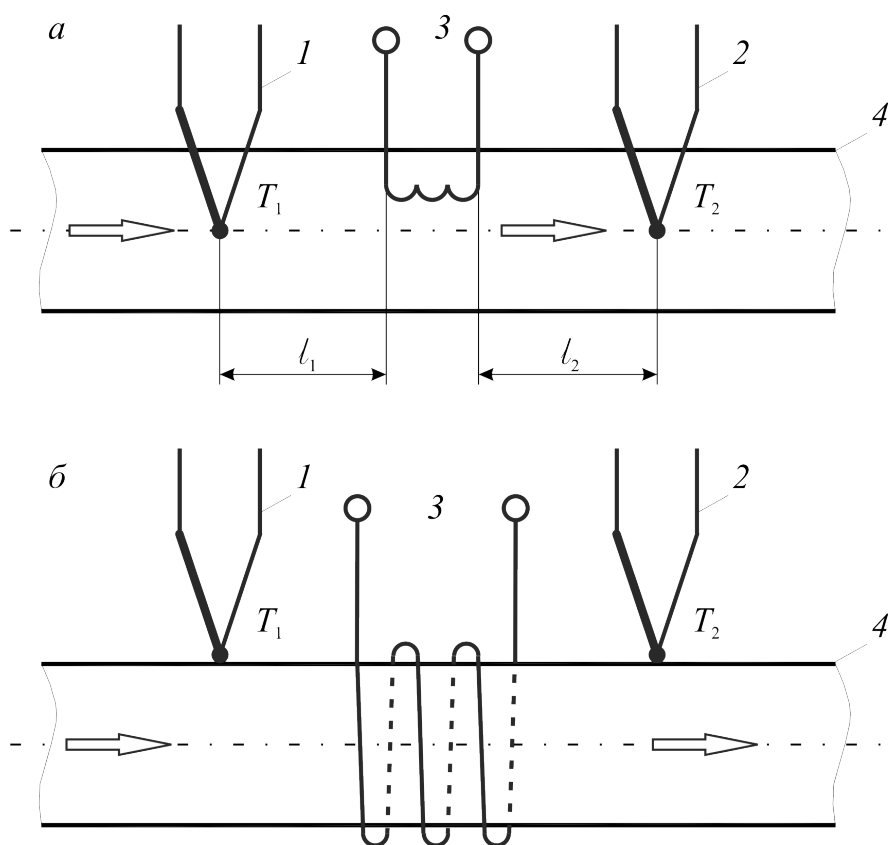


Рис. 97. Расходомеры: *a* – калориметрический; *б* – термоконвективный:

1, 2 – термопреобразователи; 3 – нагреватель; 4 – трубопровод

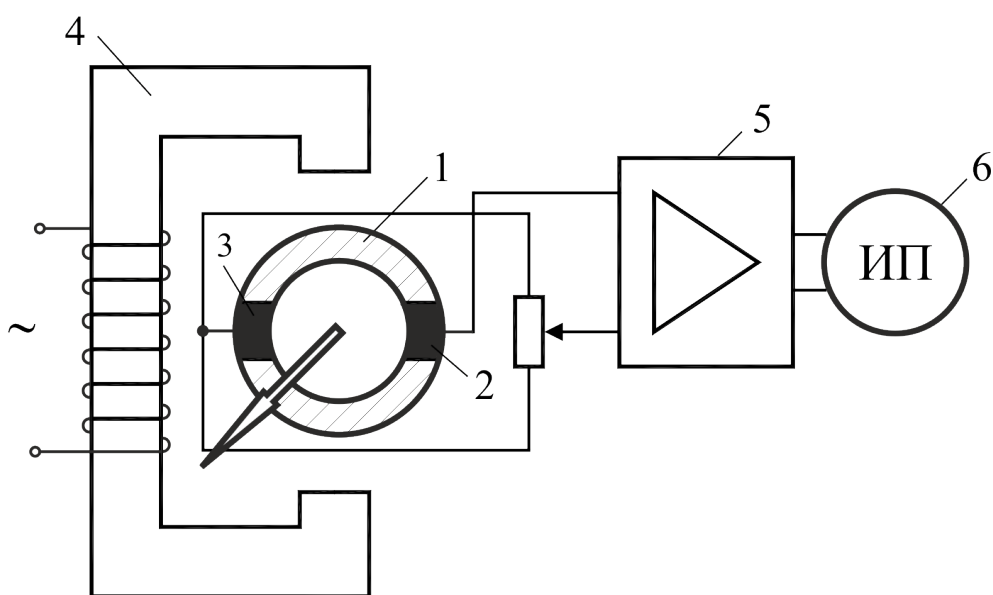


Рис. 98. Электромагнитный расходомер с переменным магнитным полем:

1 – трубопровод; 2, 3 – электроды; 4 – переменный электромагнит; 5 – усилитель-преобразователь с унифицированным выходным сигналом постоянного тока от 0 мА до 5 мА; 6 – измерительный прибор

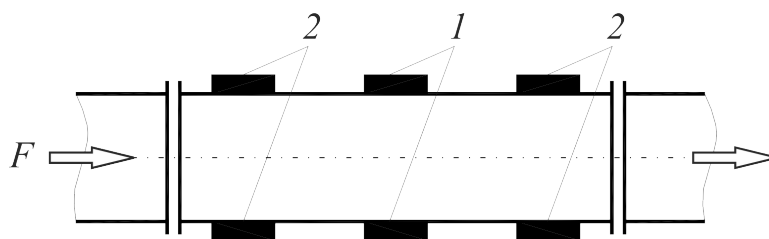


Рис. 99. Двухканальный ультразвуковой преобразователь расхода:

1 – излучающий пьезоэлемент; 2 – приёмные пьезоэлементы

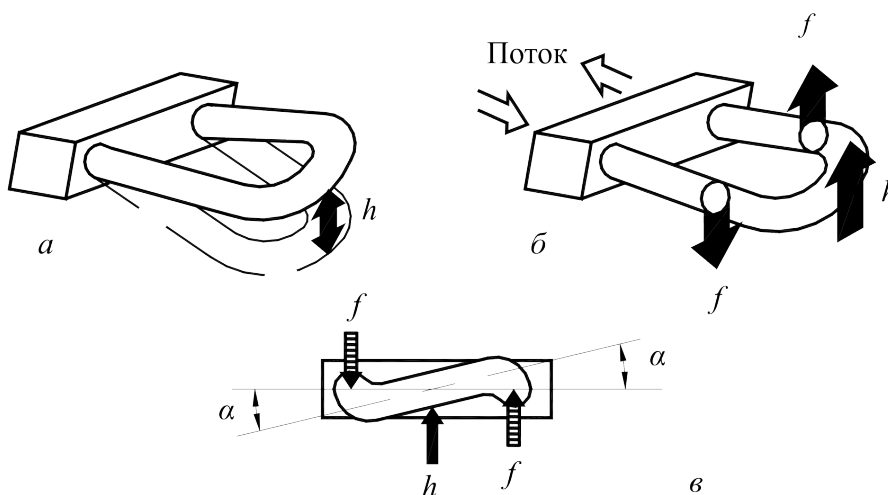


Рис. 100. Первичный преобразователь кориолисова расходомера:

a – движение трубы в отсутствие расхода; *б* – движение трубы при наличии расхода; *в* – диаграмма действующих сил и деформаций (*f* – силы воздействия; *h* – перемещение; α – угол закручивания)

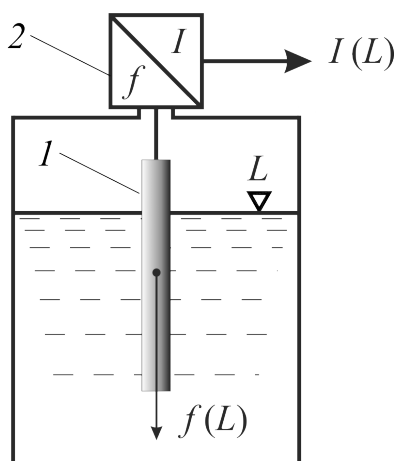


Рис. 101. Буйковый уровнемер:

1 – буйёк; 2 – преобразователь силы (*f*) в токовый сигнал (*I*)

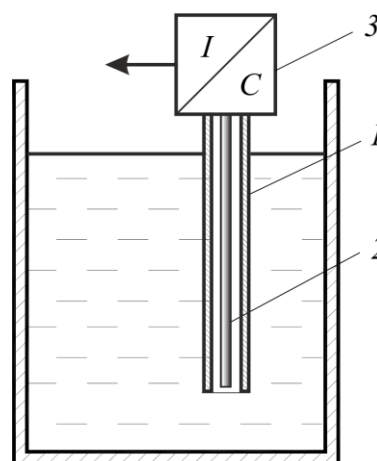


Рис. 102. Ёмкостный уровнемер:

1 – трубчатый наружный электрод; 2 – внутренний электрод; 3 – преобразователь ёмкости (*C*) в токовый сигнал (*I*)

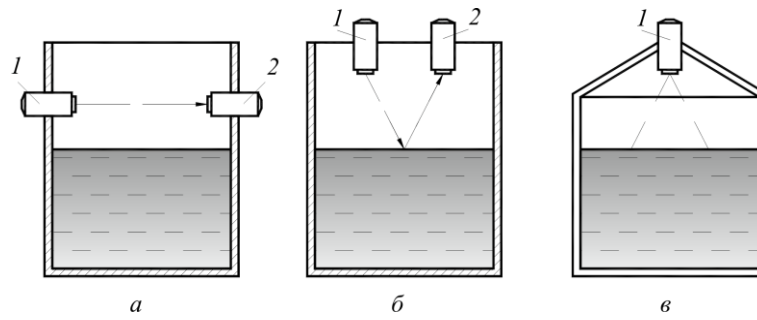


Рис. 103. Принцип действия ультразвуковых уровнемеров, основанных:
a – на разности поглощательной способности; *б* – на времени прохождения сигнала; *в* – на зависимости резонансной частоты колебаний полости над жидкостью от уровня жидкости (*1* – излучатель; *2* – приёмник)

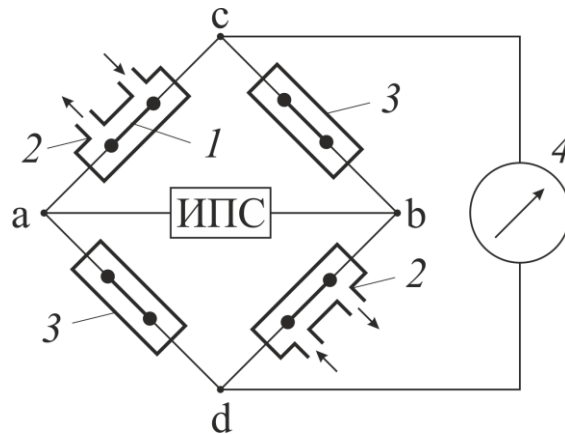


Рис. 104. Измерительная мостовая схема термокондуктометрического газоанализатора:

1 – платиновые нити; *2* – камеры с измеряемым газом; *3* – камеры со сравнительным газом; *4* – прибор, измеряющий напряжение разбаланса моста

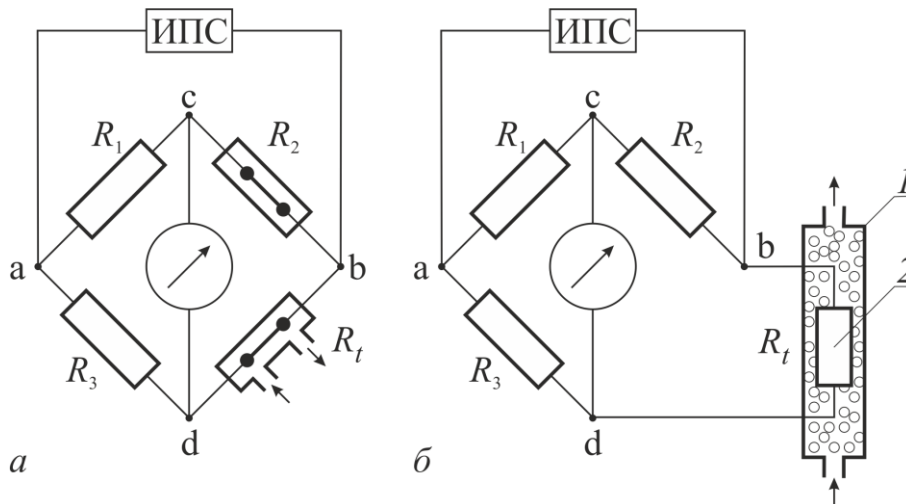


Рис. 105. Измерительные мостовые схемы термохимического газоанализатора:

a – с проволочным платиновым каталитическим чувствительным элементом R_t ; *б* – с проточной термостатируемой камерой (*1* – твёрдый насыпной катализатор; *2* – термопреобразователь сопротивления)

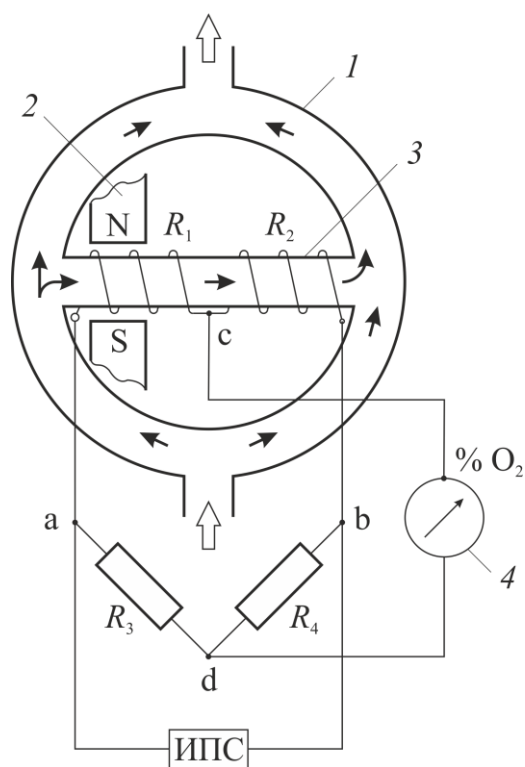


Рис. 106. Схема термомагнитного газоанализатора с кольцевой камерой:

1 – кольцевая камера; 2 – постоянный магнит; 3 – тонкостенная стеклянная трубка; 4 – прибор, измеряющий напряжение разбаланса моста

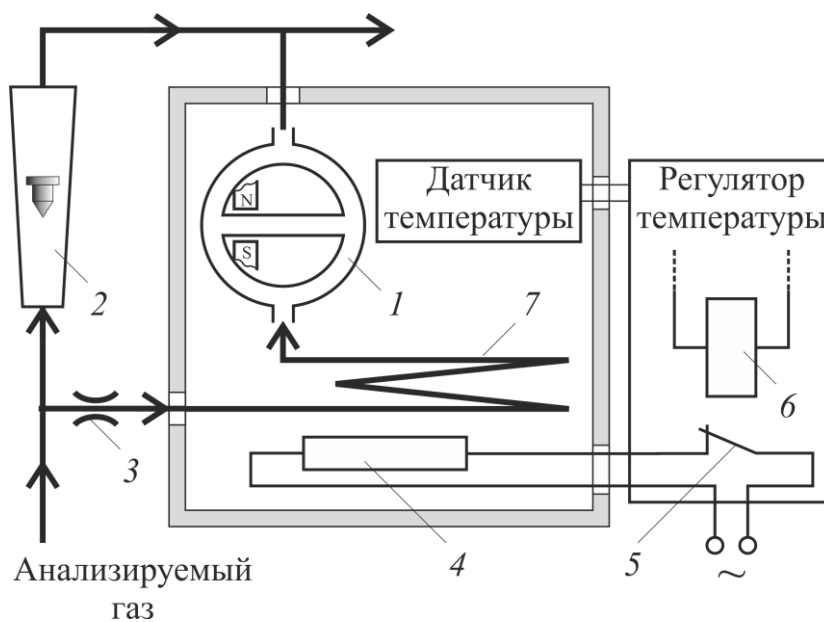


Рис. 107. Устранение дополнительных погрешностей термомагнитного газоанализатора:

1 – кольцевая измерительная камера; 2 – ротаметр; 3 – пневмосопротивление; 4 – нагревательный элемент; 5 – нормально замкнутый контакт электромагнитного реле; 6 – обмотка электромагнитного реле; 7 – теплообменник

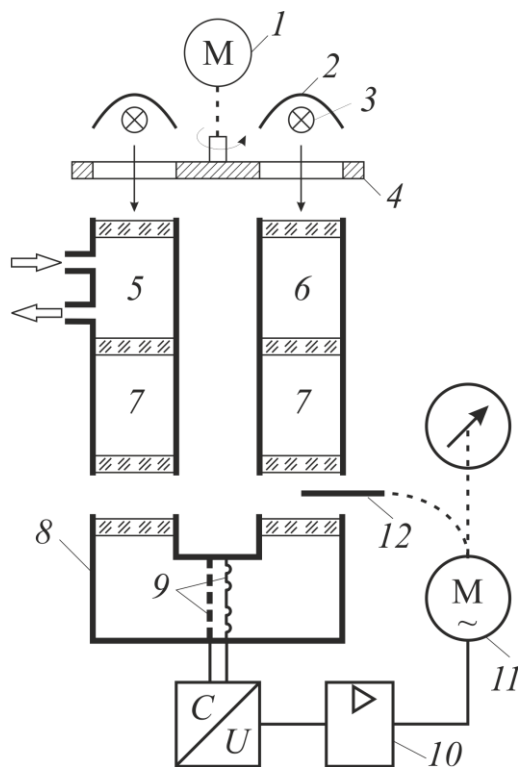


Рис. 108. Схема опто-акустического газоанализатора:

1 – электродвигатель; 2 – отражатели; 3 – источники инфракрасного излучения; 4 – обтюратор;
 5 – измерительная камера; 6 – сравнительная камера;
 7 – фильтровые камеры; 8 – лучеприёмник;
 9 – конденсаторный микрофон; 10 – усилитель;
 11 – реверсивный двигатель; 12 – компенсирующая заслонка

7 ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

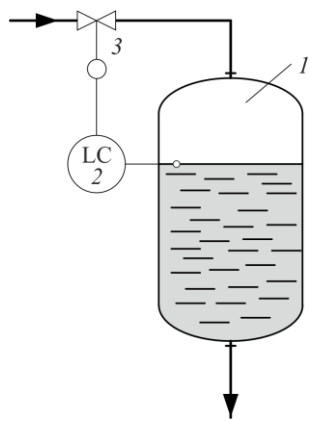


Рис. 109. Регулирование уровня «на притоке»:

1 – аппарат; 2 – регулятор уровня;
 3 - исполнительное устройство

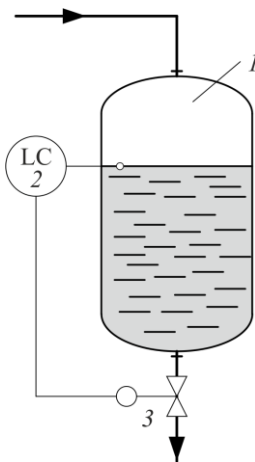


Рис. 110. Регулирование уровня «на стоке»:

1 – аппарат; 2 – регулятор уровня;
 3 - исполнительное устройство

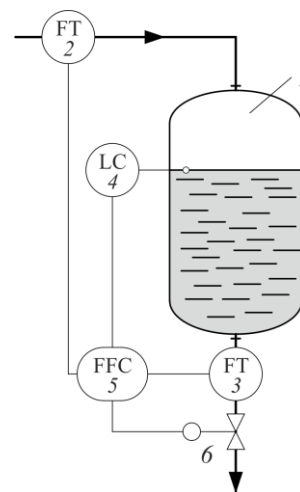


Рис. 111. Регулирование уровня каскадной САР:

1 – аппарат; 2, 3 – датчики расхода;
 4 – регулятор уровня (ведущий);
 5 - регулятор соотношения двух расходов (ведомый);
 6 - исполнительное устройство

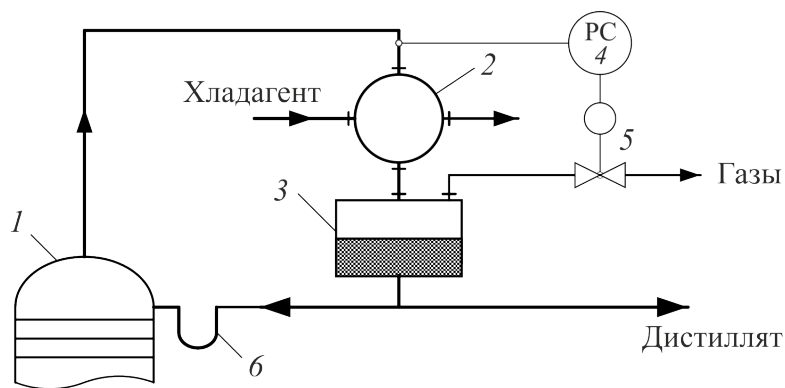


Рис. 112. Регулирование давления в ректификационной колонне при наличии неконденсирующихся примесей:

1 – колонна; 2 – дефлегматор; 3 – сборник флегмы; 4 – регулятор давления; 5 – исполнительное устройство; 6 – гидрозатвор

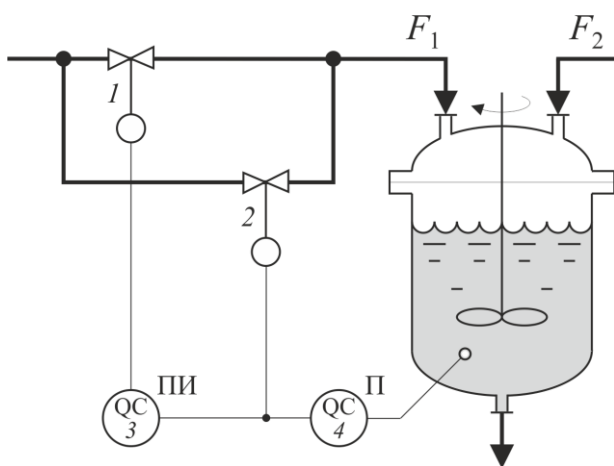


Рис. 113. Регулирование рН двумя регулирующими клапанами:

1 – исполнительное устройство с регулирующим клапаном большого размера; 2 – исполнительное устройство с регулирующим клапаном малого размера; 3 – ПИ-регулятор; 4 – П-регулятор

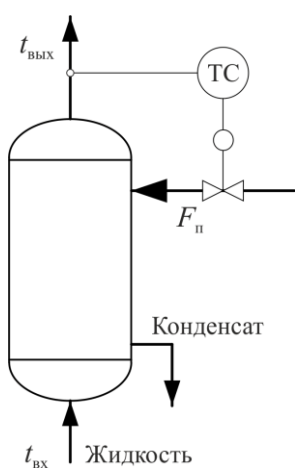


Рис. 114. Одноконтурная САР температуры жидкости в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике

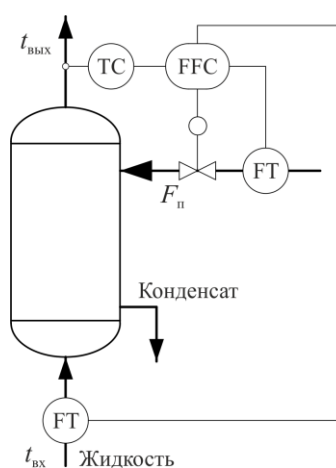


Рис. 115. Каскадная САР температуры жидкости в кожухотрубном парожидкостном теплообменнике с регулятором соотношения расходов во внутреннем контуре

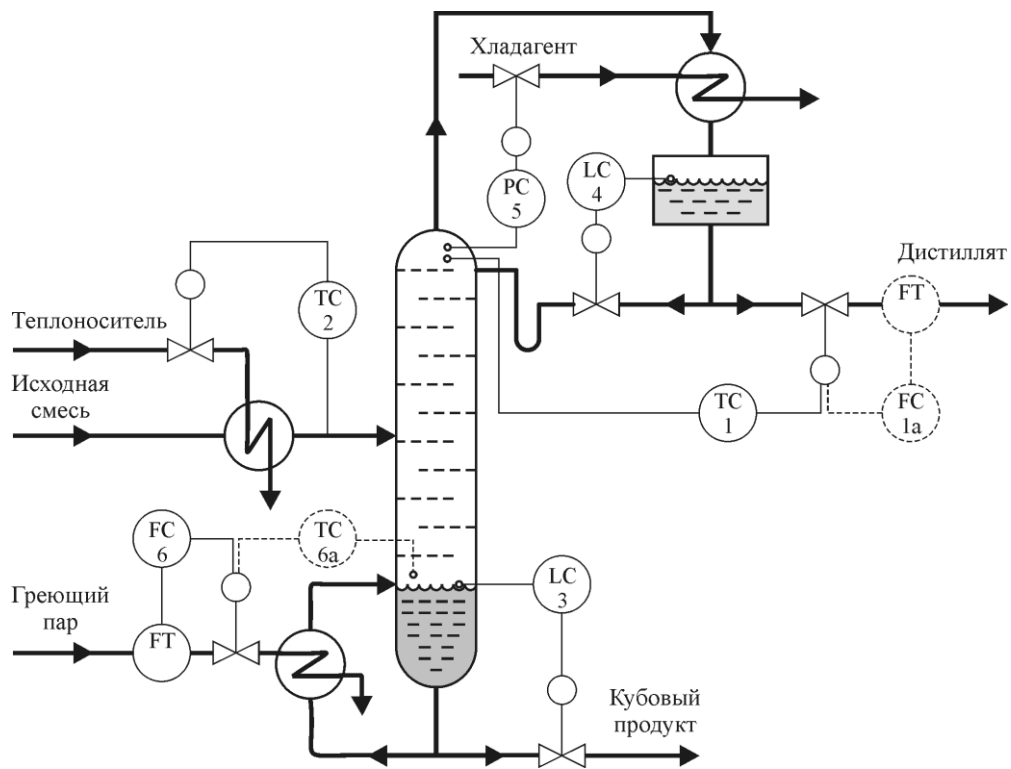


Рис. 116. Система управления ректификационной установкой, основанная на одноконтурных САР отдельных технологических параметров

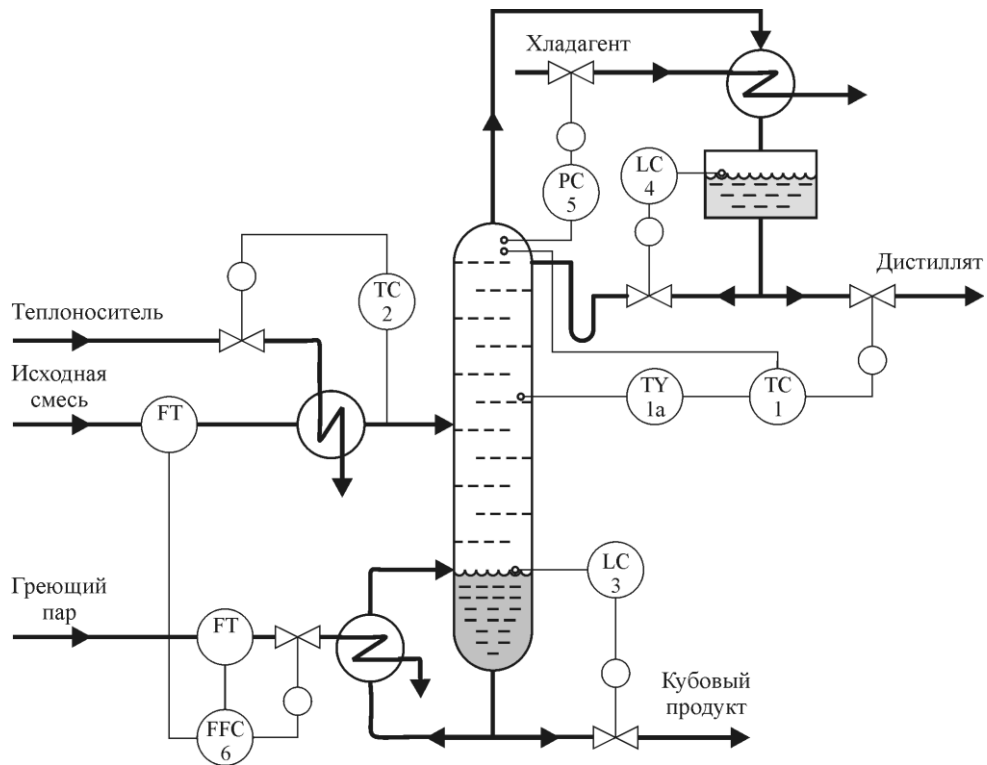


Рис. 117. Система управления ректификационной установкой со статической компенсацией возмущающих воздействий по расходу питания и каскадной САР температуры верха колонны

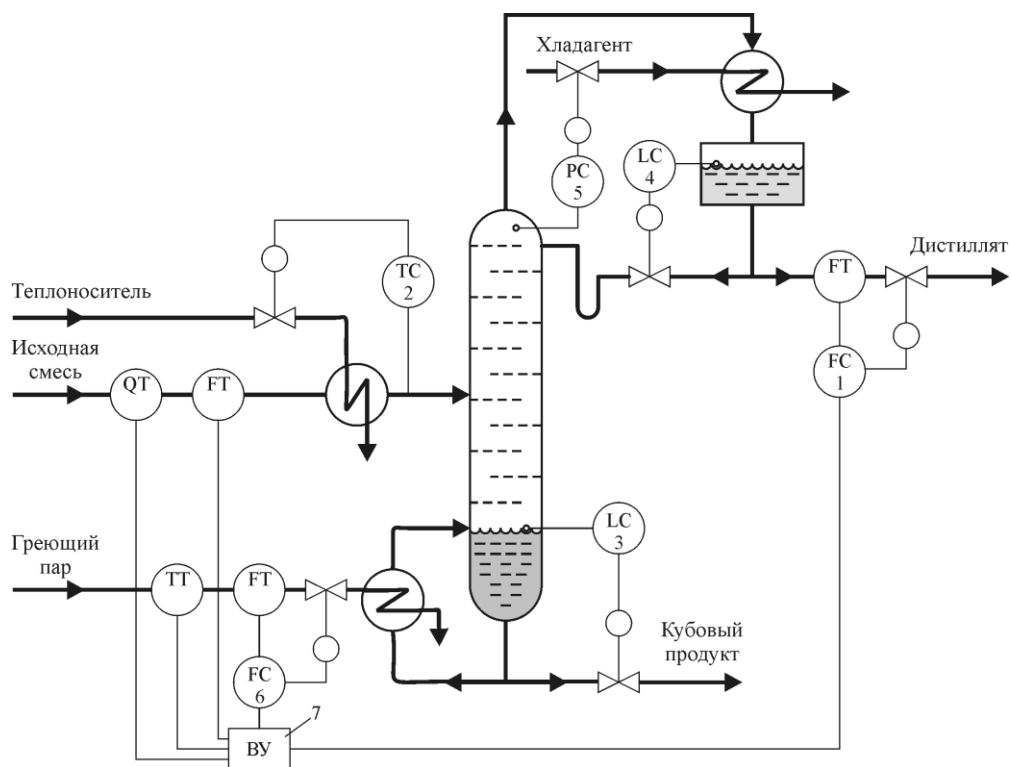


Рис. 118. Система управления ректификационной установкой со статической компенсацией возмущающих воздействий по расходу и составу питания и температуре греющего пара

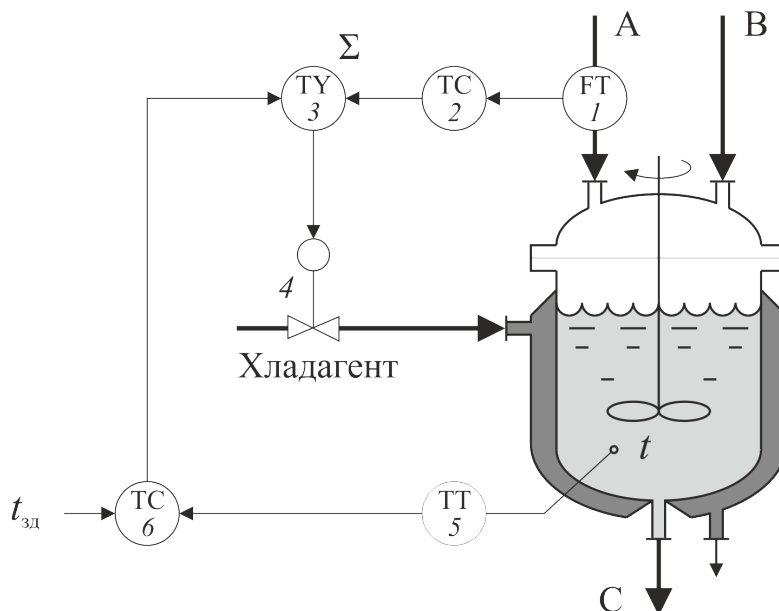


Рис. 119. Комбинированная система регулирования температуры в химическом реакторе с мешалкой:

1 – преобразователь расхода; 2 – динамический компенсатор; 3 – сумматор; 4 – исполнительное устройство; 5 – датчик температуры; 6 – регулятор температуры

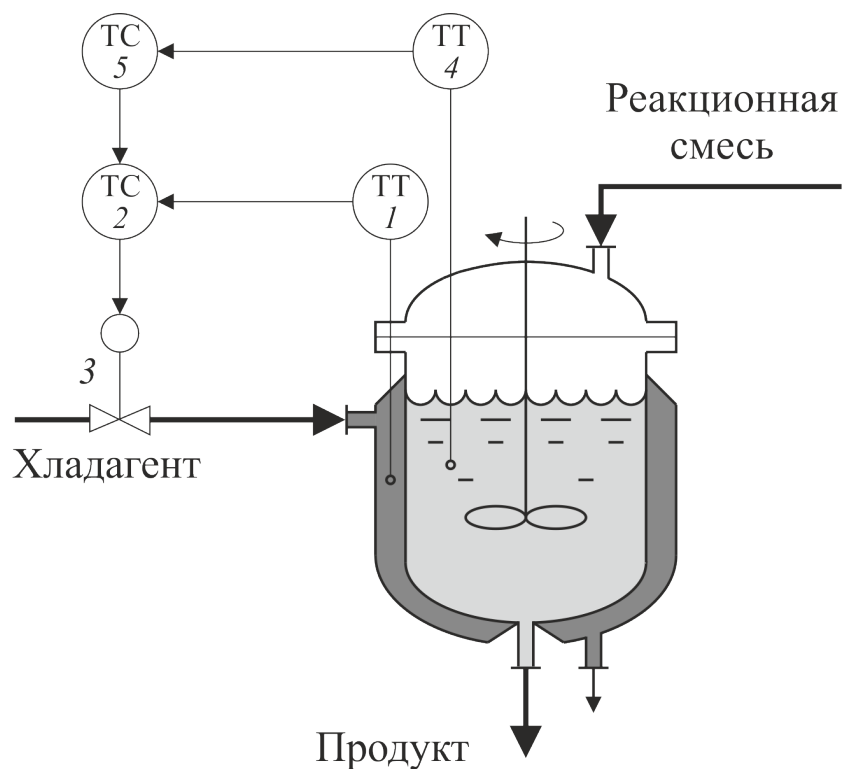


Рис. 120. Каскадная система регулирования температуры в химическом реакторе с мешалкой:

1, 4 – датчики температуры; 2 – вспомогательный (ведомый) регулятор температуры; 3 – исполнительное устройство; 5 – основной (ведущий) регулятор температуры

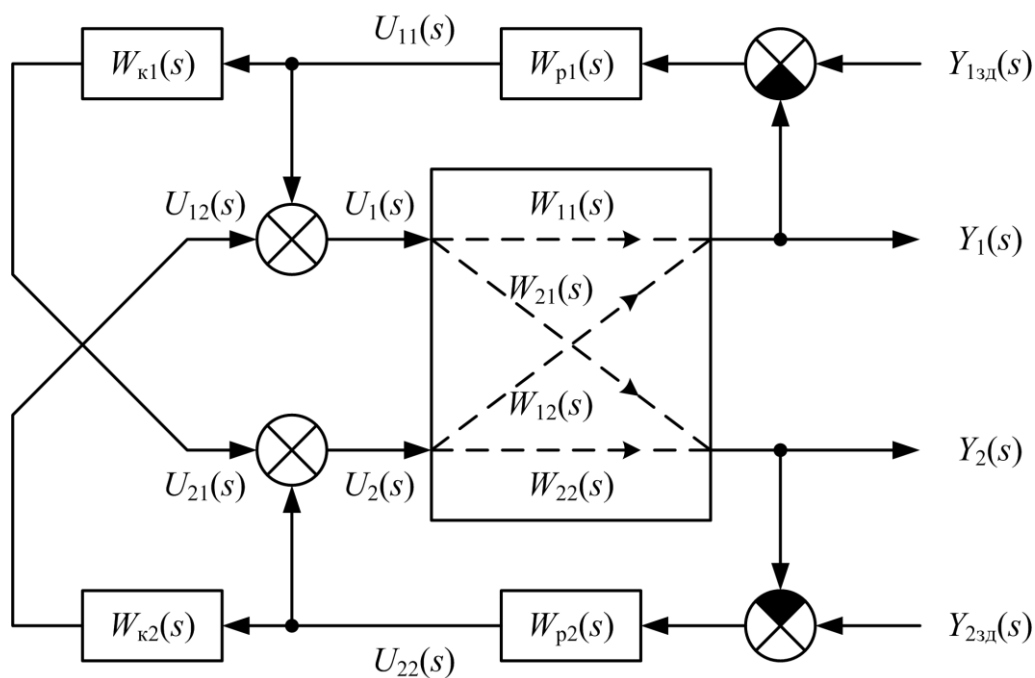


Рис. 121. Структурная схема связанного регулирования многомерного объекта

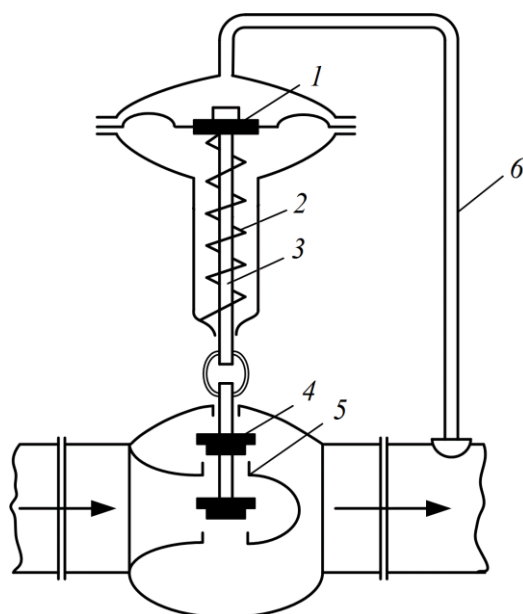


Рис. 122. Регулятор давления прямого действия:

1 – мембрана; 2 – пружина; 3 – шток; 4 – затвор; 5 – седло; 6 – импульсная трубка

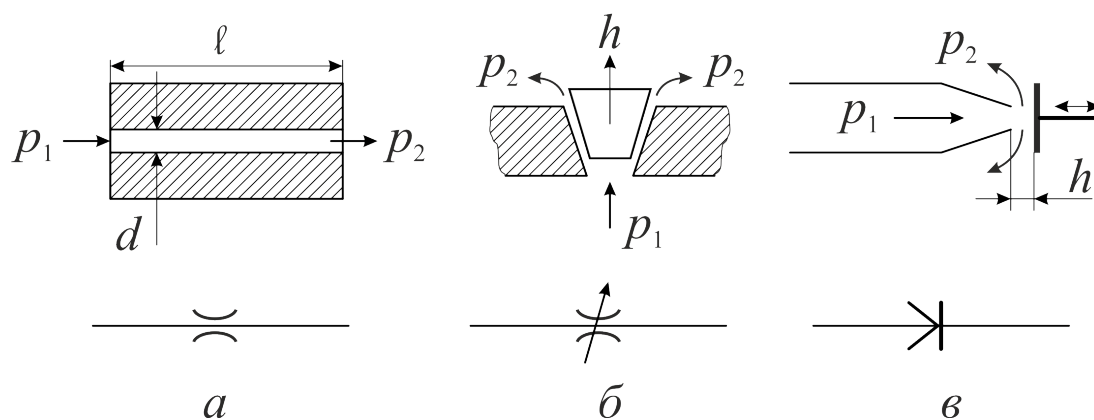


Рис. 123. Пневматические сопротивления и их условные обозначения

a – капилляр; *б* – конус–конус; *в* – сопло–заслонка

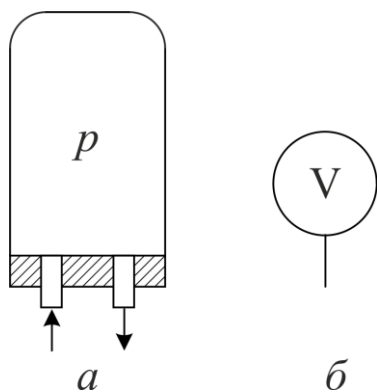


Рис. 124. Пневматическая ёмкость постоянного объёма (*a*) и её условное обозначение (*б*)

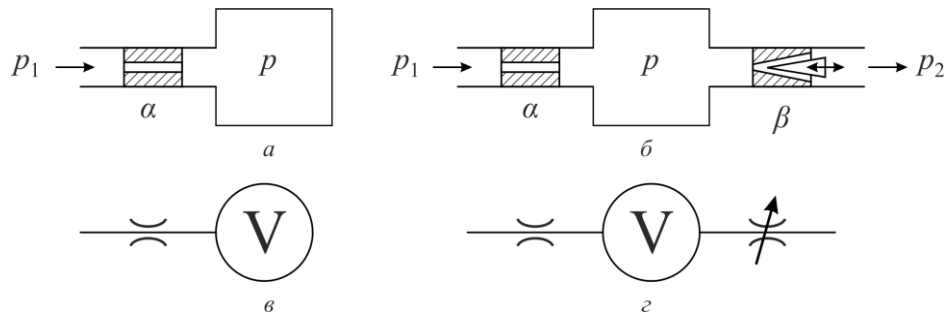


Рис. 125. Пневматические камеры (*а, б*) и их условные обозначения (*в, г*):

а, в – глухая камера; *б, г* – проточная камера

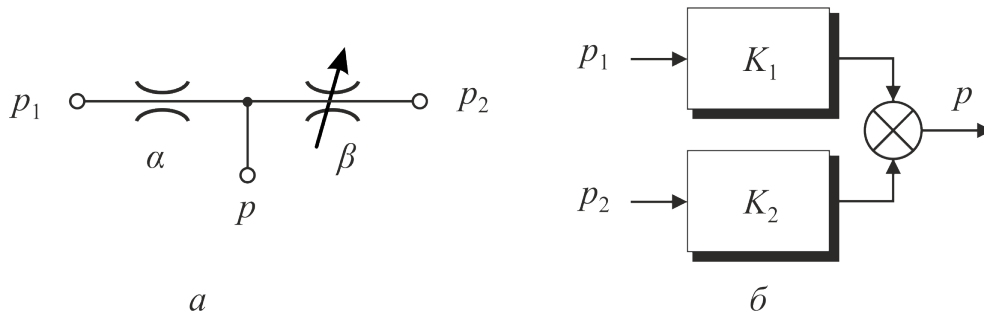


Рис. 126. Условное обозначение (*а*) и структурная схема (*б*) дроссельного делителя

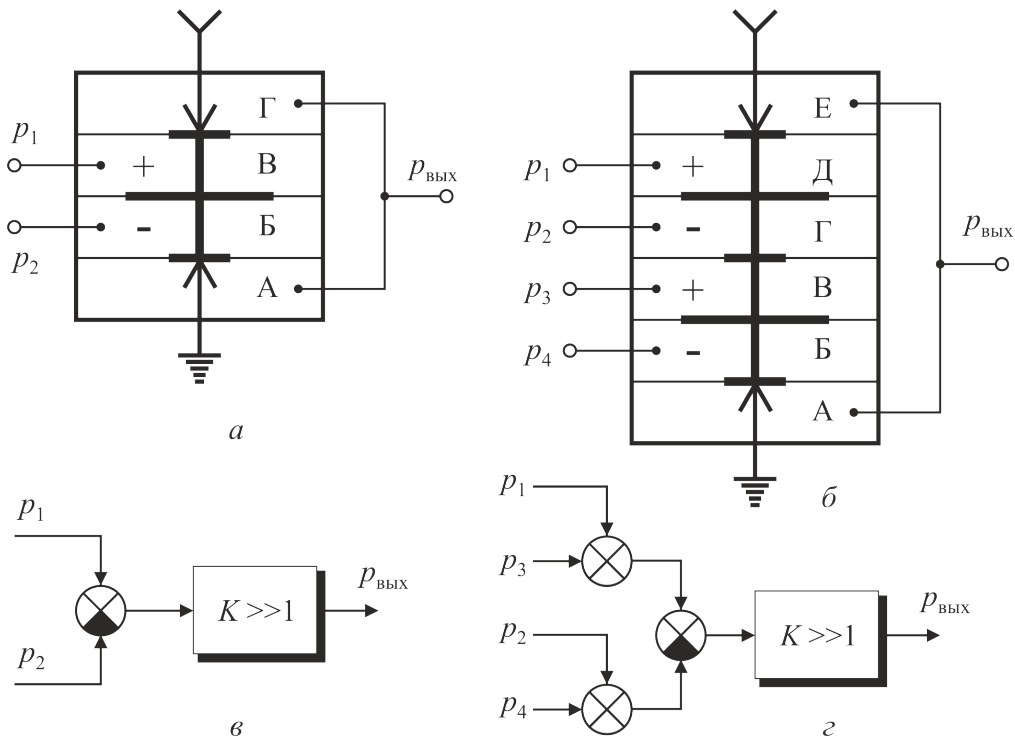


Рис. 127. Усилители давления (элементы сравнения) и их структурные схемы:

а, в – двухвходовой; *б, г* – четырёхвходовой

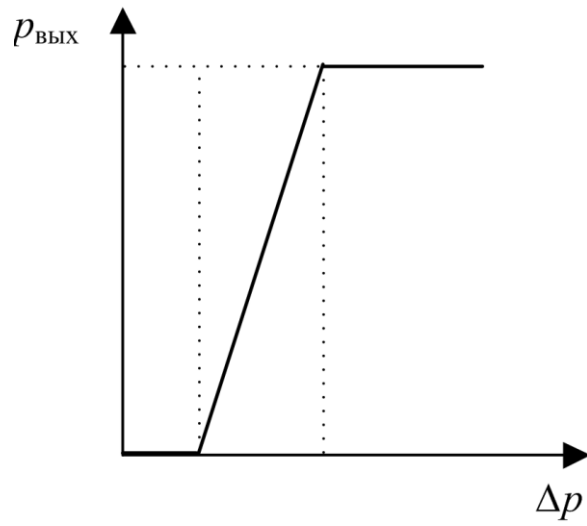


Рис. 128. Статическая характеристика мембранного усилителя давления

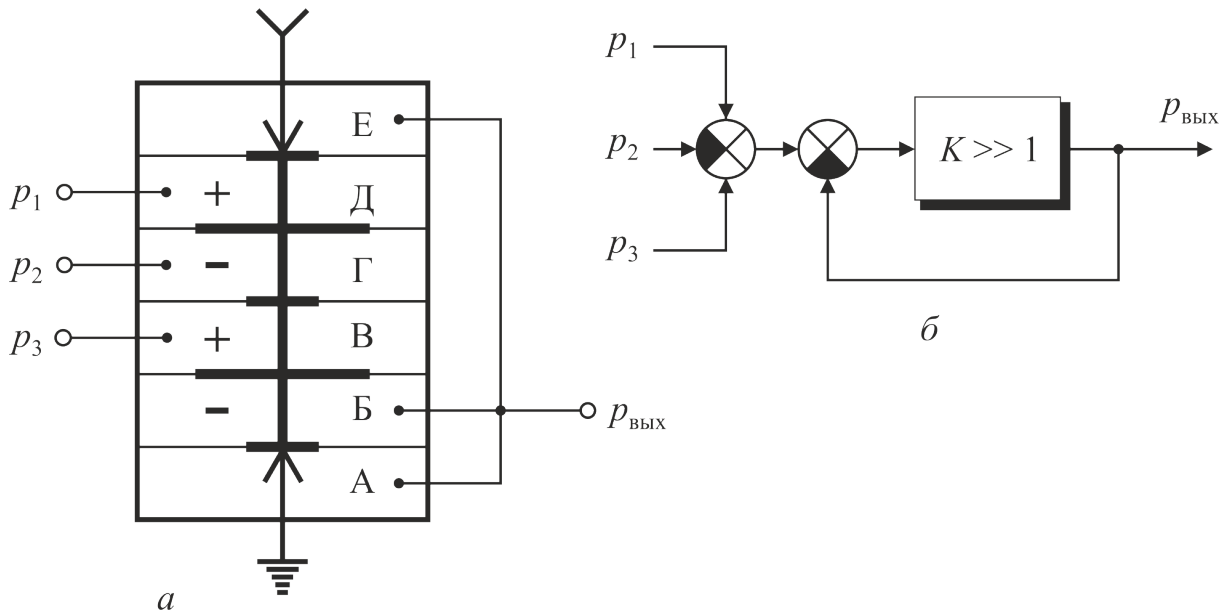


Рис. 129. Мембранный сумматор (а) и его структурная схема (б)

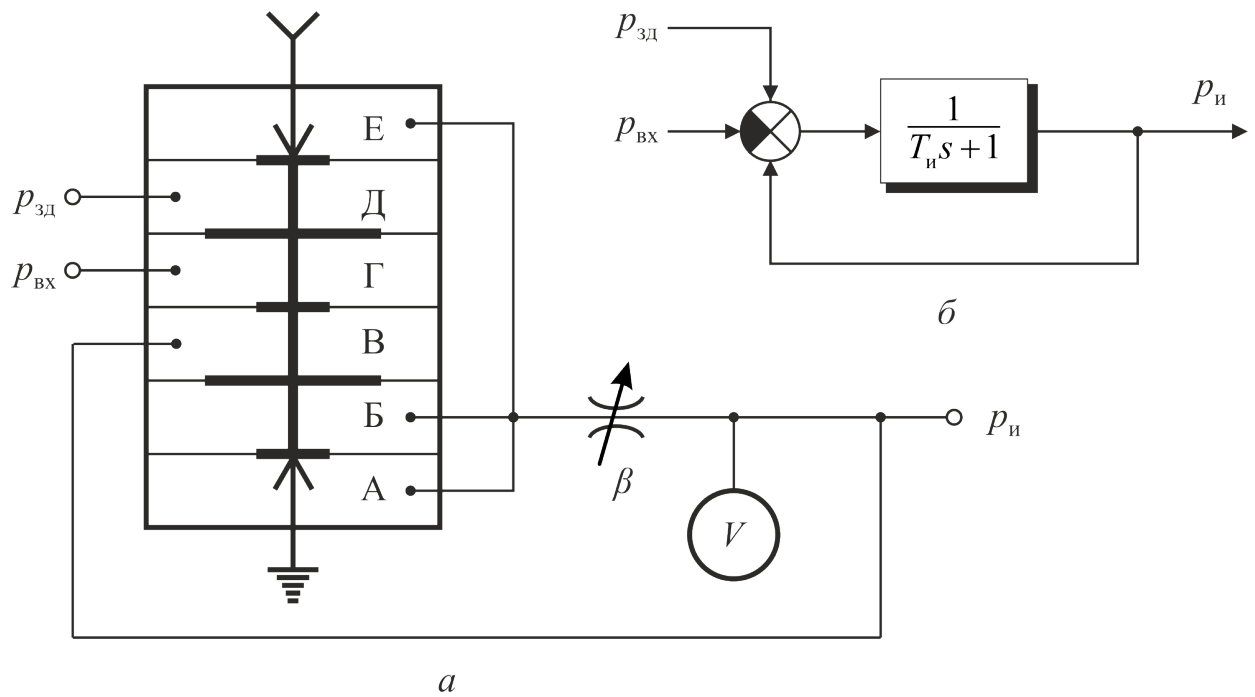


Рис. 130. Пневматический модуль интегрирования (а) и его структурная схема (б)

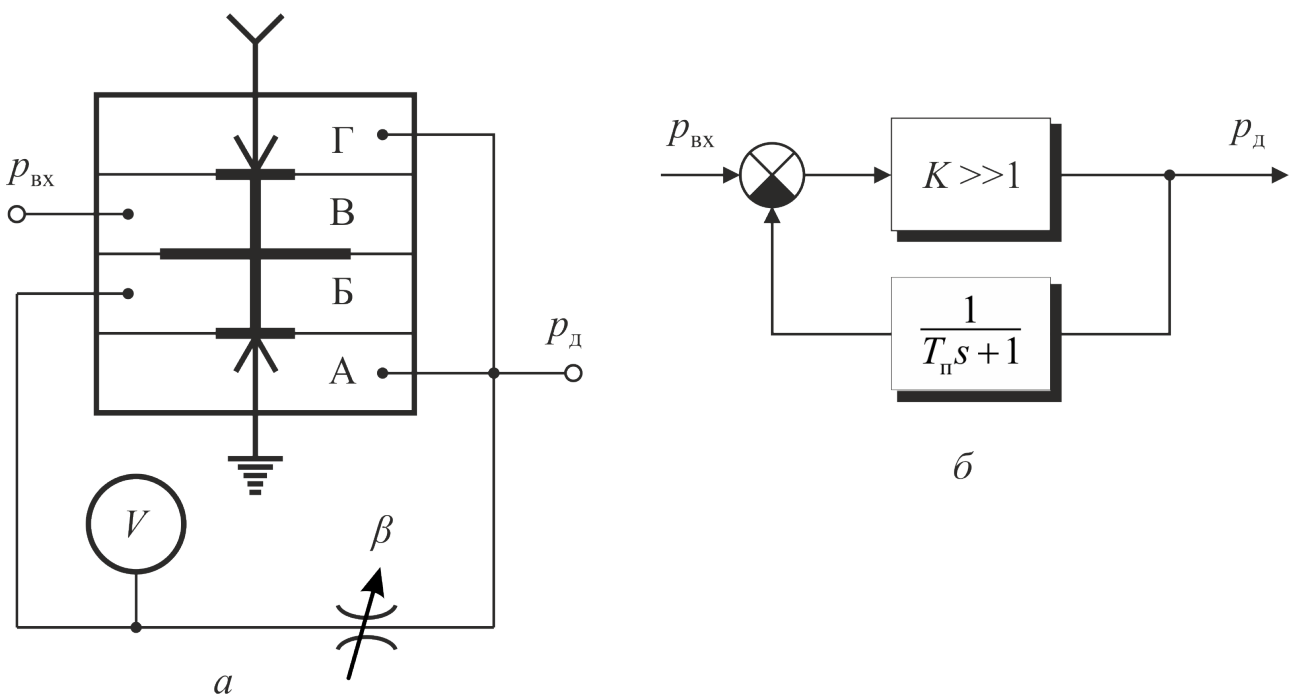


Рис. 131. Пневматический модуль дифференцирования (а) и его структурная схема (б)

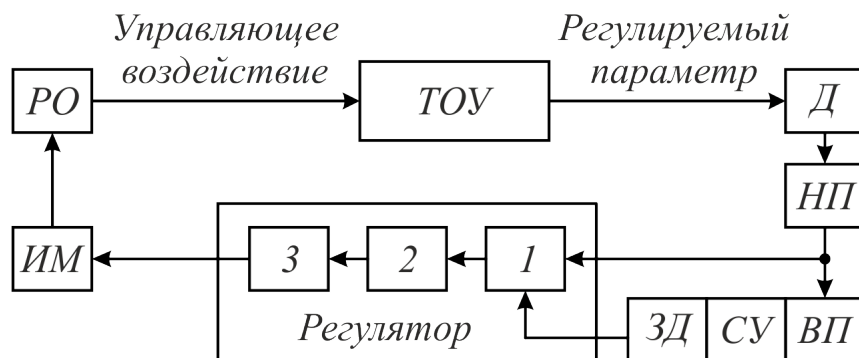


Рис. 132. Структурная схема пневматической САР

ВИ – вторичный измерительный прибор; Д – датчик; ЗД – задатчик; ИМ – исполнительный механизм;
 НП - нормирующий преобразователь; РО – регулирующий орган; СУ – станция управления;
 ТОУ - технологический объект управления; 1 – элемент сравнения; 2 – модуль формирования закона регулирования; 3 – усилитель мощности

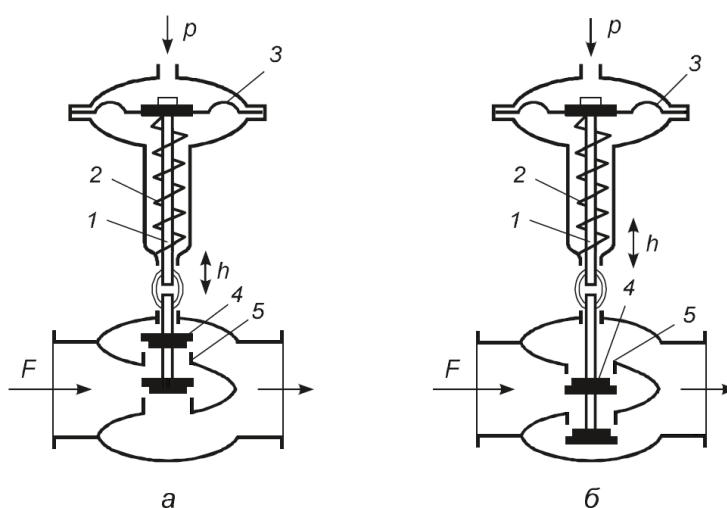


Рис. 133. Схемы клапанов с мембранными исполнительными механизмами:

а – нормально открытый (НО) клапан; б – нормально закрытый (НЗ) клапан; 1 – шток; 2 – пружина;
 3 – мембрана; 4 – плунжер; 5 – седло

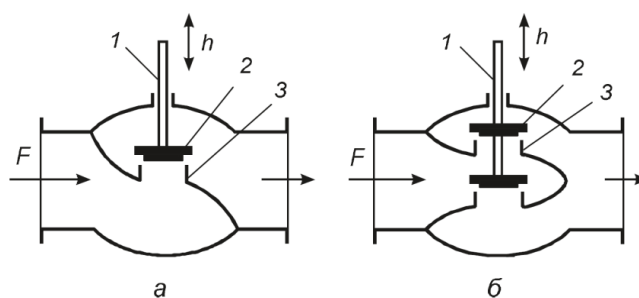


Рис. 134. Схемы регулирующих органов:

а – односедельный клапан; б – двухседельный клапан; 1 – шток; 2 – плунжер; 3 – седло

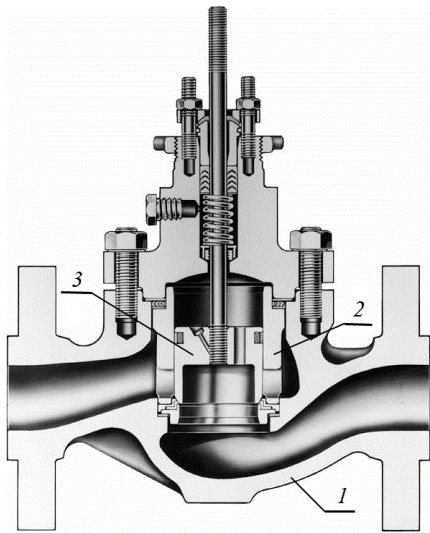


Рис. 135. Клеточный регулирующий клапан:

1 – корпус; 2 – направляющая; 3 – плунжер

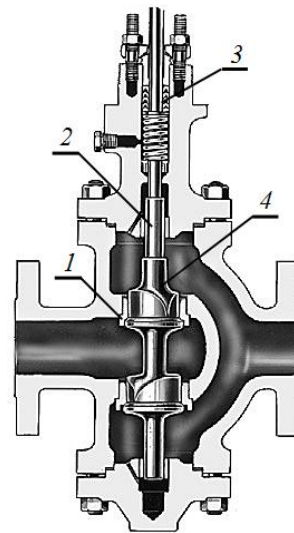


Рис. 136. Двухседельный регулирующий клапан:

1 – седло; 2 – шток; 3 – сальник; 4 – плунжер

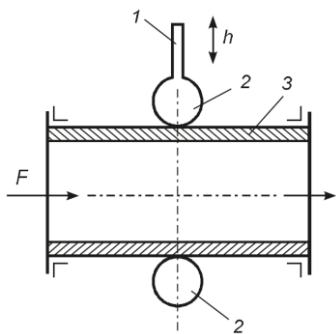


Рис. 137. Шланговый регулирующий орган:

1 – шток; 2 – валики-траверсы; 3 – эластичный патрубок

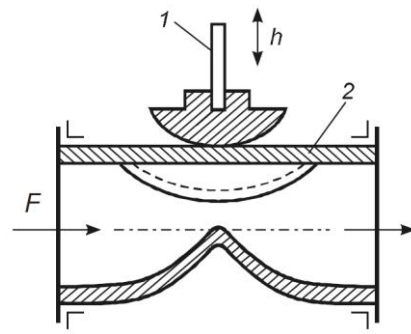


Рис. 138. Диафрагмовый регулирующий орган:

1 – шток; 2 – диафрагма

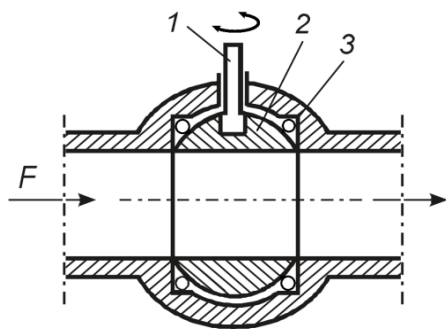


Рис. 139. Шаровой регулирующий орган:

1 – шток; 2 – шаровая пробка; 3 – седло

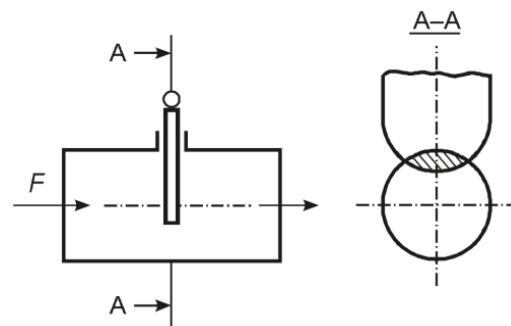


Рис. 140. Схема шиберной задвижки

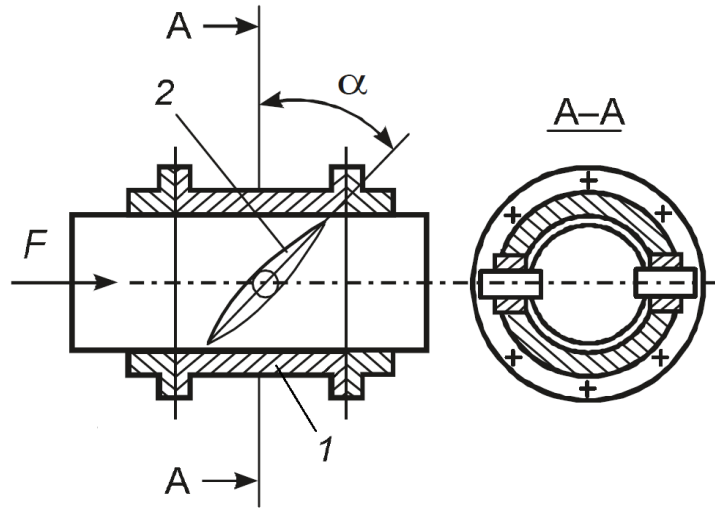
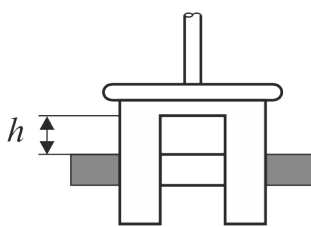
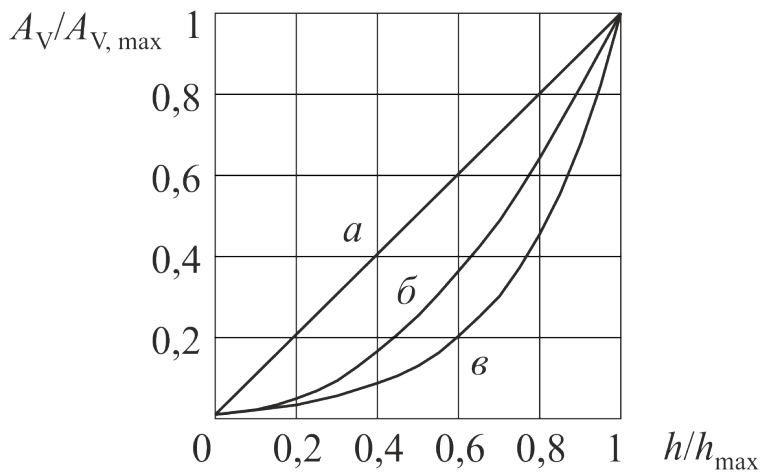


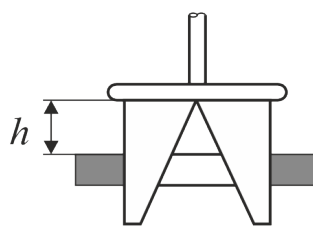
Рис. 141. Заслоночный регулирующий орган

1 – корпус; 2 – поворотная заслонка



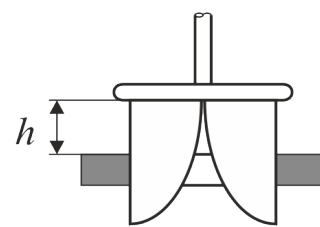
$$\frac{A_V}{A_{V, \max}} = \frac{h}{h_{\max}}$$

a



$$\frac{A_V}{A_{V, \max}} = \left(\frac{h}{h_{\max}} \right)^2$$

б



$$\frac{A}{A_{V, \max}} = \left(\frac{A_{V, \min}}{A_{V, \max}} \right)^{1 - \frac{h}{h_{\max}}}$$

в

Рис. 142. Конструктивные характеристики регулирующих органов и соответствующие им формы выреза плунжеров:

a – линейная; *б* – параболическая; *в* – равнопроцентная

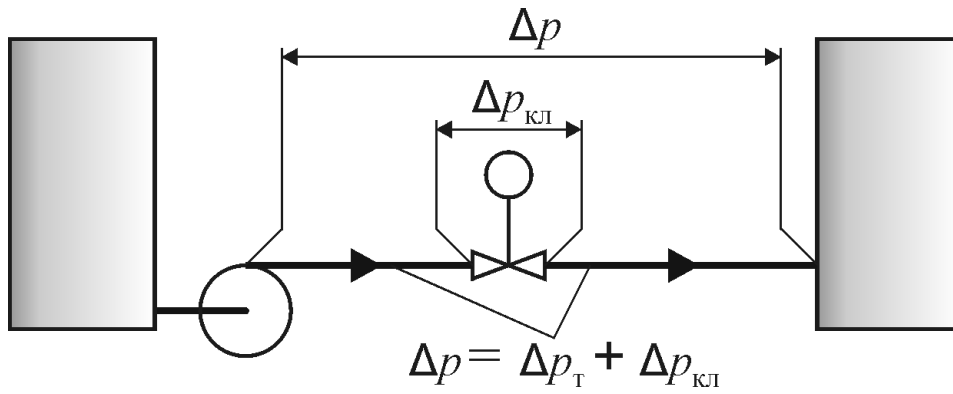


Рис. 143. Схема гидравлической системы с регулирующим органом

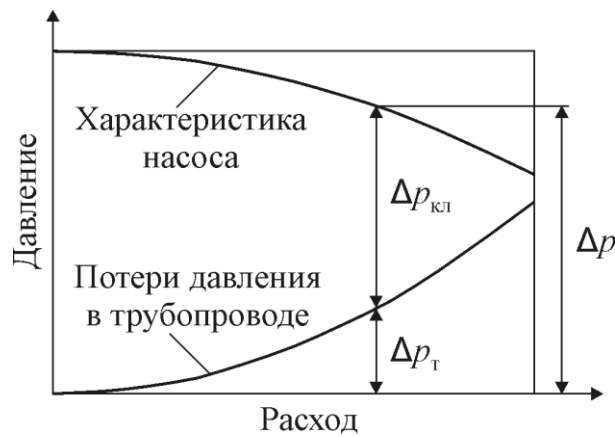


Рис. 144. Влияние расхода на перепад давления на регулирующем органе

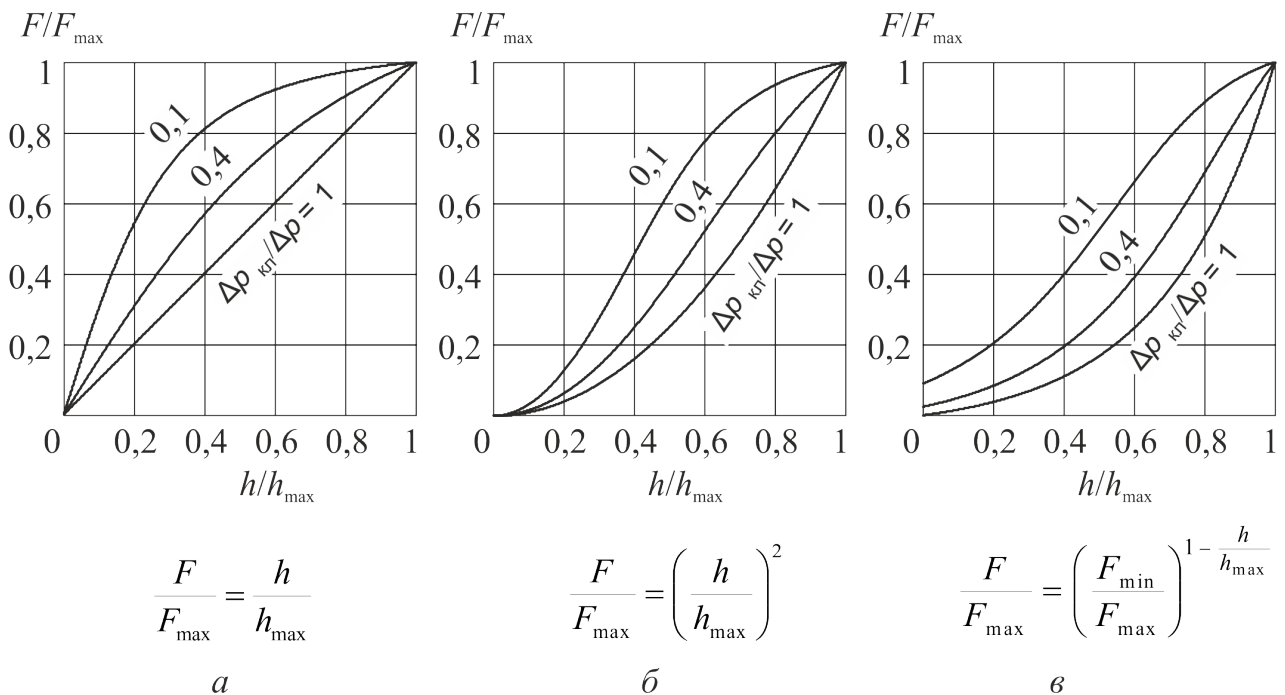


Рис. 145. Расходные характеристики регулирующих органов

а – линейная; *б* – параболическая; *в* – равнопроцентная

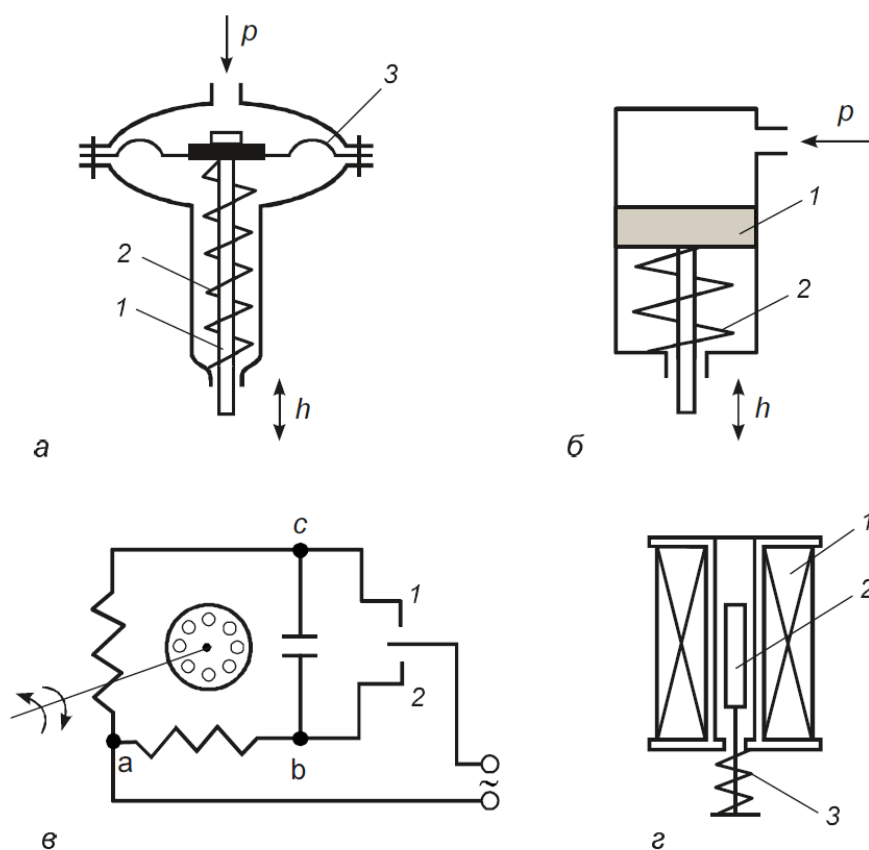


Рис. 146. Исполнительные механизмы

a – мембранный; *б* – поршневой; *в* – двухфазный асинхронный двигатель; *г* – электромагнитный

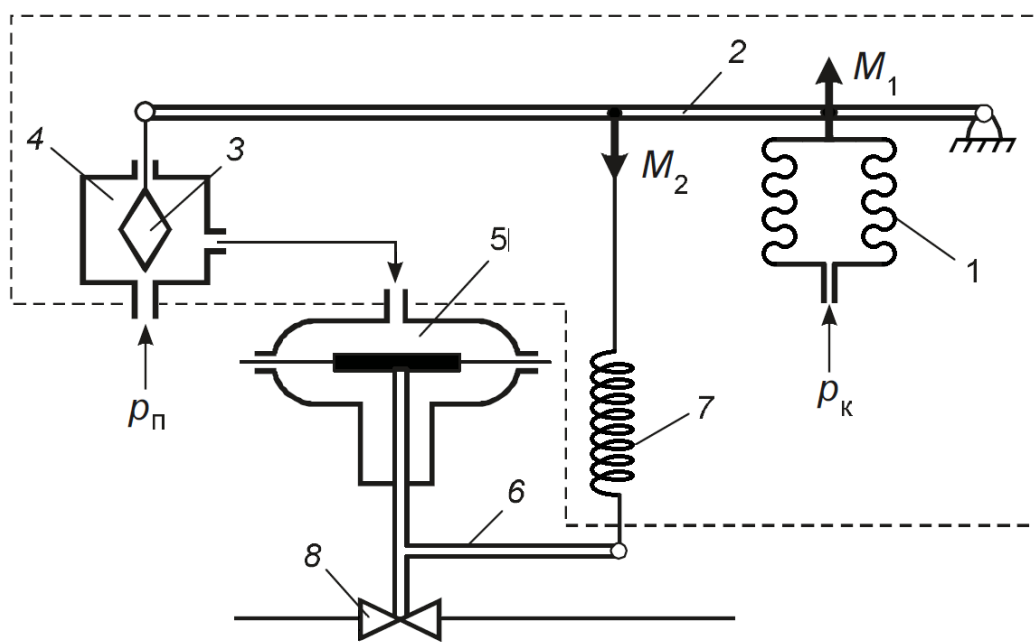


Рис. 147. Схема позиционера

1 – сильфон; *2* – рычаг; *3* – золотник; *4* – золотниковая камера; *5* – МИМ; *6* – тяга; *7* – пружина обратной связи; *8* – РО; $p_{п}$ – давление питания; $p_{к}$ – командный сигнал

8 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АСУ ТП В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

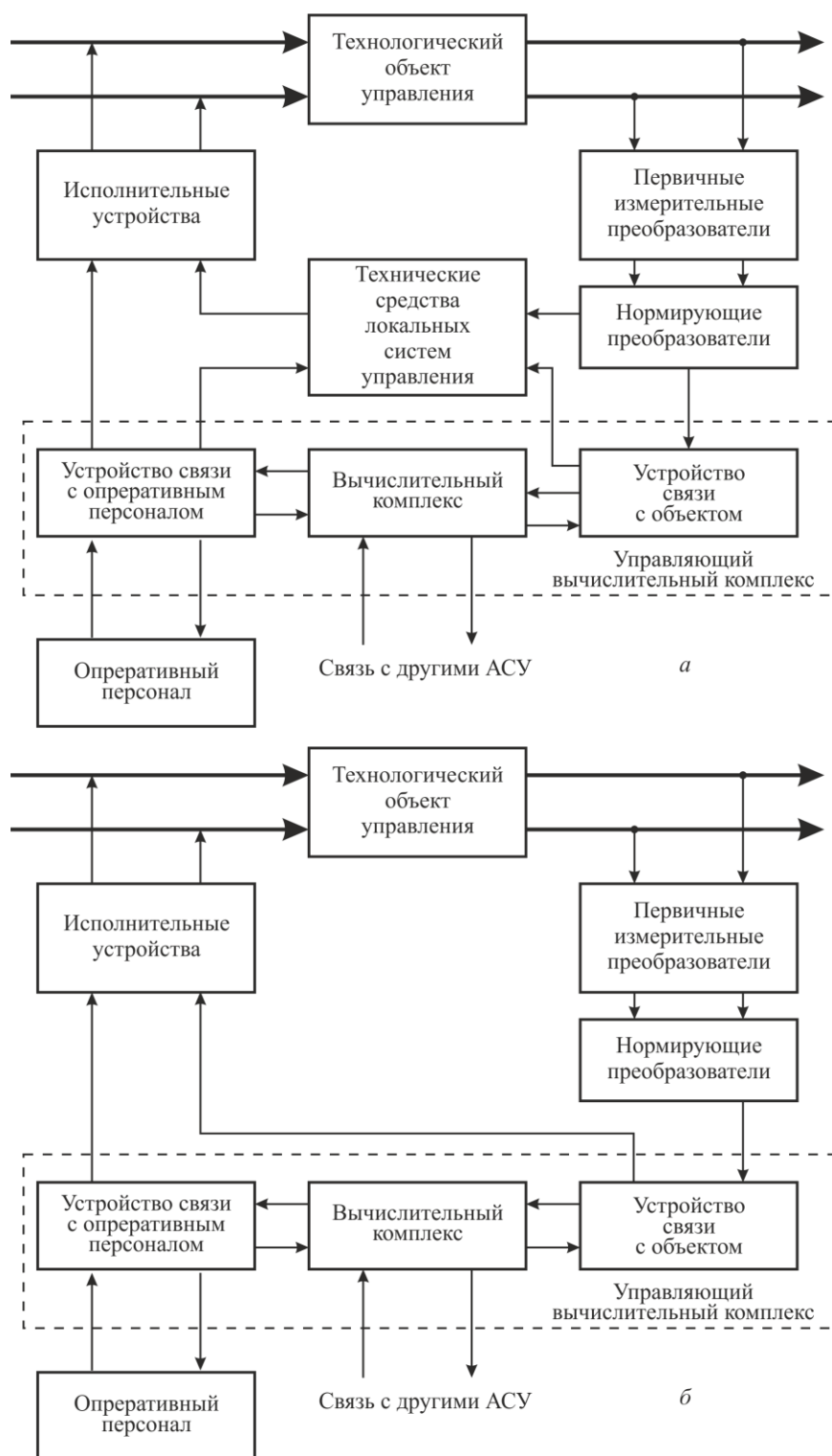


Рис. 148. Режимы работы АСУ

а – супервизорное управление; *б* – непосредственное цифровое управление

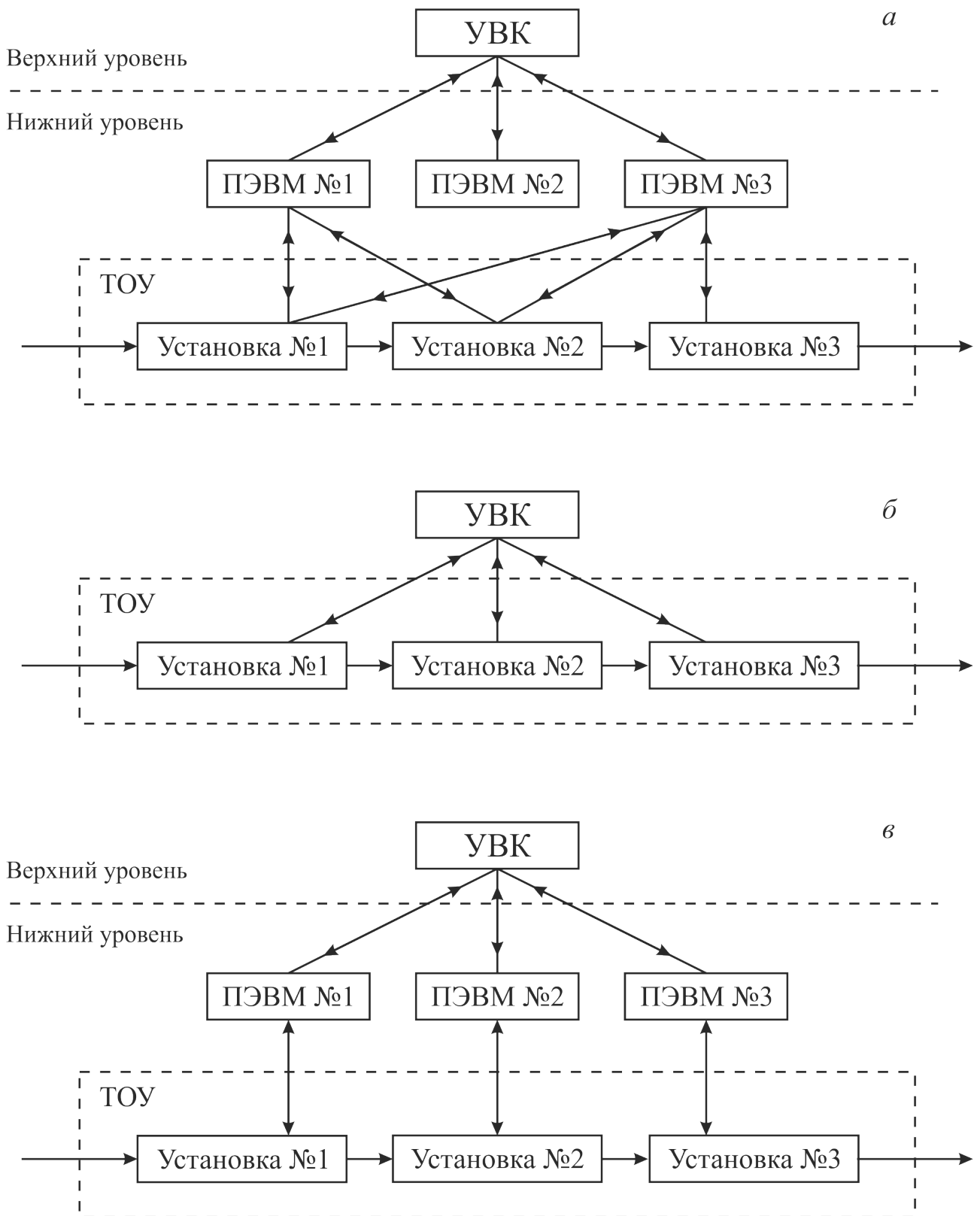


Рис. 149. Структурные схемы АСУ ТП

а – функционально децентрализованная; *б* – децентрализованная; *в* – территориально-децентрализованная

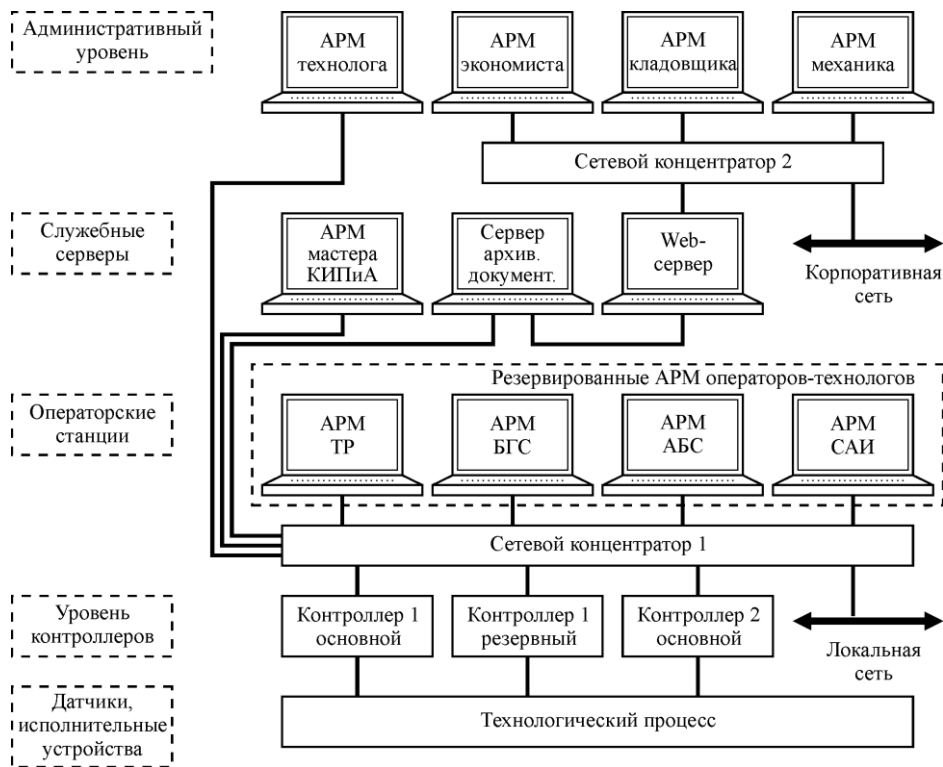


Рис. 150. Структурная схема АСУ ТП производства гранулированного аммофоса

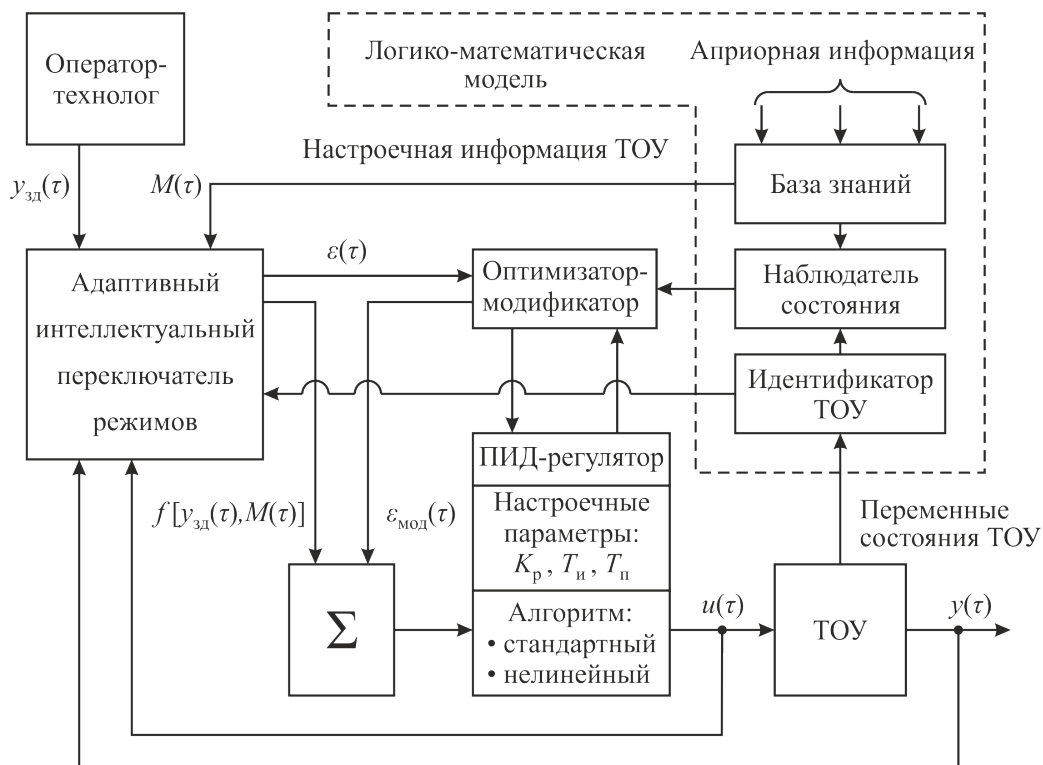


Рис. 151. Блок-схема беспоисковой адаптивной интеллектуальной системы управления

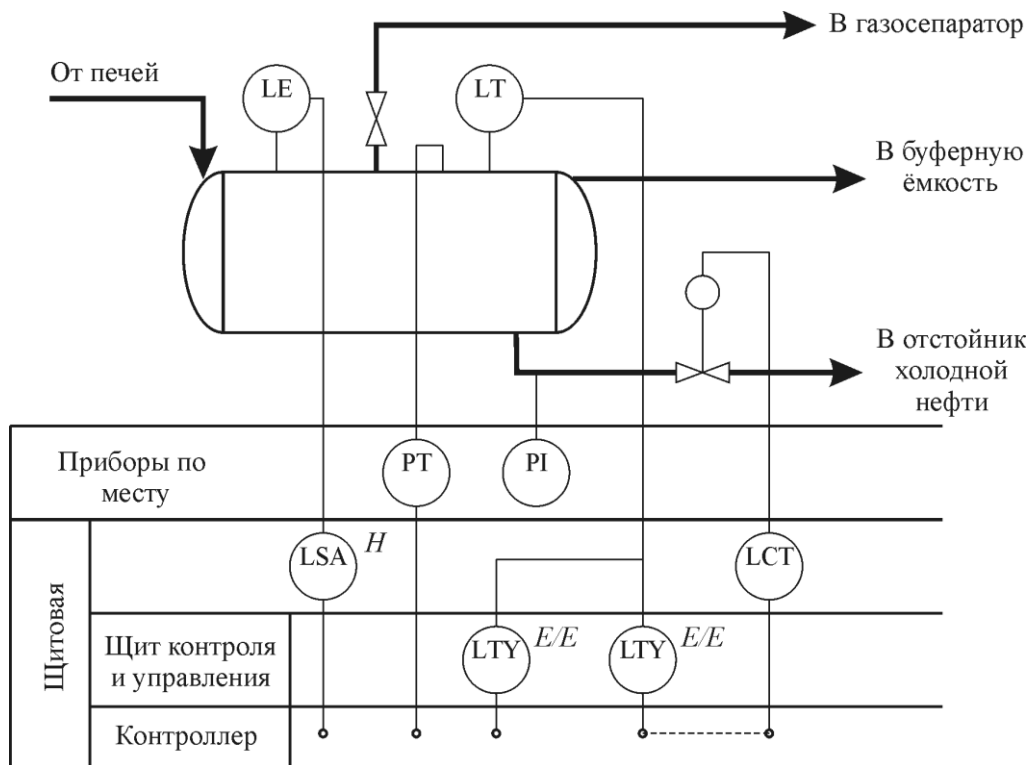


Рис. 152. Регулирование уровня в отстойнике установки комплексной подготовки нефти

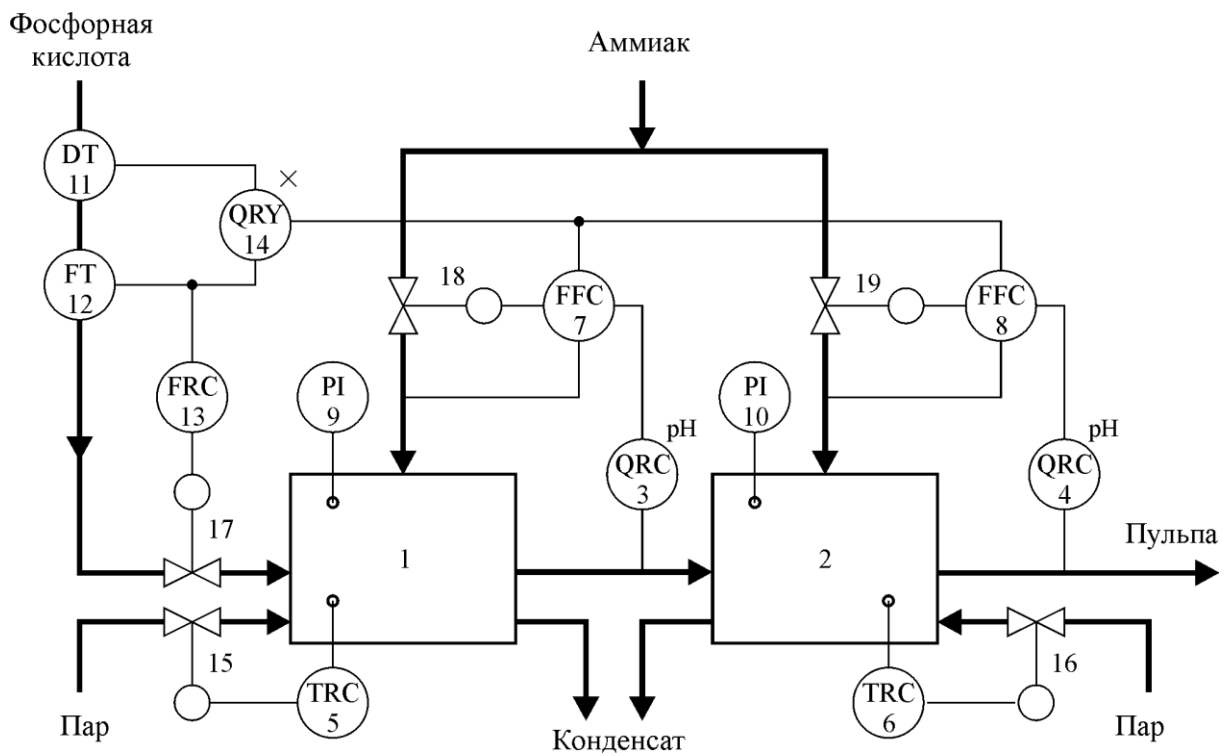


Рис. 153. Схема регулирования стадий нейтрализации и донейтрализации фосфорной кислоты аммиаком

9 СВОЙСТВА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛАПЛАСА

№	Оригинал	Изображение
1	$f(\tau)$	$F(s) = \mathcal{L}[f(\tau)] = \int_0^{\infty} f(\tau) e^{-s\tau} d\tau$
2	$c_1 f_1(\tau) + c_2 f_2(\tau)$	$c_1 F_1(s) + c_2 F_2(s)$
3	$f'(\tau)$	$s F(s) - f(0)$
4	$f^{(n)}(\tau)$	$s^n F(s) - s^{n-1} f(0) - \dots - f^{(n-1)}(0)$
5	$\int_0^{\tau} f(t) dt$	$\frac{F(s)}{s}$
6	$f(\tau - c) \quad (c > 0)$	$F(s) e^{-cs}$
7	$f(\tau) e^{c\tau}$	$F(s - c)$
8	$f(c\tau) \quad (c > 0)$	$\frac{1}{c} F\left(\frac{s}{c}\right)$
9	$f_1 * f_2 = \int_0^{\tau} f_1(t) f_2(\tau - t) dt$	$F_1(s) F_2(s)$
10	$\lim_{\tau \rightarrow \infty} f(\tau)$	$\lim_{s \rightarrow 0} [s F(s)]$
11	$\lim_{\tau \rightarrow 0} f(\tau)$	$\lim_{s \rightarrow \infty} [s F(s)]$

10 ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЛАПЛАСА НЕКОТОРЫХ ФУНКЦИЙ

№	Оригинал	Изображение
1	$\delta(\tau)$	1
2	$1(\tau)$	$\frac{1}{s}$
3	τ	$\frac{1}{s^2}$
4	τ^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
5	$e^{-c\tau}$	$\frac{1}{s+c}$
6	$1 - e^{-\frac{\tau}{T}}$	$\frac{1}{s(Ts+1)}$
7	$\frac{e^{-c\tau} + c\tau - 1}{c^2}$	$\frac{1}{(s+c)s^2}$
8	$\cos(\omega\tau)$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
9	$\sin(\omega\tau)$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
10	$\frac{e^{-a\tau} - e^{-b\tau}}{b-a}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$
11	$\frac{\tau^{n-1} e^{-c\tau}}{(n-1)!}$	$\frac{1}{(s+c)^n}$
12	$\frac{(c-b)e^{-a\tau} + (a-c)e^{-b\tau} + (b-a)e^{-c\tau}}{(a-b)(b-c)(c-a)}$	$\frac{1}{(s+a)(s+b)(s+c)}$

Учебное издание

БЕСПАЛОВ Александр Валентинович

ГРУНСКИЙ Владимир Николаевич

ХАРИТОНОВ Николай Иванович

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Редактор

Подписано в печать . Формат .

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 350 экз.

Заказ .

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева.

Издательский центр.

Адрес университета и издательского центра

125047 Москва, Миусская пл., 9