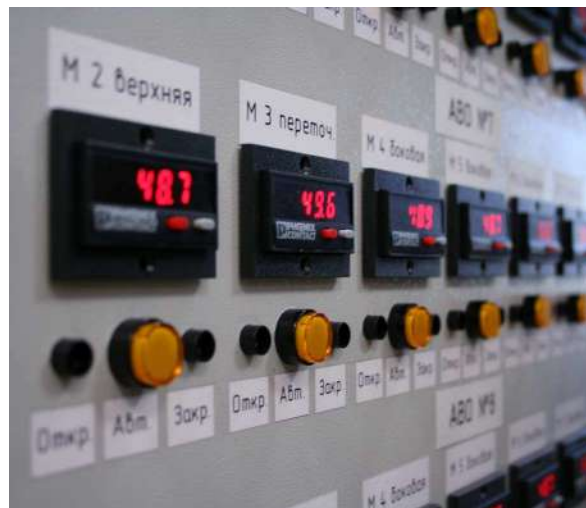


Николаенко С.А., Цокур Д.С.



АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет»

С.А. Николаенко, Д.С. Цокур

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Краснодар

УДК 621.384.52:638.15
ББК 32.965
Н-34

Р е ц е н з е н т ы :

Д.А. Нормов - профессор кафедры Физика Кубанского государственного аграрного университета, д.т.н., профессор

И.Г. Минаев – профессор кафедры автоматизации, электроники и метрологии Ставропольского государственного аграрного университета, к.т.н., профессор

Николаенко С.А., Цокур Д.С.

Автоматизация систем управления: учеб. пособие / С. А. Николаенко, Д. С. Цокур. – Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. - 119 с.

В учебном пособии изложены теоретические основы, а также практические указания к выполнению лабораторных работ студентами по дисциплине «АСУ». Представленный материал может использоваться для изучения теории автоматических процессов, методов частотного анализа систем управления.

Пособие предназначено для очной, заочной и дистанционной форм обучения для бакалавров, магистров и аспирантов по направлениям подготовки «Агроинженерия», «Продукты питания животного происхождения».

УДК 621.384.52:638.15
ББК 32.965

© Николаенко С.А.
Цокур Д.С., 2015
ООО «Крон», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| 1. ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ..... | 4 |
| 2. ВИДЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ..... | 6 |
| 3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ..... | 8 |
| 4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ..... | 12 |
| ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ..... | 15 |
| ЧАСТЬ I | |
| Лабораторная работа №1..... | 17 |
| Лабораторная работа №2..... | 23 |
| Лабораторная работа №3..... | 37 |
| Лабораторная работа №4..... | 40 |
| Лабораторная работа №5..... | 44 |
| Лабораторная работа №6..... | 56 |
| Лабораторная работа №7..... | 69 |
| Лабораторная работа №8..... | 79 |
| ЧАСТЬ II | |
| Лабораторная работа №1..... | 90 |
| Лабораторная работа №2..... | 93 |
| Лабораторная работа №3..... | 95 |
| Лабораторная работа №4..... | 99 |
| Лабораторная работа №5..... | 101 |
| Приложение к лабораторной работе №5 и №6..... | 105 |
| Приложение к лабораторной работе №7..... | 111 |
| Список литературы | 116 |

1. ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Автоматика – область теоретических и прикладных знаний об автоматических устройствах и системах.

Объект управления (ОУ) — система, в которой происходит подлежащий управлению процесс. Взаимодействие с ОУ происходит через входы (которые являются причинами появления процессов в ОУ) и выходы (которые являются процессами-следствиями).

Управление — процесс на входе объекта управления, обеспечивающий такое протекание процессов на выходе объекта управления, которое обеспечивают достижение заданной цели управления.

Регулирование — частный случай управления, цель которого заключается в поддержании на заданном уровне одного или нескольких выходов объекта управления.

Система автоматического регулирования (САР) – совокупность объекта управления и автоматического регулятора, взаимодействующих между собой в соответствии с алгоритмом управления.

Регулирующий орган (РО) — совокупность устройств, с помощью которых осуществляется управление входами объекта управления. Например, нагревательные элементы в системе управления температурой, клапаны с электроприводом в системе регулирования расхода жидкости и т.д.

Управляемая величина (выходная величина - Y) — показатель технологического процесса, которым необходимо управлять.

Управляющее воздействие (входная величина - X) - физическая величина, посредством которой управляется показатель технологического процесса.

Задающее воздействие — определяет требуемый закон регулирования выходной величины.

Возмущающее воздействие $f(t)$ — процесс на входе объекта управления, являющийся помехой управлению.

Воспринимающие органы (ВО или так называемые чувствительные элементы ЧЭ) - измеряют и преобразуют контролируемую или управляемую величину объекта управления в сигнал, удобный для передачи и дальнейшей обработки. К ним относятся датчики влажности, температуры (термопары, термосопротивления, термопреобразователи), освещенности и т.д.

Усилительные органы (УО или усилительные элементы УЭ) - устройства не изменяющие физической природы сигнала, а производящие только усиление, т.е. увеличение его до требуемого значений. Сюда относятся магнитные пускатели, твердотельные и электромагнитные реле и т.д.

Преобразующие органы (ПО или элементы ПЭ) - преобразуют сигнал одной физической природы в сигналы другой физической природы для удобства дальнейшей передачи и обработки. Например, преобразователи неэлектрических величин в электрические

Корректирующие органы (КО или элементы КЭ) - служат для коррекции САУ с целью улучшения их работы.

Исполнительный орган (ИО или элемент ИЭ) - вырабатывает и подает на регулирующий орган объекта управления управляющее воздействие [5, 6].

Вышеперечисленные термины поясняет рисунок 1, на котором изображена система автоматического управления (САУ), объектом управления которой является водонагреватель:

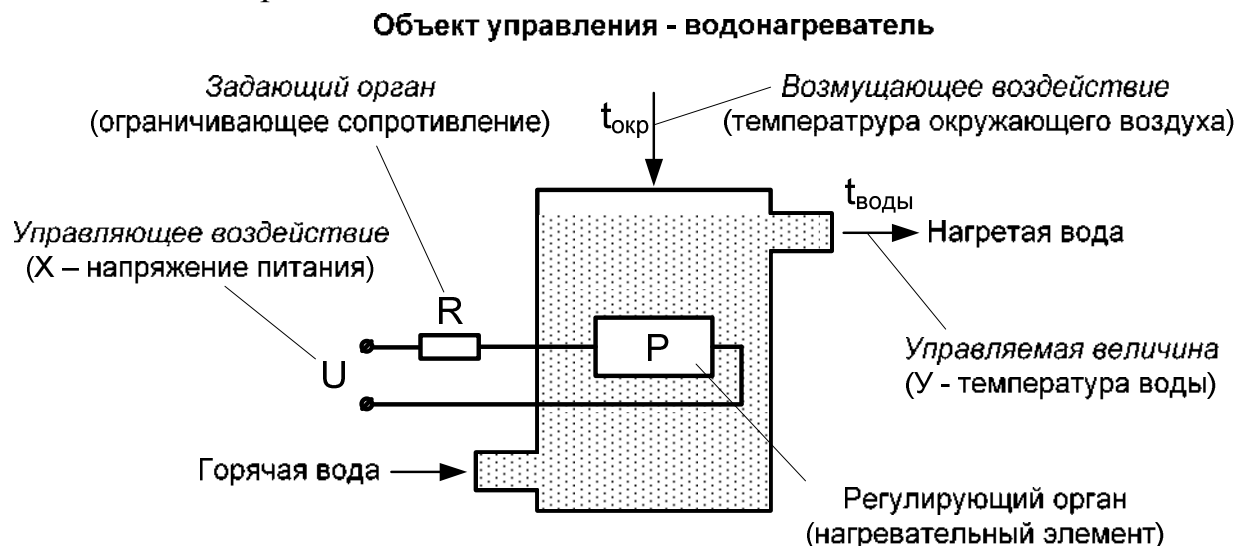


Рисунок 1 - Водонагреватель как объект управления (Р - мощность нагревательного элемента)

Чаще всего объекты управления изображают графически в виде функциональных блоков (рис. 2).

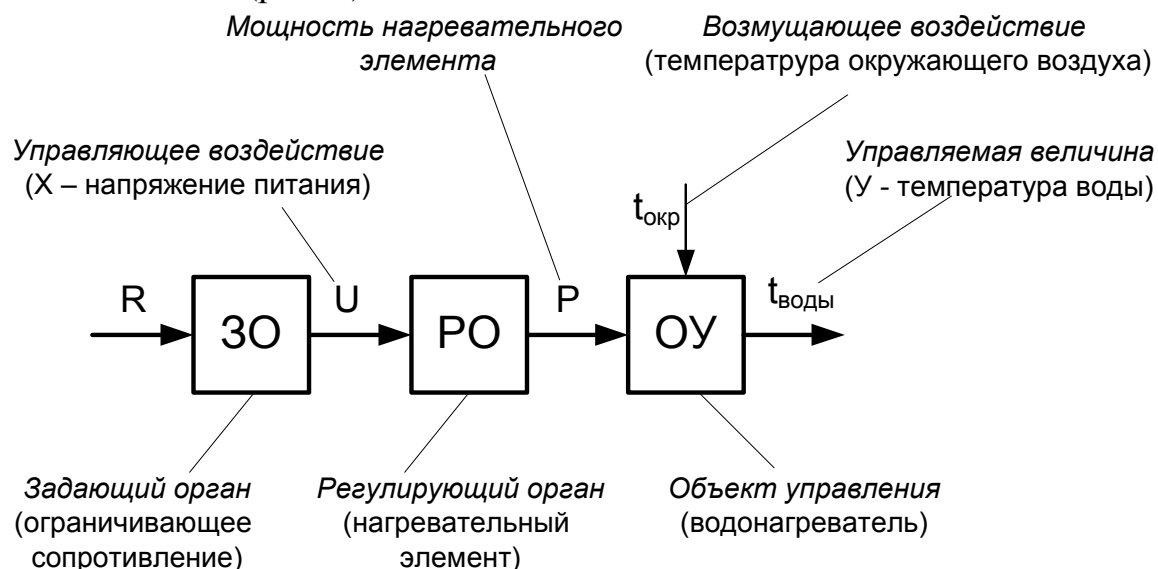


Рисунок 2 – Водонагреватель в виде функциональных блоков

Для сложения и вычитания сигналов в автоматике применяются элементы сложения и вычитания. Элементы сложения принято называть сумматорами (рис. 3).

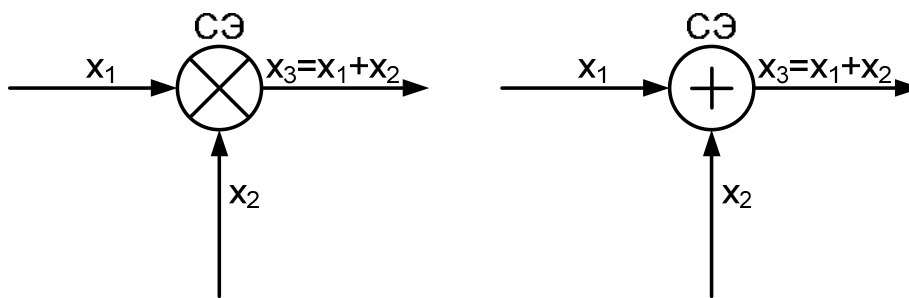


Рисунок 3 – Условное обозначение элементов сложения;

Элементы вычитания называются элементами сравнения (рис. 4).

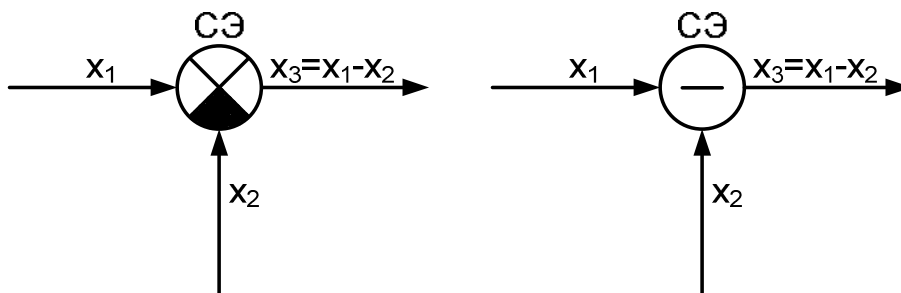


Рисунок 4 – Условное обозначение элементов сравнения;

2. ВИДЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Различают следующие системы автоматического управления:

1) Разомкнутые САУ. В таких системах управляющее воздействие создается, без получения информации о состоянии системы, а лишь на основании каких-либо признаков или временной программы. Достоинства: простота и повышенная надежность. Недостатки: невысокое качество управления;

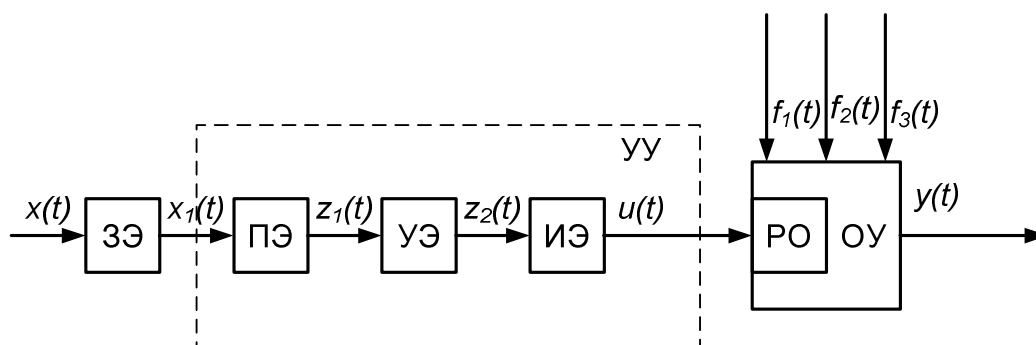


Рисунок 5 - Разомкнутая САУ.

2) САУ по возмущению. Управляющее воздействие вырабатывается на основе информации по величине возмущающего воздействия на систему. Возмущающие воздействия вызываются разными причинами и их может быть не одно, а несколько. Обычно во внимание принимают только важные возмущения, так как компенсировать все будет затруднительно.

Недостаток: накопление ошибки регулирования.

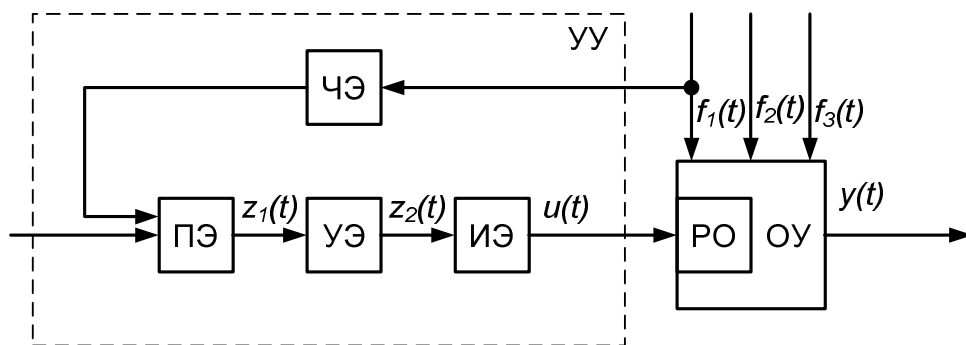


Рисунок 6 - САУ с принципом управления по возмущению.

3) Замкнутые САУ. В таких САУ управляющее воздействие вырабатывается на основе измеренной информации по состоянию объекта по выбранному параметру.

Недостаток: низкие эксплуатационные характеристики в случае значительной инерционности объекта.

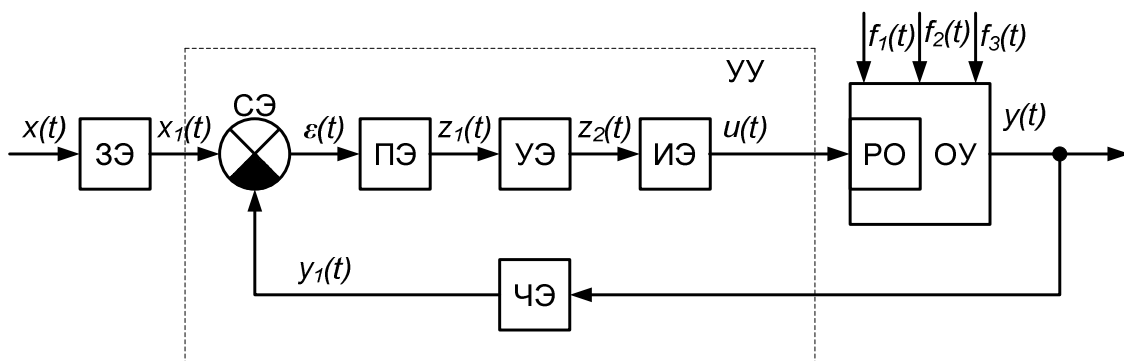


Рисунок 7 - Замкнутая САУ

4) Комбинированные САУ. Управляющее воздействие вырабатывается на основе информации о параметрах объекта и на основе информации возмущающего воздействия.

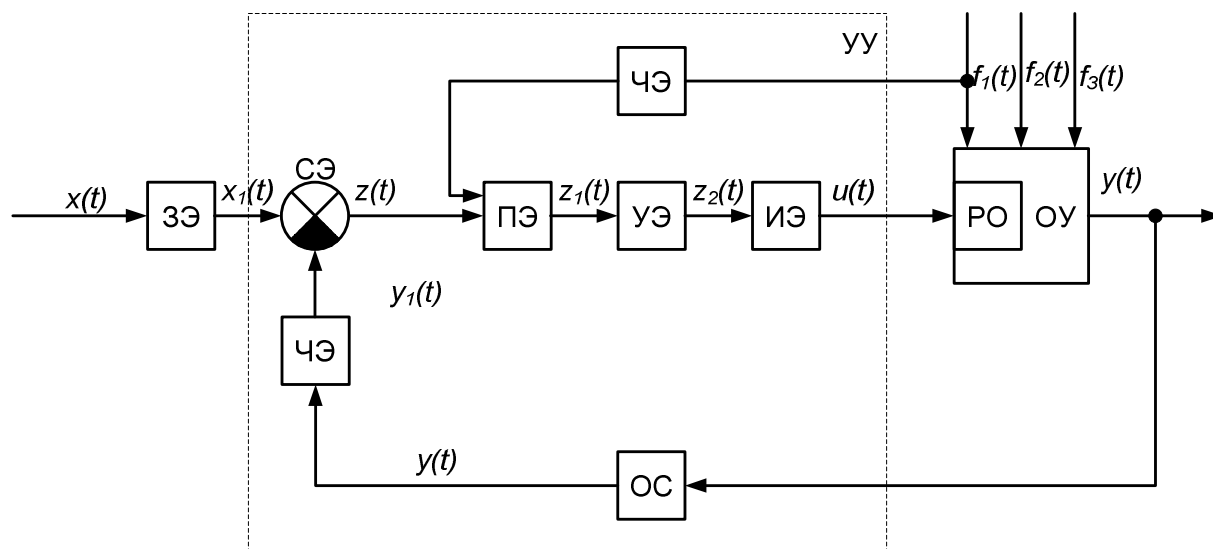


Рисунок 8 - Комбинированная САУ

3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Критерии качества можно разделить на четыре группы:

1. Критерии точности:

1.1 Статическая ошибка $\varepsilon_{ст}$ – это разность между предписанным и действительным значением регулируемой величины в установившемся режиме (рис. 9).

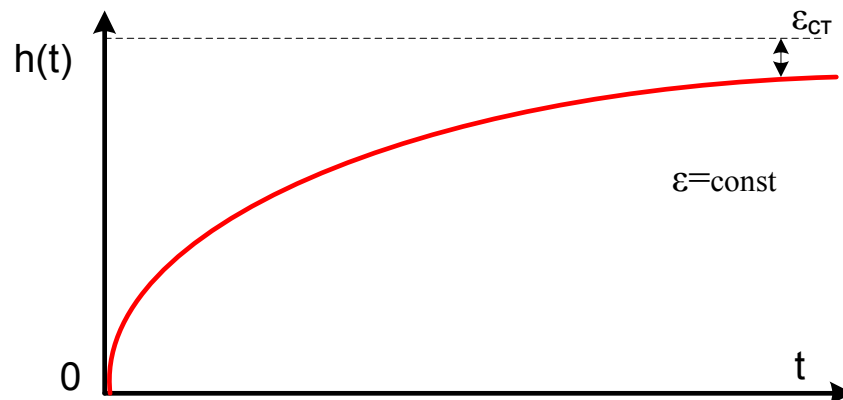


Рисунок 9 - Статическая ошибка $\varepsilon_{ст}$

Если $\varepsilon_{ст} = \text{const}$, то такая система называется статической, т.е. в ней есть всегда установившаяся ошибка.

Если $\varepsilon_{ст} \rightarrow 0$, то такая система называется астатической, т.е. система поддерживает заданный уровень параметра.

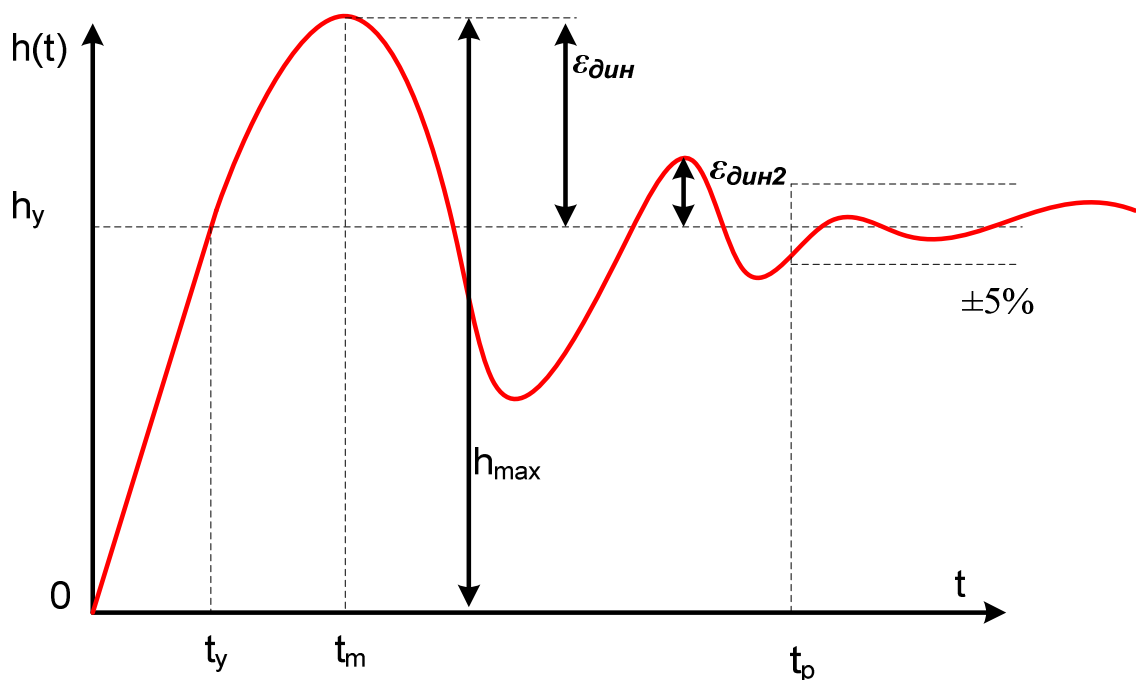


Рисунок 10 - Динамическая ошибка $\varepsilon_{дин}$

1.2 Динамическая ошибка $\varepsilon_{дин}$ представляет собой максимальное отклонение регулируемой величины от предписанного значения (рис. 10) [6].

$$\varepsilon_{дин} = h_{max} - h_y \quad (1)$$

h_y - предписанное значение регулируемой величины.

2. Критерии, определяющие запас устойчивости

Определяют отдаленность системы от границы устойчивости.

2.1 Коэффициент перерегулирования – это динамическая ошибка отнесенная к заданному значению регулируемой величины в процентах.

$$G = \frac{h_{max} - h_y}{h_y} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_{дин}}{h_y} \cdot 100\% \quad (2)$$

Считается, что в реальной системе достаточный запас устойчивости, если коэффициент перерегулирования не превышает 10-30%.

Однако в некоторых случаях требуется, чтобы процесс протекал вообще без перерегулирования, т.е. был монотонным.

В ряде случаев может допускаться перерегулирование 50-70 %.

Частотные оценки устойчивости определяются по годографу Найквиста.

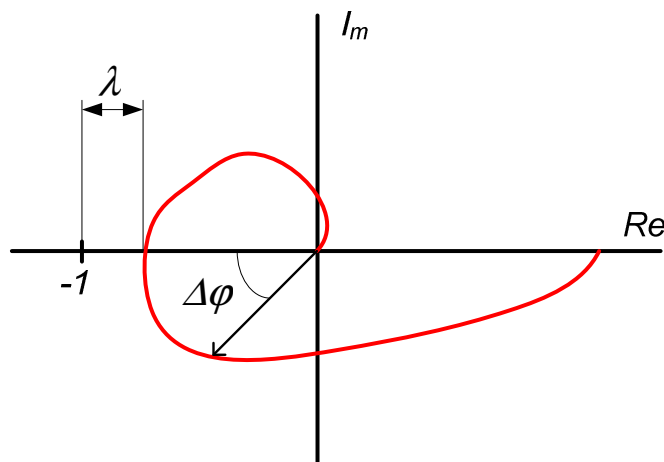


Рисунок 11 - Годограф Найквиста.

2.2 Запас устойчивости по амплитуде λ означает, что при увеличении коэффициента усиления на величину λ система станет неустойчивой (рис. 11).

2.3 Запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$ – это угол образованный вещественной осью с вектором, модуль которого равен единице.

3 Критерии быстродействия

3.1 Время регулирования t_p – это отрезок времени от подачи возмущающего воздействия до достижения регулируемой величиной предписанного значения, с точностью $\pm 5\%$ (рис. 10).

3.2 Время установления t_y – это минимальное время до первого достижения регулируемой величиной предписанного значения (рис. 10).

3.3 Степень затухания Ψ – это показатель качества, который характеризует, на сколько процентов уменьшается амплитуда динамической ошибки системы за один период колебаний.

$$\Psi = \frac{\varepsilon_{дин} - \varepsilon_{дин3}}{\varepsilon_{дин}} \cdot 100\% \quad (3)$$

4 Критерии комплексной оценки.

4.1 Обобщенный показатель линейной интегральной оценки J определяется интегралом ошибки за время регулирования.

$$J = \int_0^{t_p} \varepsilon(t) dt \quad (4)$$

Учитывает все рассмотренные ранее критерии качества.

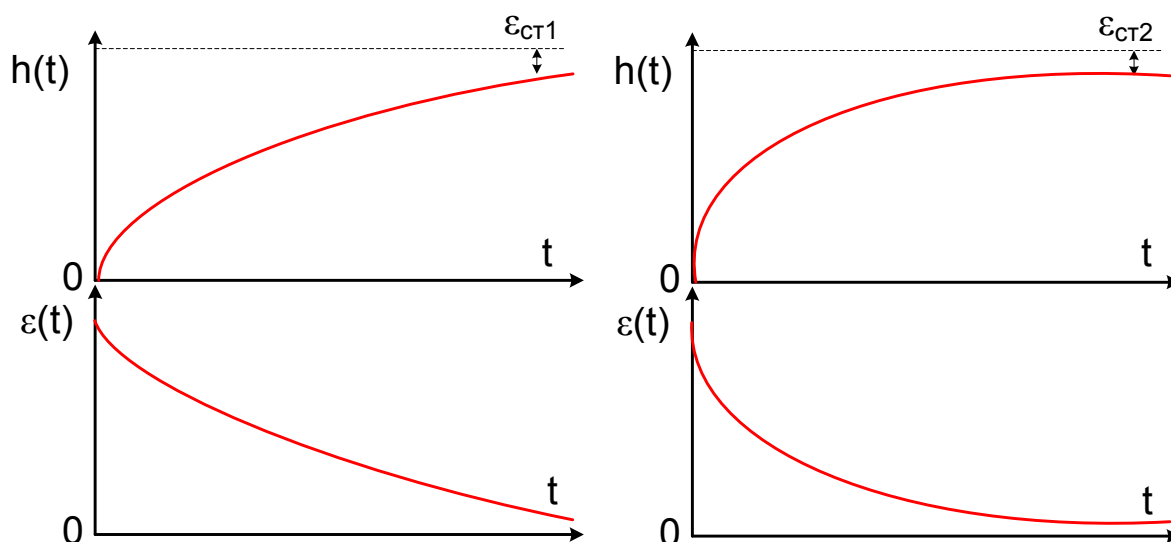


Рисунок 12 - Пример двух САР с одинаковыми $\varepsilon_{ст}$, но разными J

Чем меньше площадь подынтегральной фигуры, тем выше качество регулирования. При одинаковых статических ошибках $\varepsilon_{cm1} = \varepsilon_{cm2}$, $J_1 > J_2$, а следовательно качество регулирования второй САР выше (рис. 12).

Данный показатель применяется для комплексной оценки регулирования монотонных процессов в статических системах.

4.2 Обобщенный интегральный среднеквадратичный показатель $J_{кв}$ определяется интегралом квадрата ошибки за время регулирования. Значение ошибки берется в квадрате, для того чтобы можно было просуммировать положительные и отрицательные отклонения.

$$J_{\kappa\theta} = \int_0^{t_p} \varepsilon^2(t) dt \quad (5)$$

Показатель применяется для комплексной оценки регулирования колебательных процессов в астатических системах (рис. 13).

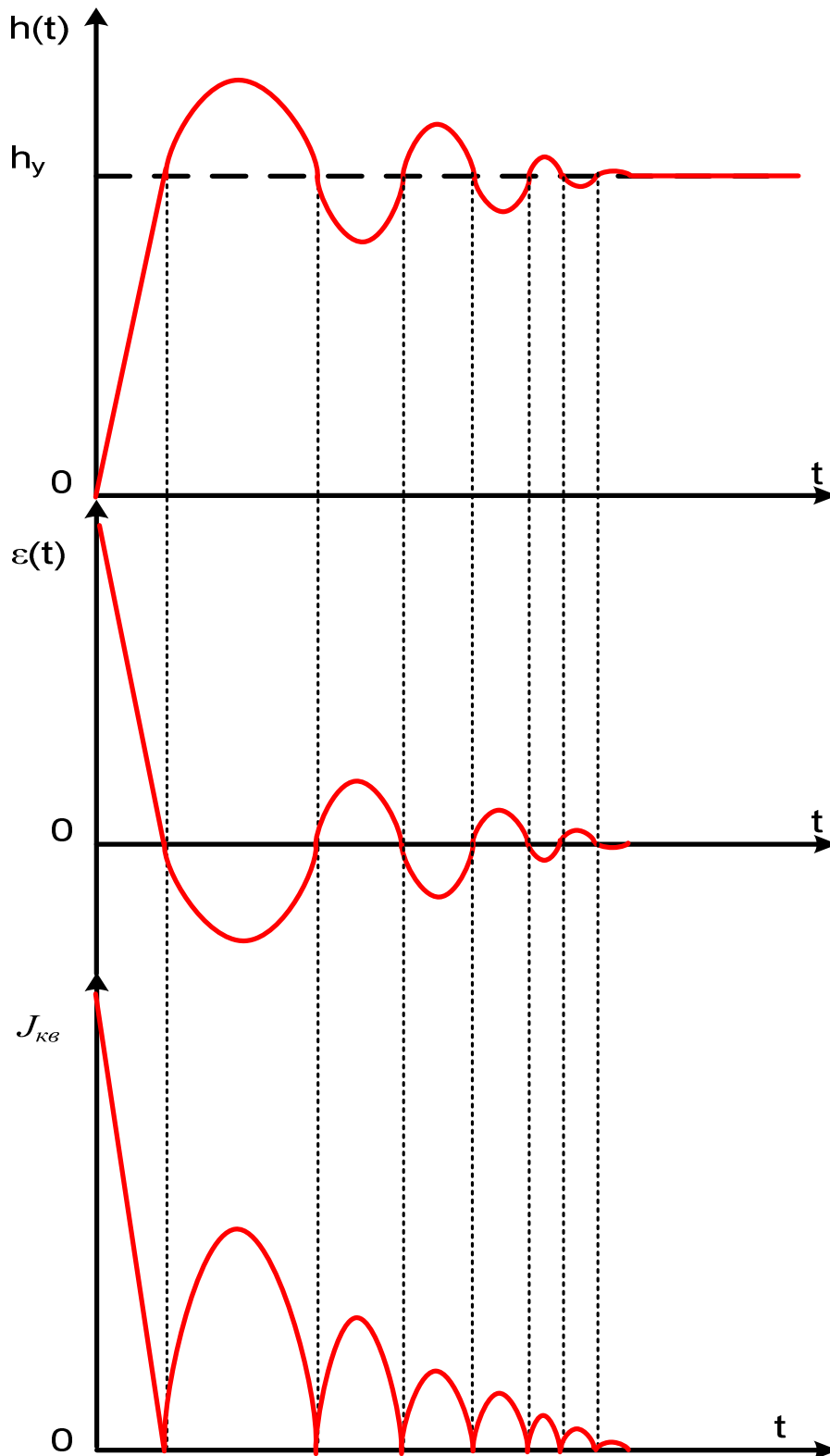


Рисунок 13 - Обобщенный интегральный среднеквадратичный показатель $J_{\kappa\theta}$

4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Автоматическим регулятором называют устройство, предназначенное для поддержания управляемой величины на заданном уровне или изменения ее в соответствии с требуемым законом регулирования. Автоматический регулятор воспринимает разность между фактическим и заданным значениями регулируемой величины и преобразует ее в управляющее воздействие на регулируемый орган. Управляющее воздействие формируется в соответствии с заложенным в регулятор законом регулирования (рис. 14).

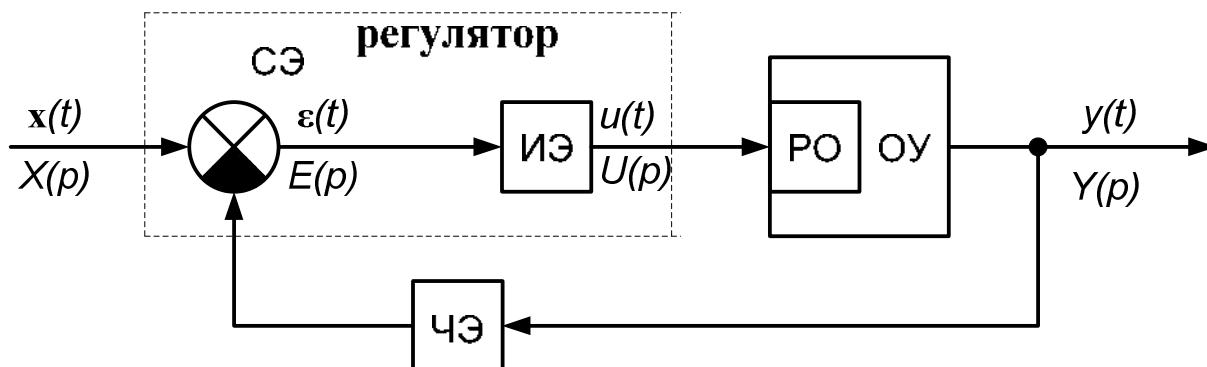


Рисунок 14 - Функциональная схема автоматического регулятора.

Основным классификационным признаком автоматических регуляторов является закон регулирования или дифференциальное уравнение, связывающее выходную величину Y со входной X . Например:

$$T_2^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_1 \frac{dy}{dt} + y = k_2 x + k_1 \frac{dx}{dt} \quad (6)$$

где x - входная величина;

y - выходная величина;

T_1, T_2 - постоянные времени.

В операторной форме передаточная функция примет вид:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k_1 p + k_2}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (7)$$

Где $W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$ - передаточная функция.

Под передаточной функцией понимают отношение изображения Лапласа выходного и входного сигналов при нулевых начальных условиях.

Выбор типа автоматического регулятора определяется динамическими свойствами объекта управления (рис. 15) и технико-экономическими соображениями. Законы регулирования подразделяются на линейные и нелинейные.

Из регуляторов с нелинейными законами регулирования чаще всего применяют двух- и трехпозиционные регуляторы (позиционные регуляторы) [6, 7].

Регуляторы с линейными законами регулирования подразделяются на интегральные (И-регуляторы), пропорциональные (П-регуляторы), пропорционально-интегральные (ПИ-регуляторы), пропорционально-дифференциальные (ПД-регуляторы) и пропорционально-интегральные-дифференциальные (ПИД-регуляторы).

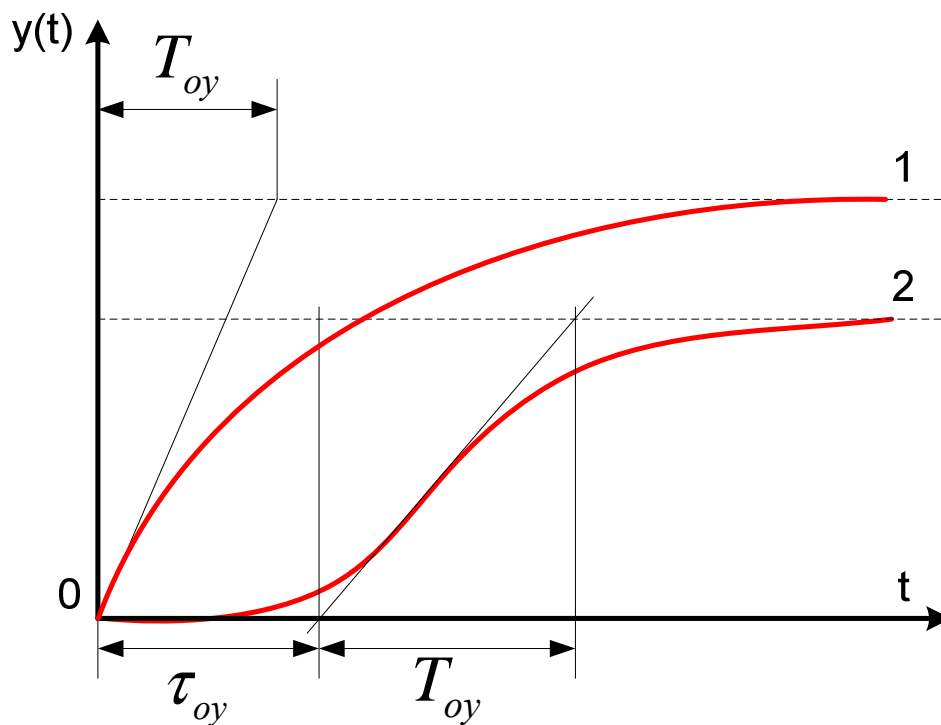


Рисунок 15 - Пример двух объектов с разными динамическими свойствами. (T_{oy} - постоянная времени объекта управления τ_{oy} - время чистого запаздывания объекта управления)

Позиционные регуляторы

Автоматические регуляторы, регулирующий орган которых может занимать ограниченное число определенных положений, называются позиционными. Они относятся к группе регуляторов прерывистого действия. Чаще всего применяют двух- и трехпозиционные регуляторы.

Затвор регулирующего органа двухпозиционных регуляторов может занимать только два положения — открытое или закрытое. Перемещение регулирующего органа из одного положения в другое происходит при достижении регулируемой величины заранее установленного (заданного) значения и осуществляется скачкообразно. Регулирующий орган трехпозиционных регуляторов кроме двух крайних имеет еще одно среднее положение, что способствует более плавному изменению управляемой величины [6, 7].

Интегральные регуляторы (И-регуляторы)

Интегральными называют такие регуляторы, одному и тому же значению регулируемой величины которых могут соответствовать различные положения регулирующего органа.

Пропорциональные регуляторы (П-регуляторы)

Пропорциональными называют такие регуляторы, отклонение регулируемой величины которых от заданного значения вызывает перемещение регулирующего органа на величину, пропорциональную величине этого отклонения.

Пропорциональные регуляторы могут применяться для регулирования процессов, протекающих в объектах как обладающих, так и не обладающих самовыравниванием.

Системам автоматического регулирования с П-регуляторами свойственно наличие статической ошибки, т. е. остаточного отклонения регулируемой величины. Величина этого отклонения тем больше, чем больше изменение регулируемой величины и чем больше предел пропорциональности. Увеличивая коэффициент усиления регулятора, можно уменьшить статическую ошибку регулирования, однако полностью устранить ее нельзя.

Пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы)

Пропорционально-интегральными называются регуляторы, изменение выходной величины которых пропорционально как изменению входной величины, так и интегралу ее изменения.

Для улучшения статических свойств ПИ-регуляторов их обратная связь осуществляется не по положению регулирующего органа, как в П-регуляторах, а по скорости его перемещения, где используется гибкая обратная связь. Такая связь работает только в переходном режиме регулирования.

Таким образом, аналогично И-регулятору ПИ-регулятор поддерживает постоянное значение регулируемой величины независимо от нагрузки объекта, при отклонении ее от заданного значения в начальный момент времени переместит регулирующий орган на величину, пропорциональную величине отклонения (как П-регулятор), а затем будет продолжать перемещение регулирующего органа до исчезновения статической ошибки (за счет гибкой обратной связи), т. е. приведет регулируемую величину к заданному значению.

Пропорционально-дифференциальный регулятор (ПД - регулятор)

ПД-регулятор объединяет функцию пропорционального регулятора с выполнением операции дифференцирования отклонения сигнала от величины уставки.

Пропорционально-интегральный-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор)

ПИД-регулятор объединяет в себе функции ПИ- и ПД-регуляторов. При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД-регулятор в начальный момент времени оказывает бесконечно большое воздействие, величина которого затем резко падает до значения, определяемого пропорциональной составляющей, после чего начинает оказывать влияние интегральная составляющая регулятора.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Курс лабораторных работ по дисциплине «Автоматика» предусматривает проведение 8 работ посвященных изучению:

- программного комплекса «МВТУ»;
- основных принципов контроля и законов регулирования в системах автоматического регулирования (САР);
- настройки и работы двухпозиционных, трехпозиционных и ПИД-регуляторов;
- методов количественной оценки влажности газов и средств ее контроля;
- датчиков температуры для промышленного применения, их классификации, и оценки их работы в системе автоматического управления температурой.

При подготовке к проведению лабораторной работы необходимо:

- ознакомиться с лабораторным оборудованием;
- ознакомиться с порядком выполнения работ, установить диапазон изменения всех измеряемых величин, а также значение уставок (у преподавателя).

Протокол с результатами испытания после окончания лабораторной работы следует подписать у преподавателя, ведущего занятия.

После выполнения лабораторной работы студент к следующему занятию оформляет отчет, который должен содержать:

- название лабораторной работы, ее цель;
- краткие, общие сведения об изучаемом лабораторном оборудовании;
- необходимый графический материал указанный преподавателем при выполнении лабораторной работы (принципиальная схема лабораторной установки, графики, снимки экрана);
- данные, полученные непосредственно из проводимых опытов;
- результаты обработки данных опытов с необходимыми пояснениями;
- графический материал отображающий полученные в ходе опытов значения измеряемых величин;
- оценку результатов испытаний.

При работе в лаборатории необходимо руководствоваться инструкциями по технике безопасности, учитывающими все специфические особенности лаборатории, такие как наличие высокого напряжения, легкодоступных для прикосновения токоведущих частей электрооборудования.

В лаборатории нельзя находиться в отсутствие преподавателя или лица, ответственного за технику безопасности.

При нахождении в лаборатории следует находиться в рабочей зоне, указанной преподавателем. С самого начала необходимо убедиться в том, что испытательный стенд находится в полностью обесточенном (отключенном) состоянии.

Все испытания проводятся бригадами не менее двух человек. Перед выполнением лабораторной работы необходимо получить вводные инструкции

преподавателя и внимательно ознакомиться с описанием лабораторного стенда и оборудованием.

Внимание! Включать лабораторные установки и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!

При обнаружении признаков неисправности, таких как: появление искрения, дыма, специфического запаха, аномальных показаний измерительных приборов и т.п., следует немедленно отключить все источники электроэнергии стенда и сообщить о случившемся преподавателю.

При возникновении реальной опасности травматизма для одного или нескольких присутствующих, участники испытания должны произвести срочное отключение лаборатории от всех источников электроэнергии выключением вводного автомата. Лаборатории должны иметь средства пожаротушения и оказания первой медицинской помощи. На первом занятии изучаются правила техники безопасности и проводится вводный инструктаж с последующей проверкой его усвоения, о чем составляется акт, подписываемый преподавателем, проводившем инструктаж, и всеми студентами.

ЧАСТЬ I

Лабораторная работа №1 ЗНАКОМСТВО С ИНТЕРФЕЙСОМ И ПРИНЦИПАМИ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «МВТУ»

Цель работы: знакомство с принципами построения моделей, с интерфейсом ПК "МВТУ" и приобретение элементарных навыков работы с ним.

Содержание работы:

- ознакомление с основной панелью программы;
- изучение основных элементов, позволяющих создавать модель и управлять ею;
- создание и исследование простейшей виртуальной модели.

Общие сведения

Принцип моделирования в ПК "МВТУ" состоит в создании и исследовании виртуального аналога реальной системы – модели. Модель функционирует в соответствии с теми же уравнениями, что и моделируемая система. При моделировании не обязательно записывать эти уравнения в явном виде, об этом позаботится программа. Модель составляется пользователем в специальном окне программы соединением отдельных виртуальных блоков, соответствующих элементам реальной системы.

Виртуальные блоки условно внешне представляются на рабочем пространстве окна модели прямоугольниками, т.е. они видимы исследователю, имеют входы и (или) выходы и функционируют в соответствии с определенными уравнениями, алгоритм решения которых реализуется в цифровом виде. Под функционированием виртуального блока понимается то, что он реагирует на виртуальные воздействия (функции времени), подаваемые другими блоками на его вход, определенным изменением величины выходного сигнала.

Взаимодействие между блоками условно отображается на рабочем пространстве окна модели в виде соединительных линий. Соединительные линии в ПК "МВТУ", как и блоки, являются однонаправленными, передают виртуальные воздействия только в одном направлении.

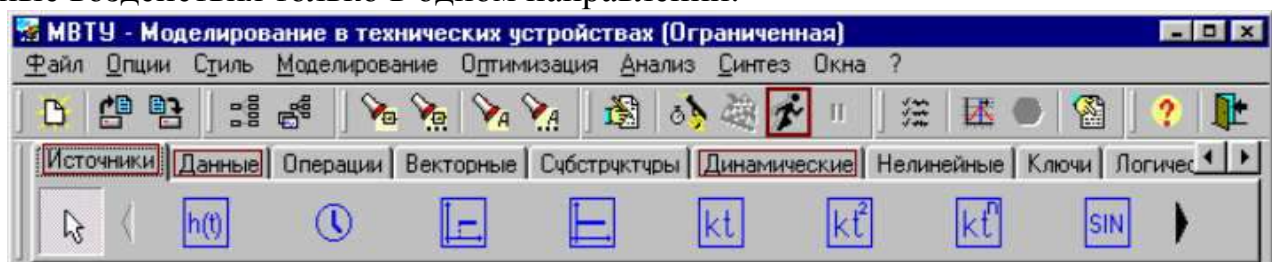


Рисунок 1 – Основная панель ПК "МВТУ".

Программный комплекс "МВТУ" использует развитый графический интерфейс, позволяющий основную часть создания модели выполнить с помощью мыши, а параметры элементов ввести с клавиатуры. Интерфейс ПК "МВТУ" состоит из основной панели (главного окна), имеющей меню и ряд кнопок управления, воспринимающих щелчки копков мыши, и совокупности окон, в которых строится модель и наблюдаются результаты ее работы.

На рисунке 1 выделены кнопка Пуск (Продолжить расчет) и три важных вкладки палитры блоков с наборами элементов (виртуальных блоков), которые будут использоваться при моделировании: **Источники** сигналов (генераторы) – вкладка открыта, **Данные** (индикаторы и регистраторы) и **Динамические** блоки (элементы линейных систем и систем в целом). Верхняя часть главного окна – панель управления. Она содержит меню и кнопки управления и настройки. Нижняя часть главного окна это т.н. **Палитра блоков** – структурированный набор вкладок, содержащих образцы моделей различных элементов, которые могут быть вынесены в окно модели (схемное окно). При необходимости палитра блоков может быть перенесена на другое место или вовсе удалена с экрана для освобождения места для схемы модели, индикаторов и др.

Основные элементы модели:

Генераторы сигналов размещены на вкладке **Источники** основной панели.

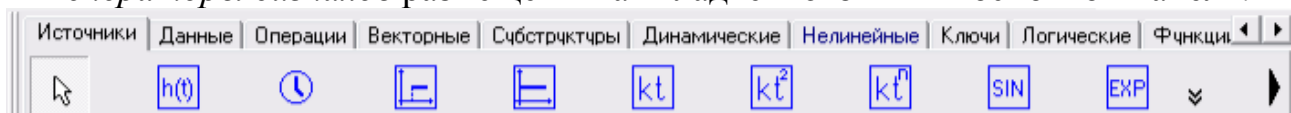


Рисунок 2 – Общий вид набора виртуальных генераторов, имеющих на вкладке **Источники**.

Важными источниками сигналов являются генераторы ступенчатого и синусоидального сигналов. Кнопка со стрелкой «вправо» позволяет посмотреть и другие источники сигналов.

Элементы линейных систем. Блоки, моделирующие элементы линейных систем и объектов различной сложности помещены на вкладке **Динамические**.

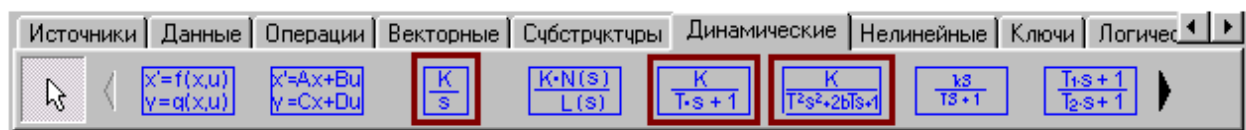


Рисунок 3 – Общий вид моделей элементов линейных систем, имеющих на вкладке **Динамические**.

Индикаторы и регистраторы.

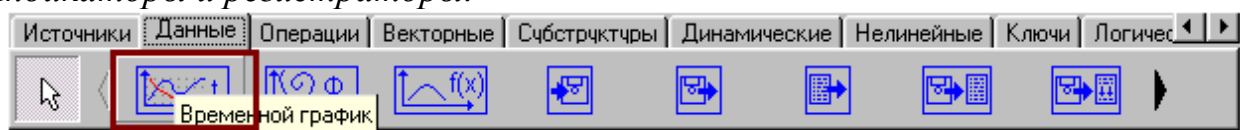


Рисунок 4 – Общий вид панели регистратора **Данные**.

Важный регистратор – виртуальный осциллограф (блок Временной график). Также программа позволяет создавать и собственные варианты индикаторов с помощью инструментов, расположенных на вкладке **Анимация** (в правой части **Палитры**).

Соединительные линии позволяют отобразить взаимодействие между отдельными элементами реальной системы. В ПК "МВТУ" соединительные линии однонаправленные: они передают виртуальные сигналы с выходов блоков на их входы. Это означает, что в моделируемых системах последующие блоки не должны влиять на работу предыдущих блоков. Такое требование следует выполнить при составлении функциональной схемы моделируемой системы, должным образом выделяя ее функциональные элементы. Линии проводятся от одного блока модели к другому с помощью мыши. Пример соединительных линий можно видеть в левом нижнем окне модели рисунка 5.

На рисунке 5 показана простая модель, состоящая всего из одного блока – апериодического звена и результаты его исследования, состоявшего в определении реакции этого звена на ступенчатое воздействие, так называемой переходной функции.

На левое нижнее окно модели вынесены генератор ступенчатого сигнала, апериодическое звено, осциллограф и соединены друг с другом. При запуске модели, нажатием на кнопку *Пуск* (Продолжить расчет CTRL+ F9), на осциллографе появляется график реакции звена на ступенчатое воздействие – его переходная функция. Виртуальный генератор в нулевой момент времени подает на вход апериодического звена ступенчатое единичное воздействие, на которое звено откликается все замедляющимся ростом выходного сигнала. Виртуальный осциллограф позволяет увидеть изменение выходного сигнала звена с течением времени и проанализировать его.

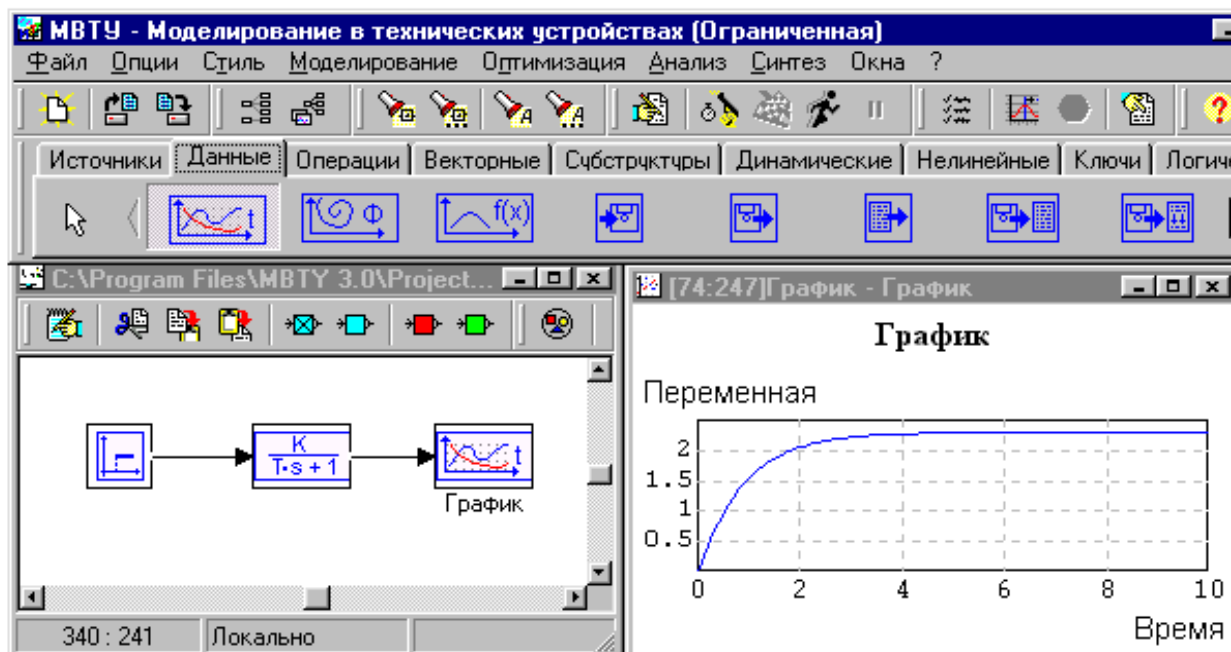


Рисунок 5 – Общий вид простой модели.

Поясняющие надписи, сопровождающие модели, позволяют облегчить ее восприятие и работу с ней. В пояснении нужно указать кто, когда и какую модель создал. В "МВТУ" можно создавать пояснения двух видов: заметку, текст которой виден вместе с блоками модели и комментарий, текст которого открывается в отдельном окне, при двукратном щелчке по квадратному блоку со знаком вопроса. Блоки заметки (без обозначения) и комментария (квадрат со знаком вопроса) «затерялись» в правой части вкладки **Субструктуры** (рисунок 6). Внизу показано окно просмотра и редактирования комментария.

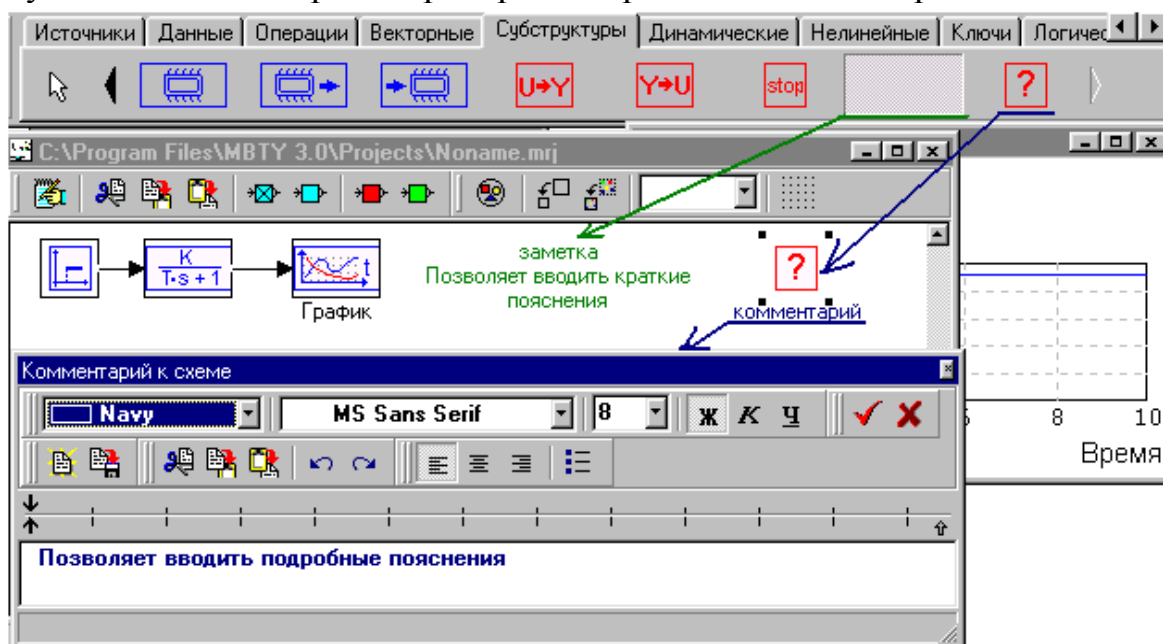


Рисунок 6 – Общий вид рабочего пространства окна модели с вкладки **Субструктуры**.

Создание и исследование простейшей виртуальной модели (исследование апериодического звена).

1. Выбрать в главном меню **Файл -> Создать** или щелкнуть по соответствующей иконке основной панели. Ниже основного окна появится окно модели C:\Program Files\MBTY 3.0\Projects\Noname.mrj.
2. Поместить на рабочее пространство окна модели блоки генератора ступенчатого сигнала с вкладки **Источники**, апериодического звена с вкладки **Динамические**, осциллографа (Временной график) с вкладки **Данные**. Для помещения блока следует щелкнуть по его обозначению на вкладке палитры, перенести курсор на нужное место рабочего пространства окна модели и вновь щелкнуть левой кнопкой.
3. Выводить расположение блоков и соединить их. Соединение блоков требует определенной сноровки и навыка. Для соединения нужно щелкать на выходе одного блока, курсор принимает вид прицела, и при отпущенной кнопке мыши перемещать курсор к входу другого блока, где вновь щелкать левой кнопкой. Если соединительная линия не удалась, то ее можно удалить, щелкнув по ней правой клавишей и выбрав пункт меню **Удалить линию в связи**.

4. Дважды щелкнуть по блоку осциллографа (График), его появившееся окно переместить на свободное место вправо и подравнять размеры и расположение окон (рисунок 7).

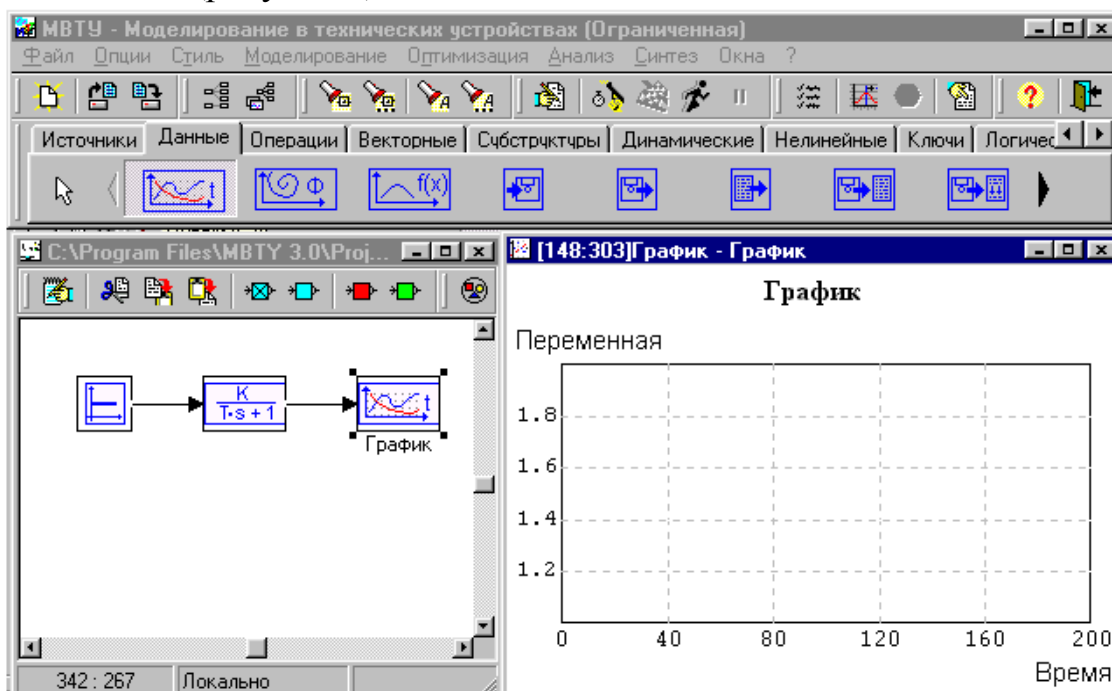


Рисунок 7 – Размещение окна виртуального осциллографа.

Задание свойств блока аperiodического звена. Передаточная функция аperiodического звена имеет вид:

$$W(s) = \frac{k}{pT + 1}$$

где k – коэффициент усиления звена;
 T – постоянная времени звена.

Щелкнуть правой клавишей по аperiodическому звену в окне модели, в появившемся меню выбрать **Свойства**. В появившемся окне ввести значение коэффициента усиления 2.3 и значение постоянной времени звена 0.9 сек (рисунок 8) и щелкнуть по кнопке **Да**.

5. Запуск программы на счет: Щелкнуть по кнопке *Пуск* (Продолжить расчет Ctrl+F9) на основной панели. На вход аperiodического звена будет подан ступенчатый виртуальный сигнал, на который блок отреагирует постепенным, все более медленным возрастанием сигнала до его устанавливающегося значения. Отметим, что появится окно с пугающим предупреждением о том, что заданная точность не обеспечивается. Но это предупреждение относится только к первому шагу интегрирования, поэтому его окно следует просто закрыть и можно анализировать полученную переходную характеристику.

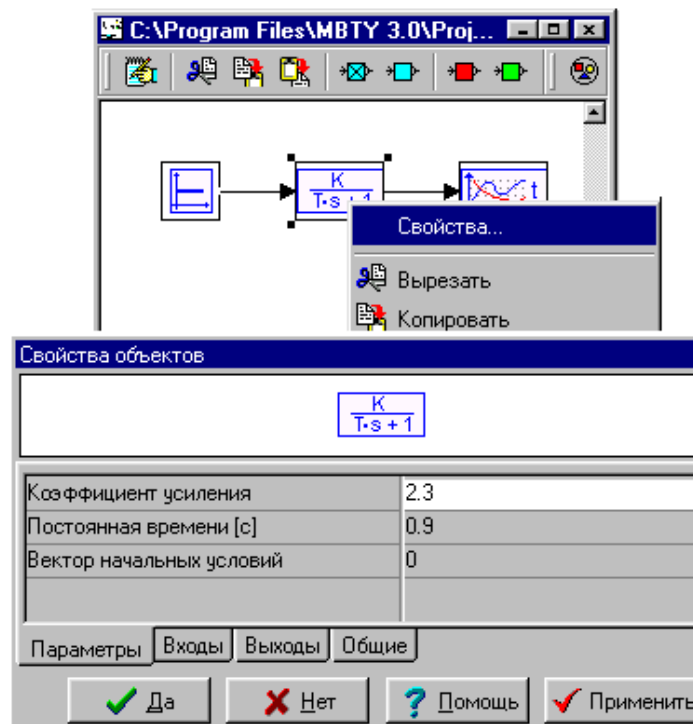


Рисунок 8 – Задание коэффициента усиления и постоянной времени исследуемого апериодического звена.

6. Переходная функция апериодического звена имеет вид:

$$h(t) = k \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)$$

Переходная функция апериодического звена с течением времени стремится к значению его коэффициента усиления, а касательная, проведенная в нулевой момент времени к кривой переходного процесса, пересекает уровень стабилизации сигнала в момент времени, равный постоянной времени звена. Это позволяет определять параметры апериодического звена по его известной переходной характеристике. Меняя коэффициент усиления и постоянную времени звена, снять параметры апериодического звена [13].

Отчет о лабораторной работе

Отчет о работе должен содержать титульный лист, цель и задачи работы, снимки экрана с полученными переходными характеристиками апериодического звена, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип построения модели в ПК "МВТУ".
2. Что такое графический интерфейс программы?
3. Назовите основные элементы главного окна ПК "МВТУ".
4. Как определить параметры апериодического звена (коэффициент усиления и постоянную времени) по его переходной характеристике?
5. Как запустить новый проект? Как открыть созданную ранее модель?

Лабораторная работа №2

ЗНАКОМСТВО С ИНСТРУМЕНТАМИ ЧАСТОТНОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: освоение порядка построения частотных характеристик системы автоматического регулирования (САР) и их краткий анализ.

Содержание работы:

- построение модели САР третьего порядка и подготовка ее для проведения частотного анализа;
- построение годографа Найквиста (годографа комплексного коэффициента передачи разомкнутой САР);
- построение логарифмических частотных характеристик разомкнутой САР;
- структурно-параметрическая коррекция САР.

Общие сведения

Частотные характеристики линейной САР позволяют косвенно судить о ее качестве. Более того, эти характеристики позволяют оптимизировать параметры и структуру САР для получения требуемых ее свойств. Частотные характеристики представляют в той или иной форме зависимость коэффициента усиления системой синусоидального сигнала от частоты этого сигнала. Анализируя частотные характеристики системы можно установить степень ее устойчивости и определить меры для ее стабилизации. Анализ частотных характеристик проводится с помощью критериев устойчивости Михайлова и Найквиста.

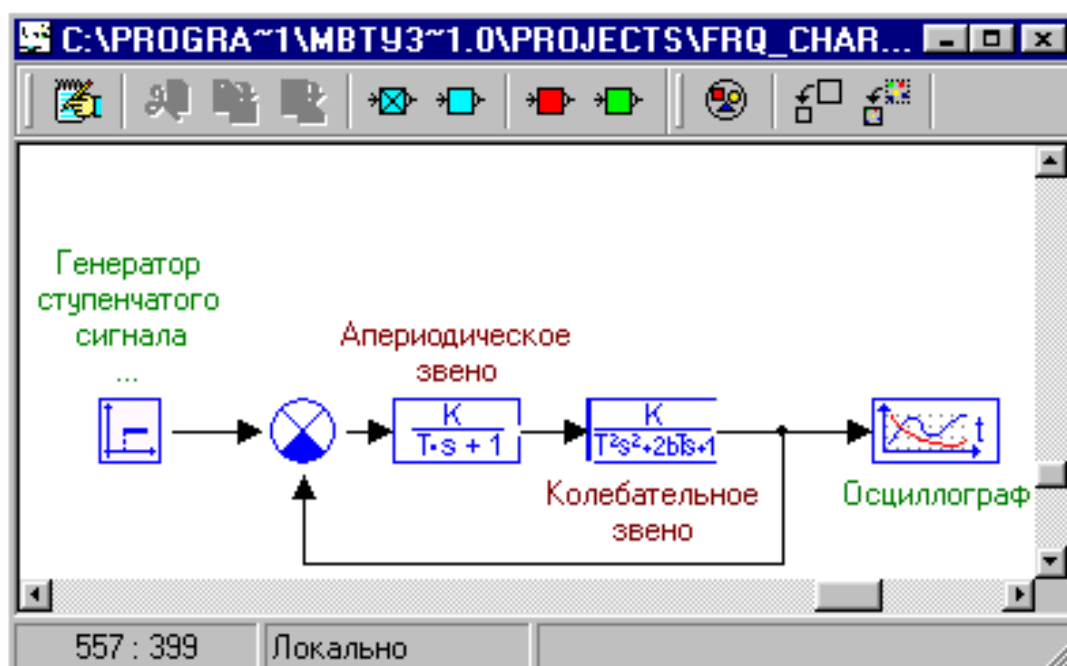


Рисунок 1 – Модель САР частоты вращения вала двигателя постоянного тока (ДПТ).

Ниже проведено рассмотрение способов построения частотных характеристик и их анализа на примере САР третьего порядка, наиболее простой из САР, способных терять устойчивость. Поскольку цель работы прежде всего состоит в освоении инструментов ПК "МВТУ", пример выбран так, чтобы большинство настроек сохранялось по умолчанию, с тем, чтобы легче было ухватить общую идею работы с инструментами и создать базу для изучения нюансов и подробностей.

Порядок построения модели

В качестве примера выберем очень простую одноконтурную схему системы автоматического регулирования частоты вращения вала двигателя постоянного тока (рисунок 1).

П-регулятор и тиристорный преобразователь моделируются апериодическим звеном, а двигатель – колебательным звеном. Назначение рассматриваемой САР – поддержание частоты вращения вала двигателя в соответствии с величиной задающего воздействия, поступающего на устройство сравнения системы регулирования. Для изучения характеристик САР, на нее в данном случае подается сравнительно сложный для восприятия, быстро меняющийся в нулевой момент времени ступенчатый сигнал. Можно считать, что если система удовлетворительно отследит этот быстрый сигнал, то при работе в реальных условиях, когда большую часть времени на нее поступают плавные сигналы, качество слежения, т.е. поддержания требуемого значения частоты вращения, будет еще лучше.

Контур моделируемой САР включает в себя П-регулятор, тиристорный преобразователь и двигатель постоянного тока. Для упрощения модели в данном случае П-регулятор объединен с тиристорным преобразователем, так, что они совокупно моделируются апериодическим звеном с коэффициентом усиления, равным произведению их коэффициентов усиления. Двигатель постоянного тока (ДПТ) моделируется колебательным звеном, влияние возмущений на работу ДПТ в данном учебном примере не рассматривается. В обратной связи реальной САР установлен тахогенератор – датчик частоты вращения вала. Это безынерционное пропорциональное звено, которое мы отнесем к ДПТ, скорректировав его коэффициент усиления, с тем, чтобы сделать обратную связь единичной. Т.о. схема приведена к типовому виду рисунок 1. Апериодическое звено можно рассматривать как обобщенную модель регулятора, а колебательное звено – как объект управления.

Построение модели

Порядок вынесения блоков в окно модели и их соединения вам известен из первой лабораторной работы. В дополнение к тем блокам, которые уже рассматривались в лабораторной работе 1, в схеме рисунка 1 установлен блок сравнения (**Сравнивающее устройство**) с вкладки **Операции** палитры блоков. Этот блок вычисляет сигнал ошибки, т.е. разность между сигналом задания, по-

ступающим слева, и выходным сигналом колебательного звена, пропорциональным частоте вращения вала двигателя.

На схеме рисунка 1 появился еще один новый элемент – **ветвление**. После того, как выход колебательного звена подключен к входу осциллографа, от этой линии следует сделать ответвление к нижнему входу сравнивающего устройства. Один из простых способов проведения линии состоит в следующем. Необходимо, все время удерживая нажатой клавишу Ctrl щелкнуть по линии правой кнопкой мыши. На линии появится точка. Продолжая удерживать Ctrl, щелкнуть по точке левой кнопкой мыши. Курсор примет вид прицела. Продолжая удерживать клавишу Ctrl, перемещать курсор к точкам поворота линии, где щелкать левой клавишей. Продолжать действия вплоть до подключения линии к входу блока, после чего отпустить клавишу Ctrl. С течением времени это операция не будет встречать затруднений, но на первом этапе, если линия получится неудачной, ее можно удалить, щелкнув по ней правой клавишей и выбрав в выпавшем меню **Удалить линию в связи (Ctrl+Del)**. Далее следует задать значения коэффициентов усиления блоков регулятора и двигателя. Дважды щелкнув по апериодическому звену, введем в появившемся окне коэффициент усиления 2.1 и щелкнем **Да** (рисунок 3).



Рисунок 2 – Порядок создания ветвления и проведения линии связи.

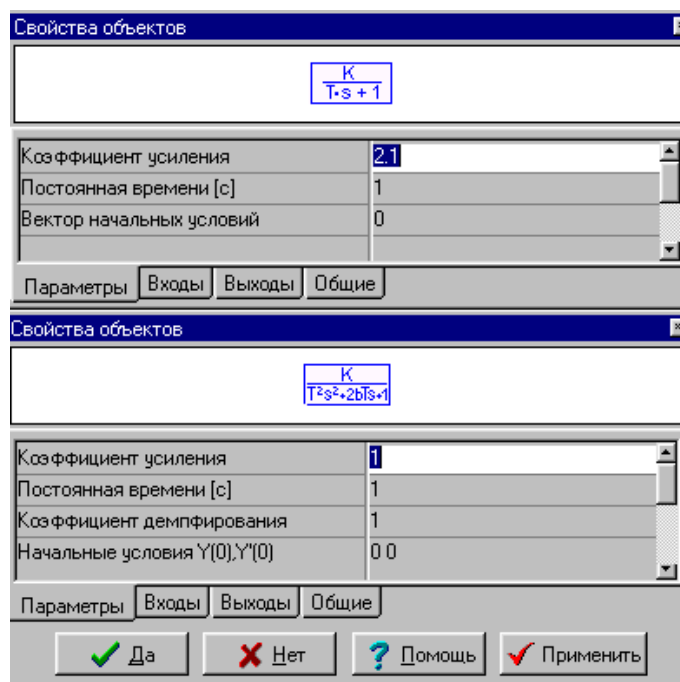


Рисунок 3 – Диалоговые окна для установки значений параметров апериодического и колебательного звеньев.

Аналогичную операцию проделаем с колебательным звеном, убедимся, что его коэффициент усиления равен 1 и нажмем Да.

Схема построена, параметры введены. Остается дважды щелкнуть по блоку осциллографа в окне модели, переместить появившееся окно графика в правую часть экрана и подравнять его размеры так, как показано на рисунке 4. Запустить модель, щелчком по кнопке *Пуск* (Продолжить расчет).

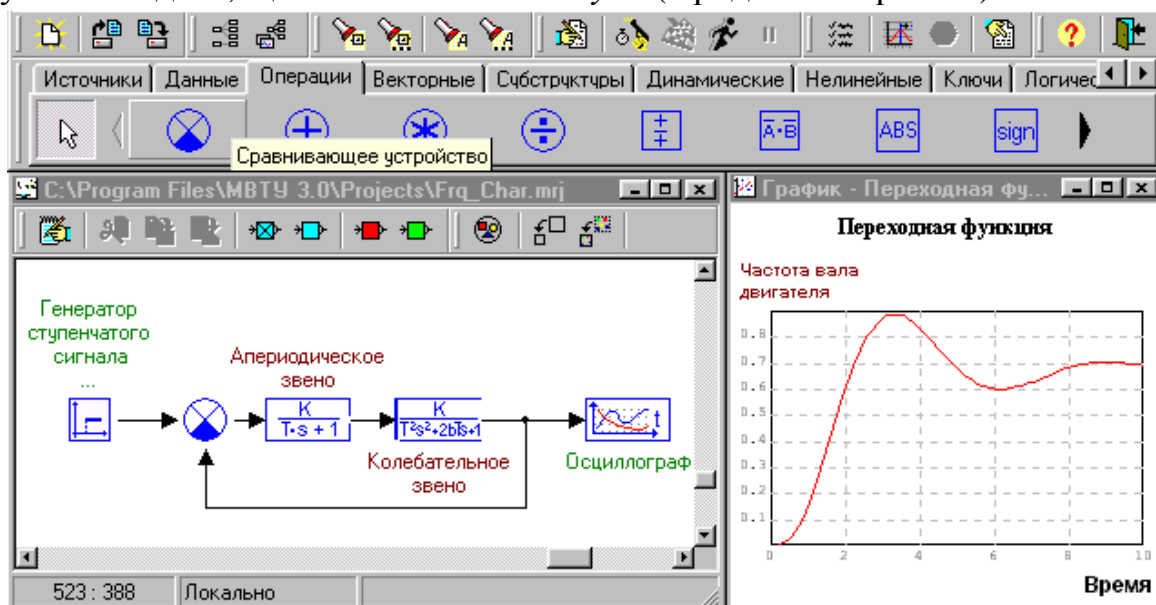


Рисунок 4 – Исходная схема САР и график ее переходной функции.

Как видно на рис.4, заданные значения коэффициентов усиления и других параметров, оставленных по умолчанию, привели к устойчивой системе, но переходная функция стремится к стационарному значению со значительным перереколебанием.



Рисунок 5 – Изменение переходной функции САР.

По мере увеличения коэффициента усиления аperiodического звена, а значит и всего контура, переходная функция становится все более колебательной и в итоге система теряет устойчивость: размах свободных колебаний при неизменном входном сигнале становится все больше с течением времени. Это приводит к ухудшению устойчивости системы и одновременно улучшает каче-

ство ее в установившемся режиме. Задача проектировщика найти здесь разумный компромисс.

Подготовка модели к проведению её частотного анализа.

Для проведения частотного анализа модели нужно указать, какие ее звенья будут подвергнуты такому анализу. Для этого следует отметить условный вход анализируемого фрагмента схемы и его условный выход. В данном случае условным входом будет вход САР, а условным выходом – ее выход.

В программном комплексе "МВТУ" условный вход и условный выход обозначают с помощью блока **В память**, расположенном на вкладке **Субструктуры** (рис.6). Два таких блока следует вынести на окно модели и присоединить к входу и к выходу САР. Двойным щелчком по блоку, присоединенному ко входу САР вызвать окно задания названий переменных и изменить название **Y1** на более содержательное: **Вход**. Переменную **Y2** назвать **Выход** аналогичным образом. Для украшения схемы введем поясняющие надписи к этим блокам. Щелчком правой кнопки по левому блоку вызовем меню, выберем **Свойства** и на вкладке **Общие** введем поясняющую надпись **sin(wt)**, что напомним о том, что частотный анализ проводится с использованием гармонического сигнала, частота которого изменяется в некоторых пределах. Аналогично, для правого блока запишем **A*sin(wt+fi)**, что поясняет то, что линейная система изменяет амплитуду и начальную фазу синусоидального сигнала, на нее подаваемого и эти изменения зависят от частоты.

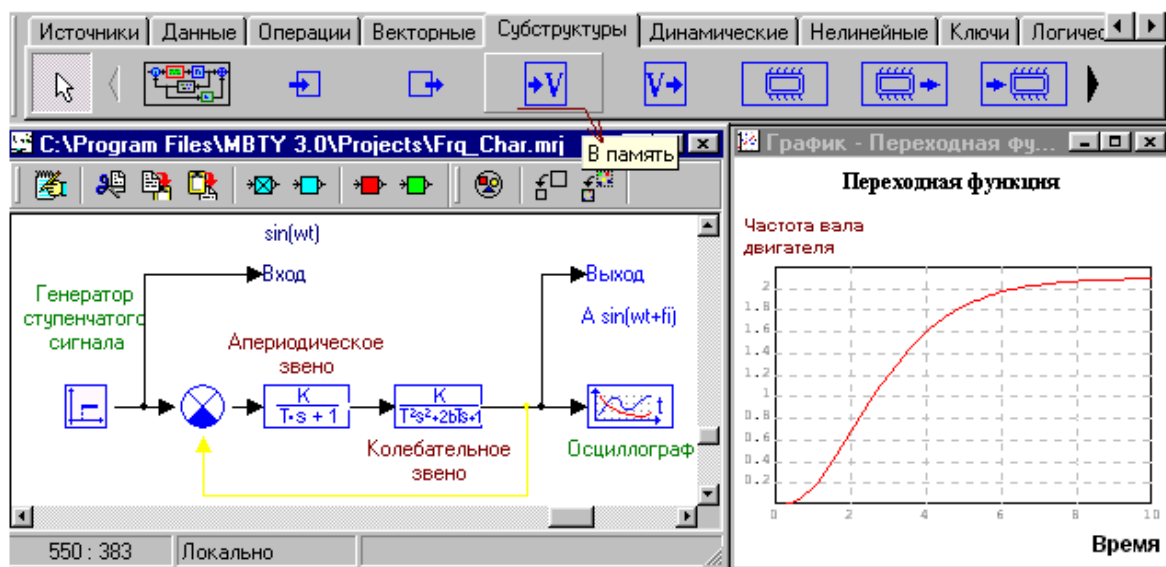


Рисунок 6 – Общий вид моделируемой САР.

Указание условных входа и выхода анализируемого фрагмента схемы с помощью двух блоков **В память** с вкладки **Субструктуры**. Обратная связь, условно показанная желтым цветом, изображена на схеме, но фактически отсутствует, поскольку весовой коэффициент по нижнему входу устройства сравнения задан равным нулю (см. рисунок 7), т.о. контур САР разомкнут. Переходная функция разомкнутой САР монотонно и асимптотически стремится к своему максимуму. Следовательно, разомкнутый контур устойчив.

Отметим, что в соответствии с критериями устойчивости частотному анализу должна быть подвергнута разомкнутая САР. Особенность ПК "МВТУ" в том, что он проверяет, все ли входы и выходы соединены и если это не так, то не позволяет проводить моделирование. Поэтому не всегда можно разорвать обратную связь удалением соединительной линии. В данном случае можно просто установить коэффициент веса сравнивающего устройства по нижнему входу равным нулю. Для этого следует дважды щелкнуть по устройству сравнения в окне модели и в появившемся окне заменить второй весовой множитель с -1 на 0 (рисунок 7).

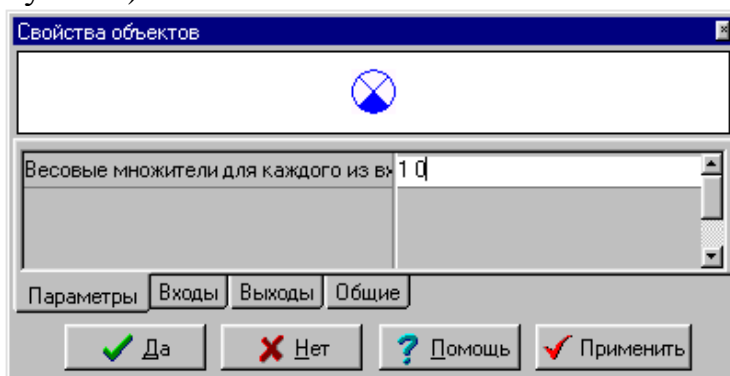


Рисунок 7 – Общий вид свойства объекта.

Оценка устойчивости замкнутой САР по критерию Найквиста.

Полезную работу выполняет замкнутая САР, она-то и должна быть устойчивой. Годограф комплексного коэффициента передачи разомкнутой САР позволяет с помощью критерия Найквиста судить не только о факте, но, косвенно, и о степени устойчивости замкнутой САР. По этому годографу можно определить косвенные параметры качества: запасы устойчивости САР по амплитуде и по фазе.

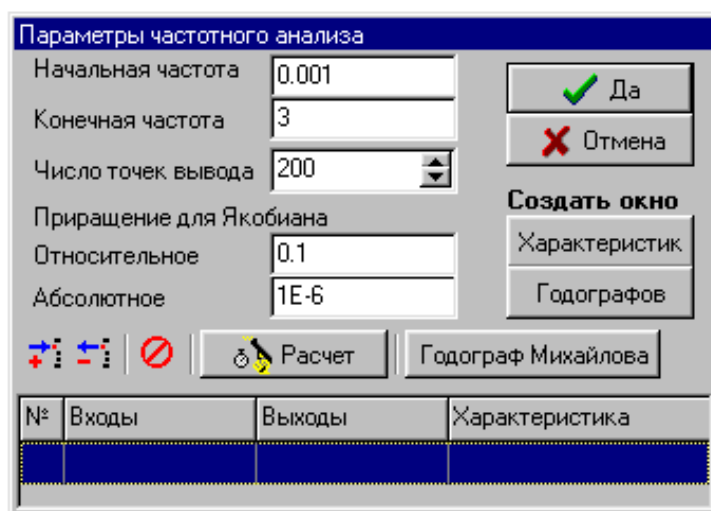
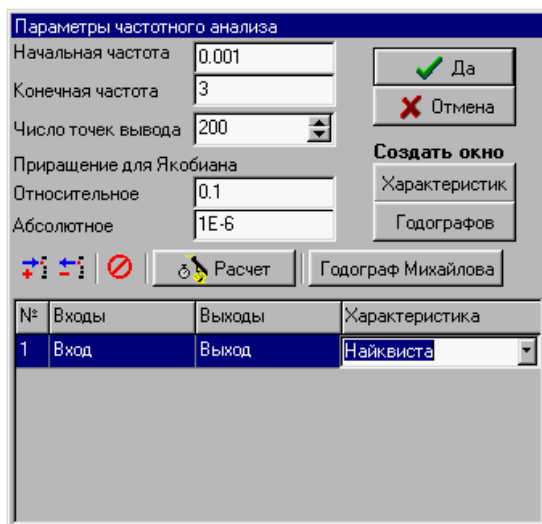


Рисунок 8 – Окно задания параметров частотного анализа для построения годографа Михайлова (годографа характеристического полинома разомкнутой САР).

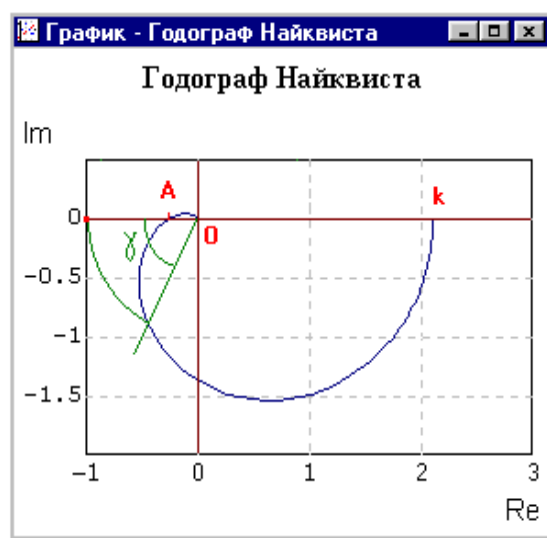
Выберете **Анализ – Частотный анализ** – появится окно **Параметры частотного анализа**, в котором следует выбрать пункт – **Создать окно Годографов**. Появятся окно годографов, которое временно нужно убрать на задний план, а на передний вызвать окно **Параметры частотного анализа**, рисунок 8.

В нем следует выбрать построение годографа Найквиста. Для этого нужно щелкнуть в окне **Параметры частотного анализа** по кнопке с красным плюсом +, в результате чего в нижнем поле появится нумерованная строка с номером 1. Щелкнуть по синей графе **Входы** и в появившемся окне выбрать переменную **Вход**, введенную нами ранее в блоке **В память**, определившем начало фрагмента анализируемой схемы (рисунок 6). В следующей графе **Выходы** аналогичным способом выбрать переменную **Выход**. В последней графе выбрать **Найквиста** (рисунок 9а).

Нажать на кнопку **Расчет** в окне **Параметры частотного анализа** и через короткое время годограф будет построен. При конечной частоте 3 рад/сек (рисунок 9а) годограф слегка не дошел до начала координат, поэтому изменим значение конечной частоты на 100 и вновь щелкнем по кнопке **Расчет**. Оформим внешний вид окна, в частности сделаем одинаковыми масштабы осей. Результат на рисунке 9б.



а)



б)

Рисунок 9 – а) Окно параметров частотного анализа САР б) графическое представление годографа Найквиста.

На рисунке 9б изображен Годограф комплексного коэффициента передачи разомкнутого контура САР с дополнительной прорисовкой. Выделена точка $(-1, 0j)$. Если годограф не охватывает эту точку, как в данном случае, замкнутая система устойчива. Отметим, что для правильной оценки запаса по фазе, масштабы осей должны быть одинаковыми. Точка А на рисунке 9б соответствует значению комплексного коэффициента передачи $W(j\omega)$ на частоте ω_π . Частота, на которой модуль коэффициента передачи равен единице называется частотой среза $\omega_{ср}$.

Анализируемая САР имеет хорошие запасы устойчивости по амплитуде $1/OA = 1/0.25 = 4$ раза = 12 дБ и по фазе $\gamma = 72^\circ$. Это свидетельствует о том, что в переходном режиме качество САР будет вполне удовлетворительным. В то же

время, коэффициент усиления контура равен $k = 2.1 = 6$ дБ, что косвенно говорит о низком качестве работы моделируемой САР в установившемся режиме. Эта величина должна составлять для статической системы $20 \div 40$ дБ. Отсюда следует, что для обеспечения удовлетворительного качества работы системы необходима структурная коррекция исходной САР, которая может быть осуществлена введением ПИ-регулятора в контур управления.

Коррекция САР с использованием логарифмических частотных характеристик

Логарифмические частотные характеристики содержат ту же информацию, что и годограф комплексного коэффициента передачи, но представлена она в ином виде, что в ряде случаев упрощает анализ свойств системы и выбор мер по ее коррекции. ЛАЧХ и ЛФЧХ могут, как и годограф комплексного коэффициента передачи, анализироваться с позиций критерия Найквиста.

Порядок построения ЛАЧХ и ЛФЧХ

Порядок построения ЛАЧХ и ЛФЧХ в ПК "МВТУ" прост и состоит в следующем. Для модели рис.6 в главном меню ПК "МВТУ" выбрать: **Анализ – Частотный анализ**, в окне **Параметры частотного анализа** выбрать **Создать окно Характеристики**, перевести на передний план окно **Параметры частотного анализа**, в котором появилось внизу поле выбора анализируемого фрагмента схемы. Дважды нажать кнопку **+**, в нижнем поле появятся две нумерованные строки, в которых следует указать, щелкая по соответствующим графам, названия переменных **Вход** и **Выход**, а также для первой строки выбрать **ЛАХ**, а для второй **ФЧХ** (см. рисунок 10). Остается щелкнуть по кнопке **Расчет** и получить график с характеристиками.

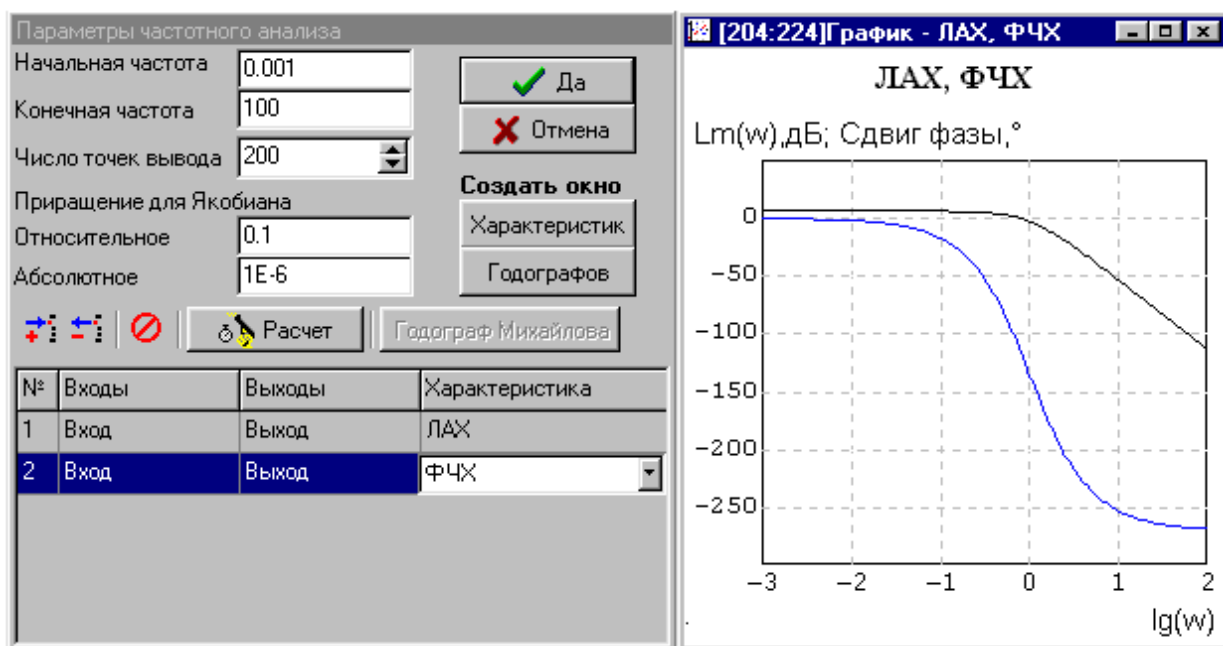


Рисунок 10 – Графики ЛАЧХ и ЛФЧХ САР.

Косвенная оценка качества САР

Полученные графики могут быть масштабированы иным образом для упрощения анализа (рисунок 11).

Изменения масштабов графиков позволяет более подробно увидеть поведение ЛФЧХ – левый рисунок и более точно (правый график) определить запасы устойчивости по фазе и амплитуде, которые в данном случае составляют: по фазе $\gamma=72^\circ$ и по амплитуде $L=12$ дБ, что согласуется со значениями, полученными на рис. 12 по годографу комплексного коэффициента передачи. Усиление на нижних частотах (коэффициент усиления разомкнутого контура) 6 дБ – недостаточно, качество статической САР в установившемся режиме будет низким.

Для упрощения просмотра и анализа ЛФЧХ целесообразно выбирать шаг разметки оси ординат равным 15° , 30° , 45° или 90° , так, чтобы была видна линия -180° . ЛАЧХ удобнее анализировать при шаге разметки в 20 дБ или кратном этому значению.

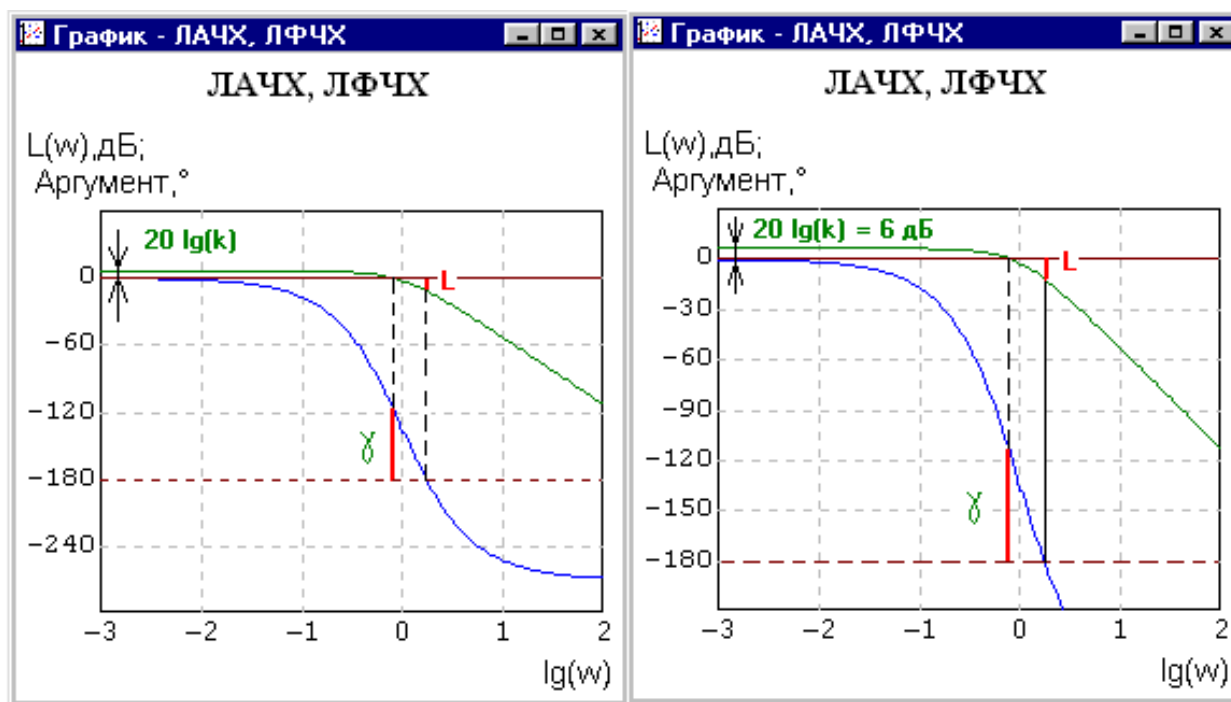


Рисунок 11 – Изменения масштабов графиков ЛАЧХ, ЛФЧХ.

Качество любой статической САР, конкретный вариант которой рассматривается здесь в примере, при присущем ей быстродействию удовлетворительно, если выполняются три условия:

1. запас по фазе находится в пределах $40^\circ \div 70^\circ$ и более;
2. запас устойчивости по амплитуде находится в интервале $6 \div 12 \div 20$ дБ;
3. коэффициент усиления контура равен $20 \div 40$ дБ.

Изменением коэффициента усиления контура всегда можно выполнить первое и второе условия, но одновременно выполнить и третье удастся не всегда. Как видно на рисунке 11, в рассматриваемой системе выполняются только первые два условия. Это говорит о том, что качество САР при работе в устано-

вившемся режиме будет неудовлетворительным. Увеличением усиления контура можно попробовать выполнить третье условие, но при этом значения запасов уменьшаются ниже допустимого минимума. Поэтому для коррекции данной системы в контур следует ввести ПИ-регулятор.

Отметим, что быстродействие САР характеризуется временем регулирования, примерно равным утроенному значению обратной величины $1/\omega_{\text{ср}}$ частоты среза $\omega_{\text{ср}}$, частоты на которой ЛАЧХ пересекает ось частот (абсцисс). В данном примере будем считать, что полученное быстродействие устраивает заказчика системы, и не будем его корректировать.

Структурная коррекция САР

Определение настроечных параметров ПИ-регулятора

Простая методика определения его настроечных параметров для случая, когда выполнены первое и второе условия, предлагается ниже. Передаточную функцию ПИ-регулятора запишем в виде:

$$W(s) = \frac{k}{pT + 1} \quad (1)$$

Для удобства построения следует изменить масштаб графика с тем, чтобы можно было более крупно видеть участок ЛАЧХ, на котором ее наклон изменяется с 0 дБ/дек на -20 дБ/дек, и было бы удобно строить линии с наклоном -20 дБ/дек. Далее следует провести касательные к ЛАЧХ с наклонами 0 дБ/дек и -20 дБ/дек. Точка пересечения касательных дает частоту сопряжения, обратную к искомой постоянной времени T_p ПИ-регулятора (рисунок 12).

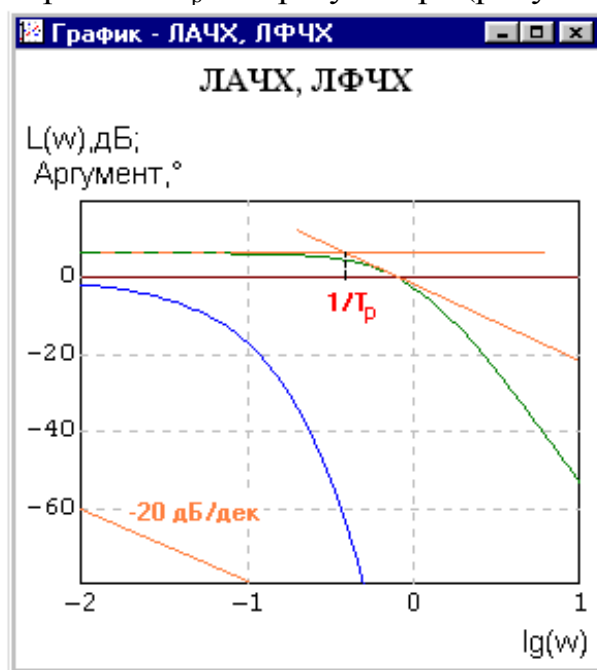


Рисунок 12 – Определение постоянной времени T_p ПИ-регулятора.

На рисунке 12 видно, что $\lg(1/T_p) = -0.39$, поэтому $1/T_p = 0.4$, следовательно $T_p = 2.5$ сек. Начальное значение коэффициента усиления k ПИ-регулятора следует взять равным 0.5. При необходимости эту величину можно будет уточ-

нить по виду результирующей переходной функции замкнутой САР, но, как правило, это значение удачное. Т.о. передаточная функция ПИ-регулятора для рассматриваемой САР примет вид:

$$W(s) = 0.5 \frac{2.5s + 1}{2.5s} \rightarrow W(s) = \frac{0.5 + 1.25s}{2.5s} \quad (2)$$

Модификация схемы

В схеме рис.6 освободим место для вставки блока ПИ-регулятора: увеличим размер окна модели, сдвинем вправо блоки апериодического, колебательного звеньев и осциллографа, уберем некоторые подписи блоков, удалим линию связи от устройства сравнения к апериодическому звену, куда будет вставлен ПИ-регулятор. Подравняем линии связей, при необходимости заменяя их на новые.

В качестве ПИ-регулятора в данном примере для простоты будет использован линейный блок общего вида, хотя ПИ-регулятор может быть реализован и другими способами. Итак, вынесем на рабочее пространство окна модели линейный блок ($W(s)$ общего вида) с вкладки Палитры **Динамические** блоки и соединим его с устройством сравнения и апериодическим звеном. В результате будет получена схема рисунок 13.

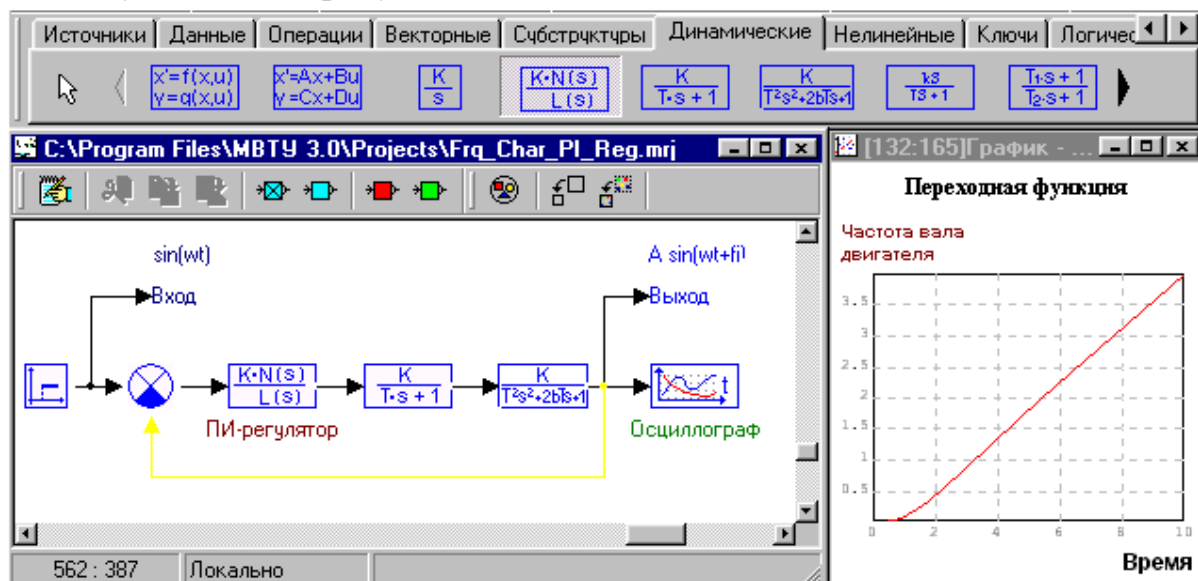


Рисунок 13 – Скорректированная схема разомкнутой САР частоты вращения вала двигателя постоянного тока.

Разомкнутая обратная связь условно показана желтым цветом. Ввиду наличия интегратора в контуре переходная характеристика разомкнутой системы линейно и неограниченно растет с течением времени. Далее следует установить значения коэффициентов полиномов линейного блока с тем, чтобы его передаточная функция приняла вид (2). Для этого нужно дважды щелкнуть по блоку и в появившемся окне ввести коэффициенты в порядке возрастания степеней (рисунок 14). Задание коэффициентов линейного блока общего вида с тем, чтобы

он выполнял функции ПИ-регулятора. Во второй строке на первом месте стоит ноль и через пробел введен коэффициент 2.5 члена первой степени, что в совокупности соответствует интегратору.

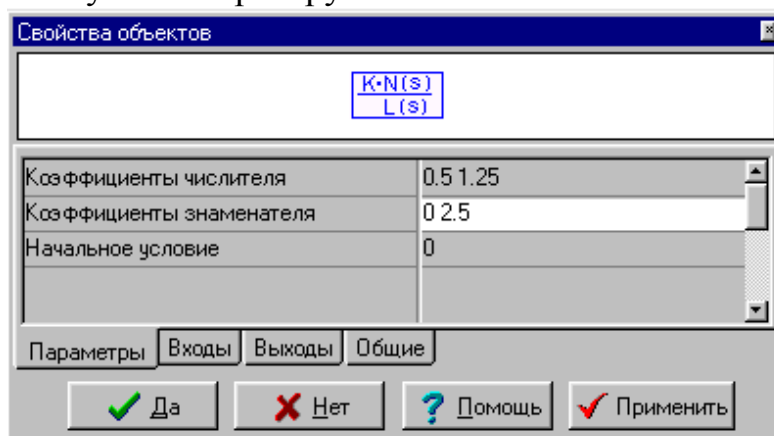


Рисунок 14 – Скорректированная схема разомкнутой САР частоты вращения вала двигателя постоянного тока.

Косвенная оценка качества САР с ПИ-регулятором

Качество переходного режима астатической САР косвенно характеризуется запасами устойчивости по амплитуде и фазе.

Запустить работу модели щелчком по кнопке **Пуск**. Поскольку ПИ-регулятор структурно содержит интегратор, переходная функция разомкнутой САР после окончания переходного процесса линейно изменяется с течением времени (рисунок 13).

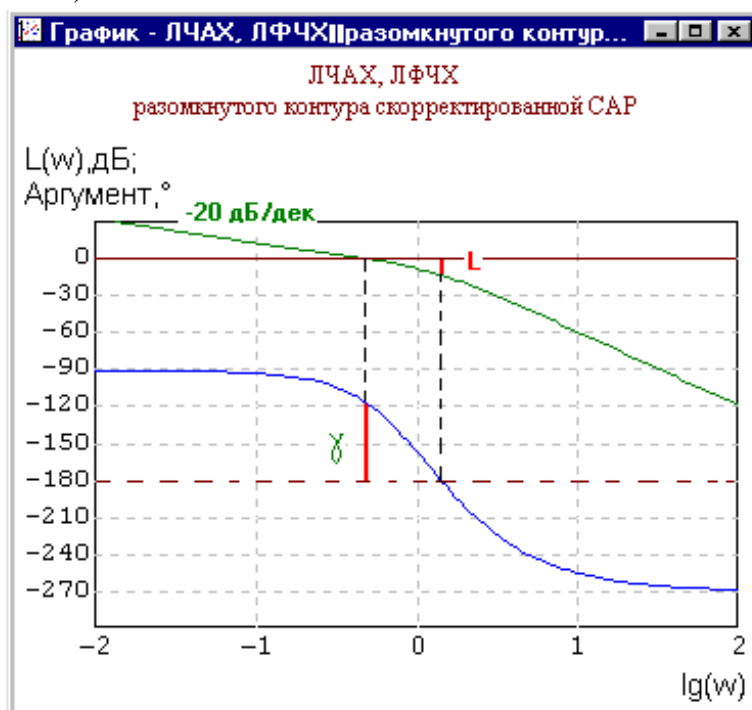


Рисунок 15 – ЛАЧХ и ЛФЧХ скорректированной САР.

Построим ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутого контура скорректированной системы: **Анализ – Частотный анализ** и в окне **Параметры частотного анализа**

выберем Создать окно **Характеристик**, щелкнем по кнопке **Расчет** (см. рисунок 11). В результате появится окно с графиками, которому можно придать вид.

Запас устойчивости по фазе составляет 74° , а по амплитуде 12 дБ. На нижних частотах ЛАЧХ идет с наклоном -20 дБ/дек, а ЛФЧХ близка к -90° . Это обусловлено наличием в контуре управления интегратора, являющегося составной частью ПИ-регулятора. Как видно на рисунке 15, все требования к косвенным параметрам качества астатической САР выполнены, следовательно, можно ожидать, что качество скорректированной САР будет по крайней мере удовлетворительным.

Оценка качества скорректированной САР

Остается проверить качество переходного режима скорректированной замкнутой САР. Для этого следует замкнуть обратную связь введением второго весового коэффициента устройства сравнения равного -1. Дважды щелкнуть по устройству сравнения в окне модели и в появившемся окне заменить второй весовой множитель с 0 на -1 (рисунок 16). Щелкнуть по кнопке **Да**.

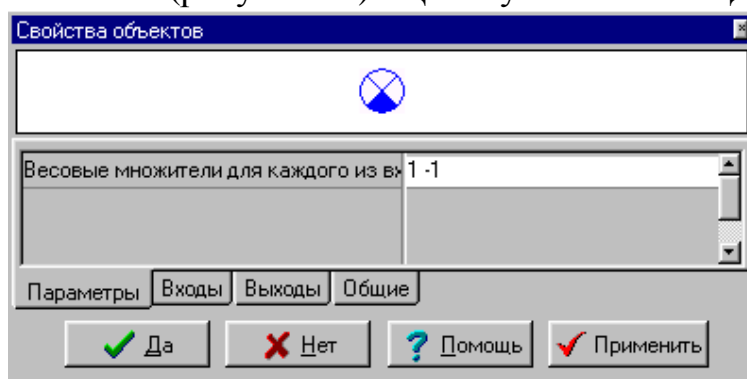


Рисунок 16 – Общий вид окна.

Запустить процесс моделирования кнопкой **Пуск**. Будет построена переходная характеристика замкнутой скорректированной САР. После уточнения масштаба и времени интегрирования (кнопка «Параметры счета F10» главной панели "МВТУ") схема и переходная характеристика примут вид.

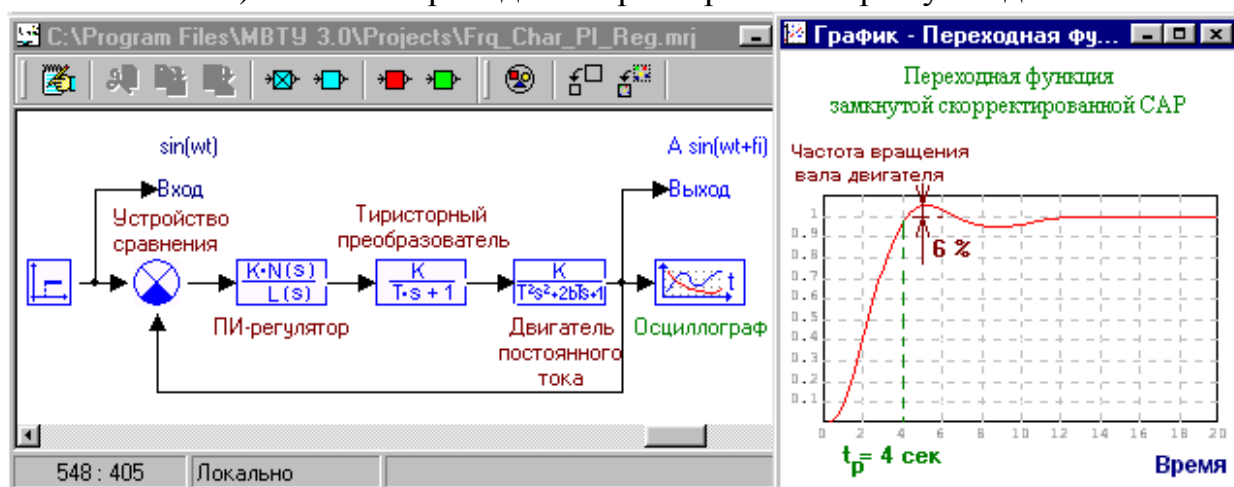


Рисунок 17 – Схема скорректированной САР и ее переходная характеристика.

Время регулирования составляет 4 сек при перерегулировании в 6 %. Качество скорректированной САР вполне удовлетворительное.

Установившееся значение переходной функции равно 1.0 – значению входного сигнала. Это значит, что ошибка САР в установившемся режиме при отслеживании постоянного сигнала равна нулю. Таким образом, в результате введения в контур управления ПИ-регулятора система приобрела астатизм первого порядка.

Задание и методические указания по выполнению работы

1. Построить модель замкнутой САР частоты вращения вала двигателя постоянного тока рисунок 1, определить ее переходную функцию, соотнесите с рисунком 4. Дополните схему и окно осциллографа содержательными надписями. Обрамление блоков, при желании, можно убрать, выбрав в главном меню "МВТУ" **Опции – Настройки**, убрав галочку в пункте **Рисовать об-рамление** и щелкнув по кнопке **Да**. Сделать выводы и сделайте снимки экрана.
2. Подготовка модели к проведению ее частотного анализа: Обозначить вход и выход анализируемого фрагмента схемы (рисунок 6), разомкните обратную связь установкой нулевого значения второго весового коэффициента компаратора (устройства сравнения). Сделать снимки экрана.
3. Оценка устойчивости замкнутой САР по критерию Найквиста: Построить годограф комплексного коэффициента передачи разомкнутого контура (годограф Найквиста). Используя критерий Найквиста, определить, будет ли устойчивой замкнутая САР. Определить запасы устойчивости САР по амплитуде и фазе. Сделать выводы. Сделайте снимки экрана.
4. Коррекция САР с использованием логарифмических частотных характеристик: Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой САР в соответствии. Определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе, соотнесите их с результатами, полученными ранее. Скорректируйте САР введением ПИ-регулятора, определите по ЛАЧХ оптимальное значение постоянной времени ПИ-регулятора. Постройте результирующие ЛАЧХ и ЛФЧХ и переходную функцию скорректированной САР. Соотнесите результаты с рисунком 17. Сделать выводы. Сохранить проект [10, 11, 13].

Отчет о лабораторной работе

Отчет должен содержать титульный лист, цели и задачи работы, результаты выполнения разделов работы, включая снимки экрана со схемами и частотными характеристиками, выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое частотные характеристики линейной системы?
2. С какой целью в ПК "МВТУ" указываются входная и выходная переменные при частотном анализе САР?
3. Как в ПК "МВТУ" построить годограф Найквиста для линейной системы?
4. Как в ПК "МВТУ" построить ЛАЧХ и ЛФЧХ линейной системы?

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХПОЗИЦИОННОЙ САР

Цель работы: изучение и исследование усовершенствованных методов двухпозиционного регулирования путем имитационного моделирования их в среде ПК "МВТУ", поиск оптимальных настроек нелинейных систем управления сложной структуры с учетом требований к качеству регулирования.

Содержание работы:

- построение модели двухпозиционной САР;
- по графикам переходных процессов в двухпозиционной САР, показанных на экране виртуального осциллографа, определить показатели качества регулирования (амплитуду и частоту колебаний).

Общие сведения

Позиционные системы автоматического регулирования нашли широкое распространение в отечественной и зарубежной практике ввиду простоты конструкции регуляторов, их надежности, несложным методам их обслуживания и настройки, невысокой стоимости. В последние годы благодаря широкому внедрению в промышленные схемы автоматизации программируемых логических контроллеров (ПЛК) интерес к позиционным системам начал проявляться вновь. Это связано со следующими причинами:

- 1) зачастую на объекте автоматизации уже установлены исполнительные устройства с двумя состояниями (отсечные клапаны, магнитные пускатели и т.д.) и для реализации системы автоматического регулирования (САР) достаточно использовать дискретные выходы и алгоритмы двухпозиционного регулирования, имеющиеся в контроллере;
- 2) использование дискретных выходов существенно увеличивает число контуров регулирования, реализуемых одним контроллером, что значительно уменьшает стоимость проекта автоматизации;
- 3) техническая реализация дискретных выходов ПЛК и системы в целом существенно проще, чем в аналоговых или импульсных САР.

Двухпозиционные системы автоматического регулирования имеют существенный недостаток – регулируемая переменная носит колебательный характер, т.е. для данной САР колебательный режим является нормальным режимом работы. Исходя из этого, на всем протяжении применения этих систем в промышленности предпринимались попытки улучшения качества регулирования путем уменьшения частоты и амплитуды колебаний регулируемой переменной. Амплитуда колебаний регулируемой переменной обычно ограничивается требованиями технологического регламента, а частота колебаний – сроком эксплуатации системы, т.к. дискретные контактные элементы САР рассчитаны на ограниченное число включений и выключений. Основным из способов улучшения был способ регулирования неполным притоком энергии или материала, поступающего в объект. Однако для объектов с большим временем запаздывания двухпозиционные САР даже при этом спосо-

бе улучшения качества регулирования не использовались. С появлением ПЛК и бесконтактных дискретных элементов, появилось ряд методов, которые позволяют использовать двухпозиционные САР для регулирования технологических переменных в объектах с большим временем запаздывания.

Создание модели двухпозиционной САР

Исследование двухпозиционной САР выполняется на модели системы, которая включает в себя:

- объект регулирования, представленный последовательным соединением звена запаздывания и апериодического звена первого порядка;
- двухпозиционный регулятор;
- сумматоры и набор вспомогательных элементов (временной график, блоки нанесения возмущений на систему (ступенька или константа)).

Структурная схема модели двухпозиционной САР представлена на рис. 1.

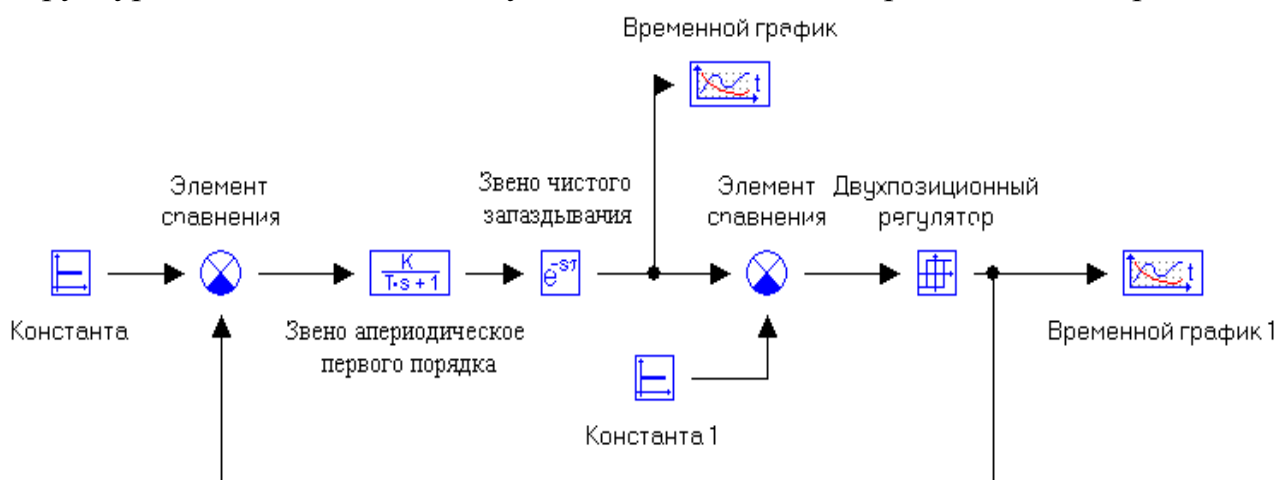


Рисунок 1. – Структурная схема модели обычной двухпозиционной САР.

Построение модели обычной двухпозиционной САР выполняется в следующей последовательности.

- 1) Запустить систему МВТУ двойным щелчком левой клавиши мыши по ярлычку «МВТУ». В появившемся окне системы МВТУ одинарным щелчком левой клавиши мыши создать новый проект.
- 2) На основной панели рабочей зоны браузера библиотек, выделяя левой кнопкой мыши элементы двухпозиционной САР, в соответствии с рисунком 1 составить схему.

Исследование двухпозиционной САР

- 1) Установить в модели объекта регулирования следующие значения параметров: коэффициент передачи – 4, постоянная времени – 10, время запаздывания – 2.
- 2) Установить следующие параметры регулятора: зона неоднозначности ($a = -2$, $b = 2$), уровень выходного сигнала ($Y1 = -2$, $Y1 = 2$).
- 3) В блоках «Константа» установить 1, «Константа1» установить 0.
- 4) Запустить процесс моделирования.

- 5) По графику переходного процесса в двухпозиционной САР, показанного на экране временного графика, определить показатели качества регулирования (амплитуду и частоту колебаний).
- 6) Установить в регуляторе зону неоднозначности: 1, -1.
- 7) Выполнить пункты 4 и 5.
- 8) Установить в регуляторе уровень выходного сигнала: 4, -4.
- 9) Выполнить пункты 4 и 5.
- 10) Установить в регуляторе уровень выходного сигнала: 2, -2 и увеличив время запаздывания в блоке «идеальное запаздывание» до 4 секунд выполнить пункты 4 и 5.
- 11) Увеличить время запаздывания в блоке «идеальное запаздывание» до 6 секунд и выполнить пункты 4 и 5.
- 12) Установить время запаздывания в блоке «идеальное запаздывание» равное 2, в блоке «Константа» установить возмущение на входе объекта управления равное 1, выполнить пункты 4 и 5.
- 13) Установить в блоке «Константа» возмущение на входе объекта управления равное 3 и выполнить пункты 4 и 5.
- 14) Установить в блоке «Константа» заданное значение регулируемой переменной равное 1, в блоке «Константа 1» равное 3.
- 15) Значения параметров настройки и полученные результаты исследования (показатели качества) занести в табл. 1.

Сформулировать выводы по результатам исследования (по влиянию параметров системы на показатели качества регулирования).

Таблица 1 - Результаты исследования двухпозиционной САР.

| № | Параметры ОУ | | | Параметры регулятора | | | | Возм. | Зад. | Качество | |
|------|--------------|---|--------|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|----------|-------|
| | К | T | τ | z_n | z_n | B_c | B_c | | | Амп. | Част. |
| 1... | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 8... | | | | | | | | | | | |

Отчет о лабораторной работе

Отчет должен содержать титульный лист, цели и задачи работы, результаты выполнения разделов работы, включая снимки экрана с двухпозиционным регулированием (для каждого задания свои), показатели качества регулирования отображаются в табл.1.

Контрольные вопросы

1. Какой недостаток имеют двухпозиционные САР?
2. Из каких элементов состоит модели обычной двухпозиционной САР?
3. Какие преимущества имеют позиционные системы автоматического регулирования?
4. Что такое ПЛК?

Лабораторная работа №4

Цель работы:

Содержание работы:

- построение модели двухпозиционной САР;
- по графикам переходных процессов в двухпозиционной САР, показанных на экране виртуального осциллографа, определить показатели качества регулирования (амплитуду и частоту колебаний).

Общие сведения

Структурная схема САР с двухпозиционным статическим регулятором приведена на рис. 1. Она включает в себя кроме объекта управления и двухпозиционного регулятора апериодическое звено первого порядка.

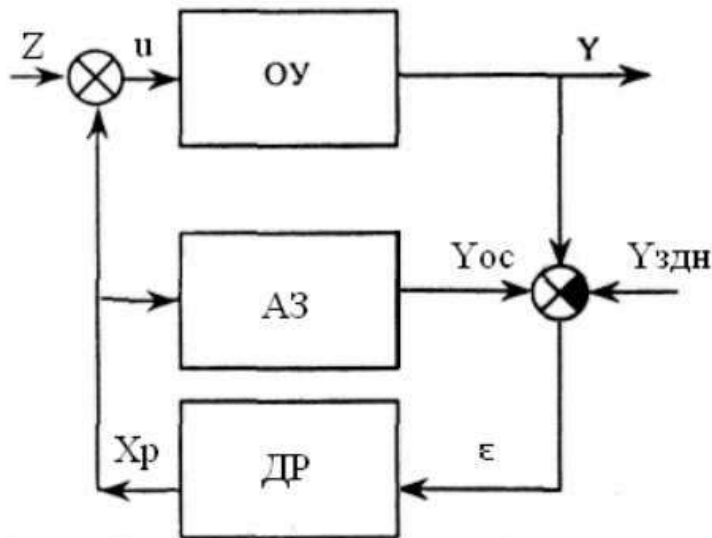


Рисунок1 – Структурная схема САР с двухпозиционным статическим регулятором: ОУ– объект управления; ДР – обычный двухпозиционный регулятор; АЗ – апериодическое звено первого порядка.

Сигнал рассогласования в данной схеме определяется по выражению (1), а передаточная функция звена АЗ по выражению (2).

$$\mathcal{E} = y - y_{3DH} + y_{O.C.} \quad (1)$$

$$W_{O.C.}(s) = \frac{k}{T \cdot S + 1} \quad (2)$$

Двухпозиционное статическое регулирование отличается более низким значением амплитуды колебаний регулируемой величины по сравне-

нию с обычным двухпозиционным регулированием с малым числом включений регулирующего органа.

Увеличение коэффициента обратной экспоненциальной связи приводит к резкому снижению амплитуды колебаний и, соответственно, к существенному увеличению общего количества включений рабочего органа за время эксперимента. В явном виде проявляются статические свойства такой системы (рис.3).

Таким образом, изменяя значения параметров T и k корректирующего звена, можно значительно уменьшать амплитуду колебаний. При этом увеличивается число включений регулятора [4, 5, 11, 13].

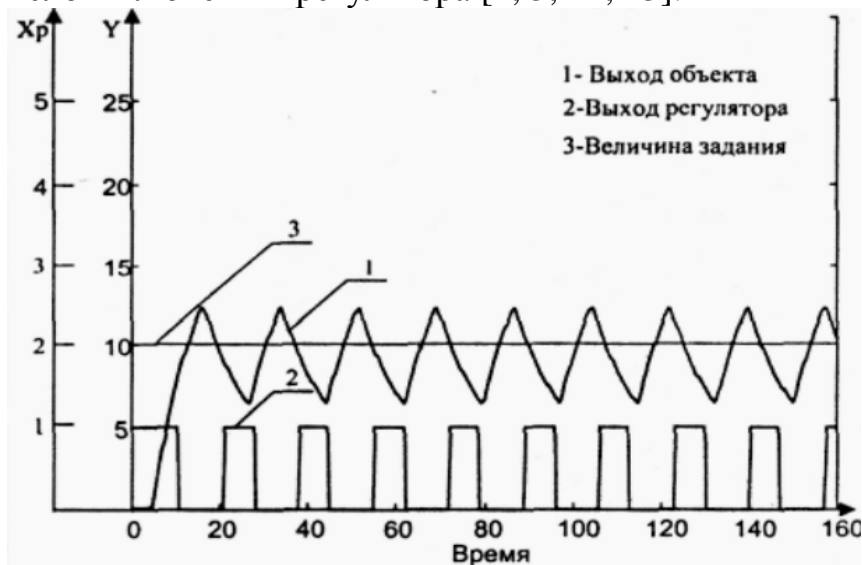


Рисунок 2. – Переходные процессы в САР с двухпозиционным статическим регулятором.

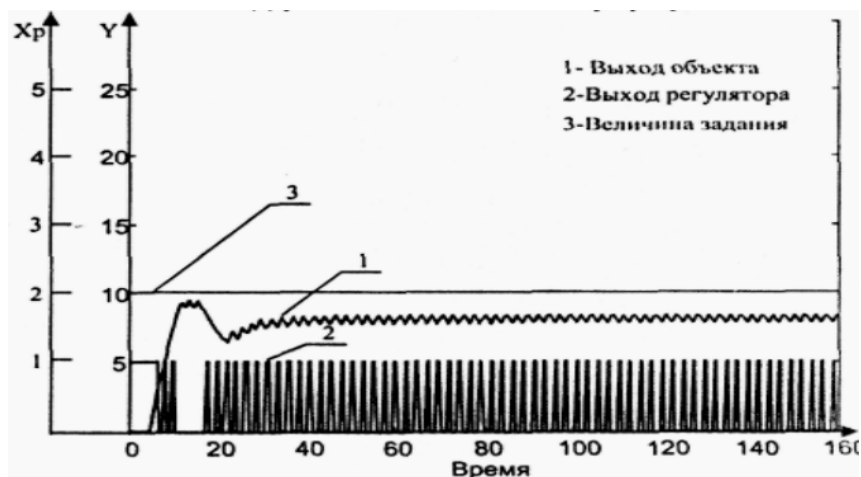


Рисунок 3. – Переходные процессы САР с двухпозиционным статическим регулятором при увеличении коэффициента передачи и уменьшении постоянной времени звена АЗ.

Создание модели двухпозиционной статической САР

Исследование двухпозиционной САР выполняется на модели системы, которая включает в себя:

- объект регулирования, представленный последовательным соединением звена запаздывания и апериодического звена первого порядка;
- двухпозиционный регулятор;
- сумматоры и набор вспомогательных элементов (временной график, блоки нанесения возмущений на систему (ступенька или константа)).

Структурная схема модели двухпозиционной САР представлена на рис. 4.

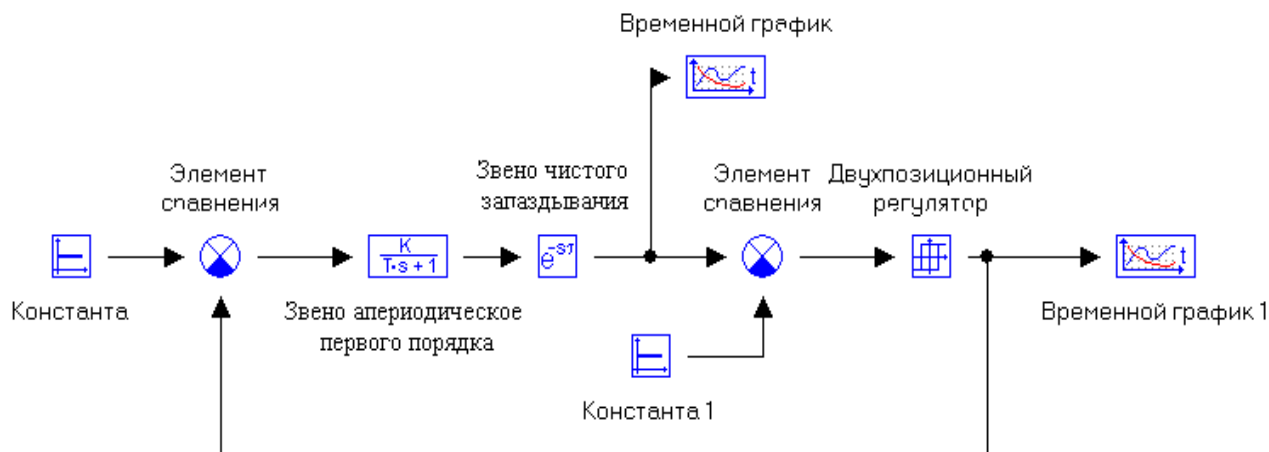


Рисунок 4 – Структурная схема модели обычной двухпозиционной САР.

Построение модели обычной двухпозиционной САР выполняется в следующей последовательности.

- 1) Запустить систему МВТУ двойным щелчком левой клавиши мыши по ярлычку «МВТУ». В появившемся окне системы МВТУ одинарным щелчком левой клавиши мыши создать новый проект.
- 2) На основной панели рабочей зоны браузера библиотек, выделяя левой кнопкой мыши элементы двухпозиционной САР, в соответствии с рис. 4 составить схему.

Исследование двухпозиционной САР

- 1) Установить в модели объекта регулирования следующие значения параметров: коэффициент передачи – 4, постоянная времени – 10, время запаздывания – 2.
- 2) Установить следующие параметры регулятора: зона неоднозначности ($a = -2$, $b = 2$), уровень выходного сигнала ($Y1 = -2$, $Y1 = 2$).
- 3) В блоках «Константа» установить 1, «Константа1» установить 0.
- 4) Запустить процесс моделирования.
- 5) По графику переходного процесса в двухпозиционной САР, показанного на экране временного графика, определить показатели качества регулирования (амплитуду и частоту колебаний).
- 6) Установить в регуляторе зону неоднозначности: 1, -1.
- 7) Выполнить пункты 4 и 5.
- 8) Установить в регуляторе уровень выходного сигнала: 4, -4.
- 9) Выполнить пункты 4 и 5.

- 10) Установить в регуляторе уровень выходного сигнала: 2, -2 и увеличив время запаздывания в блоке «идеальное запаздывание» до 4 секунд выполнить пункты 4 и 5.
- 11) Увеличить время запаздывания в блоке «идеальное запаздывание» до 6 секунд и выполнить пункты 4 и 5.
- 12) Установить время запаздывания в блоке «идеальное запаздывание» равное 2, в блоке «Константа» установить возмущение на входе объекта управления равное 1, выполнить пункты 4 и 5.
- 13) Установить в блоке «Константа» возмущение на входе объекта управления равное 3 и выполнить пункты 4 и 5.
- 14) Установить в блоке «Константа» заданное значение регулируемой переменной равное 1, в блоке «Константа1» равное 3.
- 15) Значения параметров настройки и полученные результаты исследования (показатели качества) занести в табл. 1.

Сформулировать выводы по результатам исследования (по влиянию параметров системы на показатели качества регулирования).

Таблица 1- Результаты исследования двухпозиционной САР.

| № | Параметры ОУ | | | Параметры регулятора | | | | Возм. | Зад. | Качество | |
|------|--------------|---|--------|----------------------|-------|-------|-------|-------|------|----------|-------|
| | К | T | τ | z_n | z_n | B_c | B_c | | | Амп. | Част. |
| 1... | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 8... | | | | | | | | | | | |

Отчет о лабораторной работе

Отчет должен содержать титульный лист, цели и задачи работы, результаты выполнения разделов работы, включая снимки экрана с двухпозиционным регулированием (для каждого задания свои), показатели качества регулирования отображаются в табл.1.

Контрольные вопросы

1. Что такое апериодическое звено первого порядка?
2. Из чего состоит двухпозиционная статическая САР?
3. Что такое сигнал рассогласования?
4. Что такое динамическая ошибка?

Лабораторная работа № 5 ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цель работы: изучить основные принципы и законы регулирования. Изучить основы работы двухпозиционных, трехпозиционных и ПИД-регуляторов.

1. Общие сведения.

Принципы регулирования.

Для описания систем автоматического управления (регулирования) обычно используется следующая структурная схема:

На рисунке 1 обозначено: U - уставка (программно задаваемая величина); X - контролируемая величина (состояние объекта); E - рассогласование; Y - управляющий сигнал; G - внешние возмущения; Π - программный задатчик (в частном случае оператор). В процессе работы система автоматического регулирования (САР) сравнивает текущее значение измеряемой величины X с заданием U (уставкой) и устраняет рассогласование E .

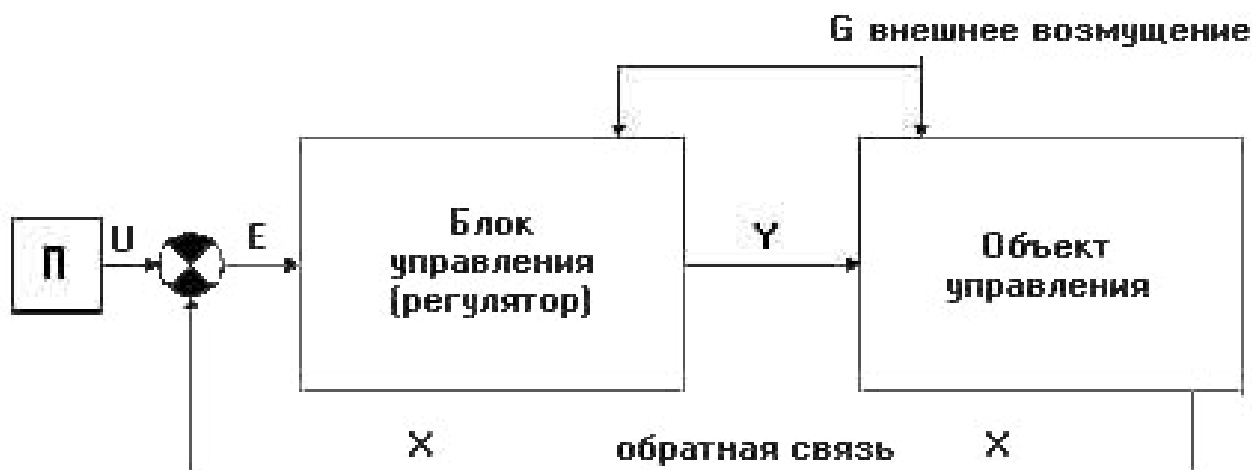


Рисунок 1 - Обобщенная схема системы автоматического регулирования.

Возмущающие воздействия G также устраняются регулятором. Например, при регулировании температуры в печи, уставкой U является требуемая температура воздуха, контролируемой величиной X - текущая температура, рассогласованием E является их разница, управляющей величиной Y является напряжение на теплонагревательном элементе (ТЭНе).

Программный задатчик Π (или оператор в частном случае) изменяет уставки в течение суток (режим термической обработки в печах, досвет в теплицах, изменение температуры помещения и пр.). Его использование обычно не представляет особой сложности с позиции настройки и эксплуатации.

На температуру в печи влияют температура окружающей среды, открытая заслонка, состояние ТЭН и пр. Пользователю необходимо, чтобы температура в печи как можно точнее совпадала с уставкой.

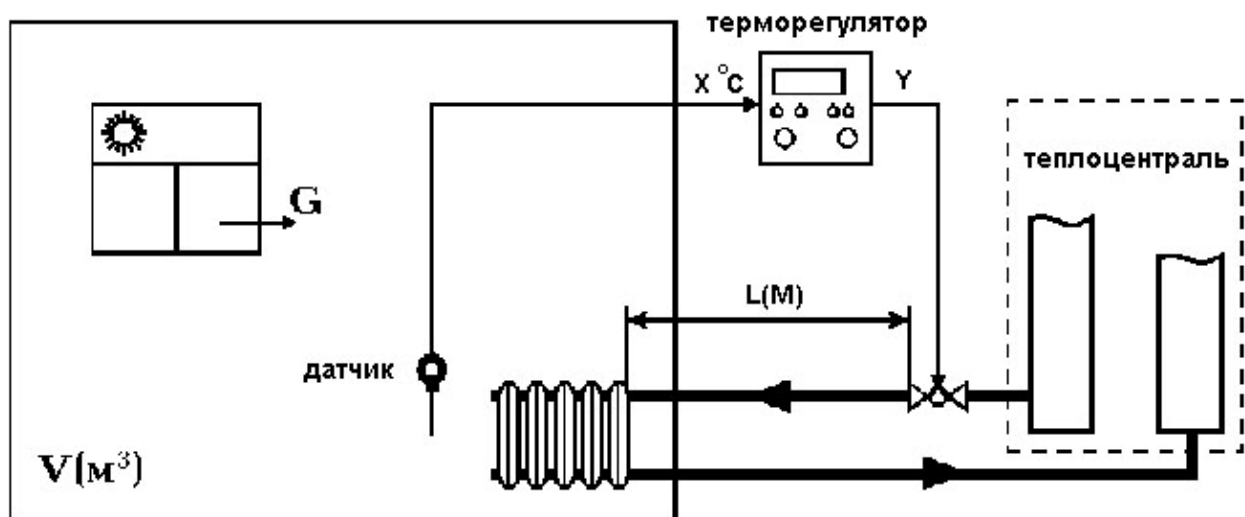


Рисунок 2 - Блок-схема системы автоматического регулирования водяным отоплением.

Основной задачей при построении системы автоматического регулирования является выбор и наладка регулятора, адекватного объекту управления. Кроме того, необходим подбор соответствующих измерительных преобразователей (датчиков). Для успешного решения этой задачи в первую очередь необходимо определить динамические свойства объекта управления. Так, например, в системе автоматического регулирования водяным отоплением (рис. 2) уменьшая длину трубопровода L и, приближая датчик к батарее, мы можем снизить инерционность системы, а, следовательно, и упростить задачу регулирования.

Позиционные регуляторы.

Релейные (позиционные) регуляторы выдают сигнал, который обеспечивает перемещение регулирующего органа в одно из фиксированных положений (позиций). Их может быть два, три и более. По количеству позиций различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы.

Двухпозиционные регуляторы обеспечивают хорошее качество регулирования для инерционных объектов с малым запаздыванием, не требуют настройки и просты в эксплуатации. Эти регуляторы представляют обычный и наиболее широко распространенный метод регулирования. В простейшем случае (без обратной связи) двухпозиционный регулятор работает как двухпозиционный переключатель. Например, мощность, подаваемая на нагреватель, имеет только два значения - максимальное и минимальное (нулевое), две позиции (отсюда и название регулятора - двухпозиционный) - нагреватель полностью включен или полностью выключен. Структурная схема двухпозиционной системы регулирования приведена на рис. 3.

Для предотвращения «дребезга» управляющего выходного устройства (например, реле) и исполнительного механизма (например, нагревательного элемента) вблизи уставки SP , предусматривается гистерезис H .

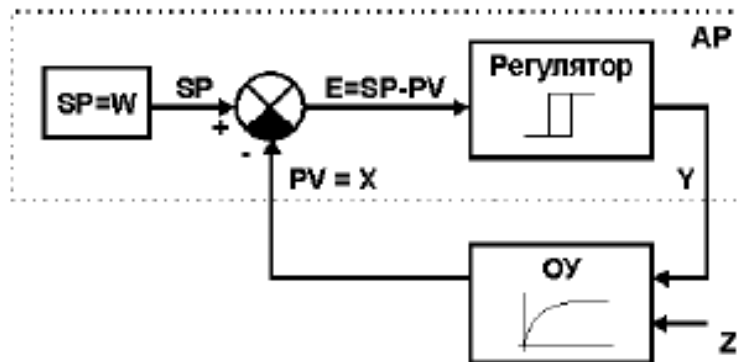


Рисунок 3 - Структурная схема двухпозиционной системы регулирования. где: АР – двухпозиционный регулятор, ОУ – объект управления, SP – уставка, E – рассогласование регулятора, PV=X – контролируемая величина, Y – управляющее воздействие, Z – возмущающее воздействие.

Например, описание работы двухпозиционной системы регулирования температуры в печи с помощью нагревателя, может быть представлено следующим образом:

- нагреватель включен, пока температура в печи ($X=PV$) не достигнет значения заданной точки SP.
- выход регулятора Y (нагреватель) отключается, если регулируемая величина (температура) выше заданной точки SP.
- повторное включение нагревателя происходит после уменьшения температуры до значения $SP-H$, т.е. с учетом гистерезиса H переключающего элемента.

Алгоритм двухпозиционных регуляторов определяется статической характеристикой: зависимостью выходного сигнала Y от входного X (рис. 4).

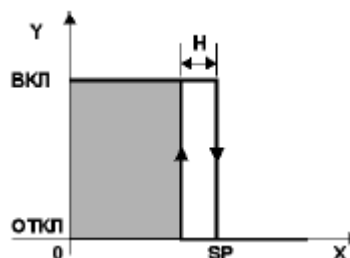


Рисунок 4 - Статическая характеристика двухпозиционной системы регулирования.

Выходная величина Y равна максимальному воздействию - нагреватель включен:

- $Y = \max$ при $X < SP-H$, где H-значение гистерезиса. Выходная величина Y равна минимальному воздействию - нагреватель выключен.
- $Y = 0$ при $X > SP$, где H-значение гистерезиса.

Зона гистерезиса. Ширина зоны гистерезиса в современных двухпозиционных регуляторах является единственным программируемым параметром настройки. Представление зоны гистерезиса описывается в руководстве по экс-

плутации на соответствующий тип регулятора или систему регулирования. Основные варианты представления зоны гистерезиса показаны на рис. 5.

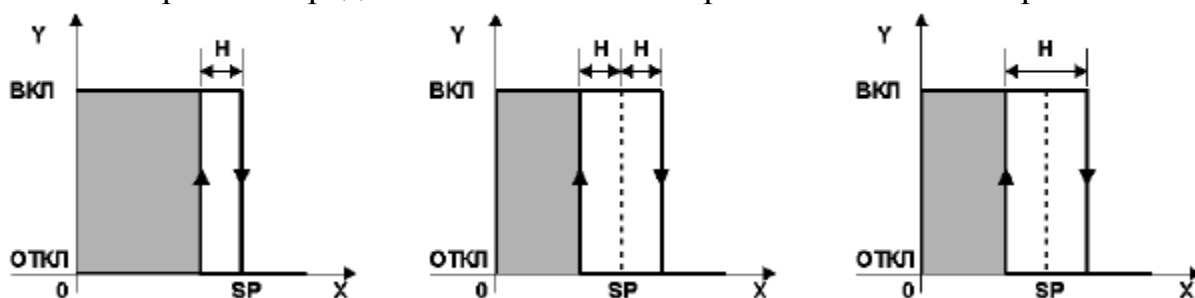


Рисунок 5 - Основные варианты представления зоны гистерезиса.

Назначение гистерезиса H - предотвращение «дребезга» управляющего выходного устройства (например, реле) вблизи задания SP от слишком частого включения нагревателя. Гистерезис (в некоторых типах регуляторов) может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Отрицательные значения гистерезиса используются в основном для упреждения или задержки включения (выключения) выходных устройств. Например, включение выходного устройства по значению задания SP меньше на величину гистерезиса H - включение с упреждением, или выключение выходного устройства по значению задания SP меньше на величину гистерезиса H - выключение с задержкой. Эти типы гистерезиса применяются для того, чтобы учесть инерционность объектов регулирования.

Процесс двухпозиционного регулирования является автоколебательным - регулируемая величина как в переходном, так и в установившемся режиме периодически изменяется относительно заданного значения (рис. 6), т.е. регулируемая величина подвержена незатухающим колебаниям. Показателями автоколебательного режима являются амплитуда автоколебаний A_k и период автоколебаний T_k регулятора.

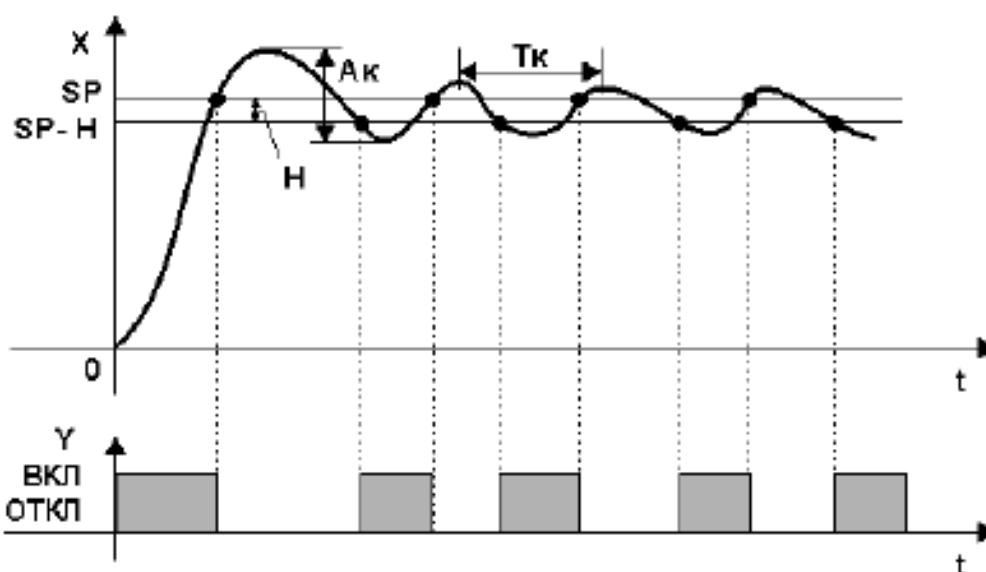


Рисунок 6 - Процесс регулирования с двухпозиционным законом .

Точность регулирования технологического параметра, например, температуры, зависит от величины гистерезиса. Чем меньше гистерезис, тем точнее регулирование, но тем чаще включается нагреватель и тем самым больше износ коммутационных элементов (например, реле). Уменьшая гистерезис можно повысить качество регулирования до некоторого предела, определяемого параметрами объекта регулирования (тепловой инерцией, мощностью нагревателя, тепловой связью нагревателя и объекта и др.).

Виды и логика работы двухпозиционных регуляторов.

Двухпозиционные регуляторы по виду статической характеристики и логике работы управляющего устройства могут быть представлены в одном из следующих видов (рис. 7).

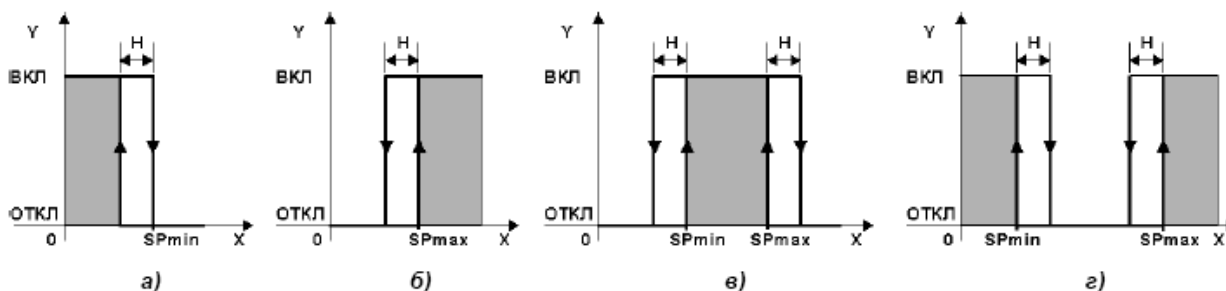


Рисунок 7 - Виды статических характеристик двухпозиционных регуляторов.

Вид на рис. 7-а: обычно применяется в различных устройствах управления нагревом - нагревательных приборах, печах, термошкафах, теплообменниках и т.п. Данный тип регулятора называется обратным регулятором. При использовании в системах сигнализации данная логика работы выходного устройства носит название «меньше установленного значения» или «меньше минимума».

Вид на рис. 7-б: обычно применяется в различных процессах управления охлаждением – в системах вентиляции, в холодильных установках и т.п. Данный тип регулятора называется прямым регулятором. При использовании в системах сигнализации данная логика работы выходного устройства носит название «больше установленного значения» или «больше максимума».

Виды на рис. 7-в и 7-г: применяются для сигнализации выхода системы управления на рабочий режим. Эти регуляторы еще называют компараторами. Вид на рис. 7-в используется для сигнализации вхождения параметра в норму. Данная логика работы выходных устройств имеет наименование «в зоне установленных значений» или «в зоне минимум-максимум». Вид на рис. 7-г используется для сигнализации выхода параметра за определенные пределы. Данная логика работы выходных устройств имеет наименование «вне зоны установленных значений» или «вне зоны минимум-максимум».

Трехпозиционные регуляторы.

Трехпозиционные регуляторы используются для систем управления уровнем различных веществ, для систем управления нагреванием-охлаждением различных тепловых процессов, холодильных установок, регулирования мик-

роклимата подогревателем и вентилятором, для систем распределения и смешивания различных потоков веществ с помощью трехходовых клапанов, кранов, смесителей, реверсивных электродвигателей, сервоприводов и др. Например, трехпозиционный регулятор включает при помощи переключательных элементов электродвигатель исполнительного механизма на правое вращение (например, открытие регулирующего органа), остановку или левое вращение (соответственно - закрытие регулирующего органа) - три позиции (отсюда и название регулятора - трехпозиционный).

Структурная схема трехпозиционной системы регулирования приведена на рис. 8.

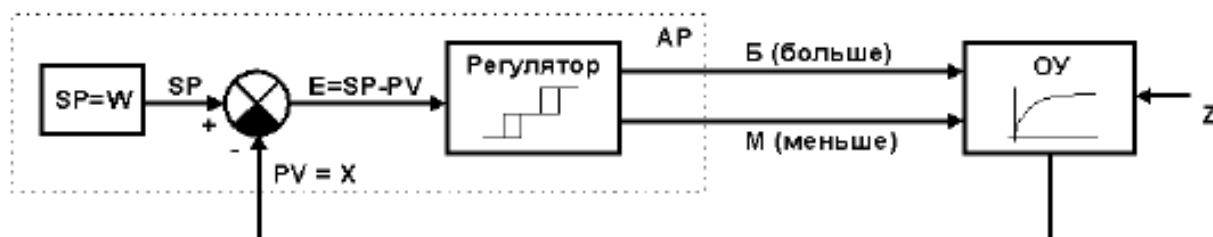


Рисунок 8 - Структурная схема трехпозиционной системы регулирования.

Здесь: АР – трехпозиционный регулятор, ОУ – объект управления, SP – узел формирования уставки, Е – рассогласование регулятора, PV=X – регулируемая величина, сигналы Б (больше) и М (меньше) – управляющие воздействия, Z – возмущающее воздействие. Для предотвращения «дребезга» управляющего выходного устройства (например, реле) и исполнительного механизма вблизи точки его включения (слишком частого включения), предусматривается гистерезис Н.

Алгоритм трехпозиционных регуляторов определяется статической характеристикой: зависимостью выходных сигналов УМ (меньше) и УБ (больше) от входного X (рис. 9).

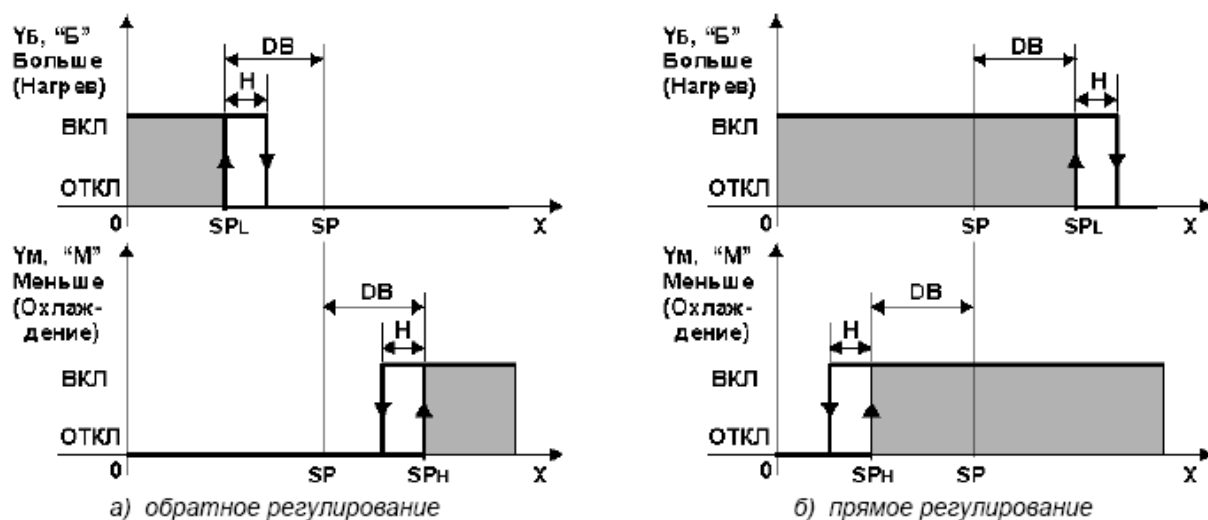


Рисунок 9 - Статические характеристики трехпозиционной системы регулирования.

На рисунке 9-а представлена статическая характеристика трехпозиционной системы регулирования при обратном направлении регулирования (зона регулирования без перекрытия). На рисунке 9-б представлена статическая характеристика трехпозиционной системы регулирования при прямом направлении регулирования (зона регулирования с перекрытием).

Алгоритм трехпозиционных регуляторов при обратном направлении регулирования (рис. 9-а) выглядит следующим образом:

- $Y_B = \max$ при $X < SP - DB$ (нагреватель включен), где DB -значение ширины зоны нечувствительности.
- $Y_B = 0$ при $X > SP - DB + H$ (нагреватель выключен), где H -значение гистерезиса.
- $Y_M = \max$ при $X > SP + DB$ (охладитель включен), где DB -значение ширины зоны нечувствительности.
- $Y_M = 0$ при $X < SP + DB - H$ (охладитель выключен), где H -значение гистерезиса.

Процесс регулирования с трехпозиционным законом при обратном направлении регулирования представлен на рис. 10. Процесс трехпозиционного регулирования является автоколебательным - регулируемая величина как в переходном, так и в установившемся режиме периодически изменяется относительно заданного значения, т.е. регулируемая величина $PV(X)$ подвержена незатухающим колебаниям. Показателями автоколебательного режима являются амплитуда автоколебаний A_k и период автоколебаний T_k .

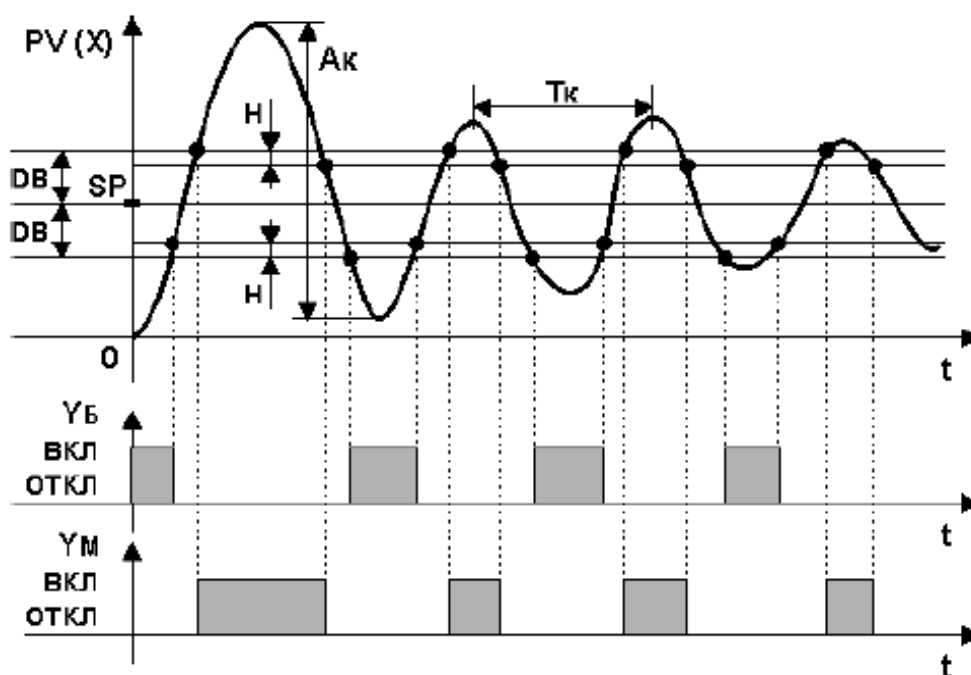


Рисунок 10 - Процесс регулирования с трехпозиционным законом.

Точность регулирования технологического параметра, например, температуры зависит от величины гистерезиса. Чем меньше гистерезис, тем точнее регулирование, но тем чаще включается нагреватель и тем самым больше износ коммутационных элементов (например, реле). Уменьшая гистерезис можно по-

высить качество регулирования до некоторого предела, определяемого параметрами объекта регулирования (тепловой инерцией, мощностью нагревателя, тепловой связью нагревателя и объекта и др.).

Задача выбора закона управления и типа регулятора.

Задача выбора закона управления и типа регулятора состоит в следующем – необходимо выбрать такой тип регулятора, который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования. Могут быть выбраны релейные, непрерывные или дискретные (цифровые) типы регуляторов. Для того, чтобы выбрать тип регулятора и определить его настройки необходимо знать: 1 - Статические и динамические характеристики объекта управления. 2 - Требования к качеству процесса регулирования. 3 - Показатели качества регулирования для непрерывных регуляторов. 4 - Характер возмущений, действующих на процесс регулирования. Выбор типа регулятора обычно начинается с простейших двухпозиционных регуляторов и может заканчиваться самонастраивающимися микропроцессорными регуляторами.

2. Описание лабораторной установки.

Общий вид лабораторного стенда представлен на рисунке 11.

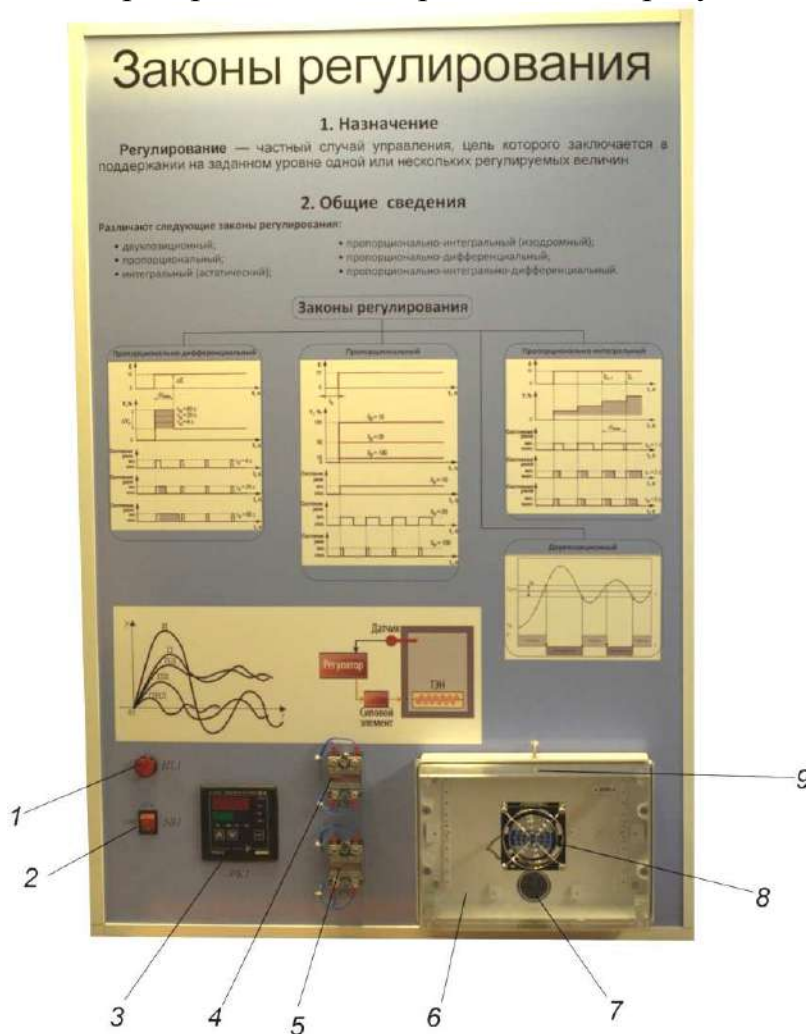


Рисунок 11 - Общий вид лабораторного стенда.

Электрическая часть установки, которая находится в нижней части стенда, состоит из: объекта управления 6; электронного измерителя-регулятора 3 типа ТРМ210 (производства фирмы ОВЕН); твердотельных реле 4 и 5, через которые регулятор управляет рабочими органами – нагревателем 7 и охладителем 8; вводного выключателя 2; индикаторной лампы 1. Контроль температуры в объекте управления осуществляется посредством датчика температуры 9.

Система автоматического управления включает в себя измеритель-регулятор ТРМ 202, изображенный на рисунке 12. На нем обозначены: 1 – экран текущего значения температуры; 2 – экран значения уставки; 3 – кнопки задания уставки; 4 – кнопка программирования и задания режимов работы прибора; 5 – индикаторы выходов К1 и К2 прибора.



Рисунок 12 - Измеритель-регулятор температуры ТРМ202.

На передней панели регулятора расположены светодиоды, которые показывают состояние, в котором находится прибор:

- «ЛУ1» - показана информация для первого канала регулирования;
- «ЛУ2» - показана информация для второго канала регулирования;
- «RS» прибор осуществляет обмен данными с сетью RS-485;
- «K1» - включено ВУ1;
- «K2» - включено ВУ2;

Помимо светодиодов на передней панели расположены кнопки:

Кнопка  осуществляет:

- вход в меню программирования;
- вход в нужную группу параметров;
- циклическое пролистывание параметров в группе (при каждом нажатии кнопки значение текущего параметра записывается в память);

Кнопка  и  служат для:

- перехода между пунктами меню;

- увеличения и уменьшения значения параметра.

Измеритель-регулятор измеряет и поддерживает температуру объекта регулирования на заданном уровне путем управления двумя регулирующими органами – нагревателем 7 и охладителем-вентилятором 8 (рис. 11). Электрическая схема работы установки показана на рисунке 13.

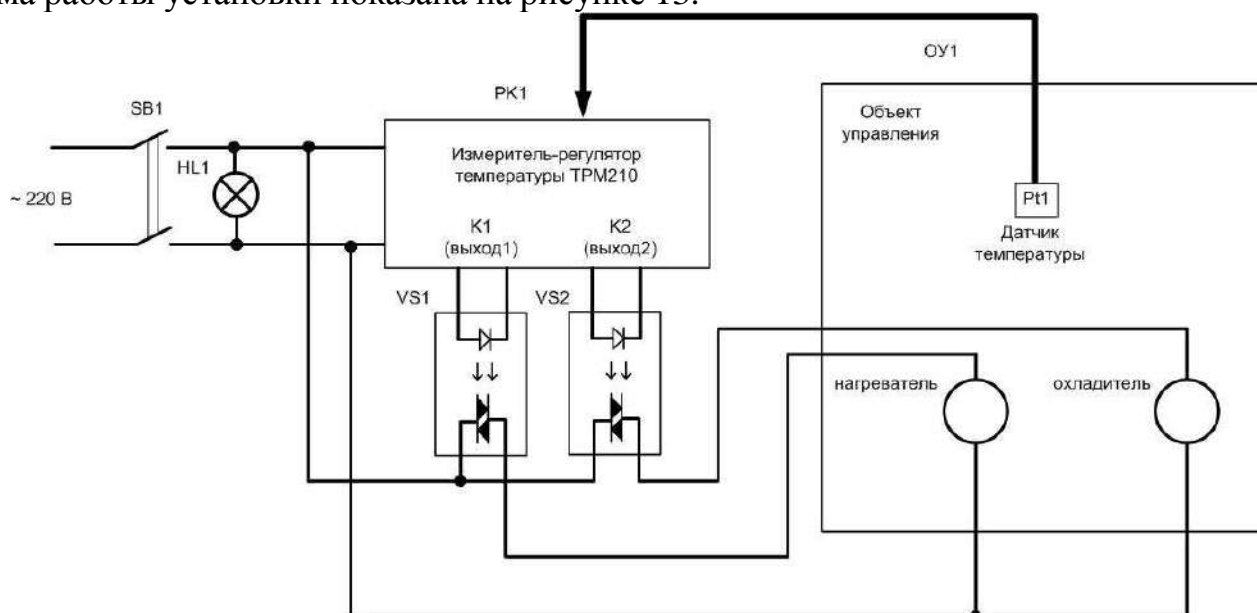


Рисунок 13 - Электрическая схема работы установки.

Установка работает следующим образом. Измеритель-регулятор РК1 постоянно анализирует температуру объекта управления при помощи расположенного в нем датчика Pt1. Датчик представляет собой термосопротивление, сигнал которого подается на измеритель-регулятор РК1. Если температура в объекте управления находится ниже определенного (заданного) значения, измеритель-регулятор вырабатывает сигнал на выходе K1 и, через твердотельное реле VS1, включает нагреватель.

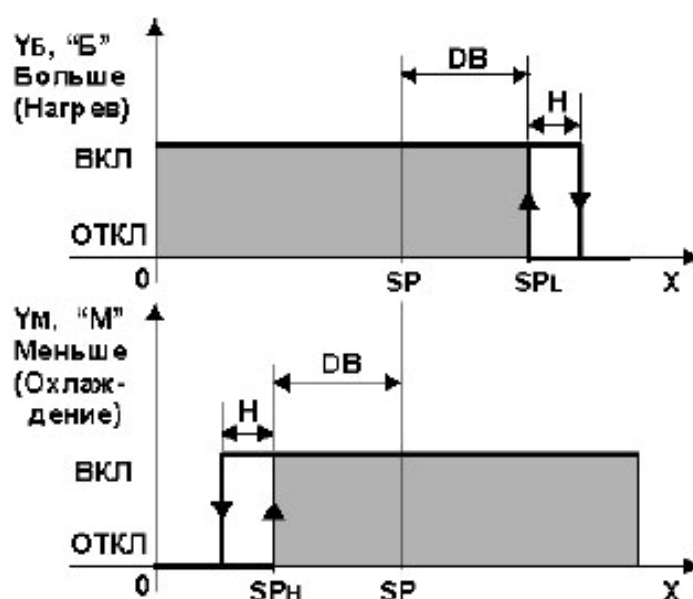


Рисунок 14 - Статические характеристики лабораторной системы регулирования температуры.

При этом температура в печи начинает повышаться. Когда температура достигает заданного значения с поправкой на гистерезис H и зону нечувствительности DB (рис. 14), на выходе $K1$ измерителя-регулятора пропадает сигнал управления, и, цепь управления нагревателем обесточивается. Включение или выключение охладителя происходит, когда температура объекта управления достигнет заданного значения с поправкой на зону нечувствительности DB и гистерезис H . Управление охладителем осуществляется сигналом на выходе $K2$ измерителя-регулятора через твердотельное реле $VS2$. Применение твердотельных реле позволяет уموцнить выходы измерителя-регулятора и, тем самым, обеспечить возможность управления мощной нагрузкой (нагревателем и охладителем) [13].

3. Порядок выполнения работы.

Внимание! Включать установку и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!

1. Включить установку выключателем $SB1$. При этом индикаторная лампа $HL1$ должна загореться. Записать в таблицу текущее значение уставки измерителя-регулятора по показаниям экрана 2 прибора (рис. 12). Текущее значение температуры объекта управления можно контролировать по показаниям экрана 1 прибора (рис. 12).

2. Включить установку на 5-10 минут, включить секундомер, при этом изменения температуры необходимо фиксировать в таблицу 1 с интервалом времени равным 10 секунд. Включение и выключение нагревателя и охладителя можно отслеживать по индикаторам 4 прибора (рис. 12), либо по индикаторам, расположенным на твердотельных реле $VS1$ и $VS2$.

3. По результатам опытов построить график процесса регулирования, где по оси абсцисс откладывается время, по оси ординат – значение температуры.

Таблица 1. Процесс регулирования температуры объекта управления.











| | | | | | | |
|---|---|----|----|----|-----|------------------------------|
| t , сек | 0 | 10 | 20 | 30 | ... | ∞ |
| τ , °C ($\tau_{уставки} = \dots$) | | | | | | $\rightarrow \tau_{уставки}$ |

4. По результатам наблюдений определить на графике процесса регулирования статические характеристики системы регулирования с указанием следующих значений:

- зоны нечувствительности DB ;
- гистерезиса H ;
- уставки SP ;

5. Задать другое значение гистерезиса в измерителе-регуляторе и снова снять зависимость изменения температуры от времени, по результатам которой построить график №2 процесса регулирования, на котором необходимо также определить статические характеристики системы регулирования.

Для изменения значения гистерезиса необходимо совершить следующие операции:

- для этого необходимо нажать кнопку  лицевой панели регулятора для выхода в программируемые параметры прибора;
- посредством кнопок  и  выбрать параметр $\overline{L\cup\bar{O}U}$;
- нажимать кнопку  до появления в меню *HYS1* и *HYS2* (значение гистерезиса для компаратора 1 и 2);
- посредством кнопок  и  изменить этот параметр на значение 2.
- выйти из меню нажав и удерживая кнопку  более 3 с., посредством кнопок  и  выбрать параметр $\overline{L\cup\bar{O}P}$ и снова нажать кнопку  для выхода в привычное информационное меню. Более подробный алгоритм структуры программируемых параметров приведен в приложении.

6. Сравнить два графика регулирования, сделать выводы о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия трехпозиционных регуляторов?
2. Что такое зона гистерезиса?
3. Какова логика работы двухпозиционных регуляторов?
4. Какие принципы регулирования вы знаете?

Лабораторная работа №6. ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ВЛАЖНОСТИ

Цель работы: изучить основные методы количественной оценки влажности газов и средства контроля.

1. Общие сведения

Влажность — показатель содержания воды в физических телах или средах. Влажность зависит от природы вещества, а в твёрдых телах, кроме того, от степени измельчённости или пористости. Содержание химически связанной, так называемой конституционной воды, например гидроокисей, выделяющейся только при химическом разложении, а также воды кристаллогидратной не входит в понятие влажности.

Влажность обычно характеризуется количеством воды в веществе, выраженным в процентах (%) от первоначальной массы влажного вещества (массовая влажность) или её объёма (объёмная влажность).

Влажность можно характеризовать также влагосодержанием, или абсолютной влажностью — количеством воды, отнесённым к единице массы сухой части материала. Такое определение влажности широко используется для оценки качества древесины. Эту величину не всегда можно точно измерить, так как в ряде случаев невозможно удалить всю неконституционную воду и взвесить предмет до и после этой операции.

Установление степени влажности многих продуктов, материалов и т. п. имеет важное значение. Только при определённой влажности многие тела (зерно, цемент и др.) являются пригодными для той цели, для которой они предназначены. Жизнедеятельность животных и растительных организмов возможна только в определённых диапазонах влажности и относительной влажности воздуха. Влажность может вносить существенную погрешность в вес предмета. Килограмм сахара или зерна с влажностью 5 % и 10 % будет содержать разное количество сухого сахара или зерна.

Влажность воздуха — это величина, характеризующая содержание водяных паров в атмосфере Земли, одна из наиболее существенных характеристик погоды и климата. Влажность воздуха в земной атмосфере колеблется в широких пределах. Так, у земной поверхности содержание водяного пара в воздухе составляет в среднем от 0,2 % по объёму в высоких широтах до 2,5 % в тропиках. Упругость пара в полярных широтах зимой меньше 1 мбар (иногда лишь сотые доли мбар) и летом ниже 5 мбар; в тропиках же она возрастает до 30 мбар, а иногда и больше. В субтропических пустынях упругость пара понижена до 5—10 мбар.

Абсолютная влажность воздуха (f) — это количество водяного пара, фактически содержащегося в 1 м³ воздуха. Определяется как отношение массы содержащегося в воздухе водяного пара к объёму влажного воздуха. Обычно используемая единица абсолютной влажности — грамм на метр кубический, г/м³.

Относительная влажность воздуха (ϕ) — это отношение его текущей абсолютной влажности к максимальной абсолютной влажности при данной температуре. Она также определяется как отношение парциального давления водяного пара в газе к равновесному давлению насыщенного пара.

Классификация датчиков влажности.

Для измерения относительной влажности воздуха в автоматических системах применяют несколько типов датчиков:

1. Психометрические.
2. Ёмкостные.
3. Резистивные.
4. Аспирационные.

1. *Психометрические датчики* основаны на разности показаний сухого и мокрого термометра. Вода испаряется с поверхности мокрого термометра тем быстрее, чем суше воздух. Теплота, необходимая для испарения воды вследствие адиабатического процесса, получается за счет снижения температуры самой воды. Чем больше испаряется воды, тем больше она охлаждается и тем ниже показания мокрого термометра по сравнению с сухим. На показания мокрого термометра влияет ряд факторов, трудно поддающихся учету: размер и форма чувствительного элемента, действие на него лучистого теплообмена с окружающими предметами, теплопроводность защитной оболочки, вид и состояние смачиваемой ткани, скорость воздушного потока. В психометрических датчиках используются медные и платиновые термометры сопротивления.

Преимуществом полупроводниковых термисторов является возможность решения психометрической формулы при помощи простой электрической схемы и выдачи на вход электронного регулирующего прибора импульса, пропорционального относительной влажности.

Очень затрудняет эксплуатацию всех приборов, основанных на психометрическом принципе, необходимость периодически пополнять датчики дистиллированной водой. При отрицательных температурах возможно размораживание датчика.



Рисунок 1 – Внешний вид психометрических датчиков.

В условиях высокой влажности воздуха измерения рекомендуется проводить с помощью *психометрических* датчиков, состоящих из двух подобранных медных или платиновых термопреобразователей сопротивления, один из которых ("мокрый") соединен фитилем с емкостью с дистиллированной водой. Психрометр рекомендуется размещать в горизонтальном положении таким об-

разом, чтобы охлажденный на мокром термометре воздух не попадал на сухой термометр и не вносил дополнительной погрешности. Сухой термометр также может применяться для измерения температуры воздуха в камере. Психрометрический датчик следует устанавливать в той точке помещения, где скорость потока воздуха, обдувающий мокрый термометр, постоянна и равна приблизительно 2 м/с. В этом случае датчик будет обеспечивать высокую точность и стабильность показаний в условиях высокой влажности.

Измерение влажности психрометрическим методом будет правильным, если правильно измеряется температура сухого и мокрого термометров и правильно учитывается скорость потока воздуха на мокром термометре. Проверку правильности сухого и мокрого термометров производят также, как и других датчиков температуры – путем сравнения их показаний с показаниями «образцового термометра». Разность показаний сухого и мокротермометров, опущенных в воду, не должна превышать 0,1 градуса.

2. *Ёмкостными датчиками* называют преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления. Ёмкостные датчики влажности (влагомеры) в последнее время становятся всё более распространенными. Они не дороги, просты в эксплуатации и обеспечивают очень точные показания.

Основа этих датчиков – емкостные влагочувствительные элементы. Маленькая, тонкая стеклянная или керамическая подложка является основой для электродной системы, влагочувствительного полимерного слоя и слоя золота, который проницаем для паров воды. Учитывая тот факт, что полимерный гигроскопический слой может впитывать молекулы воды, которые изменяют их относительную диэлектрическую проницаемость, эта система представляет собой влагозависимый конденсатор. Емкость этого конденсатора является мерой относительной влажности окружающего его воздуха.

Изменение емкости влагомера конвертируется в выходной электрический сигнал электроникой, которая располагается непосредственно возле влагочувствительного элемента датчика. Таким образом при объединении этих двух элементов получается емкостной датчик влажности (влагомер), который откалиброван по стандартам влажности. Достижимая степень точности, которая существенно зависит от линейности отклонений, гистерезиса и температурной зависимости, составляет около 2% .

Благодаря своей высокой чувствительности, емкостные датчики влажности (влагомеры) идеальны для измерения равновесной влажности гигроскопичных материалов. Если известны изотермы поглощения гигроскопических материалов, то таким же образом можно определить степень влажности твердых материалов.

Области применения емкостных датчиков.

Возможные области применения емкостных датчиков чрезвычайно разнообразны. Они используются в системах регулирования и управления производственными процессами почти во всех отраслях промышленности. Ёмкост-

ные датчики применяются для контроля заполнения резервуаров жидким, порошкообразным или зернистым веществом, как конечные выключатели на автоматизированных линиях, конвейерах, роботах, обрабатывающих центрах, станках, в системах сигнализации, для позиционирования различных механизмов, измерения влажности и т. д.

Емкостные датчики линейных и угловых перемещений являются наиболее распространенными приборами, широко используемыми в машиностроении и на транспорте, строительстве и энергетике, в различных измерительных комплексах.

Емкостные датчики уровня находят применение в системах контроля, регулирования и управления производственными процессами в пищевой, фармацевтической, химической, нефтеперерабатывающей промышленности. Они эффективны при работе с жидкостями, сыпучими материалами, пульпой, вязкими веществами (проводящими и непроводящими), а также в условиях образования конденсата, запыленности.

Емкостные датчики также находят применение в различных отраслях промышленности для измерения абсолютного и избыточного давления, толщины диэлектрических материалов, влажности воздуха, деформации, угловых и линейных ускорений и др.

Преимущества емкостных датчиков по сравнению с датчиками других типов. Емкостные датчики обладают целым рядом преимуществ по сравнению с датчиками других типов. К их достоинствам относятся:

- простота изготовления, использование недорогих материалов для производства;
- малые габариты и вес;
- низкое потребление энергии;
- высокая чувствительность;
- отсутствие контактов (в некоторых случаях – один токосъем);
- долгий срок эксплуатации.

К недостаткам емкостных датчиков следует отнести:

- сравнительно небольшой коэффициент передачи (преобразования);
- высокие требования к экранировке деталей;
- необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте.

Типы емкостных преобразователей и их конструктивные особенности.

Обычно емкостный датчик представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает подвергаемое контролю перемещение, вызывая изменение емкости. Пренебрегая краевыми эффектами, можно выразить емкость для плоского конденсатора следующим образом:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками,
 S и d – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними соответственно.

Емкостные преобразователи могут быть использованы при измерении различных величин по трем направлениям в зависимости от функциональной связи измеряемой неэлектрической величины со следующими параметрами:

1. переменной диэлектрической проницаемостью среды ε ;
2. площадью перекрытия обкладок S ;
3. изменяющимся расстоянием между обкладками d .

В первом случае емкостные преобразователи можно применять для анализа состава вещества, поскольку диэлектрическая проницаемость является функцией свойств вещества. При этом естественной входной величиной преобразователя будет состав вещества, заполняющего пространство между пластинами. Особенно широко емкостные преобразователи этого типа применяются при измерении влажности твердых и жидких тел, уровня жидкости, а так же определения геометрических размеров небольших объектов.



Рисунок 2 – Внешний вид емкостных датчиков.

3. Резистивные датчики.

Первичным измерительным преобразователем резистивного датчика является резистор, выполненный из проводящего материала, например — из металла или металлических сплавов. Измеряемая физическая величина, воздействуя на резистор, обуславливает изменение его сопротивления, приращение которого может служить информативным параметром электрической цепи, зависящим от воздействия. Наиболее простыми по принципу действия являются контактные преобразователи, служащие для преобразования дискретных значений механического перемещения в сопротивление. Такие преобразователи изготавливаются для выполнения узкоспецифических измерительных задач и не находят широкого применения.

Более совершенными преобразователями механического перемещения в сопротивление являются реостатные датчики. В этом случае под воздействием измеряемой величины передвигается движок реостата. При этом сопротивление участка реостата между подвижным и неподвижным контактами меняется. Реостаты выполняются из металлической проволоки, которая наматывается на ди-

электрический каркас. Необходимый закон изменения сопротивления при перемещении движка может быть установлен выбором формы каркаса.

К резистивным преобразователям относятся также и проволочные тензорезисторы и терморезисторы. Они выпускаются в широких масштабах и довольно часто используются в измерительных системах. Для их изготовления применяют металлические проводниковые материалы: проволоку, фольгу, металлические пленки, наносимые методом напыления и т. п.

К основным свойствам металлических материалов, применяемых для резистивных датчиков, относятся:

- а) удельная проводимость или удельное сопротивление;
- б) температурный коэффициент удельного сопротивления.



Рисунок 3 – Внешний вид резистивных датчиков.

4. Аспирационные датчики.



Рисунок 4 – Внешний вид аспирационных датчиков.

Методы измерения влажности.

Поскольку для описания влажности может быть использовано большое количество переменных, существует несколько способов измерения влажности с различной точностью.

Гигрометрические способы измерения. Гигрометры. Влагомеры.

Гигрометрический способ измерения основан на изменении длины гигроскопических нитей, в частности, волос или синтетических нитей. Влаговосприимчивый элемент состоит из нескольких синтетических нитей, каждая из которых содержит в себе 90 отдельных волокон диаметром 0,003мм. После специальной обработки нити приобретают гигроскопические свойства. Измери-

тельный элемент адсорбирует и испаряет влагу. Эффект набухания, проявляющийся, главным образом, в увеличении длины, передается системой рычагов микровыключателю с очень маленьким ходом штока переключателя. На изменение влажности воздуха измерительный элемент реагирует быстро и точно. При настройке установки ручки с помощью ручки регулятора, система рычагов приводится в действие таким образом, что когда достигается установленное значение влажности воздуха, активируется выключатель гигростата (влагомера).

Несмотря на то, что такие гигрометры или гигростаты являются хорошим решением в ценовом плане, их использование ограничено измерительным классом. Точность таких измерений составляет около $\pm 5\%$ относительной влажности.

Психрометр.

Психрометры значительно более точны, чем гигрометрические способы измерений. Они измеряют уровень влажности благодаря физическому эффекту охлаждения при процессах испарения. При данном способе измерений один термометр считывает температуру окружающего воздуха, а другой т.н. температуру влажного термометра. Для этого термометр должен быть увлажнен хлопковой тканью и обдуваться воздухом со скоростью от 2 до 3 м/с. Происходящее испарение охлаждает термометр и при наступлении состояния равновесия, влажность может быть подсчитана по показаниям сухого и влажного термометра. Степень точности 1% относительной влажности у психрометра может быть достигнута при использовании точных термометров и при условии аккуратного обслуживания оборудования.

Зеркало точки росы.

Зеркало точки росы – другой достаточно точный способ измерения. Поверхность с металлическим напылением охлаждается до температуры, при которой из воздуха начинает выпадать роса. Температура, измеренная в этой точке, соответствует температуре точки росы. Отсюда, ориентируясь на температуру окружающего воздуха, может быть подсчитана влажность. При таком способе измерения может быть достигнута точность 1%.

Последние два способа достаточно точны, хотя они довольно дороги и сложны.

Влагомер.

Влагомер представляет собой прибор для измерения влагосодержания газообразных (газов), жидких (жидкостей) и твердых веществ (сыпучих, гигроскопичных и других). Влагомеры бывают гигрометрические, гигроскопические, электрохимические (для жидкостей и газов), психрометрические, емкостные, кондуктометрические (жидкость, твердые и сыпучие материалы), а также влагомеры, основанные на явлении ядерного магнитного резонанса.

Принцип действия влагомера основан на диэлектрической проницаемости измеряемых объектов. Влагомером улавливаются корреляционные изменения измеряемого материала, при воздействии на его поверхность. Прибор опреде-

ляет количество влаги в объекте. Зачастую на показания влагомера не влияют ни температуры измеряемых веществ, ни наличие статического электричества.

Влагомеры нашли свое применение в области измерения, мониторинга и управления влажностью при таких технологических процессах как сушка древесины, сушка дерева (пиломатериалов), сушке зерна, зернопродуктов, сыпучих и гигроскопичных материалов. Влагомеры широко используются в строительстве, мебельном производстве, столярном деле. Влагомеры измеряют влажность бетона, мебельного щита, влажность стен, влажность в помещении при проведении ремонтных работ, укладке паркета. Зачастую влагомеры совмещают с датчиками влажности и температуры, в том случае, когда нужно измерять не только влажность, но и температуру.

Количественная оценка влажности газов.

Для её оценки используют следующие величины:

- парциальное давление водяного пара p , (Па);
- массовая концентрация влаги, (г/м³);
- объемная доля влаги, (млн⁻¹);
- относительная влажность, (%);
- температура точки росы, (°C).

Парциальное давление (лат. *partialis* — частичный, от лат. *pars* — часть) — давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре. Общее давление газовой смеси является суммой парциальных давлений каждого газа в смеси. Парциальное давление газа, растворённого в жидкости, является парциальным давлением того газа, который образовался бы в фазе газообразования в состоянии равновесия с жидкостью при той же температуре. Парциальное давление газа измеряется как термодинамическая активность молекул газа. Газы всегда будут вытекать из области с высоким парциальным давлением в область с более низким давлением; и чем больше разница, тем быстрее будет поток. Газы растворяются, диффузируют и реагируют соответственно их парциальному давлению и не обязательно зависимы от концентрации в газовой смеси.

Относительная влажность — степень насыщенности воздуха водяным паром, которую определяет соотношение того количества пара в единице объема воздуха, которое есть на момент измерения, к количеству пара, которое уместится при этой же температуре в этом же объеме. Другими словами нужно поделить абсолютную влажность воздуха на максимально возможную при аналогии. Именно относительную влажность воздуха и используют для измерений различными приборами, которых существует несколько разновидностей. Они отличаются и по методикам измерения и по типам самих датчиков. Относительная влажность воздуха является не только одним из важнейших пунктов в прогнозе погоды, но и одним из определяющих факторов климата. На различных участках материков по всей нашей планете относительная влажность кардинально различается. В зависимости от этого показателя врачи рекомендуют своим пациентам, страдающим от тех или иных заболеваний, отправляться на

оздоровительные процедуры в регионы с соответствующим климатом и влажностью воздуха. Нельзя сказать, что хуже – слишком высокая или слишком низкая относительная влажность. Считается, что для нормального самочувствия человека относительная влажность должна составлять 40-60%. Так как влажность воздуха крайне важна не только для комфорта и самочувствия человека, но и для его здоровья и жизни в целом.

Точка росы – это конкретная температура воздуха, при которой начинается процесс конденсации водяного пара, достигшего состояния максимального насыщения, причем она зависит от величины давления. Простейший пример – утренняя роса. Днем в солнечную погоду воздух нагревается, возрастает и его способность удерживать влагу – влагоемкость. В ночное время температура воздуха снижается, уменьшается его влагоемкость, водяной пар достигает состояния насыщения и выпадает в виде росы. Аналогичные процессы можно наблюдать в помещении зимой на стальных не утепленных трубах водопровода.

Массовая концентрация влаги – определяется как массовое содержание воды в единице объема газа.

Объемная доля влаги – определяется как отношение объема, содержащейся в газе влаги к общему объему газа.

Описание лабораторной установки.

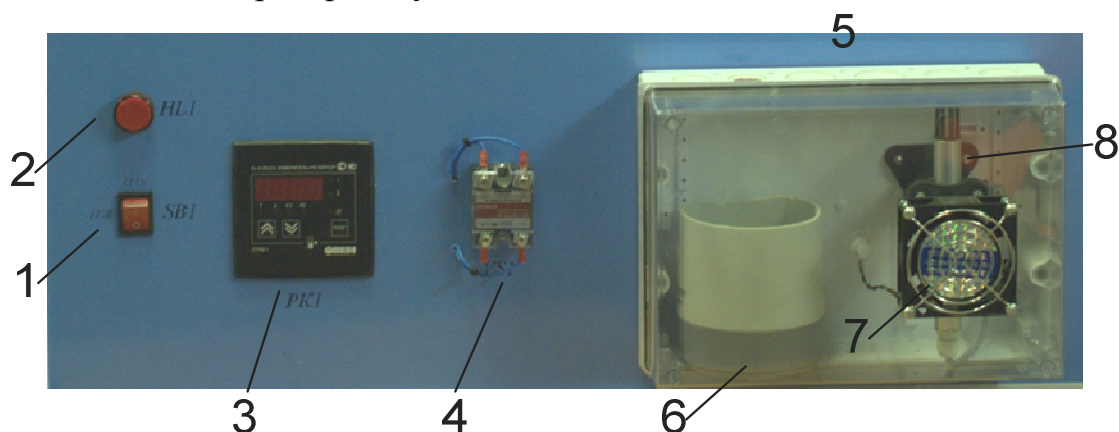


Рисунок 5 – Общий вид экспериментальной установки.

1 – кнопка включения сети SB1; 2 – сигнальная лампа HL1; 3 – измеритель-регулятор 2TRM202; 4 – твердотельное реле; 5 – корпус объекта управления; 6 – нагревательный элемент электрочайника; 7 – вытяжной вентилятор; 8 – датчик влажности.

Система автоматического управления включает в себя измеритель-регулятор TRM 202, изображенный на рисунке 6. На нем обозначены: 1 – экран текущего значения температуры; 2 – экран значения уставки; 3 – кнопки задания уставки; 4 – кнопка программирования и задания режимов работы прибора; 5 – индикаторы выходов K1 и K2 прибора.

На передней панели регулятора расположены светодиоды, которые показывают состояние, в котором находится прибор:

«ЛУ1» - показана информация для первого канала регулирования;

«ЛУ2» - показана информация для первого канала регулирования;

- «RS» прибор осуществляет обмен данными с сетью RS-485;
- «K1» - включено ВУ1;
- «K2» - включено ВУ2;



Рисунок 6 – Измеритель-регулятор температуры ТРМ202. 1 – экран; 2 и 3 – кнопки задания уставки; 4 – кнопка программирования и задания режимов работы прибора.

Помимо светодиодов на передней панели расположены кнопки:

Кнопка  осуществляет:

- вход в меню программирования;
- вход в нужную группу параметров;
- циклическое пролистывание параметров в группе (при каждом нажатии кнопки значение текущего параметра записывается в память);

Кнопка  и  служат для:

- перехода между пунктами меню;
- увеличения и уменьшения значения параметра.

Измеритель-регулятор измеряет и поддерживает влажность в объекте управления на заданном уровне. Электрическая схема приведена на рисунке 7.

Установка работает следующим образом. Измеритель-регулятор РК1 постоянно анализирует влажность в объекте управления 5 при помощи расположенного в нем датчика влажности 8. Датчик представляет собой емкостный влагочувствительный элемент, сигнал которого подается на измеритель-регулятор. Если влажность в объекте управления находится ниже определенного (заданного) значения, измеритель-регулятор вырабатывает сигнал, который управляя твердотельным реле VS1, подает напряжение на нагревательный элемент электрочайника 6. Влажность в объекте управления начинает повышаться за счет работы нагревателя. Когда влажность достигает заданного значения, измеритель-регулятор прекращает подавать управляющий сигнал на твердотельное реле VS1 и, тем самым, питание нагревательного элемента электрочайника пропадает. Нагрев элемента электрочайника прекращается, влажность перестает интенсивно расти. С учетом

инерционности системы влажность в объекте управления выходит за рамки установленной.

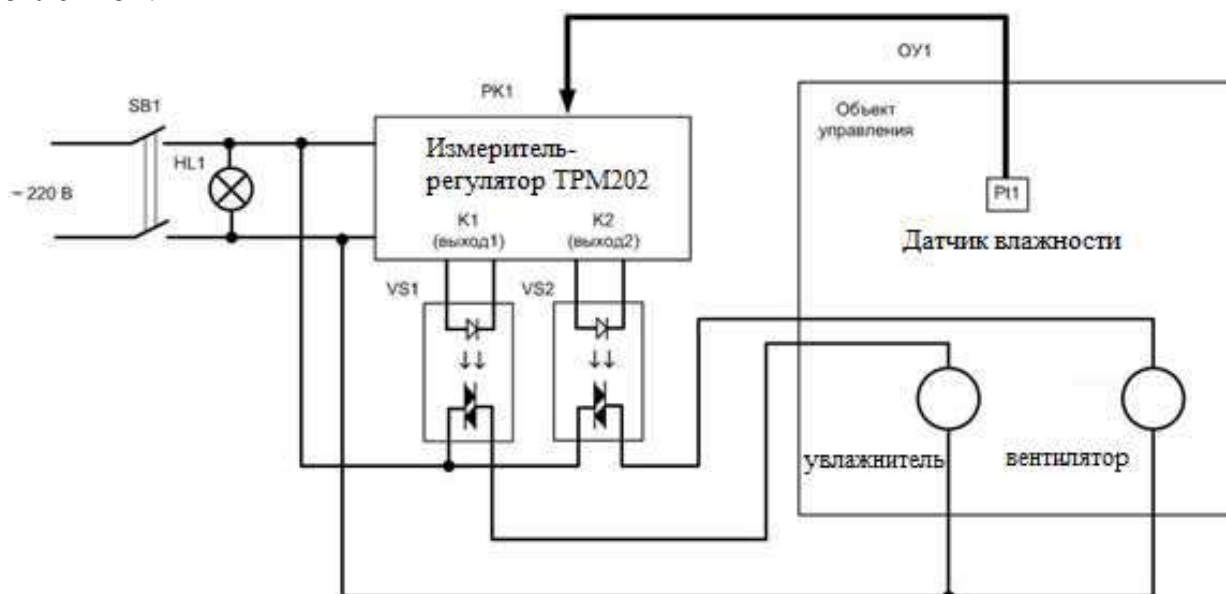





Рисунок 7 – Электрическая схема лабораторной установки.

В связи с этим измеритель-регулятор формирует сигнал, который коммутирует цепь с вытяжным вентилятором, что приводит к его работе. Вентилятор вытягивает влажный воздух наружу из объекта управления, тем самым приводя в норму заданную влажность. Далее описанный цикл регулирования повторяется [13].

3. Порядок выполнения работы.

Внимание! Включать установку и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!

1. Включить установку выключателем SB1. При этом должна зажечься лампа индикации HL1, а на экране измерителя-регулятора PK1 (рисунок 6) отобразится текущее значение влажности в объекте управления. **Внимание! При этом происходит включение измерителя-регулятора, который по определенному алгоритму начинает свою работу.**
2. **Задавать значение уставки необходимо быстро в связи с особенностями работы как самого измерителя-регулятора, так и большой инерционности объекта управления** (влажность, которая должна быть в объекте управления). Значение уставки принимаем равным 90 % либо 65%, если до этого установка уже работала, и влажность в объекте управления уже равна значению 90% .
3. Значение уставки отображается на зеленом экране № 2. Посредством кнопок  и  установить заданное значение уставки (90% либо 65%). При этом необходимо уставку задавать для 2-х логических устройств. Смена логических устройств происходит при помощи кнопки  **ПРОГ.**
4. Включить секундомер и через определенные промежутки времени заносить значения влажности в объекте управления в таблицу 1.

Обратить внимание на работу регулятора при достижении в объекте управления заданной влажности. При подаче напряжения регулятором на нагревательный элемент электрочайника через твердотельное реле, индикаторная лампа реле будет гореть, при отключении - гаснуть.

При выходе за пределы заданной влажной в объекте управления, из-за инерции системы, регулятор-измеритель управляет вытяжным вентилятором, который восстанавливает влажность на заданном уровне.

Таблица 1. Процесс регулирования влажности в объекте управления.

| t, с | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | .. | .. | t>∞ |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|-----|
| φ1, % (φ _{уставки} = 90 °C) | | | | | | | | | |
| φ2, % (φ _{уставки} = 65 °C) | | | | | | | | | |

5. Задать значение уставки измерителя-регулятора равным 65% либо 90% и повторять опыт (п. 3,4) отобразить результате в таблице 1. **При этом необходимо при первоначальном включении стенда снять показания датчика влажности, который будет показывать влажность воздуха в помещении. Если влажность больше 65%, необходимо поднять уставку выше этого значения, поскольку значение реальной влажности в помещении будет выше, чем мы пытаемся установить.**
6. По результатам данным таблицы 1 построить два графика, представленных на рисунке 8.
7. Сделать соответствующие выводы о работе регулятора и занести их в отчет.

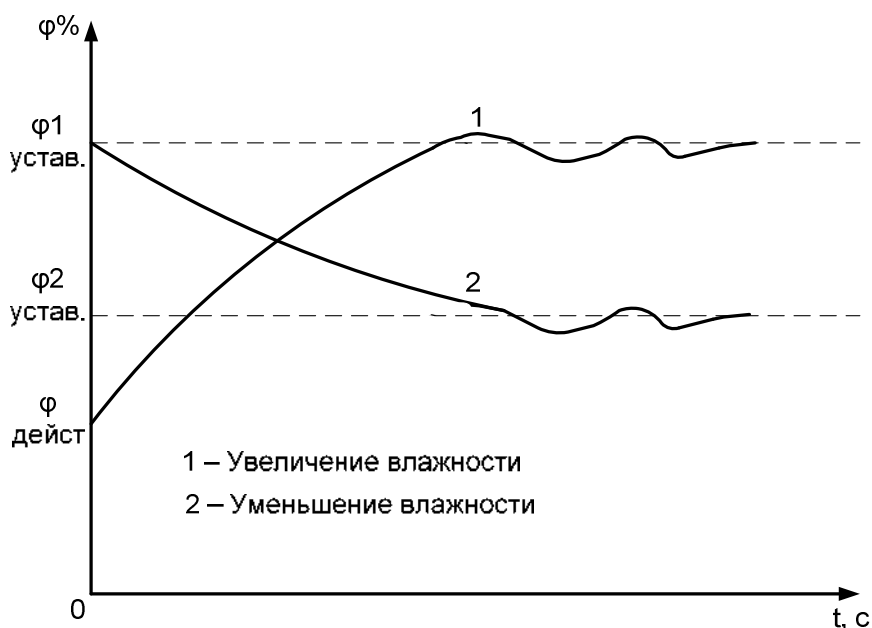


Рисунок 8 – Примерный вид графиков изменения влажности в объекте управления.

Контрольные вопросы

1. Какие виды датчиков влажности вы знаете?
2. Конструктивные особенности емкостных преобразователей?
3. Как производится количественная оценка влажности газов?
4. Какие методы измерения влажности вы знаете?
5. Назовите достоинства и недостатки емкостных датчиков.

Лабораторная работа № 7 УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ САР

Цель работы: изучить основные принципы контроля и законы регулирования в САР. Изучить основы работы и настройки ПИД-регуляторов.

1. Общие сведения.

Автоматическим регулятором называют устройство, предназначенное для поддержания управляемой величины на заданном уровне или изменения ее в соответствии с требуемым законом регулирования.

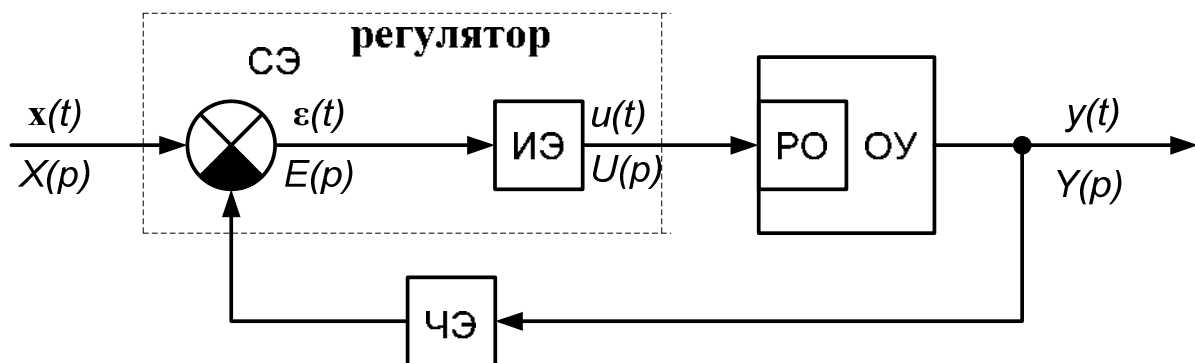


Рисунок 1 – Функционально-структурная схема САР.

Автоматический регулятор воспринимает разность между фактическим и заданным значениями регулируемой величины и преобразует ее в управляющее воздействие на регулируемый орган.

Управляющее воздействие формируется в соответствии с заложенным в регулятор законом регулирования.

Для регулирования объектами управления, как правило, используют типовые регуляторы, названия которых соответствуют названиям типовых звеньев. *Регуляторы непрерывного действия* – это регуляторы, у которых представление входных и выходных величин, а также выполнение всех вычислительных операций осуществляется непрерывно во времени.

Законом регулирования является зависимость между управляющим воздействием и сигналом рассогласования.

$$u = f(\varepsilon) \quad (1)$$

Регуляторы непрерывного действия наиболее распространенные и совершенные и подразделяются на:

1. Пропорциональные или П – регуляторы;
2. Интегральные или И – регуляторы;
3. Пропорционально - интегральные или ПИ – регуляторы;
4. Пропорционально-дифференциальные или ПД – регуляторы;
5. Пропорционально - интегрально - дифференциальные или ПИД – регуляторы.

1. П-регулятор - пропорциональный регулятор. Передаточная функция П-регулятора:

$$W_p(p) = k_p \quad (2)$$

где k_p - коэффициент передачи регулятора.

Переходная характеристика регулятора имеет вид:

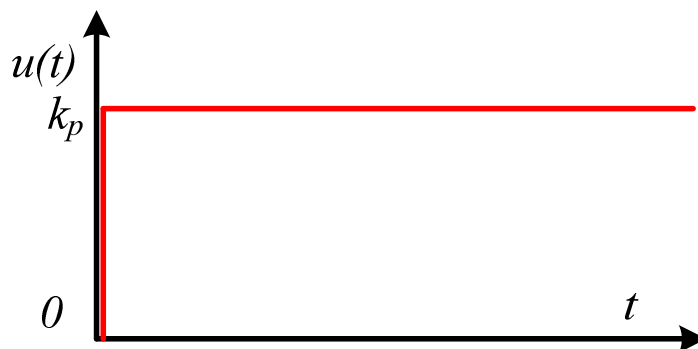


Рисунок 2 – Переходная характеристика П-регулятора.

Принцип действия заключается в том, что регулятор вырабатывает управляющее воздействие на объект пропорционально величине ошибки (чем больше ошибка \mathcal{E} , тем больше управляющее воздействие U).

2. И-регулятор - интегрирующий регулятор - воздействует на регулирующий орган пропорционально интегралу отклонения управляемой величины от заданного значения. Передаточная функция И-регулятора:

$$W_p(p) = \frac{k_p}{p} \quad (3)$$

Переходная характеристика регулятора имеет вид:

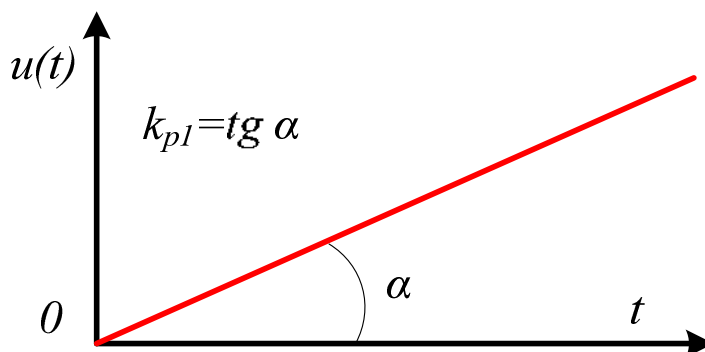


Рисунок 3 – Переходная характеристика И-регулятора.

Управляющее воздействие пропорционально интегралу от ошибки.

3. ПИ – регулятор, пропорционально-интегральный регулятор. ПИ - регулятор оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению

и интегралу отклонения управляемой величины. Передаточная функция *ПИ* – регулятора:

$$W_p(p) = \frac{k_p(T_u p + 1)}{T_u p} \quad (4)$$

где T_u – **постоянная времени интегрирования** – это время, за которое пропорциональная составляющая удваивается за счет интегральной составляющей.

Переходная характеристика регулятора имеет вид:

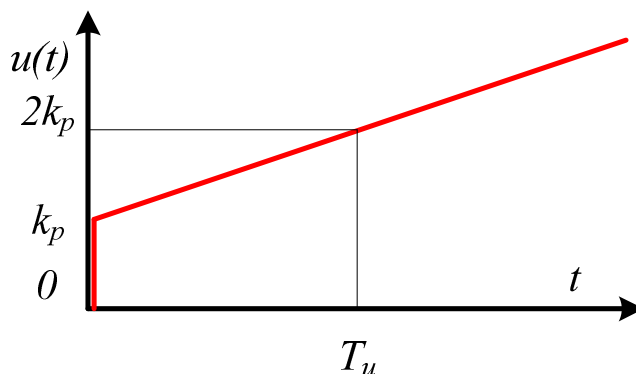


Рисунок 4 – Переходная характеристика *ПИ*-регулятора.

4. *ПД – регулятор*, пропорционально-дифференциальный регулятор, оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально сигналу рассогласования и скорости его изменения. Передаточная функция *ПД – регулятора*:

$$W_p(p) = k_p(T_d p + 1) \quad (5)$$

где T_d – постоянная времени дифференцирования, которая представляет собой величину составляющей управляющего воздействия $u(t)$ пропорциональную скорости изменения сигнала рассогласования.

Переходная характеристика регулятора имеет вид:

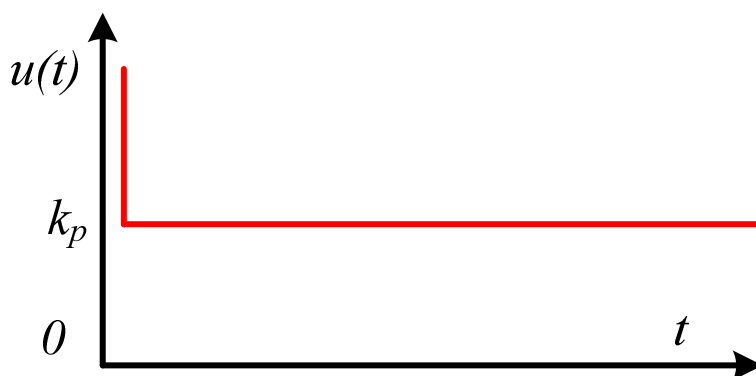


Рисунок 5 – Переходная характеристика *ПД*-регулятора.

5. ПИД – регулятор, пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор - воздействует на регулируемый орган пропорционально сигналу рассогласования, интегралу сигнала рассогласования и скорости изменения сигнала рассогласования. Передаточная функция ПИД – регулятора:

$$W_p(p) = k_p \frac{T_d T_u p^2 + T_u p + 1}{T_u p} \quad (6)$$

Переходная характеристика регулятора имеет вид:

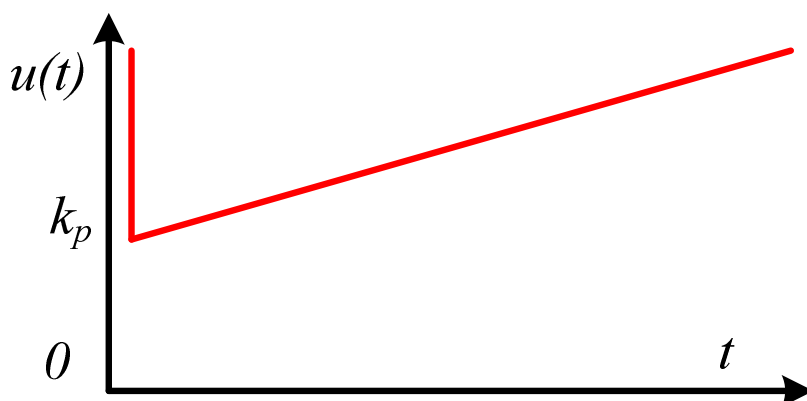


Рисунок 6 – Переходная характеристика ПИД-регулятора.

Наиболее часто используется ПИД-регулятор, поскольку он сочетает в себе достоинства всех трех типовых регуляторов.

Задача выбора закона управления и типа регулятора.

Задача выбора закона управления и типа регулятора состоит в следующем – необходимо выбрать такой тип регулятора, который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования. Могут быть выбраны релейные, непрерывные или дискретные (цифровые) типы регуляторов. Для того, чтобы выбрать тип регулятора и определить его настройки необходимо знать:

- 1 - Статические и динамические характеристики объекта управления;
- 2 - Требования к качеству процесса регулирования;
- 3 - Показатели качества регулирования для непрерывных регуляторов;
- 4 - Характер возмущений, действующих на процесс регулирования.

Выбор типа регулятора обычно начинается с простейших двухпозиционных регуляторов и может заканчиваться самонастраивающимися микропроцессорными регуляторами [5, 10, 13].

Описание лабораторной установки.

Общий вид лабораторного стенда представлен на рисунке 7. Электрическая часть установки, которая находится в нижней части стенда, состоит из: индикаторной лампы 1, вводного выключателя 2, измерителя-регулятора 3 типа ТРМ210 производства фирмы ОВЕН, электрической печи 4, которая является объектом регулирования и панели оператора ИП320 5.

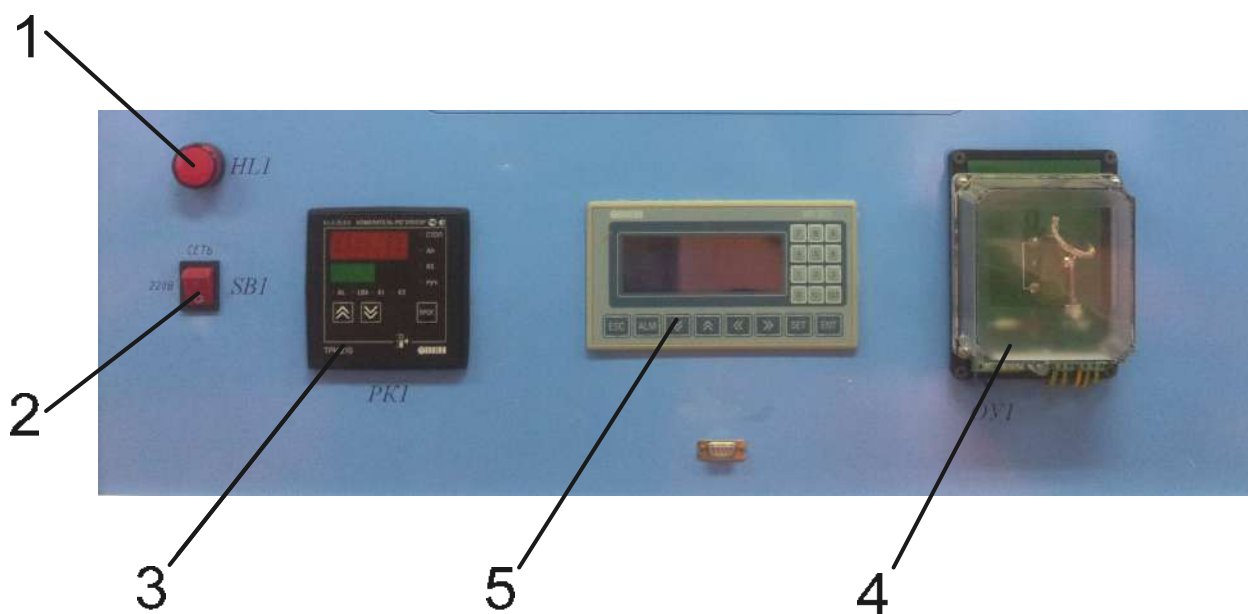


Рисунок 7 - Общий вид лабораторного стенда.

Система автоматического управления включает в себя измеритель-регулятор, изображенный на рисунке 8. Регулятор состоит из: 1 – экран текущего значения температуры; 2 – экран значения уставки; 3 – кнопки задания уставки; 4 – индикаторы выходов К1 и К2 прибора; 5 – кнопка программирования и задания режимов работы прибора.



Рисунок 8 - Измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ210.

На передней панели регулятора расположены светодиоды, которые показывают состояние, в котором находится прибор:

- «СТОП» - регулятор остановлен;
- «АН» - идёт автонастройка;
- «РУЧ» - прибор находится в режиме ручного управления;
- «RS» прибор осуществляет обмен данными с сетью RS-485;
- «K1» - включено ВУ1;
- «K2» - включено ВУ2;
- «AL» - регулируемая величина выходит за заданные пределы;
- «LBA» - обнаружен обрыв в цепи регулирования.

Помимо светодиодов на передней панели расположены кнопки:

Кнопка  осуществляет:

- вход в меню программирования;
- вход в нужную группу параметров;
- циклическое пролистывание параметров в группе (при каждом нажатии кнопки значение текущего параметра записывается в память);

Кнопка  и  служат для:

- перехода между пунктами меню;
- увеличения и уменьшения значения параметра.

В качестве объекта управления используется эмулятор печи изображённый на рисунке 9. Печь содержит: 1 - сигнальный провод датчика температуры; 2 – электрический нагревательный элемент печи с датчиком температуры; 3 – индикатор работы печи.

Измеритель-регулятор измеряет и поддерживает температуру печи на заданном уровне.

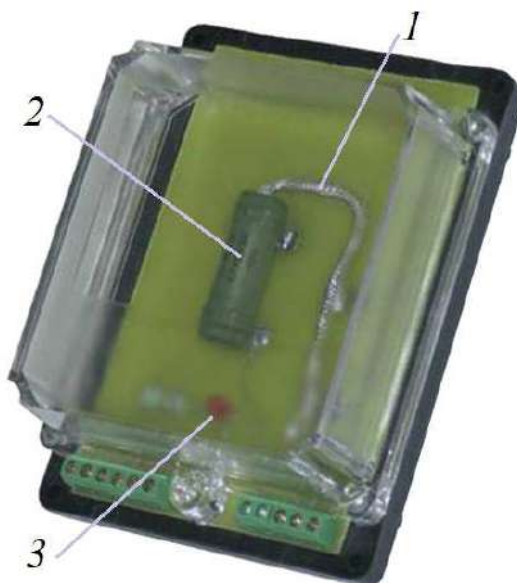


Рисунок 9 - Электрическая печь (объект управления).

Электрическая схема работы установки показана на рисунке 10.

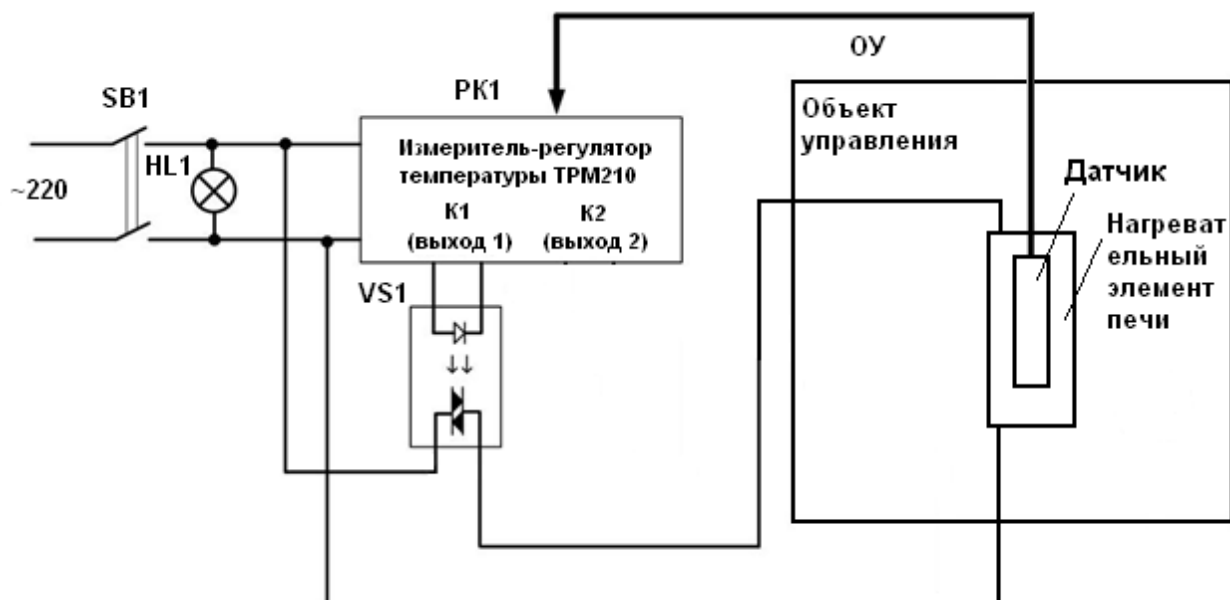


Рисунок 10 – Электрическая схема работы установки.

2. Порядок выполнения работы.

Внимание! Включать установку и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!

1. Снять переходную характеристику объекта управления. Для этого включить установку выключателем SB1. При этом должна зажегаться лампа индикации HL1, а на экране измерителя-регулятора ТРМ210 (рис. 2) отобразится текущее значение температуры (на красном экране) и значение уставки (на зеленом экране).

2. Необходимо перевести регулятор в двухпозиционное регулирование. Для этого необходимо нажать и держать кнопку **ПРОГ.** 3 сек, далее кнопками **↕** + **↕** выбрать группу **Адв**, кратковременно нажимать **ПРОГ.** до появления параметра **Ctrl** (на красном экране). Данный параметр имеет 2 значения:

PID - ПИД-регулятор;

onoff - двухпозиционный регулятор.

Выбрать необходимое значение и зажать **ПРОГ.**, затем выбрать **Luop** и кратковременно нажать 2 раза **ПРОГ.**

3. Снять переходную характеристику. Для этого необходимо включить процесс регулирования. Войдите в режим настройки регулятора (зажать кнопку **ПРОГ.**). Найти параметр **r-5** (он имеет два значения: **run** - запуск и **stop** - остановка) и выберите с помощью **↕** + **↕** значение **run**. Выйти из меню настройки можно при помощи кнопки **ПРОГ.** (аналогично запуску производится и остановка при помощи выбора значения **stop** параметра **r-5**). Процесс регулирования запущен и можно снимать показания температуры.

Внимание! Изменять настройки регулятора можно только при остановке процесса регулирования.

4. Полученные в ходе измерения результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений переходной характеристики

| | | | | | | |
|--|---|---|----|----|-----|-------------------------------------|
| t, сек | 0 | 5 | 10 | 15 | ... | ∞ |
| τ , °C ($\tau_{\text{уставки}} = \dots$) | | | | | | $\rightarrow \tau_{\text{уставки}}$ |

5. По результатам таблицы 1 построить график переходного процесса в объекте управления.

6. На основании полученного графика необходимо исследовать объект управления и рассчитать основные параметры: $T_{\text{ОУ}}$ – постоянная времени апериодического звена, τ – время «чистого запаздывания» и $K_{\text{ОУ}}$ – коэффициент усиления ОУ. Для этого на полученном графике откладываются две точки А и В, отстоящие по амплитуде на 15 % от нулевого и установившегося значения, соответственно, т.е. ординаты точек А, и В равны соответственно 0,15 и 0,85 (рисунок 11).

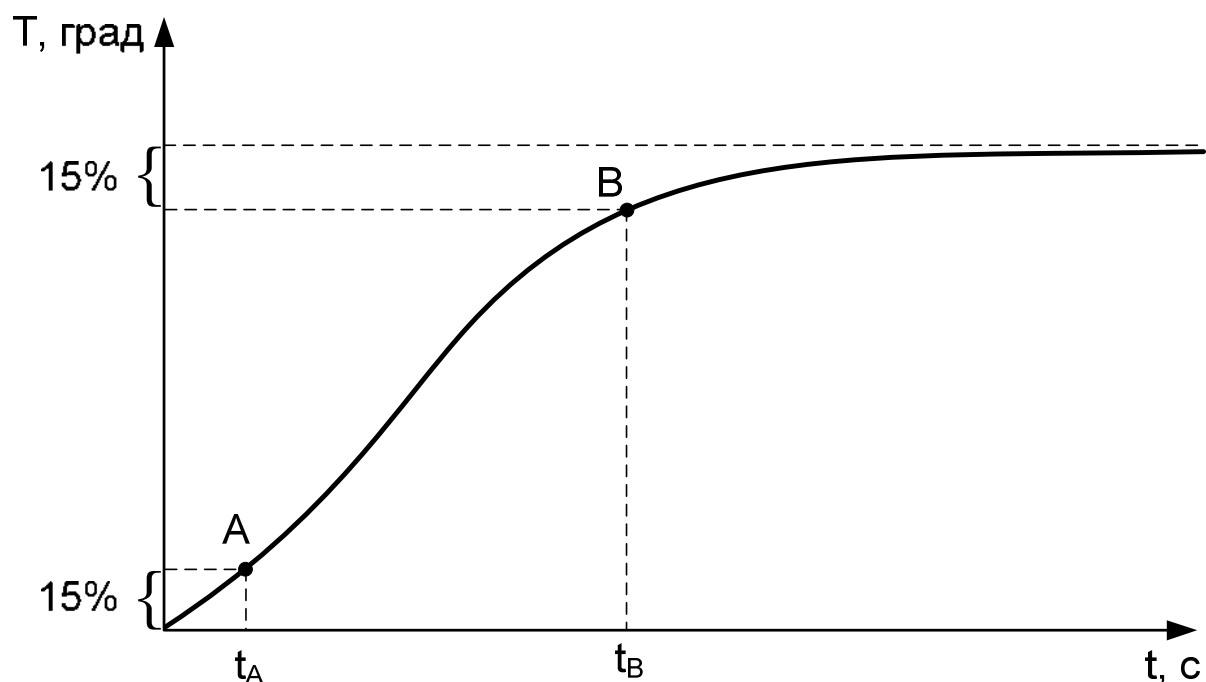


Рисунок 11 – Нахождение $T_{\text{ОУ}}$ и τ .

Тогда:

$$T_{\text{ОУ}} = \frac{t_B - t_A}{2} \quad (1)$$

$$\tau = t_A \quad (2)$$

Коэффициент усиления $K_{\text{ОУ}}$ есть отношение значения выходной величины объекта управления $u_{\text{ВЫХ}}$ (в данном случае температура) к входной величине $x_{\text{ВХ}}$ (электрическая мощность нагревательного элемента печи):

$$K_{OY} = \frac{y_{\text{ВЫХ}}}{x_{\text{ВХ}}} = \frac{T}{P}, \left[\frac{\text{град}}{\text{Вт}} \right] \quad (3)$$

$$P = U^2/R \quad (4)$$

где U – напряжение, $U = 220 \text{ В}$;

R – сопротивление нагревательного элемента печи (указано на стенде), Ом.

7. Если соблюдается условие $\frac{\tau_{OY}}{T_{OY}} \geq 0$, то в качестве регулятора можно использовать ПИД-регулятор.

8. Найти настройки ПИД-регулятора. Поскольку переходная характеристика ОУ представлена в виде апериодического звена 1-го порядка, поэтому для нахождения пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих необходимо воспользоваться следующими формулами:

$$k_P = \frac{0,95 T_{OY}}{K_{OY} \tau_{OY}}; \quad (5)$$

$$T_I = 2,4 \cdot T_{OY}; \quad (6)$$

$$T_D = 0,4 \cdot \tau_{OY}. \quad (7)$$

9. Необходимо проверить адекватность полученных настроек ПИД-регулятора. Ввести настройки в регулятор. Для этого необходимо остановить процесс регулирования (выбрать значение **Stop** параметра **r-5**). Перевести регулятор из двухпозиционного регулирования в ПИД-регулирование (см. п.2). Далее в группе меню **Adv** установить значения найденных по формулам (5), (6) и (7) параметров: **P** (пропорциональная составляющая), **I** (интегральная составляющая) и **D** (дифференциальная составляющая). Выйти из меню настройки.

10. Вновь измерить переходную характеристику и результаты измерений занести в табл. 2. Построить график регулирования температуры по полученным данным. **Внимание!** Обязательно снять процесс поддержания температуры в диапазоне близком к установленному значению (несколько полувольт регулирования) (рисунок 12).

Таблица 2 – Результаты измерений процесса регулирования температуры печи

| | | | | | | |
|---|---|---|----|----|-----|-------------------------------------|
| t, сек | 0 | 5 | 10 | 15 | ... | ∞ |
| $\tau, ^\circ\text{C}$ ($\tau_{\text{уставки}} = \dots$) | | | | | | $\rightarrow \tau_{\text{уставки}}$ |

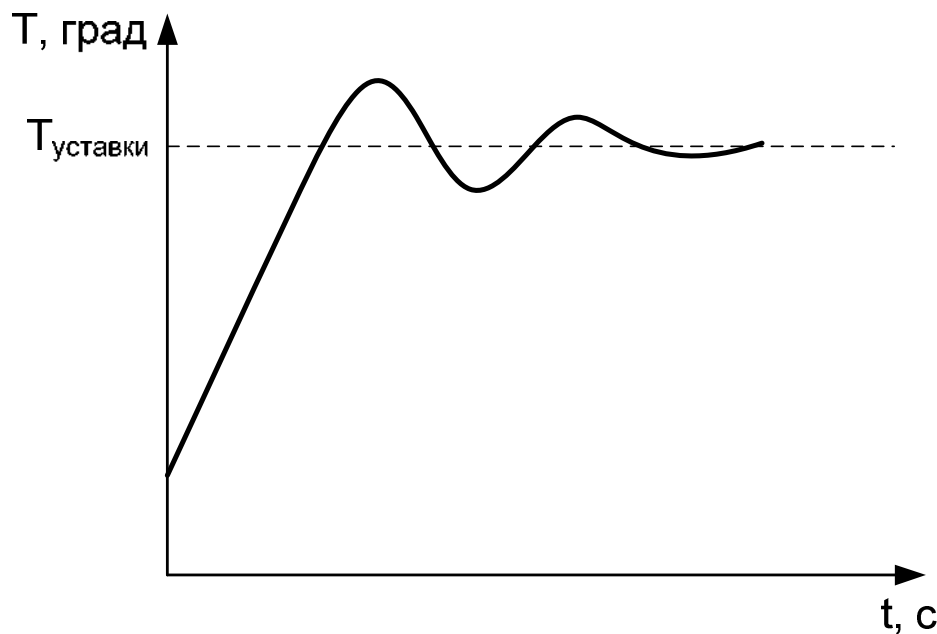


Рисунок 12 – График регулирования температуры с полученными настройками.

11. Сделать соответствующие выводы о работе регулятора и занести их в отчет.

Контрольные вопросы

1. Что такое автоматический регулятор?
2. Назовите виды регуляторов непрерывного действия
3. Что нужно знать чтобы выбрать тип регулятора и рассчитать его параметры настройки?
4. Принцип действия П-регулятора?
5. Принцип действия И-регулятора?
6. Принцип действия ПД-регулятора?
7. Принцип действия ПИД-регулятора?
8. Какой из регуляторов наиболее часто используется и почему?

Лабораторная работа № 8

ИЗУЧЕНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: познакомиться с датчиками температуры для промышленного применения, их классификацией, и оценить работу датчиков в системе автоматического управления температурой, определив погрешность измерений каждого датчика.

1. Общие сведения.

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термометры сопротивления, инфракрасные датчики температуры.

Кремниевые датчики температуры (рис. 1) используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур для таких датчиков составляет от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Внутри этого диапазона кремниевые датчики температуры показывают хорошую линейность и точность. Возможность производства в одном корпусе такого датчика не только самого чувствительного элемента, но так же и схем усиления и обработки сигнала, обеспечивает датчику хорошую точность и линейность внутри температурного диапазона.



Рисунок 1 - Кремниевые датчики температуры

Встроенная в такой датчик энергонезависимая память позволит индивидуально откалибровать каждый прибор. Большим плюсом можно назвать большое разнообразие типов выходного интерфейса: это может быть напряжение, ток, сопротивление, либо цифровой выход, позволяющий подключить такой датчик к сети передачи данных. Из слабых мест кремниевых датчиков температуры можно отметить узкий температурный диапазон и относительно большие размеры по сравнению с аналогичными датчиками других типов, особенно термопарами. Кремниевые датчики температуры применяются в ос-

новном для измерения температуры поверхности, температуры воздуха, особенно внутри различных электронных приборов.

Классификация датчиков

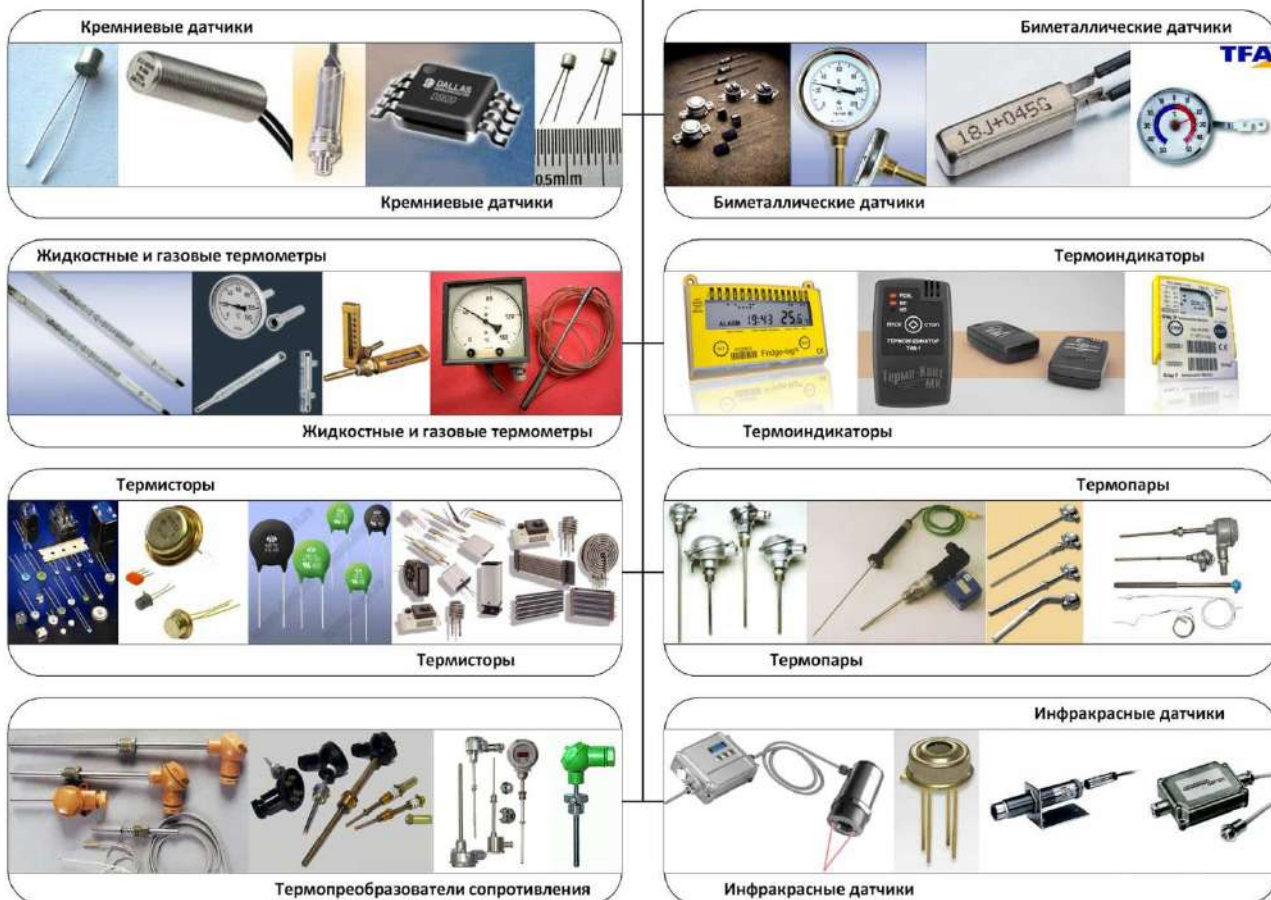


Рисунок 2 – Классификация датчиков температуры.

Биметаллический датчик температуры (рис. 3), как следует из названия, сделан из двух разнородных металлических пластин, скрепленных между собой.



Рисунок 3 - Биметаллический датчик температуры

Различные металлы имеют различный коэффициент расширения при той или иной температуре. Например, константан практически не расширяется при температуре, железо, напротив, испытывает заметное расширение. Если полоски из этих металлов скрепить между собой и нагреть (или охладить), то они изогнутся. В биметаллических датчиках пластинки замыкают или размыкают контакты реле, или двигают стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков от $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+550\text{ }^{\circ}\text{C}$. Биметаллические датчики используют для измерения поверхности твердых тел, реже для измерения температуры жидкости. Основным преимуществом датчиков является простота и надежность конструкции, возможность работы без электрического тока, низкая стоимость. Вместе с тем, биметаллические датчики температуры имеют большой разброс характеристик, а так же большой гистерезис переключения, особенно при низких температурах. Основные области применения биметаллических температурных датчиков – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.



Рисунок 4 - Жидкостные и газовые термометры

Жидкостные и газовые термометры (рис. 4) наиболее старые типы датчиков температуры. Жидкостные термометры используют эффект расширения жидкостей при повышении температуры. В качестве жидкостей используется спирт или ртуть в диапазоне комнатных температур. Для измерений низких температур, например в криогенной технике, может быть использован жидкий неон, а для измерения высоких температур обычно используют галлий, который находится в жидком состоянии уже от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. В газовых термометрах используется эффект расширения, при переходе вещества из жидкого в газообразное состояние. Газ давит через мембрану и замыкает электрические контакты. Диапазон измерений для жидкостных и газовых термометров от $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термометры этого класса обычно применяются для визуального контроля температуры, либо в качестве термостатов в различных нагревателях и холодильной технике.

Термоиндикаторы – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры (рис. 5). Такое изменение цвета может быть как обратимым, так и необратимым.



Рисунок 5 - Термоиндикатор

В диапазоне комнатных температур используются термоиндикаторы на основе жидких кристаллов. Они плавно изменяют свой цвет при изменении температуры. Изменения эти, как правило, обратимые. Производятся они в виде пленки, часто с клейкой подложкой, и служат для оперативного визуального контроля температуры. Для низких и высоких температур производятся в основном необратимые термоиндикаторы. То есть, если температура хотя бы один раз превысила допустимую, то индикатор необратимо меняет свой цвет. Такие термоиндикаторы используют, например, для контроля за замороженными продуктами. Если в процессе хранения или транспортировки температура хоть раз была выше допустимой, то изменившаяся окраска термоиндикатора сообщит об этом. Основное достоинство термоиндикаторов низкая стоимость. Их можно использовать как одноразовые датчики температуры.

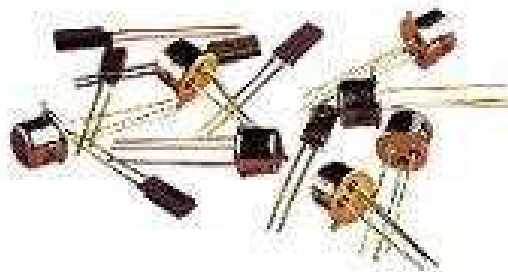


Рисунок 5 - Термисторы.

Термисторы (рис. 5). В этом классе датчиков используется эффект изменения электрического сопротивления материала под воздействием температуры. Обычно в качестве термисторов используют полупроводниковые материалы, как правило, оксиды различных металлов. В результате получают датчики с высокой чувствительностью. Однако большая нелинейность позволяет использовать термисторы лишь в узком диапазоне температур. Термисторы имеют невысокую стоимость и могут изготавливаться в миниатюрных корпусах, позволяя увеличить тем самым быстродействие. Существует два типа термисторов, использующих положительный температурный коэффициент – когда электрическое сопротивление растет с повышением температуры и использующих отрицательный температурный коэффициент – здесь электрическое сопротивление падает при повышении температуры. Термисторы не имеют оп-

ределенной температурной характеристики. Она зависит от конкретной модели прибора и области его применения. Основными достоинствами термисторов является их высокая чувствительность, малые размеры и вес, позволяющие создавать датчики с малым временем отклика, что важно, например, для измерения температуры воздуха. Безусловно, невысокая стоимость так же является их достоинством, позволяя встраивать датчики температуры в различные приборы. К недостаткам можно отнести высокую нелинейность термисторов, позволяющую их использовать в узком температурном диапазоне. Использование термисторов так же ограничено в диапазоне низких температур. Большое количество моделей с различными характеристиками и отсутствие единого стандарта, заставляет производителей оборудования использовать термисторы только одной конкретной модели без возможности замены.



Рисунок 6 - Инфракрасный датчик температуры

Инфракрасные датчики температуры (рис. 6) или пирометры измеряют температуру поверхности на расстоянии. Принцип их работы основан на том, что любое тело при температуре выше абсолютного нуля излучает электромагнитную энергию. При низких температурах это излучение в инфракрасном диапазоне, при высоких температурах часть энергии излучается уже в видимой части спектра. Интенсивность излучения напрямую связана с температурой нагретого объекта. Диапазон измерений температур бесконтактными датчиками от -45°C до $+3000^{\circ}\text{C}$. Причем в диапазоне высоких температур инфракрасным датчикам нет конкуренции. Для измерения в различных диапазонах температур используются различные участки инфракрасного спектра. Так при низких температурах это обычно диапазон длин волн электромагнитного излучения 7 – 14 микрон. В диапазоне средних температур это может быть 3 – 5 микрон. При высоких температурах используется участок о районе 1 микрон. Однако и здесь есть свои особенности, связанные с решением конкретной задачи. Так для измерения температуры тонких полимерных пленок используются датчики, работающих на длинах волн 3,43 или 7,9 микрометров, а для измерения температуры стекла используют датчики, работающие в диапазоне 5 микрон. Для правильного измерения температуры необходимо еще ряд факторов. Прежде всего это излучательная способность. Она связана с коэффициентом отражения простой формулой:

$$E = 1 - R \quad (1)$$

где E – излучательная способность,
 R – коэффициент отражения.

У абсолютно черного тела излучательная способность равна 1. У большинства органических материалов, таких как дерево, пластик, бумага, излучательная способность находится в диапазоне 0,8 – 0,95. Металлы, особенно полированные напротив имеют низкую излучательную способность, которая в этом случае будет 0,1 – 0,2. Для правильного измерения температуры необходимо определить и установить излучательную способность измеряемого объекта. Если значения будут выбраны неправильно, то температура будет измеряться неверно. Обычно показания занижаются. Так, если металл имеет излучательную способность 0,2, а на датчике установлен коэффициент 0,95 (он обычно используется по умолчанию), то при наведении на нагретый до 100 °С металлический объект датчик будет показывать температуру около 25 °С. Корректировать излучательную способность можно определив ее для различных материалов по справочнику, либо измеряя температуру поверхности альтернативным способом, например термопарой, вносить необходимые поправки. Хорошие результаты при не очень высоких температурах дает окраска специальной термостойкой, черной краской измеряемой поверхности. Второй важной характеристикой инфракрасного датчика является оптическое отношение – это отношение расстояния до объекта измерений к размеру области с которой эти измерения ведутся. Например, оптическое отношение 10:1 означает, что на расстоянии 10 метров размер площади, с которой ведется измерение температуры составляет 1 метр. Современные инфракрасные датчики температуры имеют оптическое отношение достигающие 300:1. Основные достоинства инфракрасных датчиков температуры: малое время отклика. Это самые быстродействующие датчики температуры. Возможность измерения температуры движущихся объектов. Измерения температуры в труднодоступных и опасных местах. Измерение высоких температур, там, где другие датчики уже не работают. К достоинствам можно отнести то, что отсутствует непосредственный контакт с объектом и соответственно не происходит его загрязнения. Это может быть важно в полупроводниковой промышленности или фармацевтике.

Термометры сопротивления - это резисторы, изготовленные из платины, меди или никеля (рис. 7). Это могут быть проволочные резисторы, либо металлический слой может быть напыленным на изолирующую подложку, обычно керамическую или стеклянную. Платина чаще всего применяется в термометрах сопротивления из-за ее высокой стабильности и линейности изменения сопротивления с температурой. Медь используется в основном для измерения низких температур, а никель в недорогих датчиках для измерения в диапазоне комнатных температур. Для защиты от внешней среды платиновые термометры сопротивления помещают в защитные металлические чехлы и изолируют керамическими материалами, такими как оксид алюминия или оксид магния.



Рисунок 7 - Термометры сопротивления

Такая изоляция снижает так же воздействие вибрации и ударов на датчик. Однако вместе с дополнительной изоляцией растет и время отклика датчика на резкие температурные изменения. Платиновые термометры сопротивления одни из самых точных датчиков температуры. Кроме того, они стандартизированы, что значительно упрощает их использование. Стандартно производятся датчики сопротивлением 100 и 1000 Ом. Изменение сопротивления таких датчиков с температурой дается в любых тематических справочниках в виде таблиц или формул. Диапазон измерений платиновых термометров сопротивления составляет $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ $+600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Несмотря на изоляцию, стоит оберегать термометры сопротивления от сильных ударов и вибрации.



Рисунок 8 - Термопары.

Термопары представляют собой две проволоки из различных металлов, сваренных между собой на одном из концов. Он открыл, что если соединить два проводника из разнородных металлов таким образом, что бы они образовывали замкнутую цепь и поддерживать места контактов проводников при разной температуре, то в цепи потечет постоянный ток. Экспериментальным путем были подобраны пары металлов, которые в наибольшей степени подходят для измерения температуры, обладая высокой чувствительностью, временной стабильностью, устойчивостью к воздействию внешней среды. Это, например, пары металлов хромель-алюмель, медь-константан, железо-константан, платина-платина/родий, рений-вольфрам. Каждый тип подходит для решения своих задач. Термопары хромель-алюмель (тип К) имеют высокую чувствительность и

стабильность и работают до температур вплоть до 1300 °С в окислительной или нейтральной атмосфере. Это один из самых распространенных типов термопар. Термопара железо-константан (тип J) работает в вакууме, восстановительной или инертной атмосфере при температурах до 500 °С. При высоких температурах до 1500 °С используют термопары платина-платина/родий (тип S или R) в керамических защитных кожухах. Они прекрасно измеряют температуру в окислительной, нейтральной среде и вакууме.

Система автоматического управления включает в себя измеритель-регулятор, изображенный на рисунке 9. Регулятор состоит из: 1 – экран текущего значения температуры ЦИ1; 2 – экран значения текущей уставки, время работы, режимы **STOP** и **Авария**, код аварии ЦИ2; 3 – экран значения выходного сигнала (мощности) в канале ЦИ3; 4 – экран значения номера объекта и канала через точку ЦИ4; 5 – кнопка программирования и задания режимов работы прибора; 6 – кнопка запуск/остановка индицируемого объекта, перевод **STOP-RUN** и обратно; 7 – индикаторы работы прибора.



Рисунок 9 - Измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ 148.

На передней панели регулятора расположены светодиоды, которые показывают состояние, в котором находится прибор:

«**АВАРИЯ**» – критическое аварийное событие (обрыв датчика, перегрев, и т.п.) и объект перешел в режим аварии;

























«**НАСТР.ПИД**» – автоматическая настройка параметров ПИД-регулятора для одного из объектов;

«**Уставка**» – ЦИ2 индицируется уставка;

«**Время работы**» – ЦИ2 индицируется время;

«**Горизонтальный ряд светодиодов**» – состояние работы подключенных датчиков к прибору.

Помимо светодиодов на передней панели расположены кнопки, предоставляющие пользователю широкие возможности для управления функционированием прибора:

-  2-3 сек – запуск/остановка индицируемого объекта. Перевод **STOP-RUN** и обратно.
-  +  – переход в режим программирования.
-  +  – переход в режим "быстрого" задания уставки.
-  +  – смена канала. Одновременное нажатие – вкл/выкл циклической смены каналов.
-  – сдвиг индикации, просмотр кода Аварии.
-  – выключение Аварии и аварийной сигнализации.
-  +  +  – включение/отключение ручного управления мощностью в канале.
-  +  +  – изменение параметра при ручном управлении мощностью.
-  +  +  – принудительная перезагрузка прибора.
-  +  – запуск АНР ПИД.
-  +  – запуск юстировки.
-  +  +  – возврат к стандартным сетевым настройкам.

На рисунке 10 показана принципиальная схема лабораторной установки.

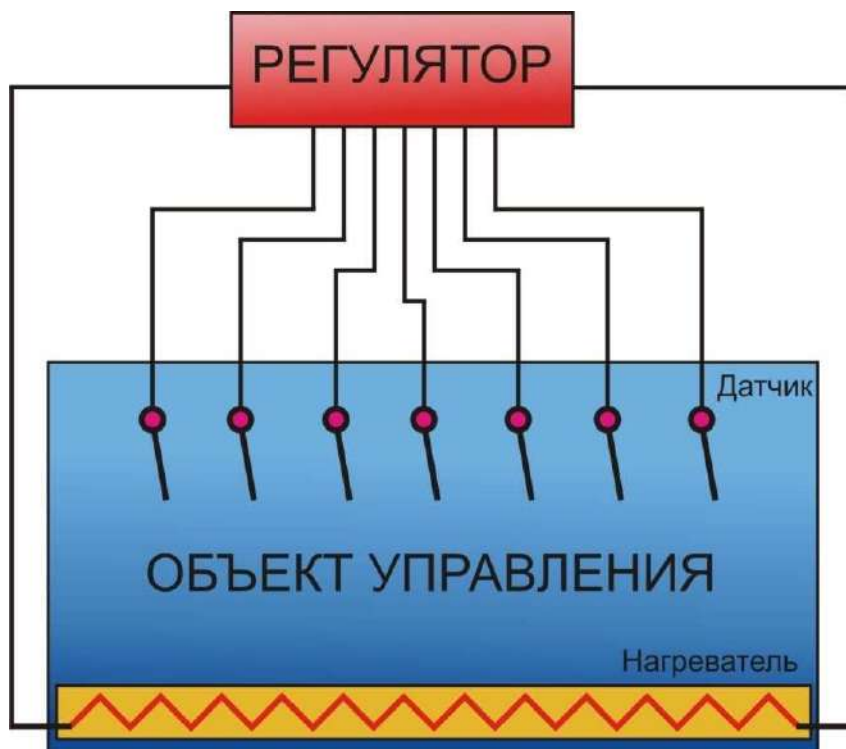


Рисунок 10 – Принципиальная схема лабораторного стенда.

2. Порядок выполнения работы

Внимание! Включать установку и выполнять какие-либо действия с приборами допускается ТОЛЬКО с разрешения преподавателя!

1. Включить установку выключателем SB1. При этом должна зажечься лампа индикации HL1, а на экране измерителя-регулятора РК1 отобразится текущее значение температуры объекта управления. Используя кнопки управле-



- ния  и  производим опрос температуры с каждого канала (датчика 1...8). Показания с ЦИ1 записываем в таблицу 1.
2. Задать значение уставки (температура, которая должна быть в объекте управления) на измерителе-регуляторе указанное преподавателем. **Обратить внимание на работу регулятора.** При подаче напряжения регулятором на нагревательный элемент через твердотельное реле, индикаторная лампа реле будет гореть, при отключении - гаснуть.
 3. Включить измеритель-регулятор на 15 секунд. Для этого необходимо нажать и удерживать кнопку 6 «пуск/стоп» (см. рисунок 2) 3 секунды, что приведет к включению регулятора. Отключение работы регулятора производится также кнопкой 6 «пуск/стоп» с удержанием 3 сек.
 4. После этого необходимо снять изменение показаний температуры с каждого датчика и записать в таблицу 1.
 5. Работу выполняют до тех пор, пока температура на датчике 1 не станет равной $t_{уст.}=45^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1 – Процесс регулирования температуры объекта управления.

| Номер датчика | Время t, с | | | | | | | | |
|------------------------------------|------------|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | 0 | 15 | 30 | 45 | 60 | 75 | .. | .. | |
| Датчик №1 (прецизионный) | | | | | | | | | |
| Датчик №2 | | | | | | | | | |
| Датчик №3 | | | | | | | | | |
| Датчик №4 | | | | | | | | | |
| Датчик №5 | | | | | | | | | |
| Датчик №6 | | | | | | | | | |
| Датчик №7 | | | | | | | | | |
| Датчик №8 | | | | | | | | | |
| $t_{уст.} = 45^{\circ}\text{C}$ | | | | | | | | | |

6. По результатам данных таблицы 1 построить в одной плоскости для каждого типа датчиков графики текущих значений температуры от времени.
7. Определить абсолютную и относительную погрешности каждого датчика и полученные результаты занести в таблицу 2. Абсолютная погрешность Δt это разность между предписанным и действительным значением регулируемой величины в установившемся режиме (максимальное отклонение регулируемой величины от предписанного значения).

$$\Delta t = h_{\max} - h_y \quad (2)$$

h_y – предписанное значение регулируемой величины.

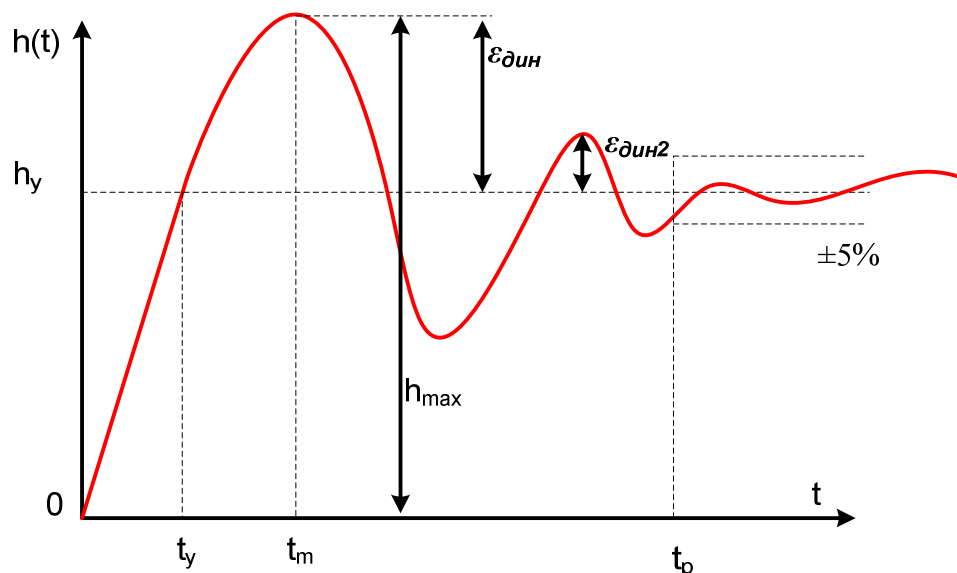


Рисунок 4 – Переходная характеристика с большой динамической ошибкой

Относительная погрешность это абсолютная погрешность, отнесенная к заданному значению регулируемой величины в процентах.

$$\delta_t = \frac{h_{\max} - h_y}{h_y} \cdot 100\% = \frac{\varepsilon_{\text{дин}}}{h_y} \cdot 100\% \quad (3)$$

Таблица 2 – Процесс регулирования температуры объекта управления.

| Номер датчика | h_{\max} | h_y | Δt | δ_t | Вид датчика |
|------------------------------------|------------|-------|------------|------------|-------------|
| Датчик №1 (прецизионный) | | | | | |
| Датчик №2 | | | | | |
| Датчик №3 | | | | | |
| Датчик №4 | | | | | |
| Датчик №5 | | | | | |
| Датчик №6 | | | | | |
| Датчик №7 | | | | | |
| Датчик №8 | | | | | |

8. Сделать соответствующие выводы по каждому типу датчиков и занести их в отчет.

Контрольные вопросы

1. Какие классы датчиков температуры вы знаете?
2. Принцип действия термометров сопротивления?
3. Принцип действия термопар?
4. Что такое динамическая ошибка?
5. Что такое относительная погрешность?

ЧАСТЬ II

Лабораторная работа №1

Моделирование электрических схем управления линией для производства плавленых сыров

Цель работы: ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления линии производства плавленых сыров.

Программа работы

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему линии производства плавленых сыров.
3. Составить электрическую схему линии производства плавленых сыров.
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

Методика выполнения работы

Линия состоит из следующего оборудования (рис. 1):

1. Плавитель
2. Буферный танк
3. Автомат для упаковки плавленого сыра



Рисунок 1 – Линия для производства плавленых сыров

Плавитель (1) (рис. 2) предназначен для производства плавленых сыров с различной рецептурой. Размельченный сыр и другие ингредиенты загружаются

через открывающуюся верхнюю крышку. Готовый продукт сливается через клапан, находящийся на дне плавителя. Предусмотрена возможность наклона модуля для полного слива готового продукта. Нагрев смеси производится косвенно паром с давлением 0,3 МПа, подающимся в двойной корпус. Максимально допустимое давление пара регулируется предохранительным клапаном. Рабочая температура поддерживается автоматически до максимума 95°C. Предусмотрена возможность подачи очищенного пара напрямую в продукт с целью ускорения процесса и коррекции содержания влаги. Максимально допустимое внутреннее давление на корпус - 0,2 МПа, контролируется предохранительным клапаном. Гомогенизация смеси осуществляется при помощи одинарного или сдвоенного ножа, расположенного в центре на дне плавителя. Продолжительность цикла составляет 10 - 20 минут в зависимости от нагрева. Скорость ножа регулируется плавно в диапазоне 1 500 - 3 000 оборотов в мин-1. На верхней крышке плавителя установлена вращающаяся лопасть для очистки стенок во время процесса со скоростью 22 оборота в мин (для стандартного плавителя) и 10-40 оборотов в мин (для плавителя с ускоренным перемешиванием). Котел-плавитель оборудован панелью управления с возможностью запоминания рецептур и технологических параметров.



Рисунок 2 - Плавитель

Работа автомата для упаковки плавленого сыра (3) полностью автоматизирована и контролируется датчиками, которые в случае поломки останавливают работу модуля.



Рисунок 3 – Фасовочный аппарат

Принцип работы линии. Подготовленное сырье загружается в плавитель вручную или по конвейеру. Выбирается технологический режим по соответствующей рецептуре и запускается процесс. В зависимости от метода нагрева продолжительность процесса приготовления составляет 10-20 минут, после чего готовый продукт направляется в буферный танк и сразу запускается фасовка, а в плавитель загружается новое сырье для следующего цикла переработки.

Готовый продукт фасуется в пластиковые стаканчики, быстро охлаждается в холодильной камере или туннеле, после чего готов к продаже.

Требования к схеме управления

1. Перед запуском линии по производству плавленых сыров предусмотреть звуковую и световую сигнализацию;
2. Предусмотреть подачу пара, включение ножа и лопастей для очистки стенок плавителя (1) одновременно;
3. Осуществить процесс приготовления сыра в плавителе с выдержкой времени установленной технологическим процессом;
4. Осуществить фасовку продукта после отключения пара, ножей и лопастей для очистки стенок плавителя (1).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления линией для производства плавленых сыров;
2. Какими устройствами контролируется процесс фасовки;
3. Из какого оборудования состоит линия для производства плавленых сыров;
4. Зачем необходимо звуковая и световая сигнализация при запуске линии.

Лабораторная работа №2

Моделирование электрических схем управления линией для производства зернового творога

Цель работы: ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления линии производства зернового творога.

Программа работы

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему линии производства зернового творога.
3. Составить электрическую схему линии производства зернового творога.
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

Методика выполнения работы



Рисунок 4 - Линия производства зернового творога (1-вертикальный творогоизготовитель, 2-трубчатый охладитель, 3-модуль частичного отделения сыворотки и заполнения форм, 4-тележка для творога, 5-автомат для упаковки, 6-CIP мойка)

Из аппаратного участка нормализованное и пастеризованное при температуре 72-78 °С молоко охлаждается до технологически необходимой температуры и подается в творогоизготовитель (1) (рис. 5), для краткого или длительного процесса.

Сывороточно-зерновая смесь подается при помощи объемного насоса на охладитель (2), где охлаждается до 27-30 °С.

Охлажденная сывороточно-зерновая смесь подается в отделитель сыворотки (3), где происходит отделение до 90% сыворотки. Время процесса 15-20 мин.

Мойка осуществляется централизованно и локально моются отдельные

модули.



Рисунок 5 – Творогоизготовитель

Требования к схеме управления

1. Перед запуском линии по производству зернового творога предусмотреть звуковую и световую сигнализацию;
2. Осуществить запуск механизмов (творогоизготовителя (1) – головной механизм, насоса трубчатого охладителя (2), модуля частичного отделения сыворотки (3)) в последовательности обратной движению продукта;
3. Предусмотреть отключение творогоизготовителя (1) через заданный технологическим процессом промежуток времени и последующую выдержку времени на отключение насоса трубчатого охладителя (2) с модулем частичного отделения сыворотки (3);
4. Осуществить включение фасовки (5) после отключения модуля частичного отделения сыворотки (3);
5. Предусмотреть возможность ручного включения мойки (6) после фасовки.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления линией производства зернового творога;
2. Из какого оборудования состоит линия для производства зернового творога;
3. Зачем необходимо звуковая и световая сигнализация при запуске линии.

Лабораторная работа №3

Моделирование электрических схем управления аппаратного участка УВТ (ультравысокотемпературной) переработки молока

Цель работы: ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления аппаратного участка УВТ переработки молока.

Программа работы

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему аппаратного участка УВТ переработки молока.
3. Составить электрическую схему аппаратного участка УВТ переработки молока.
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

Методика выполнения работы

Аппаратный участок УВТ переработки молока состоит из следующих механизмов (рис. 6):

1. Танк для хранения молока или компонентов
2. Установка УВТ (УНТ)
3. Асептический танк

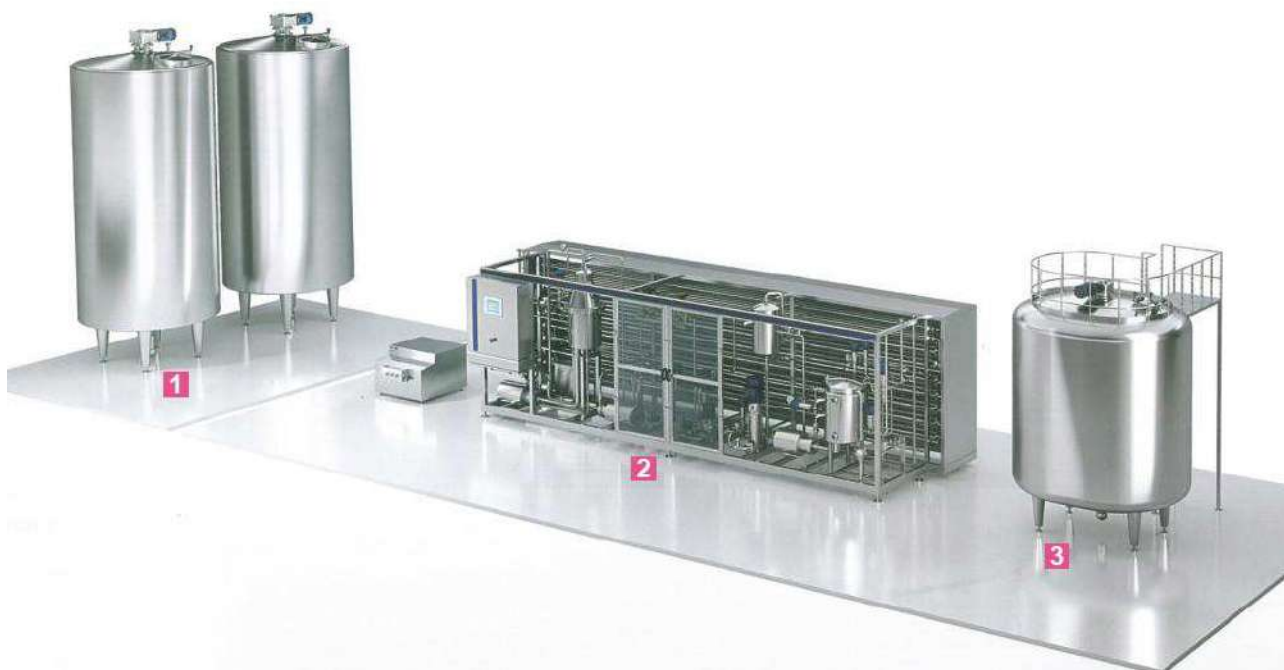


Рисунок 6 – Аппаратный участок УВТ переработки молока

Танк (1) (рис. 7) предназначен для хранения:

- цельного сырого
- пастеризованного

- обезжиренного молока
- сливок
- сыворотки
- обратной сыворотки
- или других жидких компонентов технологического процесса.

Данные емкости могут устанавливаться как внутри, так и снаружи производственного помещения, в горизонтальном и вертикальном исполнении.

Технологические особенности танка (1): для исключения пенообразования после заполнения танка включается мешалка, которая вымешивает продукт. Благодаря мешалке продукт движется равномерно по всему объему, что обеспечивает одинаковую температуру продукта и предотвращает отслаивание жировой фракции на поверхности. Танк термоизолирован, при помощи целостно сваренной нержавеющей обшивки, снабжен моющими головками для CIP – мойки, отдушиной и панелью управления.



Рисунок 7 - Танк для хранения молока или компонентов

Подготовленное молоко поступает в секцию термизации, где подвергается ультравысокотемпературной обработке при температуре 138-140°C с выдержкой 4 сек и последующим охлаждением до 20-24°C.

Такой вид обработки применяется при производстве питьевого молока с длительным сроком хранения.

Автоматизированная стерилизационно-охладительная установка для высокотемпературной обработки УВТ (УНТ) (2) (рис. 8) укомплектована трубным теплообменником и гомогенизатором предназначена для стерилизации и производства стерилизованного молока.

Режимы работы установки:

- вход 5°C;
- гомогенизация 75°C;

- стерилизация 138-140°C с выдержкой 4 сек;
- выход 20-25°C.

Установка УВТ (УНТ) спроектирована с высокой степенью регенерации не менее 55%, оснащена системой безопасности, гарантирующей режим стерилизации. В случае нарушения режима молоко возвращается на повторную обработку в асептический танк.



Рисунок 8 - Автоматизированная стерилизационно-охлаждающая установка для высокотемпературной обработки УВТ (УНТ)

Асептический танк (3) (рис. 9) предназначен для сохранения продукта стерильным.



Рисунок 9 - Асептический танк

Требования к схеме управления

1. Перед запуском аппаратного участка УВТ переработки молока предусмотреть звуковую и световую сигнализацию;
2. Предусмотреть включение мешалки танка (1) при достижении продуктом его верхнего уровня;
3. Осуществить отключение подачи пара в установки УВТ (2) по достижении заданной технологией температуры;
4. Предусмотреть отключение всего аппаратного участка при достижении верхнего уровня в асептическом танке (3).

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления аппаратного участка УВТ переработки молока;
2. Из какого оборудования состоит линия для УВТ переработки молока;
- 3..Какие датчики используются на аппаратном участке УВТ переработки молока.

Лабораторная работа № 4

Моделирование электрических схем управления линией производства сливочного масла

Цель работы: ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления линии производства сливочного масла и принципом их составления.

Программа работы

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему линии производства сливочного масла.
3. Составить электрическую схему линии производства сливочного масла.
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

Методика выполнения работы

Сливочное масло является одним из самых широко распространенных молочных продуктов. Технология его изготовления известна человечеству с древних времен. Тогда люди просто отделяли сливки от молока и затем взбивали их, получая тем самым более плотную массу. В настоящее время технологии получения масла стали значительно более разнообразными и сложными. В зависимости от сырья и технологии производства масло подразделяют на сливочное и топленое. Сливочное масло получают двумя способами: сбиванием сливок и преобразованием высокожирных сливок в структуру сливочного масла (термомеханическим или вакуумным). Топленое масло – практически чистый молочный жир, полученный перетапливанием сливочного нестандартного (по вкусу, консистенции, запаху и др.) масла.

При производстве сливочного масла методом сбивания сливки пастеризуют при температуре 90-95°C, охлаждают до 1-4°C и подвергают созреванию в течение 1-3 часов, во время которого молочный жир затвердевает, белковые оболочки жировых шариков набухают. При выработке кисломасляного масла в сливки перед созреванием вносят закваску из чистых культур молочнокислых и ароматизующих бактерий. Созревшие сливки сбивают в маслоизготовителях периодического или непрерывного действия. При сбивании белковые оболочки жировых шариков разрушаются. Освобожденные от оболочек, они слипаются в масляное зерно, остальную часть сливок – пахту – отделяют от зерна. Зерно механически обрабатывают, получая из него сплошной монолит масла. В процессе обработки регулируют количество влаги в масле, доводя его до стандартного содержания.

Состав линии по производству сливочного масла непрерывным методом (рис. 10):

- Приемный бак;
- Насос;
- Стерилизатор скребковый;
- Бак напорный;

- Сепаратор сливоотделитель;
- Ванна пастеризационная;
- Насос;
- Маслообразователь.

Требования к схеме управления

1. Перед запуском линии по производству сливочного масла предусмотреть звуковую и световую сигнализацию;
2. Затем происходит опрос датчиков в приемном баке, и при наличии молока в приемном баке, запускается стерилизатор скребковый, насос и открывается электромагнитный клапан в приемном баке;
3. При срабатывании датчика верхнего уровня в напорном баке, закрывается электромагнитный клапан в приемном баке и через выдержку по времени отключаются насос и стерилизатор скребковый. Затем запускается сепаратор-сливкоотделитель.
4. При срабатывании датчика нижнего уровня в напорном баке, происходит отключение сепаратора-сливкоотделителя и запуск ванны пастеризационной. После этого происходит процесс пастеризации сливок. По истечении времени пастеризации включается насос №2. При срабатывании датчика нижнего уровня в ванне пастеризационной происходит отключение насоса и включение маслоизготовителя. После этого происходит процесс изготовления масла. По истечении времени маслоприготовления отключается маслоизготовитель и линия отключается.

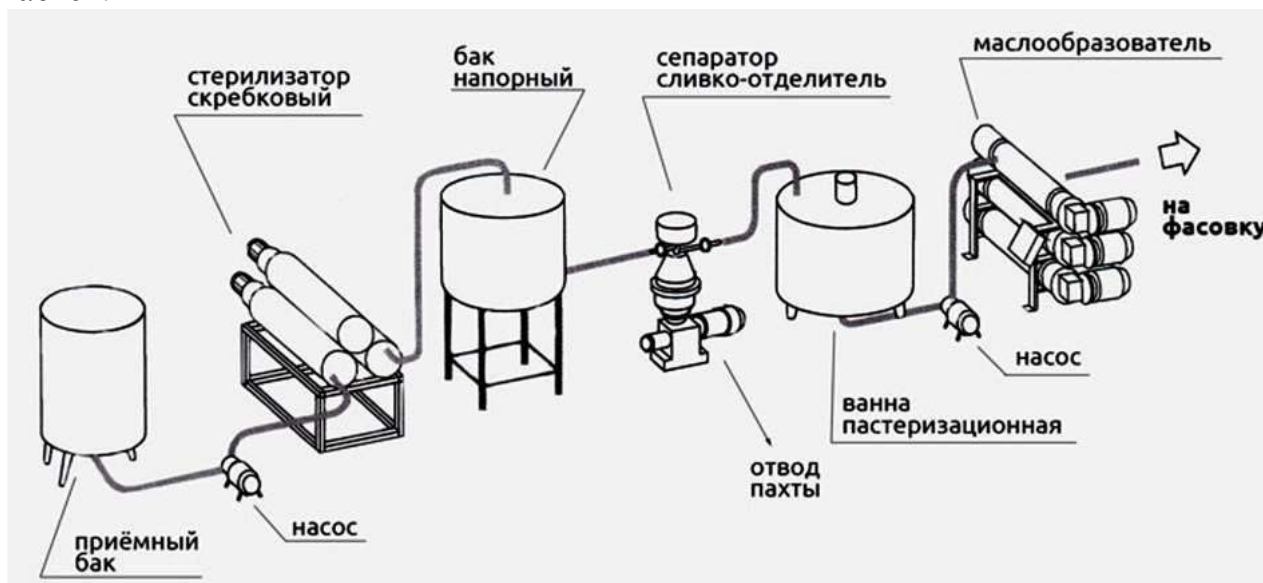


Рисунок 10 – Технология производства сливочного масла.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления линией производства сливочного масла.
2. Опишите работу линии производства сливочного масла.
3. Каким образом осуществляется контроль уровня молока в приемном баке.

Лабораторная работа № 5

Моделирование электрических схем управления линии для производства стерилизованных молочных продуктов

Цель работы: ознакомиться с основными требованиями, предъявляемыми к схемам управления линии для производства стерилизованных молочных продуктов и принципом их составления.

Программа работы

1. Ознакомиться с общими сведениями.
2. Изучить технологическую схему линии для производства стерилизованных молочных продуктов.
3. Составить электрическую схему линии для производства стерилизованных молочных продуктов.
4. Собрать электрическую схему и опробовать ее работу.
5. Дать анализ и сделать выводы по проделанной работе.

Методика выполнения работы

Линия состоит из следующего оборудования (рис. 11):

- 1-танк для хранения молока или компонентов (рис. 7),
- 2-модуль растворения сухого молока,
- 3-модуль внесения добавок,
- 4-установка УВТ (УНТ) (рис. 8),
- 5-асептический танк (рис. 9),
- 6-фасовочный аппарат.

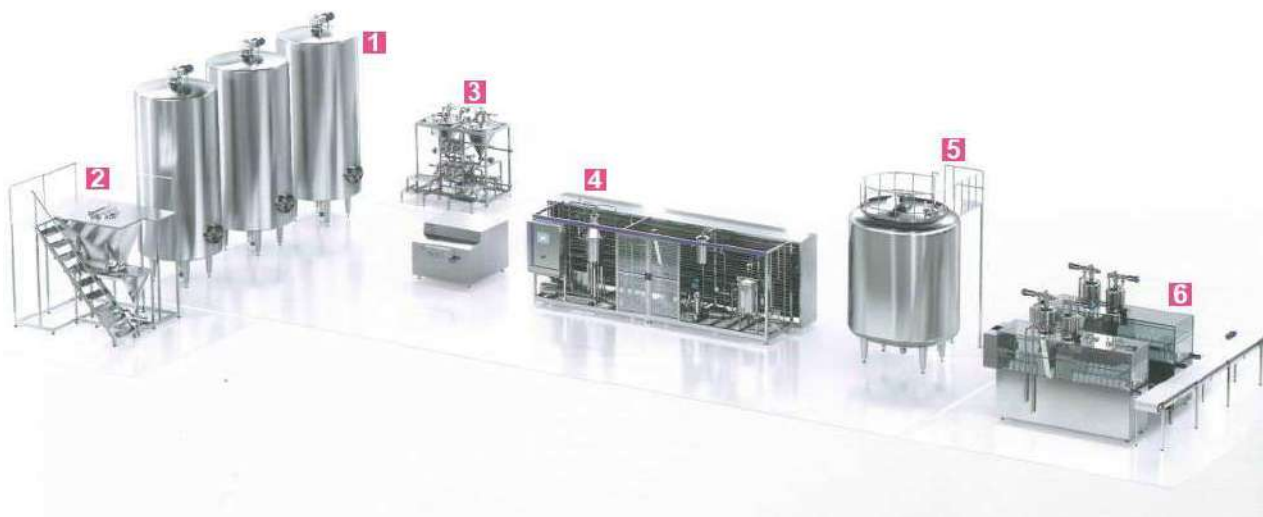


Рисунок 11 – Линия для производства стерилизованных молочных продуктов (1-танк для хранения молока или компонентов, 2-модуль растворения сухого молока, 3-модуль внесения добавок, 4-установка УВТ (УНТ), 5-асептический танк, 6-фасовочный аппарат).

Модуль растворения сухого молока (2) (рис. 12) предназначен для растворения и восстановления сухого молока при производстве питьевого молока,

йогурта и других молочных продуктов.

Принцип действия модуля: сухое молоко подается в бункер, на дне которого вмонтирован шнек, подающий равномерно в коническую воронку объемом 50 л, снизу оснащенную инжектором. Вода или молоко, в котором растворяют добавки, подается при помощи насоса через инжектор. Высокая скорость потока и перепад давления между входом и выходом создают вакуум, который засасывает сухие добавки. Готовая смесь подается с деаэрацией или без в танк для хранения и последующей переработки. Максимальная концентрация смеси – 30% сухих веществ от общего количества смеси. Если есть необходимость в получении более концентрированной смеси, то процесс проводится повторно. Для более эффективного растворения сухих добавок воду или молоко, в котором они будут растворяться, нагревают до 50°C на входе и охлаждают до 4-6°C на выходе для хранения. Для обеспечения непрерывного режима работы необходимо наличие трех танков. Модуль подготовлен для CIP-мойки.



Рисунок 12 – Модуль растворения сухого молока

Модуль внесения добавок (3) (рис. 13) предназначен для дозированного внесения жидких и вязких добавок (например, джемы, растительные жиры и др.) до и после термической обработки молочного продукта.



Рисунок 13 - Модуль внесения добавок

Если добавки стерильны, то дозированная подача осуществляется в потоке, непосредственно перед фасовкой продукта. Модуль включается в линии производства фруктового питьевого молока и йогурта. Две конические воронки ввода позволяют работать в непрерывном режиме и с двумя различными добавками. Асептическое исполнение модуля позволяет работать стерильными джемами. Система клапанов, расходомеров и микропроцессорное управление обеспечивает точное дозирование в потоке или в определенном объеме.

Асептический танк (5) (рис. 9) предназначен для сохранения продукта стерильным и является буферной емкостью между установкой УВТ (УНТ) и упаковочной машиной, обеспечивая гибкость процесса производства и упаковки стерилизованного молока.

Фасовочный аппарат (6) (рис. 14) предназначен для фасовки кисломолочных продуктов в жидком (при термостатном способе производства) и кремообразном (при производстве резервуарным способом производства) состоянии. Процесс фасовки полностью автоматизирован. Фасовка происходит в пластиковую тару различной формы и объема, в зависимости от желания заказчика.



Рисунок 14 – Фасовочный аппарат

Требования к схеме управления

1. Перед запуском линии по производству стерилизованных молочных продуктов предусмотреть звуковую и световую сигнализацию;
2. Осуществить работу шнека и насоса модуля растворения сухого молока (2) одновременно;
3. Предусмотреть отключение шнека и насоса модуля растворения сухого молока при достижении верхнего уровня в танке (1);
4. Осуществить открытие клапана модуля внесения добавок (3) на время определенное технологическим процессом;
5. Осуществить включение пара и насоса подачи в установку УВТ (4) после закрытия клапана модуля внесения добавок (3);

6. Оператор вручную производит фасовку продукта, при этом насос и подача пара в установке УВТ, а также мешалка в танке (1) отключены.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования, предъявляемые к схемам автоматического управления линией для производства стерилизованных молочных продуктов.
2. Для чего предназначен асептический танк.
3. Назовите режимы работы установки УВТ.
4. Что произойдёт если выйдет из строя фасовочная машина.

Приложение к лабораторной работе №5 и №6

Программирование прибора

Основные параметры прибора TPM202 объединены в 5 групп *LVOP*, *AdV*, *LuIn*, *LVOU* и *COMM*, составляющие меню прибора (рисунок). Полный список программируемых параметров приведен.



При включении питания на цифровом индикаторе видны параметры группы ***LVOP***.

В группе ***LVOP*** находятся параметры уставки логических устройств.

В группе ***AdV*** находятся параметры настройки индикации.

В группе ***LuIN*** находятся параметры настройки входов прибора.

В группе ***LVOU*** находятся параметры настройки (регулирование и регистрирование).

Параметры настройки интерфейса RS-485 расположены в группе ***COMM***.

Программируемые параметры

Таблица Б.1 - Программируемые параметры

| Обознач. | Название | Допуст. значения | Комментарии | Завод. уст. |
|---|--|--|--|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Группа <i>LVOP</i>. Параметры регулирования | | | | |
| <i>SP1</i> (SP1) | Уставка ЛУ 1 ¹⁾ | Диапазон измерения датчика | ограничивается параметрами <i>5L.L1</i> и <i>5L.H1</i> | <i>30.0</i> |
| <i>SP2</i> (SP2) | Уставка ЛУ 2 ²⁾ | Диапазон измерения датчика | ограничивается параметрами <i>5L.L2</i> и <i>5L.H2</i> | <i>30.0</i> |
| Группа <i>LuIn</i>. Настройка входов прибора | | | | |
| <i>Ln.t1</i> (in.t1) | Тип входного датчика или сигнала для Входа 1 | <i>r385</i> <i>r.385</i> <i>r391</i> <i>r.391</i> <i>r-21</i> <i>r426</i> <i>r.426</i> <i>r-23</i> <i>r428</i> <i>r.428</i> | ТСП 50П с $W_{100} = 1,3850$ ТСП 100П с $W_{100} = 1,3850$ ТСП 50П с $W_{100} = 1,3910$ ТСП 100П с $W_{100} = 1,3910$ ТСП с $R_0 = 46$ и $W_{100} = 1,3910$ ТСМ 50М с $W_{100} = 1,4260$ ТСМ 100М с $W_{100} = 1,4260$ ТСМ с $R_0 = 53$ и $W_{100} = 1,4260$ ТСМ 50М с $W_{100} = 1,4280$ ТСМ 100М с $W_{100} = 1,4280$ | <i>E..L</i> |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------|--|---|--|------------|
| | | <i>E_A1</i> <i>E_A2</i> <i>E_A3</i> <i>E_b</i> <i>E_j</i> <i>E_K</i> <i>E_L</i> <i>E_n</i> <i>E_r</i> <i>E_S</i> <i>E_t</i> <i>IO_5</i> <i>IO_20</i> <i>4_20</i> <i>U-50</i> <i>U0_1</i> | ТВР (A-1) ТВР (A-2) ТВР (A-3) ТПР (B) ТЖК (J) ТХА (K) ТХК (L) ТНН (N) ТПП (R) ТПП (S) ТМК (T) Сигнал тока от 0 до 5 мА Сигнал тока от 0 до 20 мА Сигнал тока от 4 до 20 мА Сигнал напряжения от –50 до 50 мВ напряжения от 0 до 1 В | <i>E_L</i> |
| <i>dPt1</i> (dPt1) | Точность вывода температуры первого канала измерения | 0, 1 | Задаёт число знаков после запятой при отображении температуры на индикаторе | <i>1</i> |
| <i>dP1</i> (dP1) | Положение десятичной точки аналогового входа 1 | 0; 1; 2; 3 | Задаёт число знаков после запятой при отображении измеряемой величины аналогового входа 1 | <i>1</i> |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------|--|--|--|--------------|
| <i>in.L1</i> (in.L1) | Нижняя граница диапазона измерения сигнала на входе 1 ¹⁾ | –1999... 9999 | Задаёт значение физической величины соответствующей нижнему пределу выходного сигнала датчика с учетом значения параметра <i>dP1</i> | <i>0.0</i> |
| <i>in.H1</i> (in.H1) | Верхняя граница диапазона измерения сигнала на входе 1 ¹⁾ | –1999... 9999 | Задаёт значение физической величины соответствующей верхней границе диапазона измерения датчика с учетом значения параметра <i>dP1</i> | <i>100.0</i> |
| <i>Sqr1</i> (Sqr1) | Вычислитель квадратного корня для входа 1 | <i>on</i> <i>off</i> | включен выключен | <i>off</i> |
| <i>SH1</i> (SH1) | Сдвиг характеристики датчика для входа 1 ¹⁾ | –500... 500 | Прибавляется к измеренному значению, [ед. изм.] | <i>0.0</i> |
| <i>KU1</i> (KU1) | Наклон характеристики датчика для входа 1 | 0,500... 2,000 | Умножается на измеренное значение | <i>1.000</i> |
| <i>Fb1</i> (Fb1) | Полоса цифрового фильтра 1 ¹⁾ | 0... 9999 | [ед. изм.] | <i>0.0</i> |
| <i>inF1</i> (inF1) | Постоянная времени цифрового фильтра 1 ¹⁾ | 1... 999 <i>off</i> | [с] экспоненциальный фильтр отключен | <i>off</i> |
| <i>iLU1</i> (iLU1) | Входная величина для ЛУ1 | <i>Pu1</i> <i>Pu2</i> <i>dPu</i> | текущее значение, измеренное на входе 1 текущее значение, измеренное на входе 2 разность значений 1 и 2 входах | <i>Pu1</i> |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|--|---------------------------|--|-------------|
| $\bar{L}n.t2$ (in.t2) | Тип входного датчика или сигнала для входа 2 | | Аналогично параметру $\bar{L}n.t1$ (in.t1) | $E...L$ |
| $dPt2$ (dPt2) | Точность вывода температуры 2-го канала измерения | 0,1 | Задаёт число знаков после запятой при отображении температуры на индикаторе | 1 |
| $dP2$ (dP2) | Положение десятичной точки для входа 2 | 0; 1; 2; 3 | Задаёт число знаков после запятой при отображении измеряемой величины входа 2 | 1 |
| $\bar{L}n.L2$ (in.L2) | Нижняя граница диапазона измерения на входе 2 ²⁾ | -1999... 9999 | Задаёт значение физической величины соответствующей нижнему пределу выходного сигнала датчика с учетом знач. параметра $dP2$ | 0.0 |
| $\bar{L}n.H2$ (in.H2) | Верхняя граница диапазона измерения на входе 2 ²⁾ | -1999... 9999 | Задаёт значение физической величины соответствующей верхней границе диапазона измерения датчика, с учетом значения параметра $dP2$ | 100.0 |
| $Sqr2$ (Sqr2) | Вычислитель квадратного корня для входа 2 | \bar{on} \bar{off} | включен выключен | \bar{off} |
| $SH2$ (SH2) | Сдвиг характеристики датчика для входа 2 ²⁾ | -500... 500 | Прибавляется к измеренному значению, [ед. изм.] | 0.0 |
| $KU2$ (KU2) | Наклон характеристики датчика для входа 2 | 0,500... 2,000 | Умножается на измеренное значение | 1.000 |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|---|-------------|
| $Fb2$ (Fb2) | Полоса цифрового фильтра 2 ²⁾ | 0... 9999 | [ед. изм.] | 0.0 |
| $\bar{L}n.F2$ (in.F2) | Постоянная времени цифрового фильтра 2 | 1... 999 \bar{off} | [с] экспоненциальный фильтр отключен | \bar{off} |
| $\bar{L}LU2$ (iLU2) | Входная величина для ЛУ 2 | $Pu1$ $Pu2$ dPu | Текущее значение, измеренное на входе 1 Текущее значение, измеренное на входе 2 Разность значений 1 и 2 входа | $Pu2$ |
| Группа $\bar{L}u\bar{a}U$. Настройка регулирования и регистрации | | | | |
| $SL.L1$ (SL.L1) | Нижняя граница задания уставки для ЛУ 1 ¹⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | - 199.9 |
| $SL.H1$ (SL.H1) | Верхняя граница задания уставки для ЛУ 1 ¹⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | 800 |
| $SL.L2$ (SL.L2) | Нижняя граница задания уставки для ЛУ 2 ²⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | - 199.9 |
| $SL.H2$ (SL.H2) | Верхняя граница задания уставки для ЛУ 2 ²⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | 800 |
| Параметры ключевого выхода | | | | |
| $\bar{L}n.P1$ (CmP1) | Тип логики работы компаратора 1 | 0 – Компаратор выключен 1 – Обратное управление («нагреватель») 2 – Прямое управление («охладитель») 3 – П-образная логика (срабатывание при входе в границы) 4 – U-образная логика (срабатывание при выходе за границы) | | 1 |
| $HYS1$ (HYS1) | Значение гистерезиса для компаратора 1 ¹⁾ | 0... 9999 | [ед. изм.] | 1.0 |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|---|--|------------|-------------|
| $\bar{d}\bar{a}n1$ (don1) | Задержка включения компаратора 1 | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{d}\bar{a}F1$ (doF1) | Задержка выключения компаратора 1 | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{t}\bar{a}n1$ (ton1) | Минимальное время удержания компаратора 1 во включенном состоянии | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{t}\bar{a}F1$ (toF1) | Минимальное время удержания компаратора 1 в выключенном состоянии | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{o}Er1$ (oEr1) | Состояние выхода 1 в режиме «ошибка» | $\bar{o}n$ – вкл (либо 20 мА для аналогового выхода) $\bar{o}FF$ – выкл (либо 4 мА для аналогового выхода) | | $\bar{o}FF$ |
| $\bar{C}mP2$ (CmP2) | Тип логики работы компаратора 2 | 0 – Компаратор выключен 1 – Обратное управление («нагреватель») 2 – Прямое управление («охладитель») 3 – П-образная логика (срабатывание при входе в границы) 4 – U-образная логика (срабатывание при выходе за границы) | | 1 |
| $\bar{H}Y52$ (HYS2) | Значение гистерезиса компаратора 2 ²⁾ | 0... 9999 | [ед. изм.] | 10 |
| $\bar{d}\bar{a}n2$ (don2) | Задержка включения компаратора 2 | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{d}\bar{a}F2$ (doF2) | Задержка выключения компаратора 2 | 0... 250 | [с] | 0 |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------------------|--|--|--|--------------|
| $\bar{t}\bar{a}n2$ (ton2) | Минимальное время удержания компаратора 2 во включенном состоянии | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{t}\bar{a}F2$ (toF2) | Минимальное время удержания компаратора 2 в выключенном состоянии | 0... 250 | [с] | 0 |
| $\bar{o}Er2$ (oEr2) | Состояние выхода 2 в режиме «ошибка» | $\bar{o}n$ $\bar{o}FF$ | вкл (либо 20 мА для аналогового выхода) выкл (либо 4 мА для аналогового выхода) | $\bar{o}FF$ |
| Параметры аналогового выхода | | | | |
| $\bar{d}RL1$ (dAc1) | Режим работы ЦАП1 | \bar{o} P_u | П-регулятор измеритель-регистратор | P_u |
| – для П-регулятора | | | | |
| $\bar{C}tL1$ (CtL1) | Способ управления для ЦАП1 ¹⁾ | $\bar{H}ERL$ $\bar{C}\bar{o}\bar{o}L$ | обратное управление («нагреватель») прямое управление («охладитель») | $\bar{H}ERL$ |
| $\bar{X}P1$ (XP1) | Полоса пропорциональности для ЦАП1 ¹⁾ | 2...9999 | [ед. изм.] | 10 |
| – для измерителя-регистратора | | | | |
| $\bar{A}n.L1$ (An.L1) | Нижняя граница выходного диапазона регистрации ЦАП1 ¹⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | - 199.0 |
| $\bar{A}n.H1$ (An.H1) | Верхняя граница выходного диапазона регистрации ЦАП1 ¹⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | 800.0 |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|-------------|
| $dAC2$ (dAc2) | Режим работы ЦАП2 | \bar{d} P_u | П-регулятор измеритель-регистратор | P_u |
| – для П-регулятора | | | | |
| $CtL2$ (CtL2) | Способ управления для ЦАП2 | HEP_L $C_{\bar{o}oL}$ | обратное управление («нагреватель») прямое управление («охладитель») | HEP_L |
| $\bar{x}P2$ (XP2) | Полоса пропорциональ- ности для ЦАП2 | 2...9999 | [ед. изм.] | $L0$ |
| – для измерителя-регистратора | | | | |
| $An.L2$ (An.L2) | Нижняя граница выходного диапазона регистрации ЦАП2 ²⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | - 199.0 |
| $An.H2$ (An.H2) | Верхняя граница выходного диапазона регистрации ЦАП2 ²⁾ | -1999... 9999 | [ед. изм.] Ограничена диапазоном измерения | 800.0 |
| Группа $\bar{A}du$. Параметры индикации | | | | |
| $d\bar{c}SP$ (diSP) | Режим индикации теку- щих измерений | StP_L – На индикаторе постоянно отображается входная величина ЛУ1 (переход к ЛУ2 по кнопке «ПРОГ») CY_L – Отображение входной величины ЛУ1 и ЛУ2 сменяется автоматически каждые 6 с. $\bar{b}o\bar{t}H$ – Одновременное отображение измерений обоих каналов с возможностью перехода к величинам ЛУ1 и ЛУ2 | | StP_L |
| $rEST$ (rEST) | Время выхода из про- граммирования | 5... 99 – [с]. Время, по истечении которого прибор возвращается к индикации 1-го параметра группы $LuoP$ $\bar{o}FF$ – Автоматического возврата к индикации не происходит | | $\bar{o}FF$ |

Таблица Б.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|--|--------------------|
| Группа $\bar{C}o\bar{n}$. Параметры обмена по RS-485 | | | | |
| PROT (PROT) | Протокол обмена дан- ными | $\bar{o}YE_n$ $\bar{n}r\bar{t}U$ $\bar{n}ASC$ | OWEN Modbus RTU Modbus ASCII | OWEN |
| bPS (bPS) | Скорость обмена дан- ными в сети управляю- щих импульсов | 2400; 4800; 9600; 14400; 19200; 28800; 38400; 57600; 115200. | [бит/с] Должна соответствовать скорости обмена, установленной в сети | 115.2 |
| $A.LE_n$ (A.Len) | Длина сетевого адреса | 8 11 | [бит] | $\bar{B}b$ |
| $\bar{A}ddr$ (Addr) | Базовый адрес прибора в сети, организованной по стандарту RS-485 | 0... 2047 | Запрещается устанавливать одина- ковые номера нескольким приборам в одной шине | 0 |
| $rSdL$ (rSdL) | Задержка ответа от при- бора по RS-485 | 1... 45 | [мс] | 20 |
| LE_n (LEn)* | Длина слова данных | 7, 8 | [бит] | \bar{B} |
| $PrtY$ (PrtY)* | Состояние бита четности в посылке | $\bar{n}o\bar{n}E$ | нет | $\bar{n}o\bar{n}E$ |
| $Sbit$ (Sbit)* | Количество стоп-битов в посылке | 1, 2 | | 1 |

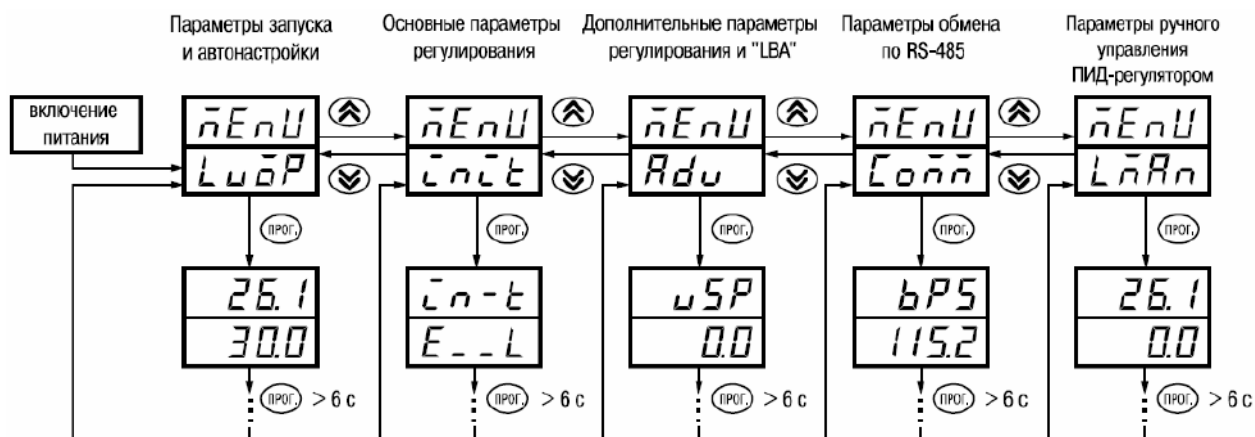
Таблица Б.1 – Окончание

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|-----------------------|-------------|
| Блокировка кнопок и защита параметров (вход по коду PASS = 100) | | | | |
| $\bar{o}APt$ (oAPt) | Защита параметров от просмотра | 0 – разрешен доступ ко всем параметрам; 1 – разрешен доступ только к $SP\ 1$ и $SP2$; 2 – запрещен доступ ко всем параметрам | | 0 |
| $\bar{w}tPt$ (wtPt) | Защита параметров от изменения | 0 – Разрешено изменение всех параметров; 1 – Запрещено изменение всех параметров кроме уставок $SP\ 1$ и $SP2$; 2 – Запрещено изменение всех параметров кроме уставки $SP\ 1$; 3 – Запрещено изменение всех параметров. | | 0 |
| $\bar{E}dPt$ (EdPt) | Защита отдельных параметров от просмотра и изменений | $\bar{o}FF$ $\bar{o}n$ | Выключена Включена | $\bar{o}FF$ |

Приложение к лабораторной работе №7

Программирование прибора

Основные параметры прибора объединены в 5 групп: *LVOP*, *init*, *AdV*, *CoMM* и *LMAN*, составляющих меню прибора (рисунок). Полный список программируемых параметров приведен.



В группу ***LVOP*** включены параметры, управляющие запуском регулирования, включением автонастройки, а также уставка.

В группу ***init*** включены параметры настройки входа прибора, выходных устройств, устройств сигнализации.

В группу ***AdV*** включены параметры дополнительных настроек регулятора.

В группу ***CoMM*** включены параметры настройки интерфейса RS-485.

В группу ***LMAN*** включены параметры ручного управления ПИД-регулятором.

Программируемые параметры

Таблица Г.1

| Обозн. | Название | Допустимые значения | Комментарии | Зав. уст. |
|--|----------------------------------|--|--|-------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Группа <i>LVOP</i>. Параметры регулирования | | | | |
| <i>P_u</i> | Измеренная величина | Диапазон измерения датчика | [ед. изм.] Параметр не устанавливаемый, а индицируемый | |
| <i>SP</i> | Уставка регулятора ¹⁾ | Определяется параметрами <i>SL-L</i> и <i>SL-H</i> | На индикаторе обозначение параметра не отображается | 30.0 |
| <i>r-S</i> | Запуск / остановка регулирования | <i>rUn</i> <i>StoP</i> | – Регулятор работает. – Регулятор остановлен, на выходное устройство выдается сигнал, равный значению, установленному в параметре <i>ndSt</i> или <i>onSt</i> | <i>StoP</i> |
| <i>At</i> | Запуск / остановка автонастройки | <i>rUn</i> <i>StoP</i> | – Не появляется при <i>r-S = StoP</i> . Запускается режим автонастройки; – Автонастройка выключена | <i>StoP</i> |
| <i>o</i> | Выходная мощность ПИД-регулятора | 0,0... 100,0 | [%]. Параметр не устанавливаемый, а индицируемый | |

Таблица Г.1

| Обозн. | Название | Допустимые значения | Комментарии | Зав. уст. |
|--|----------------------------------|--|--|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Группа $L_{\text{доP}}$. Параметры регулирования | | | | |
| P_L | Измеренная величина | Диапазон измерения датчика | [ед. изм.] Параметр не устанавливаемый, а индицируемый | |
| SP | Уставка регулятора ¹⁾ | Определяется параметрами $SL-L$ и $SL-H$ | На индикаторе обозначение параметра не отображается | 30.0 |
| $r-S$ | Запуск / остановка регулирования | rUn $StoP$ | – Регулятор работает. – Регулятор остановлен, на выходное устройство выдается сигнал, равный значению, установленному в параметре $\bar{r}dSt$ или $\bar{o}nSt$ | $StoP$ |
| At | Запуск / остановка автонастройки | rUn $StoP$ | – Не появляется при $r-S = StoP$. Запускается режим автонастройки; – Автонастройка выключена | $StoP$ |
| \bar{o} | Выходная мощность ПИД-регулятора | 0,0... 100,0 | [%]. Параметр не устанавливаемый, а индицируемый | |

Таблица Г.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|---|---------------|---|-------|
| | | E_t | ТМК (Т) | |
| | | $\bar{c}0.5$ | тока 0... 5 мА | |
| | | $\bar{c}0.20$ | тока 0... 20 мА | |
| | | $\bar{c}4.20$ | тока 4... 20 мА | |
| | | $U-50$ | напряжения –50... +50 мВ | |
| | | $U0.1$ | напряжения 0... 1 В | |
| dPt | Точность вывода температуры | 0; 1 | Задаёт число знаков после запятой при отображении температуры на индикаторе | 1 |
| dP | Положение десятичной точки | 0; 1; 2; 3 | Задаёт число знаков после запятой при отображении на индикаторе измеренного значения, и параметров SP , $\bar{c}n-L$, $\bar{c}n-H$, $SL-L$, $SL-H$ и др. | 1 |
| $\bar{c}n-L$ | Нижняя граница диапазона измерения ¹⁾ | –1999... 9999 | Задаёт значение физической величины соответствующей нижнему пределу выходного сигнала датчика | 0.0 |
| $\bar{c}n-H$ | Верхняя граница диапазона измерения ¹⁾ | –1999... 9999 | Задаёт значение физической величины соответствующей верхнему пределу выходного сигнала датчика | 100.0 |

Таблица Г.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|--|--|--|-----------------|
| <i>SL-L</i> | Нижняя граница задания уставки ¹⁾ | от нижней до верх. границы диапазона измерения датчика | [ед. изм.] | - 999 |
| <i>SL-H</i> | Верхняя граница задания уставки ¹⁾ | | [ед. изм.] | 999.0 |
| <i>SH</i> | Сдвиг характеристики датчика ¹⁾ | -500... 500 | [ед. изм.] Прибавляется к измеренному значению | 0.0 |
| <i>HI</i> | Наклон характеристики | 0,500... 2,000 | Умножается на измеренное значение датчика | 1.000 |
| <i>Fb</i> | Полоса цифрового фильтра ¹⁾ | 0... 9999 | [ед. изм.] | 0.0 |
| <i>LnF</i> | Постоянная времени цифрового фильтра | 0... 999 | [с] | 0 |
| <i>RL-d</i> | Порог срабатывания компаратора ¹⁾ | От нижней до верх. границы диапазона измерения датчика | [ед. изм.] | 0.0 |
| <i>RL-H</i> | Гистерезис компаратора ¹⁾ | От 0 до верх. границы диапазона измер. датчика | [ед. изм.] | 0.0 |
| <i>Rn-L</i> | Нижняя граница диапазона регистрации ЦАП2 ^{1),2)} | от нижней до верх. границы диапазона измерения датчика | $Rn-L \neq Rn-H$ | 0.0 |

Таблица Г.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|---|---|------------------|------------|
| <i>Rn-H</i> | Верхняя граница диапазона регистрации ЦАП2 ^{1),2)} | от нижней до верх. границы диапазона измерения датчика | $Rn-L \neq Rn-H$ | 0.0 |
| <i>RLt</i> | Тип логики работы компаратора | 0 – сигнализация выключена; 1 – срабатывание при выходе за заданный диапазон; 2 – срабатывание по верхнему пределу; 3 – срабатывание по нижнему пределу; 4 – срабатывание при нахождении в заданном диапазоне; 5 – срабатывание при выходе за заданный диапазон с блокировкой 1-го включения; 6 – срабатывание по верхнему пределу с блокировкой первого включения; 7 – срабатывание по нижнему пределу с блокировкой первого включения; 8 – срабатывание при превышении по абсолютному значению; 9 – срабатывание при абсолютном значении меньше заданного; 10 – срабатывание при превышении по абсолютному значению с блокировкой первого включения; 11 – срабатывание при абсолютном значении меньше заданного с блокировкой первого включения. | | 0 |

Таблица Г.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|--|--------------------|
| E_{u-l} | Функция ключа на дополнительном входе при дистанционном управлении регулятором | $\bar{n}\bar{a}nE$ $n-\bar{a}$ $n-\bar{L}$ | Дополнительный вход не задействован запуск при размыкании ключа запуск при замыкании ключа | $\bar{n}\bar{a}nE$ |
| $\bar{a}rEU$ | Тип управления при регулировании | $or-d$ $or-r$ | «Прямое» управление. Выходной сигнал увеличивается при увеличении измеряемого значения. Применяется для управления «холодильником» «Обратное» управление. Выходной сигнал уменьшается при увеличении измеряемого значения. Применяется для управления «нагревателем». | $or-r$ |
| CP | Период следования управляющих импульсов | 01... 250 | [с] | 1 |
| Группа $\bar{A}du$. Дополнительные параметры настройки прибора | | | | |
| $\bar{u}SP$ | Скорость изменения уставки ¹⁾ | 0... 9999 0 | [ед.изм/мин] Параметр отключен | 0.0 |
| $\bar{L}nEL$ | Режим регулирования | $\bar{P}\bar{L}d$ $\bar{a}n\bar{a}F$ | ПИД-регулятор Двухпозиционный регулятор | $\bar{P}\bar{L}d$ |
| $\bar{H}YSL$ | Гистерезис двухпозиционного регулятора ^{1),3)} | 0... 9999 | [ед. изм.] | 1.0 |

Таблица Г.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------|---|---------------------------|---------------------|-------------|
| $\bar{a}nSt$ | Состояние выхода в режиме «остановка регулирования» ³⁾ | $\bar{a}n$ $\bar{a}FF$ | включен выключен | $\bar{a}FF$ |
| $\bar{a}nEr$ | Состояние выхода в режиме «ошибка» ³⁾ | $\bar{a}n$ $\bar{a}FF$ | включен выключен | $\bar{a}FF$ |
| $rRnP$ | Режим быстрого выхода на уставку ⁴⁾ | $\bar{a}n$ $\bar{a}FF$ | включен выключен | $\bar{a}FF$ |
| P | Полоса пропорциональности ПИД-регулятора ^{1),4)} | 0,001... 9999 | [ед. изм.] | 30.0 |
| \bar{I} | Интегральная постоянная ПИД-регулятора ⁴⁾ | 0... 3999 | [с] | 100 |
| d | Дифференциальная постоянная ПИД-регулятора ⁴⁾ | 0... 3999 | [с] | 20 |
| db | Зона нечувствительности ПИД-регулятора ^{1),4)} | 0... 200 | [ед. изм.] | 0.0 |
| $\bar{a}L-L$ | Минимальная выходная мощность (нижний предел) ⁴⁾ | 0... $\bar{a}L-H$ | [%] | 0 |
| $\bar{a}L-H$ | Максимальная выходная мощность (верхний предел) ⁴⁾ | $\bar{a}L-L$... 100 | [%] | 100 |
| $\bar{a}rL$ | Максимальная скорость изменения выходной мощности ⁴⁾ | 0,2... 100,0 | [% /с] | 100 |
| $\bar{n}uEr$ | Значение выходной мощности в состоянии «ошибка» ⁴⁾ | 0... 100 | [%] | 0 |

Таблица Г.1 – Продолжение

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--|--|--|--------------|
| $\bar{n}dSt$ | Состояние выхода в режиме «остановка регулирования» ⁴⁾ | $\bar{n}uSt$ \bar{o} | заданное параметром $\bar{n}uSt$ последнее значение выходного сигнала | $\bar{n}uSt$ |
| $\bar{n}uSt$ | Значение выходной мощности в состоянии «остановка регулирования» ⁴⁾ | 0... 100 | [%] | 0 |
| LbA | Время диагностики обрыва контура ⁴⁾ | 0... 9999 0 | [с] Функция определения обрыва контура не работает | 0 |
| $LbAb$ | Ширина зоны диагностики обрыва контура ^{1), 4)} | 0... 9999 | [ед. изм.] | 10.0 |
| Группа $Ld\bar{n}$. Параметры обмена по интерфейсу RS-485 | | | | |
| $Pr\bar{o}t$ | Протокол обмена данными | $\bar{o}yEn$ $\bar{n}rEtU$ $\bar{n}ASC$ | OWEN Modbus RTU Modbus ASCII | $\bar{o}yEn$ |
| bPS | Скорость обмена данными в сети | 2.4, 4.8, 9.6, 14.4, 19.2, 28.8, 38.4, 57.6, 115.2 | [кбит/с] Должна соответствовать скорости обмена данными, установленной в сети | 115.2 |
| $ALEn$ | Длина сетевого адреса | 8 11 | [бит] | 8b |
| $Addr$ | Базовый адрес прибора в сети | 0... 2047 | Запрещается устанавливать одинаковые номера нескольким приборам в одной шине | 0 |

Таблица Г.1 – Окончание

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|--|--|--|-------------|
| $rSdL$ | Задержка ответов по сети | 1... 45 | [мс] | 20 |
| Группа $L\bar{n}A\bar{n}$. Параметры ручного управления ПИД-регулятором | | | | |
| $\bar{o}-Ed$ | Выходной сигнал ПИД-регулятора | определяется параметрами $\bar{o}L-L$ и $\bar{o}L-H$ | [%] На индикаторе обозначение параметра не отображается/ Недоступен по интерфейсу RS-485 | 0.0 |
| \bar{a} | Текущее значение выходной мощности ПИД-регулятора | 0,0... 100,0 | [%] Параметр не устанавливаемый, а индицируемый Недоступен по интерфейсу RS-485 | - |
| Группа $SECr$. Параметры секретности $PASS = 1000$ | | | | |
| $EdPt$ | Защита отдельных параметров от просмотра и изменений | $\bar{o}n$ $\bar{o}FF$ | включена выключена | $\bar{o}FF$ |

Список литературы

1. Бородин И.Ф., Кирилин И.И. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов. - М.: Колос, 1987.
2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. Москва, Телеком, 2009.
3. Карташов Б.А., Привалов А.С., Самойленко В.В., Татамиров Н.И. Компьютерные технологии и микропроцессорные средства в автоматическом управлении. Под ред. Б.А. Карташова. - Ростов н/Д: Феникс, 2013. - 540 с: ил.
4. Марецкая В.В. Моделирование технологических процессов механической обработки с использованием программного комплекса «Моделирование в технических устройствах» («МВТУ») // Изв. вузов. Машиностроение. 2004. № 4. С. 39–52.
5. Мартыненко И.И., Лысенко В.Ф. Проектирование систем автоматики. - М.: Агропромиздат, 1990. - 243 с.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва. Издательство МГТУ ИМ. Н.Э. Баумана 2004.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 2. Статическая динамика и идентификация систем автоматического управления. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва. Издательство МГТУ ИМ. Н.Э. Баумана 2004.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 3. Синтез регуляторов систем автоматического управления. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва. Издательство МГТУ ИМ. Н.Э. Баумана 2004.
9. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 4. Теория оптимизации систем автоматического управления. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва. Издательство МГТУ ИМ. Н.Э. Баумана 2004.
10. Методы классической и современной теории автоматического управления. Том 5. Методы современной теории автоматического управления. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва. Издательство МГТУ ИМ. Н.Э. Баумана 2004.
11. Николаенко С.А. Исследования влияния параметров электроозонирования на выживаемость тест-микроорганизмов / С.А. Николаенко, Д.С. Цокур // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №09(103). С. 737 – 752. – IDA [article ID]: 1031409045. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/45.pdf>, 1 у.п.л.

12. Новиков Ю.Н., Цыганков Б.К. Сельскохозяйственные объекты в системах автоматического управления технологическими процессами. Учебн. пособие, Краснодар, 1987.
13. Новиков Ю.Н., Цыганков Б.К. Типовые звенья и характеристики систем автоматического управления технологическими процессами в сельскохозяйственном производстве. Учебн. пособие, Краснодар, КСХИ, 1983.
14. Оськин С.В. Автоматизация технологических процессов: методические указания по выполнению контрольных работ для студентов з/о обучения / С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, Д.П. Харченко, С.А. Николаенко, В.А. Дидыч. – Краснодар, РИО КубГАУ, 2009. – 42 с.: ил.
15. Оськин С.В. Автоматизированная система управления электроактиватором / С.В. Оськин, Н.Ю. Курченко, В.А. Ковко // Материалы Международной научно-практической конференции, г. Ставрополь, 2013. – С. 117-121.
16. Оськин С.В. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. Часть 1. Языки программирования. Лабораторный практикум /С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, В.А. Дидыч, М.А. Карпов. – Краснодар, РИО КубГАУ, 2010. – 32 с.: ил.
17. Оськин С.В. Автоматизированный электропривод / С.В. Оськин, Н.И. Богатырев, С.М. Моргун. – Краснодар, ОАО «Кубанское полиграфическое объединение», 2014. – 212 с.: ил.
18. Оськин С.В. Автоматизированный электропривод /С.В. Оськин. – Краснодар, ООО «Крон», 2013. – 510 с.: ил.
19. Оськин С.В. Автоматизированный электропривод: учеб. пособие / С.В. Оськин. - Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. - 489 с.
20. Оськин С.В. Автоматика. Практикум по выполнению курсовой работы «Анализ и синтез линейной системы автоматического регулирования» / С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, Д.П. Харченко, С.А. Николаенко, В.А. Дидыч. – Краснодар, РИО КубГАУ, 2009. – 32 с.: ил.
21. Оськин С.В. Компьютерное моделирование систем автоматического управления: практикум / С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, А.П. Волошин. – Краснодар, РИО КубГАУ, 2010. – 43 с.: ил.
22. Оськин С.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Автоматизация технологических процессов» Часть 1 /С.В. Оськин, С.А. Николаенко, А.П. Волошин, Д.С. Цокур. – Краснодар, РИО КубГАУ, 2013. – 87 с.: ил.
23. Оськин С.В. Программируемое реле EASY-719: учебн. Пособие / С.В. Оськин, Д.А. Овсянников, С.А. Николаенко, А.П. Волошин. – Краснодар, РИО КубГАУ, 2010. – 40 с.: ил.
24. Сайт <http://model.exponenta.ru>
25. Сайт <http://mvtu.power.bmstu.ru>
26. Цокур Д.С. Система стабилизации кислотности почвы при выращивании томатов в условиях закрытого грунта / Д.С. Цокур // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2013. – №09(093). С. 12 – 28. – IDA [article ID]:

0931309002. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/02.pdf>, 1,062 у.п.л.

У ч е б н о е и з д а н и е

Николаенко Сергей Анатольевич
Цокур Дмитрий Сергеевич

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Учебное пособие

Редактор - Н.С. Духин
Верстка - Н.С. Духин
Дизайн обложки - Д.С. Цокур

Подписано в печать 30.06.2015 Формат 60 × 84
Усл. печ. л. – 7,0. Учет.-изд. л. – 5,5
Тираж 200 экз. Заказ №-3

Типография ООО «Крон»
350044, г. Краснодар, ул. Алма-Атинская, 57, оф.4



Кубанский государственный
аграрный университет