

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Горные работы»

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Пособие  
для студентов специальности  
1-51 02 01 «Разработка месторождений  
полезных ископаемых (по направлениям)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области горнодобывающей промышленности*

Минск  
БНТУ  
2023

УДК 622:658.512.22-027.43:004.9(076.5)(075.8)

ББК 32.965я7

A22

А в т о р ы:

*В. И. Стасевич, С. Г. Оника, Г. И. Лютко, К. А. Казанович*

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Нефтегазоразработка и гидропневмоавтоматика» ГГТУ

(зав. каф. д-р техн. наук *А. Б. Невзорова*);

Директор щебеночного завода *Р. К. Михалков*

A22     **Автоматизация** производственных процессов : пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых (по направлениям)» / В. И. Стасевич [и др.] – Минск : БНТУ, 2023. – 98 с.  
ISBN 978-985-583-910-2.

Пособие «Автоматизация производственных процессов» предназначено для студентов дневной и заочной форм получения образования специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых (по направлениям)» (7-07-0724-01 «Разработка месторождений полезных ископаемых») при изучении дисциплины «Автоматизация производственных процессов». Пособие включает в себя лабораторные работы по дисциплине.

В лабораторных работах указаны цель работы, теоретические сведения об изучаемых вопросах, подробно описаны порядок проведения работ, необходимые расчетные и графические материалы по результатам работ.

УДК 622:658.512.22-027.43:004.9(076.5)(075.8)

ББК 32.965я7

ISBN 978-985-583-910-2

© Белорусский национальный  
технический университет, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Порядок выполнения лабораторных работ.....	5
Лабораторная работа № 1. Исследование синхронной передачи, состоящей из сельсина-датчика и сельсина-приемника....	6
Лабораторная работа № 2. Снятие статической характеристики электромагнитного реле.....	13
Лабораторная работа № 3. Построение статической характеристики датчика угловых перемещений.....	20
Лабораторная работа № 4. Построение статической характеристики ультразвукового датчика уровня PROBE.....	22
Лабораторная работа № 5. Определение основных свойств объектов регулирования.....	28
Лабораторная работа № 6. Определение свойств объекта регулирования.....	33
Лабораторная работа № 7. Мостовые измерительные приборы.....	39
Лабораторная работа № 8. Применение индуктивных и емкостных датчиков в народном хозяйстве.....	44
Лабораторная работа № 9. Законы регулирования.....	52
Лабораторная работа № 10. САР температуры в сушильной камере.....	65
Лабораторная работа № 11. Автоматизация ленточных конвейеров.....	72
Лабораторная работа № 12. Моделирование в технических устройствах. Программный комплекс ПК МВТУ.....	87
Лабораторная работа № 13. Моделирование в технических устройствах.....	90
Лабораторная работа № 14. Программирование автоматических систем в TRACE MODE.....	93
Литература.....	97

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня сложно представить отрасль, которую бы не коснулась автоматизация. Автоматизация производства, наверное, один из основных трендов последнего столетия. Но если в 20-м веке главное внимание уделялось в основном механизации и автоматизации производственных процессов, то в 21-м веке наступило время автоматизации процессов управления. Сегодня мы видим, что автоматизация затрагивает предприятия во всех отраслях экономики. Все ищут источники повышения производительности труда, эффективности производства и пути снижения затрат. Особенно актуальными становятся вопросы эффективного управления и использования ресурсов. Для этого нужны эффективные решения по автоматизации.

В мире автоматизированные системы уже давно получили заслуженное признание. В горной отрасли автоматизация значительно упрощает процесс добычи и переработки полезных ископаемых. Современные автоматизированные линии применяют все горнодобывающие предприятия.

Решение задач автоматизации процессов добычи и обогащения горных пород требует от специалистов горной отрасли (технологов и механиков) знания принципов построения автоматических систем, функционирования приборов и средств автоматизации, методов построения систем автоматического регулирования и управления (САР, САУ), владения общим техническим языком, с помощью которого можно обмениваться разработками в области автоматизации производственных процессов. САР или САУ должны быть представлены на языке, одинаково понятном для специалистов, занимающихся вопросами добычи и переработки полезных ископаемых, монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматики.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

1. Все установки для выполнения лабораторных работ в лаборатории «Автоматизация производственных процессов» ФГДЭ БНТУ в одном экземпляре. Работы выполняются подгруппами в составе от трех до пяти человек, в зависимости от количественного состава учебной группы.

2. Студенты должны приходиться на занятия предварительно подготовившись к той работе, которая должна выполняться в этот учебный день по графику группы. Для этого каждый студент готовит отчет теоретической части работы по данному пособию. В отчете должны быть представлены схемы и рисунки, приведенные в пособии или найденные студентами в других источниках.

3. Группа приступает к выполнению лабораторной работы, когда она соберется в полном составе. Работы носят экспериментальный характер. Студенты под руководством преподавателя, используя соответствующее оборудование, получают необходимые данные, которые заносятся в таблицу. Форма таблицы представляется в пособии. Порядок выполнения работы и необходимые требования к ее выполнению описаны в пособии.

4. После выполнения работы группа предоставляет результаты преподавателю для проверки. Если результаты работы находятся в необходимых пределах, в отчете преподавателем делается отметка о том, что экспериментальная часть работы выполнена. Если же некоторые результаты работы выходят за эти пределы, экспериментальная часть работы повторяется.

5. По лабораторной работе каждый студент оформляет письменный отчет, который заканчивается краткими выводами. На следующем занятии студент обязан представить отчет преподавателю для защиты.

6. Отработка пропущенных по тем или иным причинам лабораторных занятий производится в конце текущего месяца в соответствии с утвержденным расписанием повторных учебных занятий.

# Лабораторная работа № 1.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОЙ ПЕРЕДАЧИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ СЕЛЬСИНА-ДАТЧИКА И СЕЛЬСИНА-ПРИЕМНИКА

### Цель работы:

1. Ознакомиться с устройством сельсинов, назначением и принципом работы.
2. Ознакомиться со схемами подключения сельсинов.
3. Построить основную характеристику дистанционной передачи.

### Общие сведения.

Синхронный способ передачи данных – способ передачи цифровых данных по последовательному интерфейсу, при котором приемнику и передатчику известно время передачи данных, то есть передатчик и приемник работают синхронно, в такт. Синхронизация приемника и передатчика достигается либо путем ввода синхронизирующей последовательности либо путем применения способа кодирования с самосинхронизацией при передаче каждого бита данных.

Вопрос синхронизации встал при появлении аппарата Бодо, где синхронизация приемника и передатчика осуществлялась путем выставления специальных грузиков для синхронизации. Советскими специалистами был усовершенствован аппарат и введена дуплексная синхронизация, что позволило увеличить дальность передачи данных, полосу пропускания и скорость передачи данных. В синхронном режиме блоки данных пересылаются непрерывно и согласованно.

#### Преимущества:

- высокая эффективность передачи данных;
- высокая скорость передачи данных.

#### Недостатки:

- сложность монтажа оборудования.

Такие соединения используются, когда необходимо очень быстро переслать большой объем данных. Высокая скорость синхронной связи достигается за счет передачи данных крупными блоками, а не отдельными символами.

Синхронизация соединения обеспечивается устройствами, находящимися на линии связи. Все устройства при синхронном соединении должны быть синхронизированы одинаково.

Основные особенности синхронной связи:

- между передаваемыми символами нет пропусков;
- синхронизацию обеспечивают модемы или другие устройства на обоих концах соединения;
- передаваемым данным предшествуют специальные символы *sync*;
- символы *sync* используются для синхронизации и размещаются между блоками данных.

### Сельсин-датчик и сельсин-приемник.

Во многих технологических процессах в промышленности, а также в системах автоматизации требуется синфазное и синхронное вращение осей, которые не связаны между собой механическим путем. Подобные задачи способны решить системы синхронной связи, образуемые сельсинами.

Сельсинами называют однофазные индукционные машины переменного тока (обычно малой мощности), выполненные подобно асинхронному двигателю с фазным ротором (слово сельсин означает самосинхронизирующийся). Их широко применяют для передачи на расстояние угловых перемещений двух или нескольких валов, не связанных механически между собой. Систему передачи угловых перемещений с помощью сельсинов называют синхронной передачей или системой электрического вала. В такой системе сельсины (рис. 1) работают всегда в паре: один из них является датчиком угловых перемещений (сельсин-датчик); другой – приемником (сельсин-приемник).

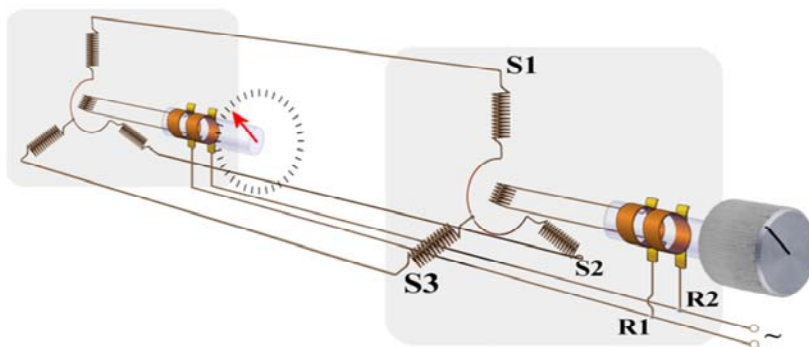


Рис. 1. Принцип передачи угла поворота вала сельсина-датчика на сельсин-приемник

Если привести в движение рабочий орган машины, то через трос или зубчатую передачу привода во вращение приведет ротор сельсин датчика и его угол поворота ( $L$ ) не будет равен углу поворота ротора сельсин приемника ( $V$ ), при этом и величины ЭДС в трехфазных обмотках роторов не будут равны между собой (рис. 2).

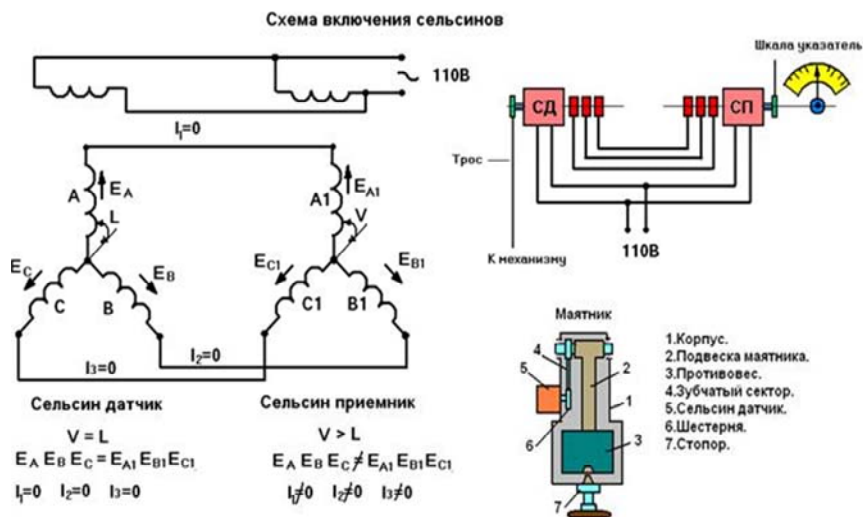


Рис. 2. Схема включения сельсинов

Это вызовет появление тока в цепи обмоток роторов.

Электрический ток в обмотке ротора сельсин приемника создает электромагнитное поле, которое взаимодействует с электромагнитным полем однофазной обмотки, в результате чего на роторе появляется вращающий момент и ротор начинает вращаться. Как только угол поворота ротора сельсин приемника станет равен углу поворота ротора сельсин датчика, равенство ЭДС их обмоток роторов восстановится, а ток в цепи станет равен нулю, вращение ротора сельсин-приемника прекратится. Стрелка указатель сельсин приемника укажет величину перемещения рабочего органа машины.

Для перемещения двух рабочих органов на одинаковое расстояние используют два сельсина, один из которых выполняет функции датчика, а второй – приемника. Включают сельсины по схеме трансформаторного режима (рис. 3).



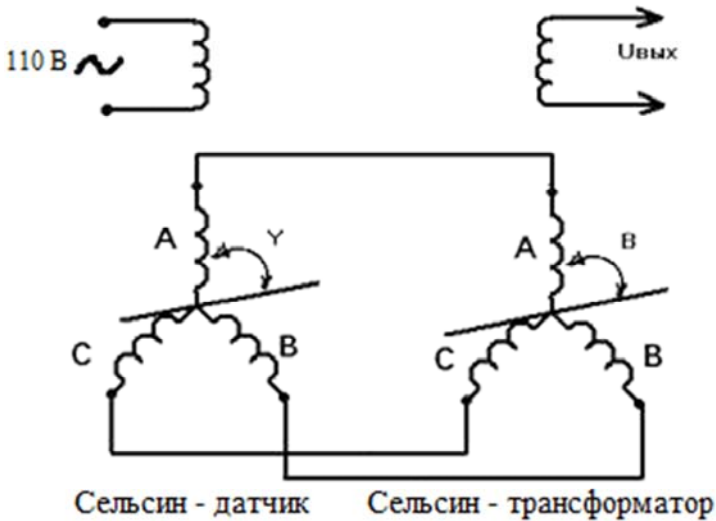


Рис. 3. Схема включения сельсинов в трансформаторный режим

Величина ЭДС ротора сельсина зависит от его угла поворота. Роторы сельсин датчика и сельсин приемника соединяют между собой параллельно, а на однофазную обмотку сельсин датчика подводят однофазное напряжение 110 В. К однофазной обмотке сельсин приемника подключают исполнительное реле, которое будет управлять вторым рабочим органом машины. Если угол поворота сельсин датчика ( $\gamma$ ) будет равен углу поворота ротора сельсин приемника ( $\beta$ ) то ЭДС на выходе его однофазной обмотки будет равна нулю.

Если переместить первый рабочий орган, то через привод повернется ротор сельсин датчика. ЭДС ротора сельсин датчика увеличится и в обмотке ротора сельсин приемника появится ток, который создаст электромагнитное поле. Электромагнитное поле ротора сельсин приемника наводит ЭДС в его однофазной обмотке. Это вызывает включение исполнительного реле, которое включает второй рабочий орган. Он начинает перемещаться, при этом поворачивается и ротор сельсин приемника. Как только угол поворота ротора сельсин датчика станет равен углу поворота ротора сельсин приемника ЭДС в однофазной обмотке сельсин приемника станет равна нулю и исполнительное реле выключится. Второй рабочий орган машины остановится.

### Теория опыта.

Основной характеристикой дистанционной передачи является зависимость угла рассогласования между роторами датчика и приемника в положении покоя от статического синхронизирующего момента

$$M_{\text{ст}} = f(\theta).$$

Все величины и характеристики индикаторной передачи обычно определяют по отношению к приемнику вследствие того, что ротор сельсина-датчика перемещается принудительно.

Синхронизирующий момент определяется по формуле:

$$M_{\text{ст}} = PR, \text{ г} \cdot \text{см},$$

где  $P$  – масса груза, г;

$R$  – радиус шкива, см.

Крутизна кривой статического синхронизирующего момента определяет удельный синхронизирующий момент, развиваемый на валу приемника при его рассогласовании с датчиком на один градус.

Удельный синхронизирующий момент определяется по формуле:

$$m = \frac{M_{\text{ст}}}{\theta} = \frac{PR}{\theta}, \text{ г} \cdot \text{см/град}.$$

Схема установки для снятия основной характеристики индикаторной передачи, построенной на сельсинах, представлена на рис. 4.

Установка состоит из лабораторного автотрансформатора (1), при помощи которого устанавливается рабочее напряжение 110 В по вольтметру (2), сельсина-датчика БД-404А (3) (табл. 1), на валу ротора которого укреплен шкив (5) с грузами (6), сельсина-приемника БС-404А (4) с жестко зафиксированным валом ротора.

Установка для снятия кривой синхронизирующего момента выполнена следующим образом. Сельсин-датчик устанавливается в макет, снабженный шкалой. На оси ротора датчика устанавливаются и закрепляются с одной стороны шкивок, с другой – стрелка. Сельсин-приемник устанавливается в другой макет, снабженный фиксирующим устройством, и его ротор надежно закрепляется. Приемник также снабжается шкалой и стрелкой.

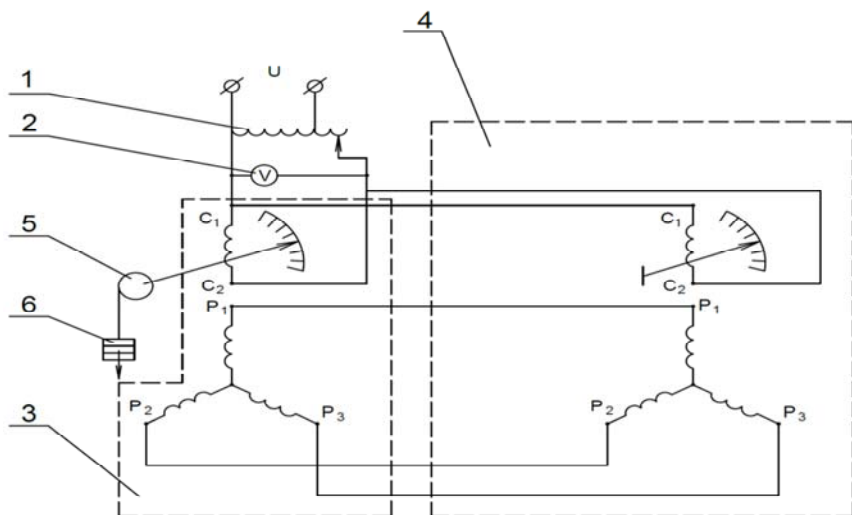


Рис. 4. Схема установки для определения основной характеристики сельсинной передачи

### Ход работы:

1. Собирается схема синхронной передачи (рис. 4), включается в сеть переменного тока и с помощью автотрансформатора (1) устанавливается номинальное напряжение 110 В.

Стрелки датчика и приемника указывающие на угол отклонения ротора сельсина при этом должны стать в одинаковое положение (это положение считается нулевым).

2. Закрепляется неподвижно вал сельсина-приемника в положение шкалы отсчета – 0°.

3. Последовательно нагружается ротор сельсина-датчика (3) грузами (6) массой 20 грамм и при каждом установившемся состоянии отсчитывается угол рассогласования, т. е. угол отклонения ротора датчика от нулевого положения. Измерения проводятся до «срыва».

4. Результаты измерений заносятся в таблицу.

5. На основании данных таблицы строится кривая статического синхронизирующего момента  $\theta = f(M_{ст})$ .

6. Делаются выводы.

Таблица 1

## Технические характеристики датчика

Показатель	Значение
Частота напряжения возбуждения прибора сельсин БД-404А бесконтактный, Гц	50
Напряжение возбуждения, В	110
Ток возбуждения холостого хода, А	0,45
Потребляемая мощность, Вт	12,5
Номинальное вторичное напряжение холостого хода, В	19
Момент трения прибора сельсин БД-404А бесконтактный, см	15
Асимметрия нулевых положений ротора, угл. мин	$\pm 21$
Габариты:	
– длина, мм	119
– диаметр, мм	62
Масса прибора сельсин БД-404А бесконтактный, кг	1,25

Таблица 2

## Результаты эксперимента

Масса груза, Р, грамм	Радиус шкива, R, м	Статический синхронизирующий момент, $M_{ст}$ , Г·см	Угол поворота $\theta$ , град				Удельный момент, г·см/град
			$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_{ср}$	

## **Лабораторная работа № 2.** **СНЯТИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ** **ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ**

### **Цель работы:**

1. Изучить устройство электромагнитного реле, ознакомиться с его работой и схемами включения.
2. Построить статическую характеристику электромагнитного реле.
3. Определить коэффициент возврата реле.

### **Общие сведения.**

Реле – электрический аппарат, предназначенный для коммутации электрических цепей при заданных изменениях электрических или не электрических входных величин. Релейные элементы (реле) находят широкое применение в схемах управления и автоматики, так как с их помощью можно: управлять большими мощностями на выходе при малых по мощности входных сигналах; выполнять логические операции; создавать многофункциональные релейные устройства; осуществлять коммутацию электрических цепей; фиксировать отклонения контролируемого параметра от заданного уровня; выполнять функции запоминающего элемента.

Реле было изобретено американцем Дж. Генри в 1831 г. и базировалась на электромагнитном принципе действия. Следует отметить что первое реле было не коммутационным. С. Бризом Морзе в 1837 г. изобрел первое коммутационное реле, которое в последствии он использовал в телеграфном аппарате. Слово реле возникло от английского relay, что означало смену уставших почтовых лошадей на станциях или передачу эстафеты (relay) уставшим спортсменом.

### **Классификация реле.**

По области применения реле делят для:

- схем автоматики;
- управления и защиты электропривода;
- защиты энергосистем.

По принципу действия реле делятся на:

- электромагнитные;
- поляризованные;
- тепловые;
- индукционные;

- магнитоэлектрические;
- полупроводниковые и др.

В зависимости от входного параметра реле можно разделить на:

- реле тока;
- напряжения;
- мощности;
- частоты и других величин.

По виду управления движением контактов различают:

- якорные;
- герконовые реле.

В якорном реле (рис. 5, *а*) передача усилия замыкания-размыкания на контакты-детали 5 производится с помощью промежуточного элемента – якоря 3. В реле на герметизированных контактах (герконах) (рис. 5, *б*) магнитное поле катушки 2 непосредственно управляет движением контактных пружин-электродов, изготовленных из специального ферромагнитного сплава, обычно пермаллоя, и помещенных в герметизированный корпус 1.

По роду управляющего тока различают реле:

- постоянного тока;
- переменного тока.

По принципу устройства воспринимающих органов различают:

- нейтральные реле;
- поляризованные реле.

По величине мощности, потребляемой обмоткой:

- высокочувствительные (до 0,01 Вт);
- чувствительные (до 0,05 Вт);
- нормальные (более 0,05 Вт).

По коммутируемой мощности:

- слаботочные (до 60 Вт постоянного или 120 ВА переменного тока);
- повышенной мощности (более 150 Вт постоянного тока или 500 ВА переменного тока);
- контакторы (коммутируемая мощность более 500 ВА).

По времени срабатывания:

- безинерционные  $t_{cp} \leq 0,001$  сек;
- быстродействующие  $t_{cp} = (0,001 \dots 0,05)$  сек;
- замедленные  $t_{cp} = (0,15 \dots 1)$  сек;
- реле времени  $t_{cp} > 1$  сек.

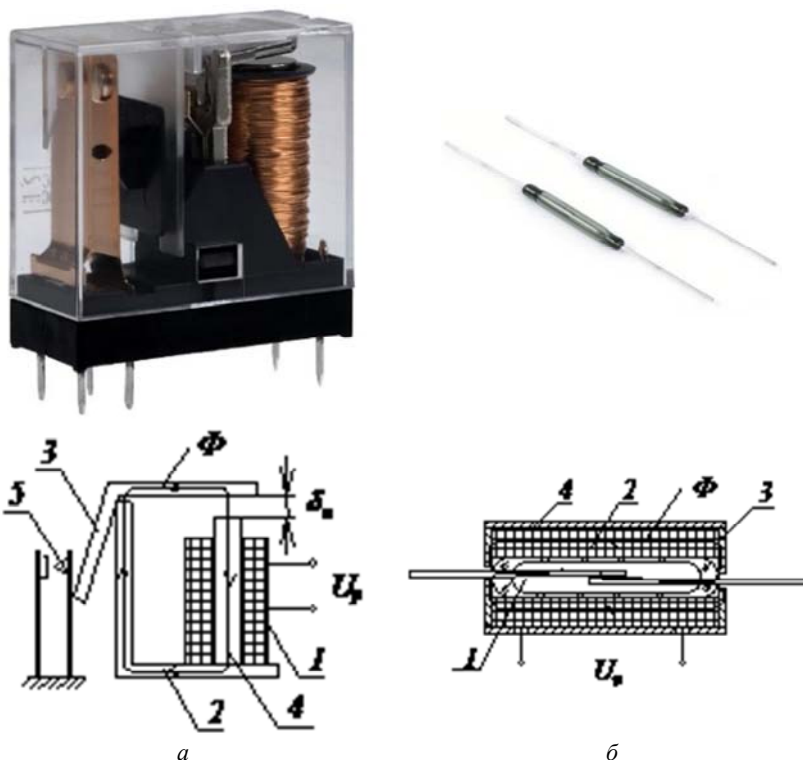


Рис. 5. Реле:  
*а* – якорное реле; *б* – геркон

По способу защиты от внешних воздействий окружающей среды:

- герметизированные;
- зачехленные;
- открытые.

По массе:

- микроминиатюрные (массой менее 6 г);
- миниатюрные (до 16 г);
- малогабаритные (16–40 г);
- нормальные (более 40 г).

По принципу воздействия на управляемую цепь:

- контактные;
- бесконтактные.

Выходным параметром бесконтактных реле является резкое изменение сопротивления, включенного в управляемую цепь. Разомкнутому состоянию контактов контактного реле соответствует большое сопротивление управляемой цепи бесконтактного реле. Это состояние бесконтактного реле называется закрытым. Замкнутому состоянию контактов контактного реле соответствует малое сопротивление в управляемой цепи бесконтактного реле. Такое состояние бесконтактного реле называется открытым.

По способу включения реле разделяются на:

- первичные;
- вторичные.

### **Устройство и принцип действия реле.**

Электромагнитное реле можно разделить на следующие составные элементы:

*Первичный* (чувствительный) – преобразует электрический сигнал управления в магнитную силу. Этот элемент – катушка.

*Промежуточный* – может состоять из нескольких частей. Он приводит в работу исполнительный механизм. Таким элементом является якорь с подвижными контактами и пружиной.

*Исполнительный* элемент выполняет передачу воздействия на силовую цепь (чаще всего – силовые контакты реле).

Электромагнитные реле (рис. 6) имеют довольно простой принцип работы, вследствие чего имеют повышенную надежность. Они являются незаменимыми элементами в схемах защиты и автоматики. Действие реле заключается в применении электромагнитных сил, появляющихся в металлическом сердечнике при протекании электрического тока по катушке.

Элементы реле устанавливаются на закрывающемся крышкой основании. Подвижная пластина (якорь) с контактом 4 установлена над сердечником 2 электромагнита. Контакт 5 может быть несколько пар. В первоначальном положении пружина 6 удерживает подвижную пластину. При подключении питания 7 срабатывает электромагнит и притягивает к себе эту пластину, являющуюся якорем, преодолевая усилие пружины. В зависимости от устройства реле контакты при этом размыкаются или замыкаются. После включения питания якорь под действием пружины возвращается в исходное положение.



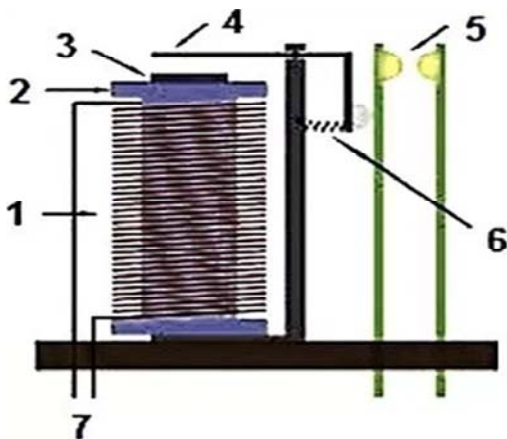


Рис. 6. Схема реле:  
 1 – катушка реле; 2 – сердечник; 3 – стержень;  
 4 – подвижный якорь с контактом; 5 – группа контактов;  
 6 – пружина; 7 – питание катушки

Существуют электромагнитные реле со встроенными электронными компонентами в виде конденсатора, подключенного параллельно контактам для уменьшения помех и образования искры, и сопротивления, подключенного к катушке, для четкой работы реле.

По силовой цепи, которая подключается контактами, может протекать электрический ток намного больше тока управления. Эта цепь гальванически развязана с цепью управления электромагнитом. Другими словами, реле играет роль усилителя мощности, напряжения и тока в электрической цепи.

Электромагнитное реле переменного тока приводится в действие при подключении к нему переменного тока частотой 50 Герц. Устройство такого реле практически не отличается от реле постоянного тока, кроме сердечника электромагнита, который в данном случае выполняется из листовой электротехнической стали.

### Основные параметры реле:

1. Чувствительность – переключение от подаваемого в обмотку сигнала определенной мощности, достаточной, чтобы происходило включение.

2. Сопротивление обмотки.

3. Напряжение (ток) срабатывания – минимальное пороговое значение параметра, при котором контакты переключаются.

4. Напряжение (ток) отпускания.

5. Время срабатывания.

6. Рабочий ток (напряжение) – величина, при которой происходит гарантированное включение в процессе эксплуатации (значение указывается в заданных пределах).

7. Время отпускания.

8. Частота включений с нагрузкой на контактах.

9. Коэффициент возврата – отношение напряжения (тока) отпавления к напряжению (току) срабатывания.

$$K_{\text{в}} = \frac{U_{\text{отп}}}{U_{\text{ср}}}.$$

10. Коэффициент управления – отношение предельной мощности, пропускаемой исполнительным элементом реле, к минимальной мощности, требуемой для надежной работы его пускового элемента (катушки).

$$K_{\text{у}} = \frac{P_{\text{у}}}{P_{\text{ср}}}.$$

### **Ход выполнения работы.**

1. Собирается лабораторная установка в соответствии с рис. 7.

2. Плавно увеличиваем напряжение на катушке реле до момента срабатывания исполнительного механизма 5. Напряжение срабатывания регистрируем по мультиметру 6.

3. Плавно уменьшаем напряжение на катушке реле до момента отключения исполнительного механизма 5. Напряжение отключения регистрируем по мультиметру 6.

4. Результаты эксперимента записываем в таблицу 3.

5. По экспериментальным данным строится статическая характеристика реле и рассчитывается коэффициент возврата реле.

6. По результатам работы делаются выводы.



Рис. 7. Лабораторная установка:  
 1 – блок питания; 2 – универсальный блок;  
 3 – блок лабораторной работы; 4 – реле;  
 5 – исполнительный механизм (электродвигатель);  
 6 – мультиметр

Таблица 3

### Результаты эксперимента

№	Напряжение срабатывания, $U_{ср}$ , В	Напряжение в цепи нагрузки, $U_{н}$ , В	Напряжение отпущения, $U_{отп}$ , В
1			
2			
3			
Среднее			

### Лабораторная работа № 3.

## ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКА УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

#### Цель работы:

1. Изучить принцип действия резистивного датчика угловых перемещений.
2. Построить статическую характеристику датчика угловых перемещений.

#### Общие сведения.

Датчик угла поворота (ДУП) – устройство, преобразовывающее угловое перемещение в электрический сигнал, чаще всего напряжение, которое пропорционально углу поворота, который может изменяться от 0 до 270 градусов или до бесконечности.

ДУПы имеют множество применений. Они широко применяются в промышленности (в частности в сервоприводах), в роботостроении, в автомобилестроении (например, для определения угла поворота рулевого колеса), в компьютерной технике (для определения угла поворота колеса компьютерной мыши) и т. п.

ДУПы подразделяются: *по способу выдачи информации* на накапливающие (инкрементные) и абсолютные (позиционные); *по принципу действия* на оптические, резистивные, магнитные, индуктивные, механические; *по допустимому углу поворота вала* на ДУПы с ограниченным диапазоном работы и ДУПы с неограниченным диапазоном работы.

Резистивные датчики обычно используются для контроля линейных и угловых перемещений, давления, температуры и т. д. Принцип их действия основан на изменении активного электрического сопротивления под влиянием измеряемой величины. В зависимости от включения их подвижного элемента, механически связанного с рабочим механизмом, будет эквивалентно меняться и выходной сигнал. Для измерения угла поворота резистивные датчики имеют подвижный элемент, отклоняющийся на угол  $\alpha$ .

#### Ход работы.

1. Собрать лабораторную установку согласно рис. 8.
2. Последовательно осуществлять поворот вала датчика на угол  $\alpha$  (задается преподавателем) при выключенном источнике питания.

3. Измерить показания сопротивления мультиметром при каждом значении угла поворота. Данные занести в табл. 4.
4. Повторить опыт при включенном источнике питания. Измерить напряжение  $U_B$  при 100 кОм, 50 кОм и 10 кОм.
5. Данные занести в табл. 4.
6. Построить зависимости  $R = f(\alpha)$  и  $U_B = f(\alpha)$  (при  $R_1 = 100$  кОм,  $R_2 = 51$  кОм,  $R_3 = 10$  кОм).
7. Сделать выводы.

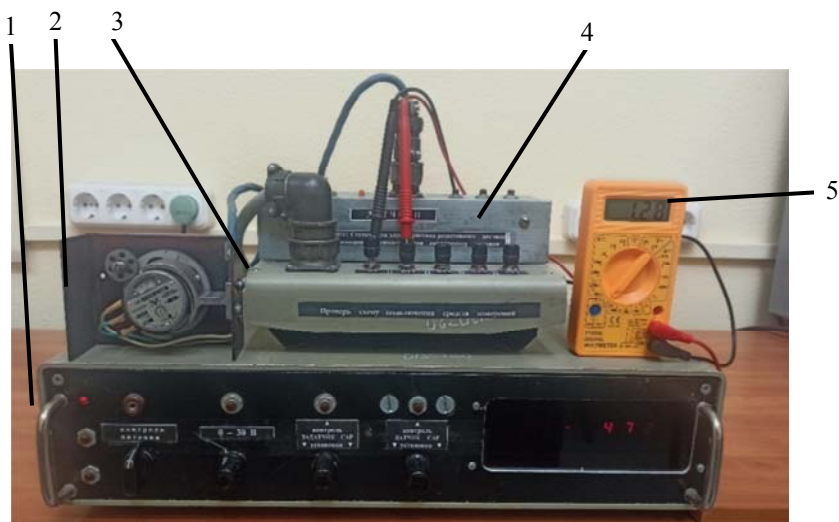


Рис. 8 Схема лабораторной установки:  
 1 – источник питания; 2 – датчик угла поворота; 3 – универсальный блок;  
 4 – блок лабораторной работы; 5 – мультиметр

Таблица 4

### Результаты измерений

Угол, град	$R$ , кОм	Напряжение на выходе $U_B$ при нагрузке		
		100 кОм	50 кОм	10 кОм

## **Лабораторная работа № 4. ПОСТРОЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ PROBE**

### **Цель работы:**

1. Изучить устройство ультразвукового датчика уровня PROBE, ознакомиться с его работой и схемой включения.
2. Построить статическую характеристику ультразвукового датчика уровня PROBE.

### **Общие сведения.**

Уровень как технологический параметр характеризует состояние и работу многих технологических аппаратов, машин, оборудования и технологических процессов в целом.

В практике осуществляется автоматическое измерение уровня как сыпучих материалов (руда, компоненты шихты, концентраты), так и жидких продуктов (реагенты, пульпа, вода).

По характеру выходного сигнала все средства измерения уровня делят на *сигнализаторы и уровнемеры*.

*Сигнализатор уровня* – устройство, позволяющее осуществлять измерение (контроль) уровня в одной заданной точке или в заданных точках.

*Уровеньмеры* осуществляют непрерывное автоматическое измерение уровня.

По принципу действия средства измерения уровня условно делят на: механические, электромеханические, электрические, радиоактивные, фотоэлектрические, акустические.

Принцип действия ультразвуковых датчиков заключается в следующем (рис. 9). Источник ультразвуковых колебаний 1 испускает серию импульсов, которые отражаются от измеряемой среды и воспринимаются приемником излучения 2. Время прохождения ультразвукового сигнала в обе стороны (от излучателя до поверхности контролируемой жидкости и обратно до приемника излучения) преобразуется измерительным преобразователем 3, корректируется с учетом температуры 4, 5, фильтруется от помех 6 и преобразуется в токовый сигнал в блоке 7 (4–20 мА), пропорциональный измеряемому уровню.

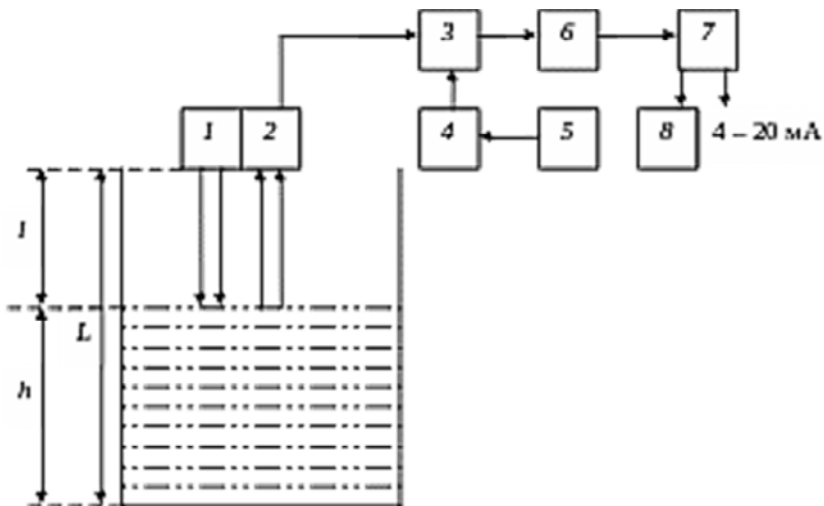


Рис. 9. Структурная схема ультразвукового датчика уровня:  
 1 – источник ультразвуковых колебаний; 2 – приемник излучения;  
 3 – преобразователь сигнала; 4, 5 – блоки коррекции сигнала; 6 – фильтр случайных полей; 7 – преобразователь в унифицированный сигнал; 8 – дисплей

Сигнал о текущем значении передается на дисплей 8, конструктивно расположенный вместе с элементами ультразвукового преобразователя.

Таким образом, при известной постоянной скорости ультразвука в конкретной среде (воздух) определение времени прохождения прямого и обратного излучения позволяет вычислить расстояние до поверхности.

Если ультразвук за время  $t$  проходит двойное расстояние  $l$ , следовательно, при определении расстояния от излучателя до среды схема преобразователя будет учитывать половинный временной интервал.

Для нахождения уровня нужно из высоты всей емкости  $L$  вычесть расстояние от излучателя до измеряемой среды.

$$h = L - l.$$

### **Устройство и принцип измерения уровнемером PROBE.**

Уровнемеры ультразвуковые PROBE (далее – уровнемеры) предназначены для измерений уровня жидкостей и сыпучих материалов в системах автоматического контроля; регулирования

и управления технологическими процессами, отображения результатов измерений уровня на показывающем устройстве и преобразования данных в выходной электрический сигнал.

Уровнемеры состоят из преобразователя и электронного блока, выполненных в едином корпусе. Уровнемер модификации SITRANS PROBE LU имеет также программатор, выполненный в отдельном корпусе.

Принцип действия уровнемеров основан на измерении интервала времени между излучением акустического колебания (рабочая частота от 13 кГц до 43 кГц) и получением отраженного от поверхности жидкости или сыпучего материала эхо-сигнала.

Преобразователь преобразует электрическую энергию импульсов, поступающих от электронного блока уровнемера, в акустические колебания, излучаемые лицевой поверхностью преобразователя. В моменты пауз между импульсами преобразователь используется для обратного преобразования энергии отраженного акустического сигнала в электрический сигнал, поступающий далее на вход электронного блока.

Электронный блок измеряет интервал времени между излучением прямого и получением отраженного акустического сигнала и производит вычисление расстояния от торца преобразователя до поверхности жидкости или сыпучего материала. Время прохождения импульса до материала и обратно с учетом температурной компенсации преобразуется в электронном блоке в расстояние, отображаемое на дисплее, в токовый выход, а также может использоваться для активизации реле. Общий вид датчика представлен на рис. 10.

Особенностью использования датчика является то, что его необходимо устанавливать там, где работают двигатели, имеется наличие пылевидных частиц между блоком излучателя и измерительной средой, присутствуют температурные колебания, что искажает показания, поэтому применять его нужно в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации ультразвуковой датчик типа PROBE устанавливаются таким образом, чтобы сигнал был перпендикулярен поверхности измеряемой среды, и на его пути не было препятствий. Ультразвуковой сигнал не должен пересекаться с толстыми стенами, швами.



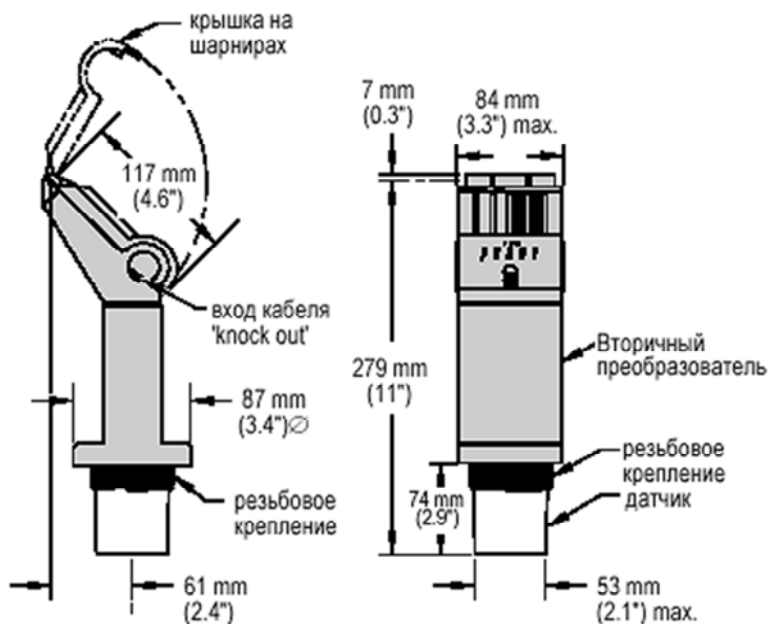


Рис. 10. Ультразвуковой уровнемер PROBE

Датчик PROBE имеет зону нечувствительности 0,3, которая обусловлена тем, что первичному измерительному преобразователю (головке датчика) необходимо время для перенастройки из режима излучения в режим приема ультразвуковых волн, т. к. он является излучателем и приемником одновременно.

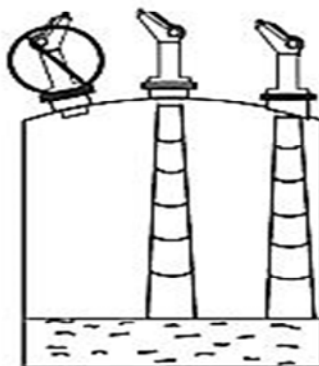
Ультразвуковые уровнемеры и сигнализаторы обладают целым рядом преимуществ:

- низкая цена в сравнении с другими типами бесконтактных датчиков;
- бесконтактный способ измерения (возможность работать с агрессивными и вязкими средами);
- надежность измерения независимо от свойств продукта: химических, физических;
- у некоторых моделей есть возможность автономной работы;
- небольшие габариты;
- многозадачность прибора (определение сопутствующих величин, удаленное информирование GPS, SMS, сигнализация).

Современные ультразвуковые измерительные преобразователи (датчики) находят широкое применение в технике автоматических измерений различных технологических процессов: уровней жидких и сыпучих сред, расходов жидких и сыпучих продуктов и т. д.

Ультразвуковой уровнемер PROBE предназначен для измерения уровня жидких продуктов (воды, пульпы) в зумпфах, камерах флотационных машин, растворных баках реагентов и др. Уровнемер можно использовать для измерения уровня сыпучего материала при наличии систем пылеподавления.

Монтаж на параболической крыше



Монтаж на плоской крыше и конус сигнала

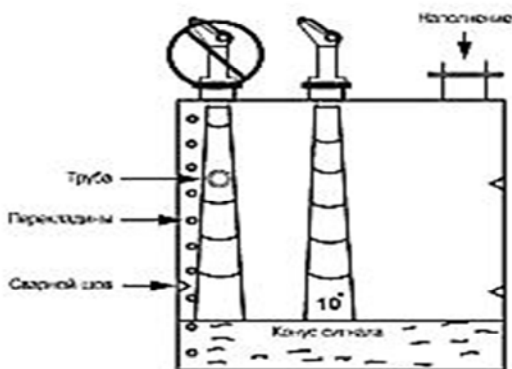


Рис. 11. Установка ультразвукового датчика уровня PROBE

### Ход работы.

1. Уровнемер PROBE Используя лабораторную установку, определяем расстояние до преграды измеренное и контрольное.
2. Снимаем показания мультиметра.
3. Полученные данные заносим в таблицу 5.
4. Строим статическую характеристику в виде графика.

Таблица 5

### Результаты измерений

Расстояние до преграды измеренное, $l$ , м	Показание мультиметра, $U$ , мА	Расстояние до преграды контрольное, $L$ , м
.....	.....	.....

По результатам эксперимента строим график  $U = f(l)$ .

## **Лабораторная работа № 5.** **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ** **ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с экспериментальным методом определения временной характеристики объекта регулирования.
2. Построить временную характеристику объекта регулирования экспериментальным путем.
3. Определить основные свойства объекта регулирования.

### **Общие сведения.**

Системы автоматического регулирования (САР) применяются для регулирования отдельных параметров (температура, давление, уровень, расход и т. д.) в объекте управления. В современных системах автоматического управления (САУ) системы автоматического регулирования являются подсистемами САУ и их применяют для регулирования различных параметров при управлении объектом или процессом.

Принцип действия всякой системы автоматического регулирования (САР) заключается в том, чтобы обнаруживать отклонения регулируемых величин, характеризующих работу объекта или протекание процесса от требуемого режима, и при этом воздействовать на объект или процесс так, чтобы устранить эти отклонения.

Для осуществления автоматического регулирования к регулируемому объекту подключается автоматический регулятор, вырабатывающий управляющее воздействие на регулируемый орган. Это управляющее воздействие вырабатывается регулятором в зависимости от разности между текущим значением регулируемой величины (температуры, давления, уровня жидкости и т. д.), измеряемой датчиком, и желаемым ее значением, устанавливаемым задатчиком. Регулируемый объект и автоматический регулятор вместе образуют систему автоматического регулирования.

Основным признаком САР, является наличие главной обратной связи, по которой регулятор контролирует значение регулируемого параметра.

### Пример системы регулирования температуры.

На рис. 12 показана блок схема системы регулирования температуры в объекте, а на рис. 13 – функциональная схема САР, демонстрирующая общий принцип работы любой системы автоматического регулирования.

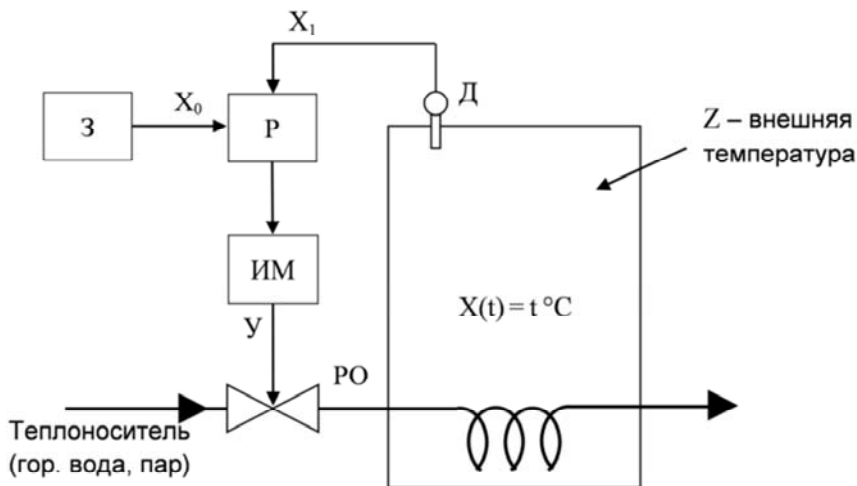


Рис.87 Блок схема системы (рисунок автора).

Рис. 12. Блок схема системы

Если температура в объекте равна заданной, то сигнал с датчика  $X_1$  равен сигналу с задатчика  $X_0$  и сигнал ошибки на входе регулятора  $e = X_1 - X_0 = 0$ , сигнала на выходе регулятора нет, ИМ не работает и клапан открыт на заданную величину, поддерживая заданную температуру. Если, например, температура в объекте увеличится, увеличится сигнал с датчика  $X_1$ , возникнет ошибка «е», заработает ИМ и прикроет клапан РО для уменьшения подачи тепла, температура в объекте уменьшится до заданной.

Сигнал с задатчика может быть:

– постоянным ( $X_0 = \text{const}$ ) для поддержания постоянства регулируемого параметра температуры, давления, уровня жидкости и т. д. (системы стабилизации);

– изменяющимся во времени  $U(t)$  по определенной программе (программное регулирование);

– изменяющимся во времени  $U(t)$  в соответствии с измеряемым внешним процессом (следающее регулирование).

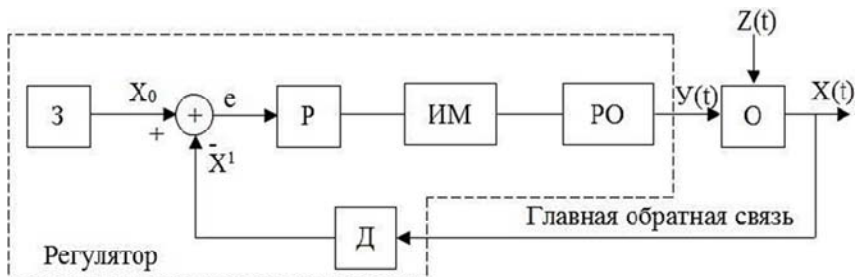


Рис. 13. Функциональная схема САР:

З – задатчик, для установки заданного значения параметра  $X_0$ ;

Д – датчик (термопара, датчик уровня, скорости и др.); Р – регулятор;

ИМ – исполнительный механизм;

РО – регулирующий орган (кран, вентиль, заслонка и др.);

О – объект регулирования (печь, эл. мотор, резервуар и др.);

У – регулирующее (управляющее) воздействие; Z – помеха (возмущение);

X – регулируемый параметр;  $X_1$  – сигнал на выходе датчика;

$e = X_1 - X_0$  ошибка, возникает при отклонении параметра от задания;

$X_0$  – заданное значение регулируемого (управляемого) параметра может быть постоянным  $X_0$  или изменяемым ( $U$ ).

### Свойства объектов регулирования:

1. **Емкость** – количество вещества или энергии, которую способен накопить или отдать объект.

2. **Коэффициент емкости** – количество вещества или энергии, которое необходимо подвести к объекту или отвести, чтобы изменить качественный показатель на единицу.

3. **Время разгона объекта** – это время, в течении которого регулируемая величина достигает установившегося значения от момента приложения воздействия или корректировки заданных параметров  $\tau_p = t_1 - t_2$ .

4. **Скорость разгона** – величина обратная времени разгона объекта.

5. **Постоянное время разгона** – это промежуток времени в течении, которого регулируемая величина достает заданного значения при неизменном приходе или расходе вещества, или энергии.

6. **Способность объекта к самовыравниванию** – способность объекта возвращаться к равномерному состоянию после внесения ограниченного возмущения.

7. **Запаздывание** – это промежуток времени, через который регулируемый параметр начинает изменяться с момента приложения возмущения.

### Порядок выполнения работы.

1. Собрать лабораторную установку. Ознакомиться с экспериментальным методом определения временной характеристики объекта регулирования.

2. По экспериментальным данным построить временную характеристику объекта регулирования (строится компьютером автоматически).

3. По полученной кривой разгона определить основные свойства объекта регулирования (время разгона, скорость разгона, постоянную времени разгона, запаздывание, способность к самовыравниванию).

4. Сделать выводы.

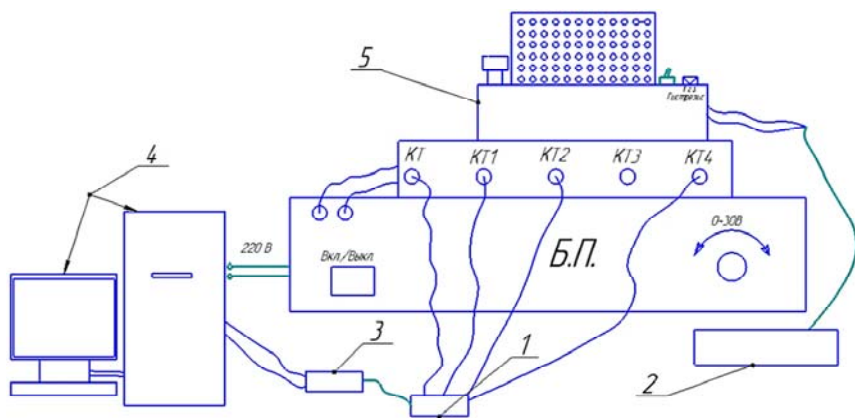


Рис. 14. Схема лабораторной установки:

1 – коммутатор; 2 – дополнительное сопротивление;  
3 – АЦП В480; 4 – компьютер; 5 – блок лабораторной работы

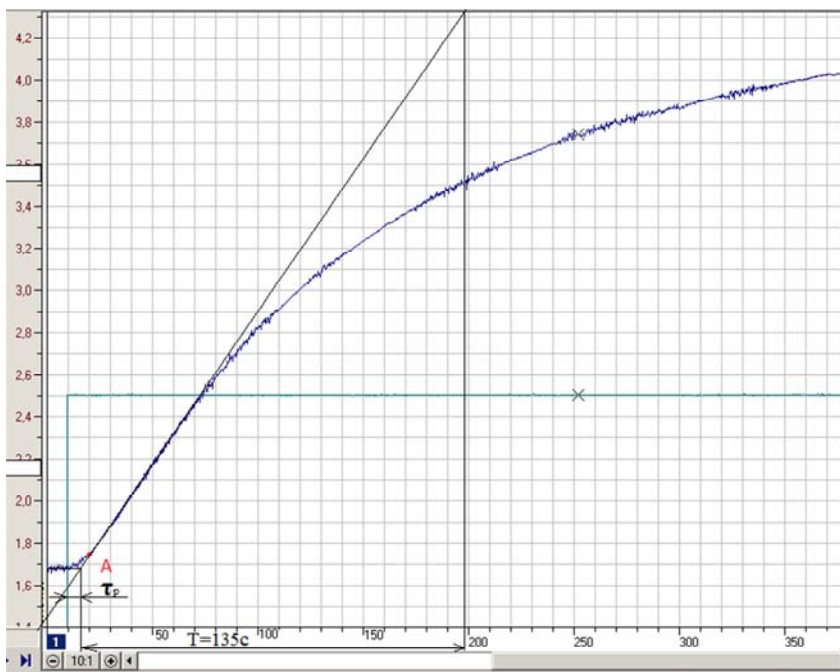


Рис. 15. Кривая разгона объекта;  
А – точка перегиба (через эту точку проводится касательная)



## **Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ОБЪЕКТА РЕГУЛИРОВАНИЯ**

### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с экспериментальным методом построения временной характеристики объекта регулирования.
2. Построить временную характеристику объекта регулирования экспериментальным методом.
3. Определить основные свойства объекта регулирования.

### **Общие сведения.**

На процесс регулирования оказывают влияние как свойства регулирующей части системы, так и свойства самого объекта регулирования.

Объект регулирования – это технологический аппарат или машина, в которой осуществляется процесс регулирования. Регулируемой величиной, или регулируемым параметром, называется величина (температура, скорость вращения, давление, уровень и т. п.), значение которой должно поддерживаться в объекте регулирования постоянным или изменяться по заранее заданному закону. Регулирующим воздействием называется воздействие на объект регулирования со стороны регулятора.

Через объект регулирования непрерывно протекает вещество или энергия. Количество вещества или энергии, протекающей через объект или отбираемой у объекта, называется нагрузкой. Изменение нагрузки (ее еще называют возмущающим воздействием) приводит к изменению регулируемой величины. Чтобы поддержать регулируемую величину на заданном значении, нужно изменить приток вещества или энергии в объект в соответствии с новым значением нагрузки объекта.

### **Теория опыта.**

Уравнение функциональной связи между обобщенными параметрами процесса нагревания (охлаждения) тела имеет вид:

$$Gc \frac{dT}{dt} = Q,$$

где  $G$  – масса тела;  
 $C$  – удельная теплоемкость;  
 $T$  – температура;  
 $Q$  – тепловой поток;  
 $t$  – время.

Каждый технологический процесс характеризует тремя обобщенными параметрами: параметром, характеризующим собственные свойства объекта, качественным показателем и количественным показателем.

В рассматриваемом обобщенном уравнении процесса нагрева (охлаждения):

$Gc$  – теплоемкость, характеризует собственные свойства объекта;  
 $T$  – качественный показатель;  
 $Q$  – количественный показатель.

Основными свойствами объекта регулирования являются:

- емкость и коэффициент емкости;
- самовыравнивание;
- время разгона и скорость разгона;
- запаздывание.

Емкостью объекта регулирования называется запас накопленного вещества или энергии в нем в рассматриваемый момент:

$$U = GcT.$$

Одинаковые по величине возмущения оказывают разное влияние на изменение регулируемой величины у объектов с различными емкостями. Чем больше емкость объекта регулирования, тем медленнее, при прочих равных условиях, будет изменяться регулируемая величина при одинаковых возмущениях и, наоборот, чем меньше емкость объекта регулирования, тем он чувствительнее к этим возмущениям, т. е. объекты с большей емкостью более устойчивы.

Коэффициент емкости равен количеству вещества (или энергии), которое необходимо подвести в объект или отвести от объекта для того, чтобы изменить регулируемую величину на единицу.

Так, чем больший коэффициент емкости, тем объект регулирования менее чувствителен к возмущающему воздействию.

В общем виде коэффициент емкости можно представить как отношение емкости объекта регулирования  $U$  к значению регулируемой величины  $T$ .

$$L = \frac{U}{T}.$$

Самовыравниванием называется свойство регулируемого объекта после ограниченного нарушения равновесия между притоком и расходом вещества или энергии вернуться к равновесному состоянию самостоятельно, без вмешательства человека или регулятора.

Коэффициент самовыравнивания численно равен отношению величины возмущающего воздействия к отклонению регулируемой величины, вызванному этим воздействием:

$$\delta = \frac{g}{\sigma},$$

где  $g$  – величина возмущения, т. е. относительная разность притока и расхода вещества или энергии в объекте в рассматриваемый момент времени;

$\sigma$  – относительное отклонение регулируемой величины в объекте.

Для объектов, обладающих самовыравниванием,  $\delta > 0$ . Чем больше коэффициент самовыравнивания, тем быстрее восстановится равновесие.

Кривая, показывающая характер изменения регулируемой величины во времени после поступления возмущения называется кривой разгона объекта (рис. 16).

Полученная кривая позволяет определить основные свойства объекта регулирования:

1. Время разгона  $t_p$  определяется отрезком оси времени от начала нанесения возмущения до начала нового установившегося состояния.

2. Скорость разгона определяется как обратная величина времени разгона:

$$v = \frac{1}{t_p}.$$

3. Постоянная времени объекта  $T_a$  определяется графически, проведя касательную к кривой разгона до пересечения с прямой нового установившегося значения. Проекция этой касательной на горизонтальную ось и будет  $T_a$ .

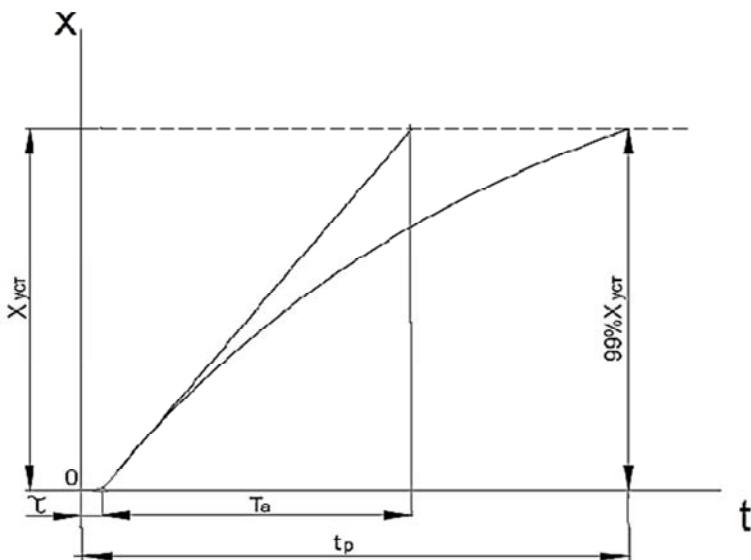


Рис. 16. Кривая разгона объекта

4. Коэффициент самовыравнивания (для теплового процесса):

$$\delta = \frac{Q}{T_2 - T_1},$$

где  $Q$  – количество тепла, Дж;  
 $T_2$  – конечная температура, °С;  
 $T_1$  – начальная температура, °С.

Количество тепла определяется из формулы

$$Q = Pt,$$

где  $P$  – мощность электронагревателя, кВт;  
 $t$  – время нагрева, час.

5. Коэффициент усиления объекта

$$K_y = \frac{1}{\delta}.$$

6. Запаздывание ( $\tau$ , с) определяется графически.

Количество энергии, затраченной на нагрев воды, рассчитывается по формуле:

$$Q_{\text{воды}} = (T_{\text{к}} - T_{\text{нач}}) m \cdot C, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $T_{\text{к}}$  – конечная температура воды, °С;

$T_{\text{нач}}$  – начальная температура воды, °С;

$m$  – масса воды, кг;

$C = 4,187 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$  – удельная теплоемкость воды.

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi d^2}{4} h \cdot \rho,$$

где  $d$  – диаметр бака, м;

$h$  – уровень воды в баке, м;

$\rho$  – плотность воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Затраты на нагрев воды рассчитываем по формуле:

$$Q_3 = P_{\text{н}} t_{\text{н}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $P_{\text{н}} = 1 \text{ кВт}$  – мощность нагревателей;

$t_{\text{н}}$  – время работы нагревателя, ч.

Значение коэффициента емкости рассчитывается по формуле:

$$L = \frac{Q_{\text{воды}}}{T_{\text{к}} - T_{\text{нач}}}.$$

### **Ход работы:**

1. Наполнить бак водой до уровня 0,3–0,4 м (рис. 17).
2. Измерить начальную температуру воды.
3. Включить нагреватель.
4. Проводить измерения температуры с помощью термометра сопротивления ТС-Б-У в течение 60–70 мин и результаты измерений заносить в таблицу 6.
5. Построить кривую разгона.

6. По графику и аналитически определить характеристики.
7. Сделать выводы.

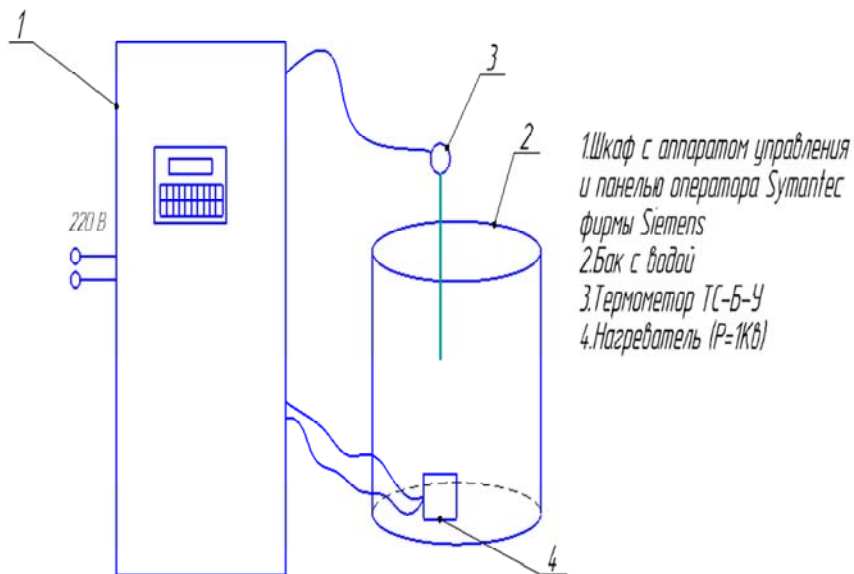


Рис. 17. Схема лабораторной установки

Таблица 6

Экспериментальные данные

$t$ , мин	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...
$T$ , °C										

## Лабораторная работа № 7. МОСТОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

### Цель работы:

1. Изучить мостовые измерительные схемы и область их применения.
2. Определить чувствительность мостовых схем.

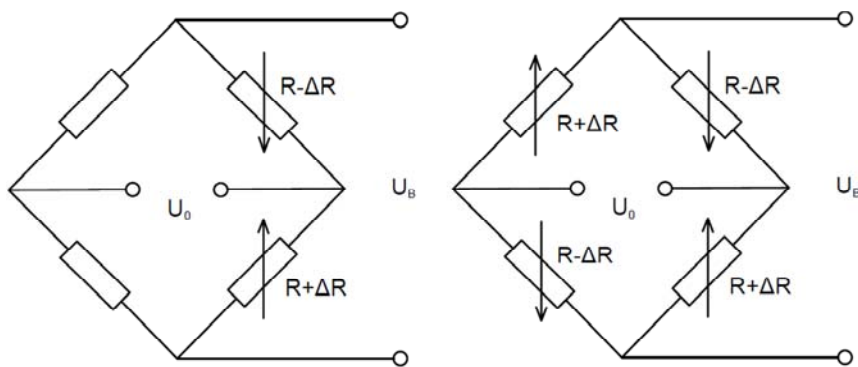


Рис. 18. Схемы мостов:  
*a* – полумост; *б* – мост

**Измерительный мост** – метод и прибор для определения гальванических сопротивлений, предложенные в 1833 году Самуэлем Хантером Кристи, и в 1843 году усовершенствованные Чарльзом Уитстоном. Мост Уитстона является одинарным мостом в отличие от двойных мостов Томсона. Электрическим аналогом служат рычажные аптекарские весы. Принцип измерения основан на взаимной компенсации сопротивлений двух звеньев, одно из которых включает измеряемое сопротивление. В качестве индикатора обычно используется чувствительный гальванометр, показания которого равны нулю в момент равновесия моста.

Принцип измерения сопротивления основан на уравнивании потенциала средних выводов двух ветвей.

1. В одну из ветвей включен резистор, сопротивление которого требуется измерить  $R_x$ . Другая ветвь содержит элемент, сопротивление которого может регулироваться ( $R_2$ ; реостат). Между ветвями

(точками В и D) находится индикатор. В качестве индикатора могут применяться:

- гальванометр;
- нуль-индикатор – прибор, отклонение стрелки которого показывает наличие тока в цепи и его направление;
- вольтметр ( $R_G$  принимают равным бесконечности:  $R_G = \infty$ );
- амперметр ( $R_G$  принимают равным нулю:  $R_G = 0$ ).

Обычно в качестве индикатора используется гальванометр.

2. Сопротивление  $R_2$  второй ветви изменяют до тех пор, пока показания гальванометра не станут равны нулю, то есть потенциалы точек узлов D и В не станут равны. По отклонению стрелки гальванометра в ту или иную сторону можно судить о направлении протекания тока на диагонали моста ВD (см. рис. 19). После этого указывают, в какую сторону изменять регулируемое сопротивление  $R_2$  для достижения «баланса моста».

Когда гальванометр показывает ноль, говорят, что наступило «равновесие моста» или «мост сбалансирован». При этом:

- отношение  $R_2 / R_1$  равно отношению  $R_x / R_3$ :

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_x}{R_3},$$

откуда

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1};$$

- разность потенциалов между точками В и D равна нулю;
- ток по участку ВD (через гальванометр) не протекает (равен нулю).

3. Сопротивления  $R_1$ ,  $R_3$  должны быть известны заранее. Далее измеряют сопротивление  $R_2$ . Вычисляют искомое сопротивление  $R_x$ :

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}.$$



### Недостатки.

К недостаткам предложенного способа можно отнести необходимость регулирования сопротивления  $R_2$ . На поиски «равновесия» тратится время. Гораздо быстрее измерить несколько параметров цепи и вычислить  $R_x$  по другой формуле.

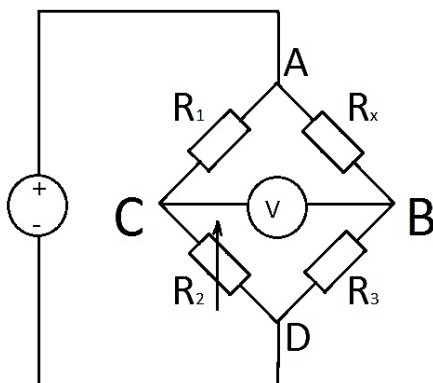


Рис. 19. Неуравновешенный измерительный мост с вольтметром

На схеме  $R_1, R_2, R_3, R_x$  – плечи моста, AD – диагональ питания, CB – измерительная диагональ.  $R_x$  представляет собой неизвестное сопротивление;  $R_1, R_2$  и  $R_3$  – известные сопротивления, причем значение  $R_2$  может регулироваться.

### Ход работы:

1. Собрать лабораторную установку согласно рис. 20 и рис. 21. Произвести проверку всех приборов, необходимых для выполнения измерений.
2. Вывести стрелку индикатора на ноль посредством смещений усилителя, включенного в измерительную диагональ моста.
3. Посредством винтового устройства динамометра создать последовательно необходимое усилие.
4. Используя градуировочную характеристику, вычислить давление.
5. Измерить  $U_B$  мультиметрами, включенными в схему.
6. Данные занести в таблицу 7.
7. Построить зависимости напряжения от показания на индикаторе.
8. Сделать выводы.

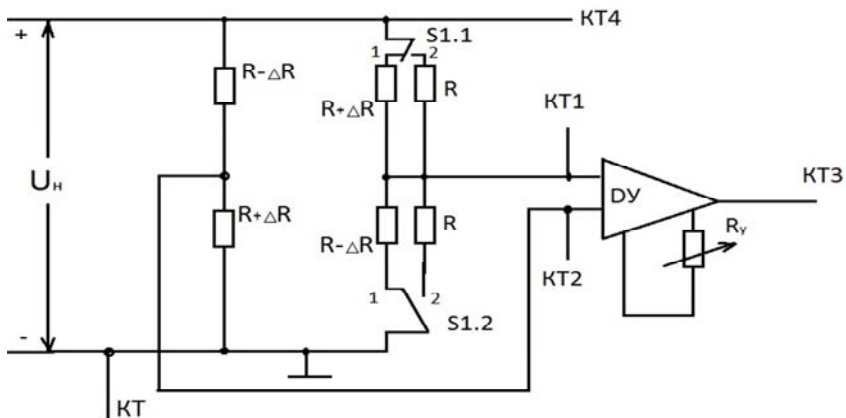


Рис. 20. Принципиальная схема тензооста:

- 1 – положение переключателя для включения моста;
- 2 – положение переключателя для включения полумоста;
- DY – дифференциальный усилитель;  $R_Y$  – установка «0» усиления;
- КТ1-КТ4 – точки измерения; КТ1-КТ2 – измерительная диагональ;
- КТ3 – вывод усилителя; КТ4 – питание моста

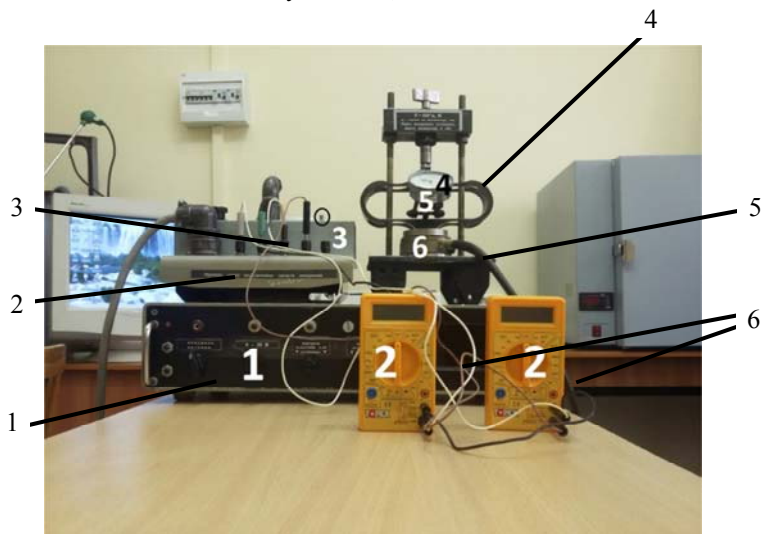


Рис. 21. Схема лабораторной установки:

- 1 – источник питания; 2 – универсальный блок; 3 – блок лабораторной работы «мост» / «полумост»; 4 – динамометр с индикатором часового типа;
- 5 – датчик; 6 – мультиметры

Сравнение полумостовой и мостовой схем

Число делений $n$ , мм	Сила $P$ , Н	Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ , мВ			
		мост		п/мост	
		Выход М КТ1-КТ2	Усилит. КТ-КТ3	Выход п/м КТ1-КТ2	Усилит. КТ-КТ3

В данной работе в качестве измерительного прибора используется динамометр стрелочного типа. Но в силу того, что он имеет шкалу не проградуированную для данных измерений, нам необходимо произвести градуировку показаний нашего прибора. Градуировочная характеристика динамометра равна:

$$P = 410 \cdot n, \text{ Н,}$$

где  $n$  – отсчет по числовому индикатору в мм;

410 Н – чувствительность динамометра.

Динамометры механические общего назначения ДПУ используются для определения растягивающих статических усилий.

В качестве образцового средства измерения силы используется динамометр ДС-02 с индикатором часового типа отсчета деформации упругого элемента динамометра, пропорциональный измеряемой силе. Нагрузка датчика производилась винтовым устройством.

Основными параметрами динамометров являются:

- максимальное измеряемое усилие или наибольший предел измерения;
- минимальное измеряемое усилие (наименьший предел измерения);
- цена деления шкалы динамометра;
- погрешность измерения.

## Лабораторная работа № 8. ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКТИВНЫХ И ЕМКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с устройством индуктивных и емкостных датчиков.
2. Изучить их применение.

### **Общие сведения.**

Датчик, сенсор – термин систем управления, первичный преобразователь, элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину в удобный для использования сигнал.

В настоящее время различные датчики широко используются при построении систем автоматизированного управления.

Датчики являются элементом технических систем, предназначенных для измерения, сигнализации, регулирования, управления устройствами или процессами. Датчики преобразуют контролируемую величину (давление, температура, расход, концентрация, частота, скорость, перемещение, напряжение, электрический ток и т. п.) в сигнал (электрический, оптический, пневматический), удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации информации о состоянии объекта измерений.

Бесконтактные датчики, бесконтактные выключатели – это приборы промышленной автоматизации, предназначенные для контроля положения объектов (рис. 22–25).



Рис. 22. Внешний вид бесконтактного датчика

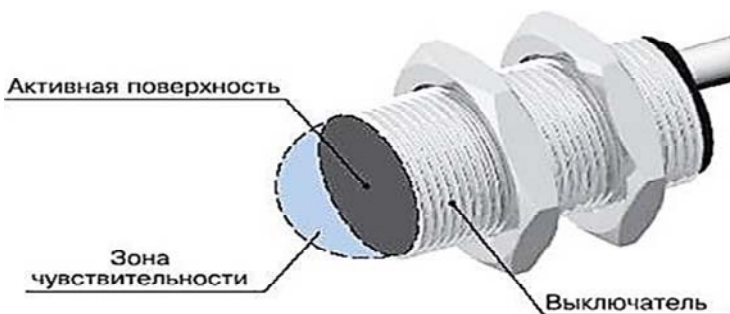


Рис. 23. Бесконтактный выключатель

Упрощенно, функциональная схема бесконтактного выключателя состоит из трех блоков.

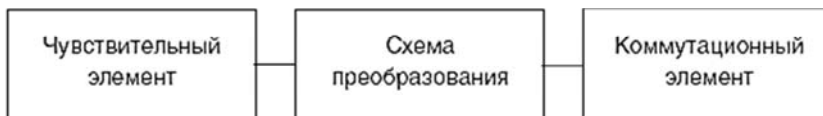


Рис. 24. Функциональная схема бесконтактного выключателя

Бесконтактный выключатель (далее ВВ) осуществляет коммутационную операцию при попадании объекта воздействия в зону чувствительности выключателя. Отсутствие механического контакта между воздействующим объектом и чувствительным элементом ВВ обеспечивает высокую надежность его работы.

При приближении объекта воздействия к активной поверхности чувствительного элемента происходит срабатывание бесконтактного выключателя. При этом коммутационный элемент производит замыкание или размыкание (или выполняет обе указанные операции) в цепях постоянного тока до 400 мА и в цепях переменного тока до 250 мА.

Бесконтактные датчики положения классифицируются по принципу действия чувствительного элемента – **индуктивный, емкостный**, оптический и другие.

Индуктивный датчик – бесконтактный датчик, предназначенный для контроля положения объектов из металла (к другим материалам не чувствителен).

В основе большинства индуктивных датчиков лежит принцип преобразования амплитуды колебаний контура в дискретный сигнал, подаваемый на выходной ключевой усилитель. В результате в зависимости от степени воздействия контролируемого объекта на сенсор (расстояния между объектом и сенсором) на выходе датчика можно получить только два типа сигнала: включено – выключено. Этого достаточно для определения наличия или отсутствия объектов, их количества, сортировки, выбраковки, оперативного отключения (рис. 25).

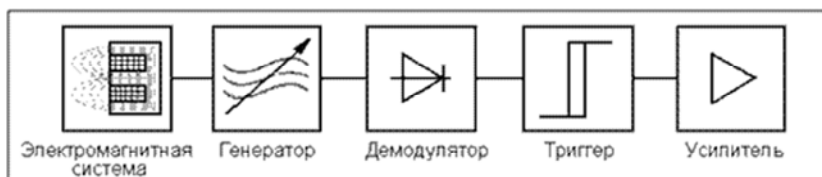


Рис. 25. Структура индуктивного датчика

1. Генератор создает электромагнитное поле взаимодействия с объектом.

2. Триггер обеспечивает гистерезис при переключении.

3. Усилитель увеличивает амплитуду сигнала до необходимого значения.

4. Светодиодный индикатор показывает состояние выключателя, контроль работоспособности, оперативность настройки.

5. Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты.

6. Корпус обеспечивает монтаж датчика, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида и комплектуется крепежными изделиями.

Активной зоной бесконтактного индуктивного выключателя является область перед его чувствительной поверхностью (рис. 26), где сконцентрировано магнитное поле чувствительного элемента. Диаметр этой поверхности приблизительно равен диаметру датчика.

Номинальное расстояние переключения (рис. 27) – теоретическая величина, не учитывающая изменения температуры и напряжения питания.

Номинальное расстояние срабатывания ( $S_{ном}$ ) – основной параметр датчика, нормируемый для данного типоразмера при номинальном напряжении питания и температуре.

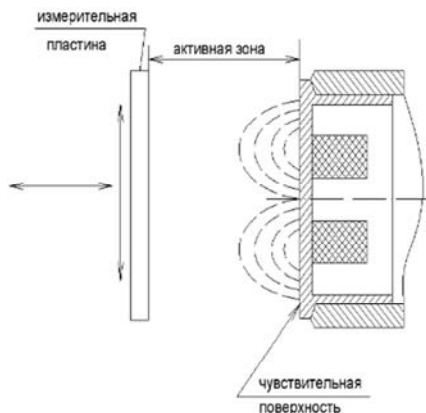


Рис. 26. Активная зона датчика

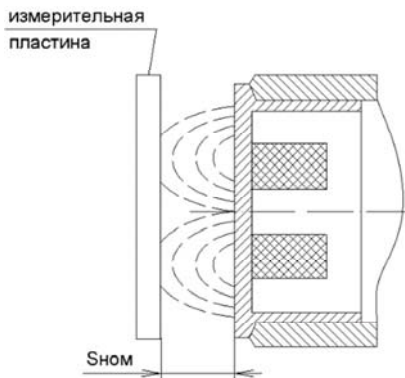


Рис. 27. Расстояние переключения

Интервал срабатывания датчика зависит от температуры окружающей среды.

Датчик устанавливается так, чтобы объект воздействия двигался параллельно чувствительной поверхности устройства.

Рабочий зазор – это любое расстояние, обеспечивающее надежную работу бесконтактного выключателя в допустимых пределах температуры и напряжения:  $0 \leq S_{\text{раб}} \leq 0,8S_{\text{ном}}$ .

Индуктивные преобразователи перемещения широко применяются в системах позиционирования средней степени точности, для сортировки, измерения толщины, при определении неровности поверхности, в устройствах автоматического поддержания натяжения проводов, тросов и лент. При одновременном использовании двух аналоговых датчиков строятся системы позиционирования и центровки.

#### **Достоинства индуктивных датчиков:**

- нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов;
- отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания;
- высокая частота переключений (до 3000 Гц);
- устойчивы к механическим воздействиям.

#### **Недостатки индуктивных датчиков:**

- сравнительно малая чувствительность;
- зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения;

– значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику).

Емкостный датчик – это преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления (рис. 28).

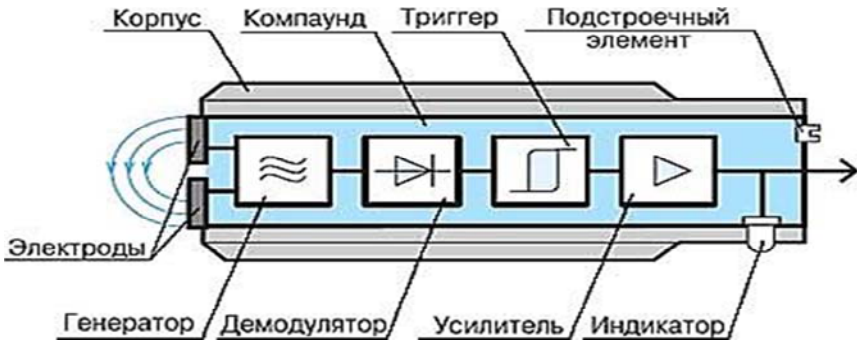


Рис. 28. Устройство емкостного датчика

Емкостной датчик работает следующим образом:

1. Генератор создает электрическое поле взаимодействия с объектом.
2. Демодулятор преобразует изменение амплитуды высокочастотных колебаний генератора в изменение постоянного напряжения.
3. Триггер обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.
4. Усилитель увеличивает выходной сигнал до необходимого.
5. Светодиодный индикатор показывает состояние выключателя, работоспособность, оперативность настройки.
6. Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты.
7. Корпус обеспечивает монтаж выключателя, защищает от механических воздействий.

Датчик работает на определение изменения емкости в этой цепи. Между окружающей средой и датчиком существует электростатическое поле, при изменении емкости в данном поле (при попадании в поле любого объекта) происходит срабатывание.

Датчик имеет чувствительную поверхность, образованную двумя электродами конденсатора. Приближение объекта воздействия из металла или диэлектрика к чувствительной поверхности увеличивает емкость между электродами конденсатора и вызывает увеличение



амплитуды колебаний генератора. При достижении амплитудой генератора порогового значения, схемой управления формируется выходной сигнал электронного ключа датчика, который используется для коммутации электрических цепей и сигнализации.

Датчик настроен на номинальный зазор при срабатывании от металлической пластины. При использовании объекта воздействия из диэлектрических материалов рабочий зазор изменится и будет зависеть от диэлектрической проницаемости материала объекта воздействия.

Достоинства емкостных датчиков: простота, высокая чувствительность и малая инерционность.

Недостатки: влияние внешних электрических полей, относительная сложность измерительных устройств.

### **Области применения емкостных датчиков.**

Область применения емкостных датчиков чрезвычайно разнообразна. Емкостные 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.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили датчики приближения. Имея сравнительно низкую стоимость, датчики приближения получили широкое распространение во всех отраслях промышленности:

- сигнализация заполнения емкостей из пластика или стекла;
- контроль уровня заполнения прозрачных упаковок;
- сигнализация обрыва обмоточного провода;
- регулирование натяжения ленты

### **Ход работы:**

1. Плотно закрепить датчик и испытуемый материал во избежание их параллельного перемещения относительно друг друга, возможно только приближение или отдаление.

2. Медленно приближая датчик к исследуемому материалу, зафиксировать расстояние между датчиком и материалом в момент срабатывания лампочки-индикатора.

3. Начать медленно отдалять датчик от материала и зафиксировать расстояние между датчиком и материалом когда лампочка-индикатор погаснет.
4. Повторить опыт для различных материалов.
5. Занести все полученные данные в таблицу 6.
6. Сделать выводы.

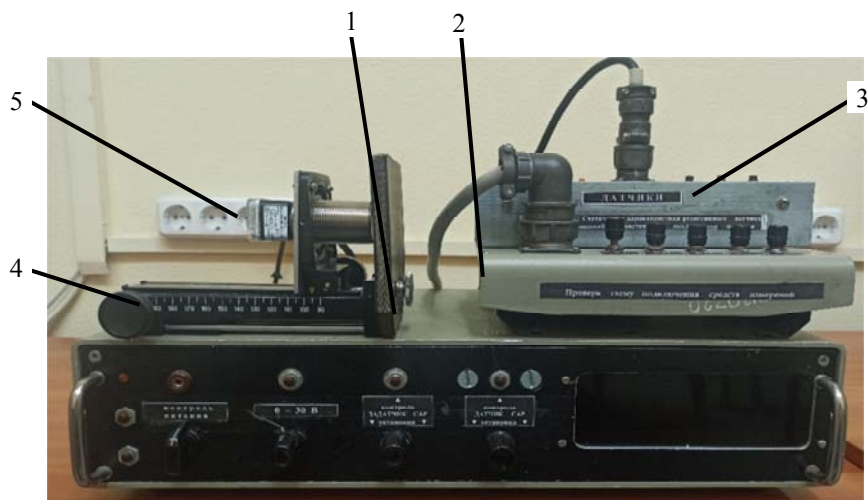


Рис. 29. Схема лабораторной установки:  
 1 – источник питания; 2 – универсальный блок; 3 – блок лабораторной работы;  
 4 – устройство перемещения датчиков; 5 – датчик емкостной (индуктивный)

Таблица 8

### Результаты экспериментальных данных

Расстояние Материал	Расстояние срабатывания, мм.			
	Емкостной датчик		Индуктивный датчик	
	Включение	Отключение	Включение	Отключение
Сталь				
Алюминий				
Дерево				
Бумага				

Таблица 9

## Диэлектрические постоянные материалов

Емкостной датчик		Индуктивный датчик	
Материал	Коэффициент $\epsilon_r$	Материал	Коэффициент $\epsilon_r$
Сталь 40	1,0	Бумага	2,3
		Вода	80
Чугун	0,93–1,05	Воздух, вакуум	1
		Дерево	2–7
Никель	0,65–0,75	Керосин	2,2
		Мрамор	8
Нерж. сталь	0,60–1,00	Нефть	2,2
		Песок	3,7
Алюминий	0,30–0,45	ПВХ	2,9
		Смолы	6
Латунь	0,35–0,50	Резина	2,5
		Слюда	2,8
Медь	0,25–0,45	Спирт этиловый	3,6
		Стекло	25,8

## **Лабораторная работа № 9. ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ**

### **Цель работы:**

1. Изучить законы регулирования.
2. Изучить регуляторы П, ПИ, ПИД.
3. Изучить регулирование технологических параметров (температуры) с применением измерителя ПИД-регулятора микропроцессорного одноканального ТРМ10.
4. Построить график переходного процесса и определить показатели процесса регулирования.

### **Общие сведения.**

Закон регулирования – зависимость перемещения регулирующего органа от отклонения регулируемой переменной. Качество регулирования обеспечивается выбором закона регулирования.

Регулятор или управляющее устройство – устройство, которое следит за состоянием объекта управления и вырабатывает для него управляющие сигналы. Регулятор следит за изменением некоторых параметров объекта управления (непосредственно, либо с помощью наблюдателей) и реагируют на их изменение с помощью некоторых воздействий в соответствии с заданным качеством управления. Регулятор является элементом системы управления.

Систему управления с обратной связью называют «замкнутой», а систему без обратной связи (то есть только с прямой связью) называют «разомкнутой», «открытой». В большинстве практических применений используются замкнутые системы управления.

Регуляторы в подавляющем большинстве работают по принципу отрицательной обратной связи с целью компенсировать внешние возмущения, действующие на объект управления, и отработать заданный извне или заложенный в системе закон управления. Для определения закона управления используется информация о математической модели объекта, которая считается заранее известной.

Критерии оценки качества регулирования:

- скорость регулирования (время уменьшения ошибки регулирования до заданной величины);
- точность, как установившаяся ошибка и как величина перерегулирования;

– запас устойчивости и отсутствие колебаний, в том числе затухающих.

Характеристикой объекта называется совокупность функций, величин, математических операций, правил и алгоритмов, при помощи которых заданному сигналу на входе объекта ставится в соответствие сигнал на выходе этого объекта.

При экспериментальном определении динамических свойств объекта анализируют характер переходного или установившегося колебательного процесса, вызванного внесенными на вход объекта возмущениями либо случайными эксплуатационными возмущениями.

Используют, как правило, три типа возмущений:

– однократное скачкообразное возмущение, которому соответствует переходный процесс, называемый кривой разгона (или временной характеристикой);

– однократное импульсное возмущение, которому соответствует переходный процесс, называемый импульсной характеристикой (или функцией веса);

– периодические возмущения, повторяющиеся с определенной частотой, которым соответствует установившийся процесс колебаний выходной величины; по кривым изменения входной и выходной величин определяют частотные характеристики объекта.

Регуляторы разделяют по нескольким признакам:

1. По общему принципу функционирования: адаптивные, модальные, робастные регуляторы и т. д.

2. По линейности закона регулирования: линейные и нелинейные регуляторы.

3. По закону регулирования (для линейных регуляторов). Под законом регулирования понимается основная, принципиальная аналитическая зависимость выходного воздействия регулятора на объект регулирования от изменения входного сигнала, получаемого регулятором от объекта регулирования. В соответствии с этим различают:

- пропорциональный (П-регулятор);
- интегрирующий (И-регулятор);
- дифференцирующий (Д-регулятор);
- пропорционально-интегрирующий (ПИ-регулятор);
- пропорционально-дифференцирующий (ПД-регулятор);
- пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД-регулятор).

4. По виду потребляемой энергии:

- пневматические;
- электрические;
- гидравлические.

### Пропорциональное регулирование (П-закон).

Пропорциональный или П-регулятор – это простой усилитель с передаточной функцией  $C(s) = K$ . Его выход – это ошибка управления  $e(t)$ , умноженная на коэффициент  $K$ . С помощью П-регулятора можно управлять любым устойчивым объектом. П-регулятор дает относительно медленные переходные процессы и ненулевую статическую ошибку. Переходный процесс с П-регулятором при разных  $K$  показан на рис. 30.

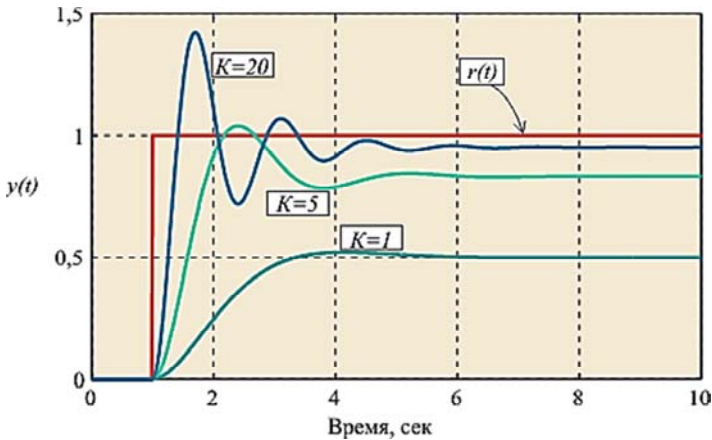


Рис. 30. Изменение переменной  $y(t)$  во времени при подаче единичного скачка  $r(t)$  на вход системы при разных  $K$

При цифровой реализации П-закона регулирования выходной сигнал регулятора  $Y_i$  пропорционален величине рассогласования  $E_i$ , т. е.

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot E_i \cdot 100,$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности, в пределах которой справедлива эта формула;

$E_i$  – разность между заданным  $T_{уст}$  и текущей  $T_i$  значениями измеряемой величины или рассогласование.

Полоса пропорциональности  $X_p$ , как и отклонение  $E$ , выражается в единицах контролируемого параметра. Чем шире полоса пропорциональности  $X_p$ , тем меньше величина выходного сигнала  $Y$  при одном и том же отклонении  $E$ .

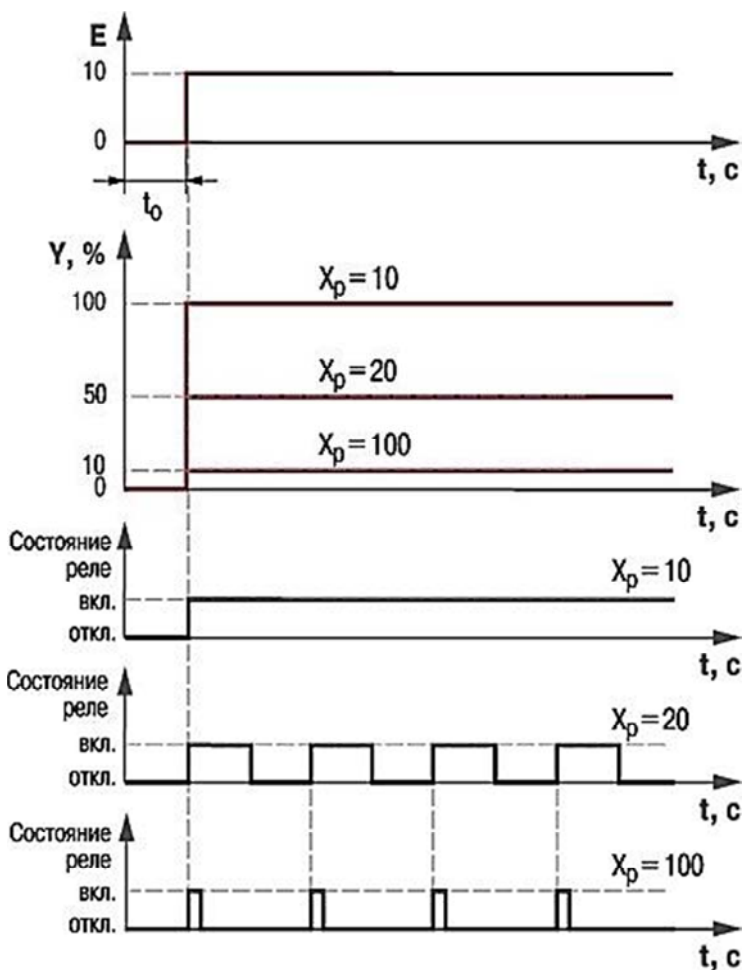


Рис. 31. Выходной сигнал П-регулятора и длительность управляющих импульсов при различных значениях  $X_p$  и  $E = 10$

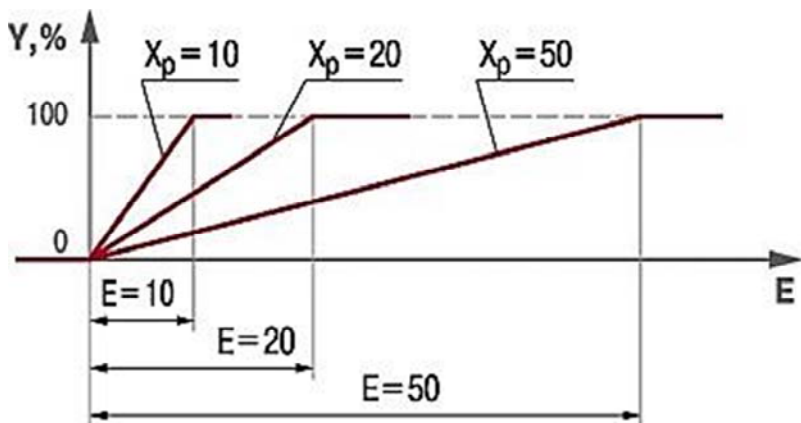


Рис. 32. Зависимость выходного сигнала П-регулятора от рассогласования при различных значениях  $X_p$

Чтобы убрать статическую ошибку в установившемся режиме, в регулятор вводят интегральный канал с коэффициентом усиления  $K_I$ , так что

$$C(s) = K + \frac{K_I}{s};$$

$$u(t) = Ke(t) + K_I \int_0^t e(t) dt.$$

Такой регулятор называется пропорционально-интегральным или ПИ-регулятором. Интегратор выдает сигнал, пропорциональный накопленной ошибке, поэтому переходный процесс несколько замедляется. За счет интегрального канала обеспечивается нулевая ошибка в установившемся состоянии при ступенчатом возмущении и ступенчатом изменении задающего сигнала (рис. 33).

При больших постоянных интегрирования переходная характеристика имеет вид, сходный с характеристикой аperiodического звена. С уменьшением постоянных интегрирования растет усиление регулятора, и когда петлевое усиление контура с обратной связью приближается к 1, в системе появляются колебания.



ПИ-регулятор имеет два существенных положительных отличия от И-регулятора:

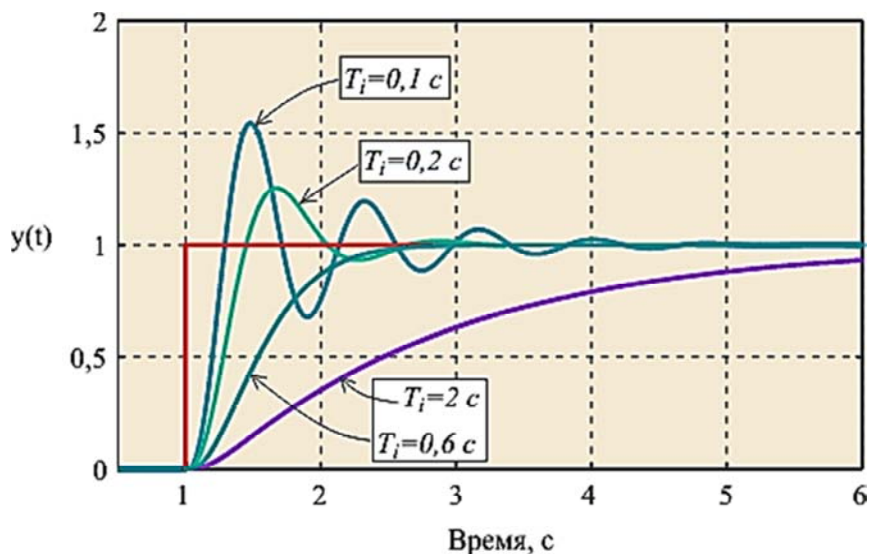


Рис. 33. Реакция на скачок замкнутой системы с объектом 2-го порядка с И-регулятором

1. Усиление на всех частотах не может стать меньше  $K$ , следовательно увеличивается динамическая точность регулирования.

2. Дополнительный сдвиг фаз вносится только в области низких частот, что увеличивает запас устойчивости замкнутой системы.

Оба фактора дают дополнительные степени свободы для оптимизации качества регулирования. В то же время, как и в И-регуляторе, модуль коэффициента передачи регулятора с уменьшением частоты стремится к бесконечности, обеспечивая тем самым нулевую ошибку в установившемся режиме. Отсутствие сдвига фаз на высоких частотах позволяет увеличить скорость нарастания управляемой переменной (по сравнению с И-регулятором) без снижения запаса устойчивости. Однако это справедливо до тех пор, пока пропорциональный коэффициент не станет настолько большим, что увеличит усиление контура до единицы.

Переходный процесс в ПИ-регуляторе показан на рис. 34.

С ростом пропорционального коэффициента появляется дополнительная ошибка во время переходного процесса, которая уменьшается с ростом  $K$ , однако при этом снижается запас устойчивости системы, поскольку с ростом  $K$  увеличивается усиление на частоте. Это приводит к появлению затухающих колебаний в начале переходного процесса. Когда величина становится достаточно большой для компенсации ослабления сигнала в объекте, в системе появляются незатухающие колебания.

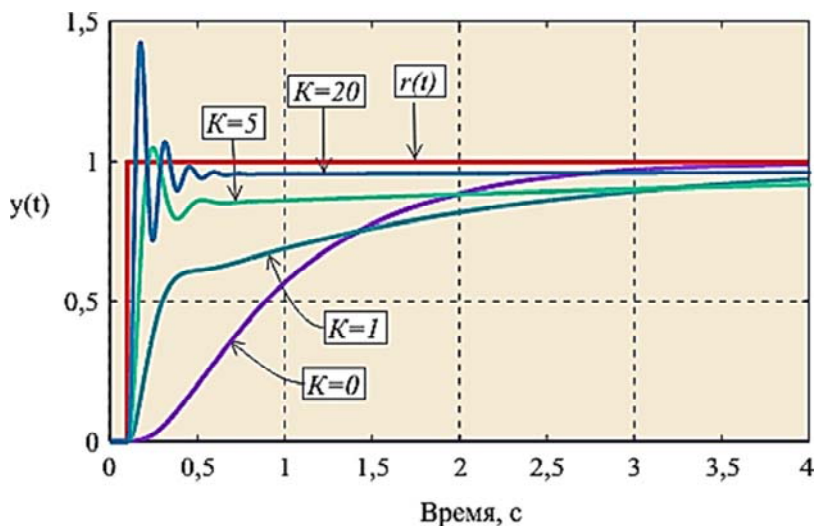


Рис. 34. Реакция замкнутой системы с ПИ регулятором на скачок

Следует отметить, что в отличие от П-регулятора, в котором ошибка остается в установившемся режиме, наличие интегрального члена в ПИ-регуляторе сводит эту ошибку в идеальном регуляторе до нуля, как в И-регуляторе.

Однако появление пропорционального коэффициента приводит к затягиванию переходного процесса по сравнению с И-регулятором. Объясняется это тем, что в ПИ-регуляторе сигнал ошибки, поступающий на вход интегратора, меньше, чем в И-регуляторе (он уменьшается благодаря пропорциональному коэффициенту), поэтому сигнал, компенсирующий ошибку, нарастает медленнее, чем в И-регуляторе.

При работе прибора в режиме ПИ-регулятора величина выходного сигнала  $Y_i$  зависит как от величины отклонения  $E_i$ , так и от суммы предыдущих рассогласований:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left( E_i + \frac{1}{\tau_u} \cdot \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t_{\text{изм}} \right) \cdot 100,$$

где  $X_p$  – полоса пропорциональности;

$E_i$  – рассогласование;

$\tau_u$  – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t_{\text{изм}}$  – накопленная в  $i$ -й момент времени сумма рассогласований (интегральная сумма).

Из рисунка видно, что в первый момент времени, когда нет отклонения ( $E_i = 0$ ), нет и выходного сигнала ( $Y_i = 0$ ). С появлением отклонения  $E_i$  появляются импульсы, длительность которых постепенно увеличивается (рис. 35). В импульсах присутствует пропорциональная составляющая, которая зависит от величины  $E$  (незаштрихованная часть импульсов), и интегральная составляющая (заштрихованная часть).

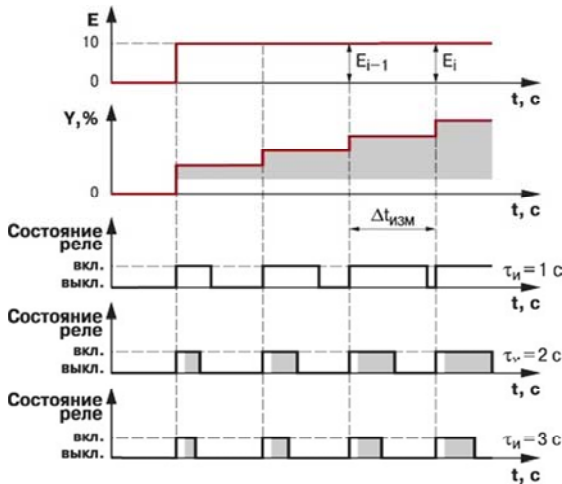


Рис. 35. Выходной сигнал ПИ-регулятора и длительность управляющих импульсов при различных значениях  $\tau_u$  и  $E = 10$

Для ускорения переходных процессов добавляют дифференциальный канал с коэффициентом усиления  $K_D$ :

$$u(t) = Ke(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt}.$$

Такой регулятор называется ПИД-регулятором (пропорционально-интегрально-дифференциальный). Регуляторы этого типа очень хорошо зарекомендовали себя в практических задачах.

Управление по производной – это быстрый способ управления. Сигнал дифференциального канала наиболее важен при изменениях входов и исчезает в установившемся режиме. Он позволяет реагировать не на само увеличение ошибки, а на тенденцию ее изменения и принять превентивные меры (рис. 36). Чтобы сделать регулятор физически реализуемым, вместо чистого дифференцирования используют инерционное дифференцирующее звено:

$$C(s) = K + \frac{K_I}{s} + \frac{K_D s}{T_D s + 1},$$

где  $T_D$  – малая постоянная времени.

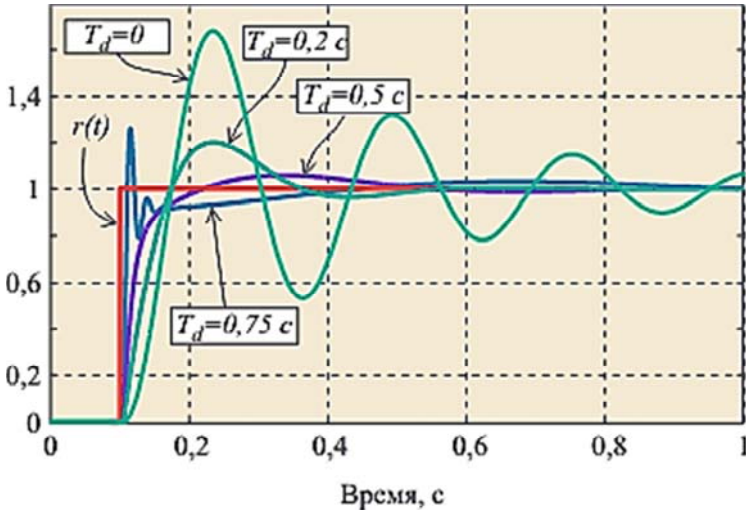


Рис. 36. Реакция замкнутой системы с ПИД регулятором на скачок

Для устойчивого объекта можно выбрать коэффициенты регулятора опытным путем, выполняя эксперименты с реальным объектом.

### **Назначение ПИД-регулятора ТРМ10.**

Измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ10 предназначен для измерения температуры или другой физической величины (веса, давления, влажности и т. п.), импульсного или аналогового управления нагрузкой по (ПИД) закону, а также для формирования дополнительного сигнала, который может быть использован для сигнализации о выходе параметра за установленные границы или для двухпозиционного регулирования.

Прибор ОВЕН ТРМ10 рекомендуется применять для управления объектами, обладающими повышенной инерционностью, где обычное двухпозиционное регулирование не обеспечивает необходимую точность. При использовании в качестве терморегулятора ОВЕН ТРМ10 может управлять как процессом нагрева, так и процессом охлаждения объекта.



Рис. 37. ТРМ10 ПИД-регулятор с универсальным входом

Прибор содержит канал универсального входа для подключения первичного преобразователя (датчика), блок обработки данных, четырехзарядный светодиодных индикатор и выходные устройства (ВУ), предназначенные для управления внешним оборудованием. Блок обработки данных включает в себя цифровой фильтр, вычислитель квадратного корня, ПИД-регулятор, устройство сравнения.

ПИД-регулирование осуществляется посредством ВУ1. При необходимости дополнительного двухпозиционного регулирования или для организации аварийной сигнализации следует использовать устройство сравнения и связанное с ним ВУ2.

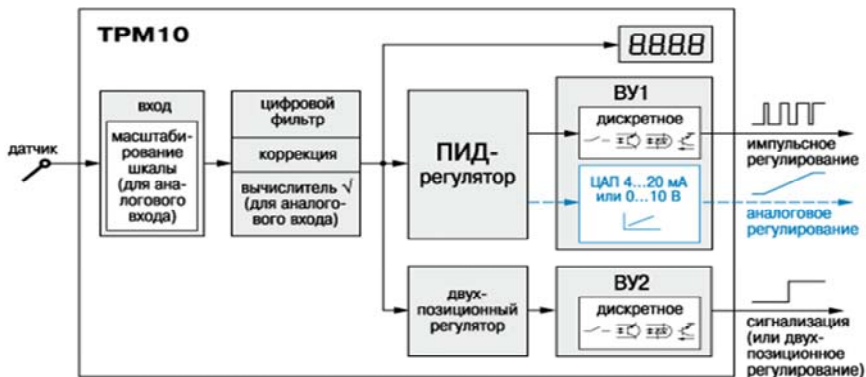


Рис. 38. Функциональная схема TPM10

Таблица 10

### Технические характеристики TPM10

Наименование	Значение
Напряжение питания переменного тока, В постоянного тока, В	90–264 (номинальное 220) 20–375 (номинальное 24)
Потребляемая мощность, Вт, не более	5,5
Количество каналов	1
Степень защиты корпуса	IP54
Габаритные размеры прибора:	$(96 \times 96 \times 47) \pm 1$
Температура окружающей среды, °С	–20 до +50
Атмосферное давление, кПа	84–106,7
Относительная влажность воздуха, %	30–80
Масса прибора, кг, не более	0,5
Средний срок службы, лет	8

## Характеристики прибора

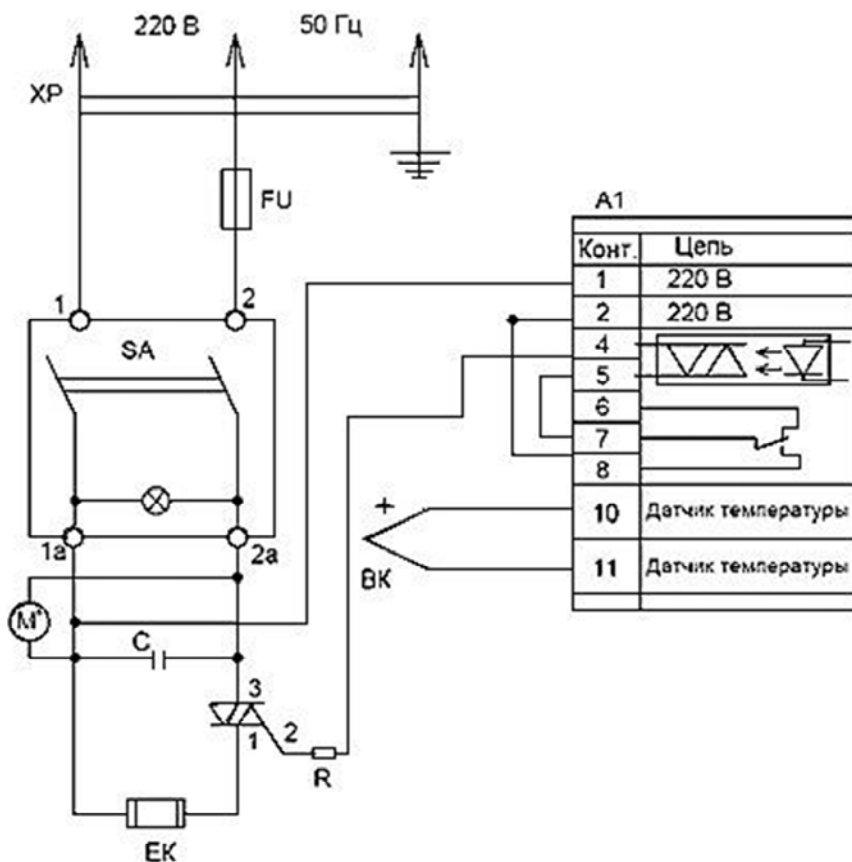


Рис. 39. Принципиальная схема электропечи:

A1 – измеритель-регулятор температуры микропроцессорный ТРМ10А-Щ2-ТП1-С;

ВК – бескорпусная термопара в термостойкой оплетке;

ЕК – нагревательный элемент ленточный;

FU – вставка ВП 10 А; VS – симистор; R – резистор С2-33Н-0.5-120;

C – конденсатор К 73-17-400В-1мкФ;

SA – клавишный переключатель с подсветкой 15 А-250В АС;

XP – шнур ПВС-ВП с сетевой вилкой;

M\* – электродвигатель ДАО125-27-2,3 (для электропечи с вентилятором)

### Ход работы:

1. Включить сушильный шкаф в сеть (рис. 40).
2. Установить в стандартный (заводской) режим.
3. Задать температуру для проведения работы.
4. Фиксировать изменение температуры через равные промежутки времени
5. Результаты заносить в таблицу.
6. По результатам опыта построить график изменения температуры от времени.
7. По графику определить показатели процесса регулирования.
8. Сделать выводы.

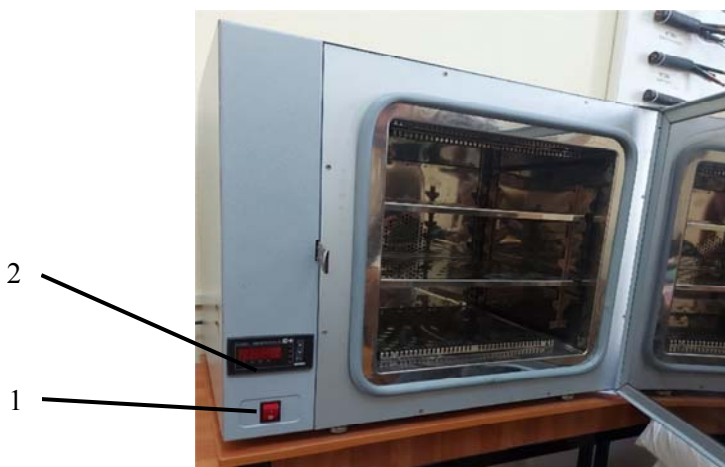


Рис. 40. Лабораторная установка:  
1 – сушильный шкаф; 2 – измеритель ПИД-регулятор ТРМ-10

Таблица 11

### Результаты эксперимента

Температура в печи $T$ , °C									
Время нагрева $t$ , мин									



## **Лабораторная работа № 10. САР ТЕМПЕРАТУРЫ В СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЕ**

### **Цель работы:**

1. Изучить устройство электронного потенциометра и принцип его работы.
2. Ознакомиться со схемой системы автоматического регулирования температуры.
3. В процессе проведения опытов проследить за поведением электронного автоматического потенциометра в условиях переходного процесса.
4. На основании проведенных опытов и полученной временной характеристики определить основные качественные показатели процесса регулирования.

### **Общие сведения.**

Электронный потенциометр предназначен для преобразования входных релейных сигналов больше/меньше в выходное напряжение. Устройство позволяет заменять обычные щитовые механические потенциометры и отличается высокой надежностью, поскольку в нем отсутствуют вращающиеся части. Для прибора можно настроить уровень и скорость изменения выходного сигнала, а также его смещение.

Аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) – один из самых важных электронных компонентов в измерительном и тестовом оборудовании. АЦП преобразует напряжение (аналоговый сигнал) в код, над которым микропроцессор и программное обеспечение выполняют определенные действия.

Существует несколько основных типов архитектуры АЦП, хотя в пределах каждого типа существует также множество вариаций. Различные типы измерительного оборудования используют различные типы АЦП. Например, в цифровом осциллографе используется высокая частота дискретизации, но не требуется высокое разрешение. В цифровых мультиметрах нужно большее разрешение, но можно пожертвовать скоростью измерения. Системы сбора данных общего назначения по скорости дискретизации и разрешающей способности обычно занимают место между осциллографами и цифровыми мультиметрами. В оборудовании такого типа используются АЦП последовательного приближения либо сигма-дельта АЦП.

Существуют также параллельные АЦП для приложений, требующих скоростной обработки аналоговых сигналов, и интегрирующие АЦП с высокими разрешением и помехоподавлением.

### **Погрешность АЦП.**

Существуют общие определения, которые принято использовать в отношении аналого-цифровых преобразователей. Тем не менее характеристики, приводимые в технической документации производителей АЦП, могут показаться довольно путанными. Правильный же выбор оптимального по сочетанию своих характеристик АЦП для конкретного приложения требует точной интерпретации данных, приводимых в технической документации.

Наиболее часто путаемыми параметрами являются разрешающая способность и точность, хотя эти две характеристики реального АЦП крайне слабо связаны между собой. Разрешение не идентично точности, 12-разрядный АЦП может иметь меньшую точность, чем 8-разрядный. Для АЦП разрешение представляет собой меру того, на какое количество сегментов может быть поделен входной диапазон измеряемого аналогового сигнала (например, для 8-разрядного АЦП это  $8 = 256$  сегментов). Точность же характеризует суммарное отклонение результата преобразования от своего идеального значения для данного входного напряжения. То есть, разрешающая способность характеризует потенциальные возможности АЦП, а совокупность точностных параметров определяет реализуемость такой потенциальной возможности.

АЦП преобразует входной аналоговый сигнал в выходной цифровой код. Для реальных преобразователей, изготавливаемых в виде интегральных микросхем, процесс преобразования не является идеальным: на него оказывают влияние как технологический разброс параметров при производстве, так и различные внешние помехи. Поэтому цифровой код на выходе АЦП определяется с погрешностью. В спецификации на АЦП указываются погрешности, которые дает сам преобразователь. Их обычно делят на статические и динамические. При этом именно конечное приложение устанавливает, какие характеристики АЦП будут считаться определяющими, самыми важными в каждом конкретном случае. В большинстве случаев АЦП применяют для измерения медленно изменяющегося низкочастотного сигнала (например, от датчика температуры, давления,

от тензодатчика и т. п.), когда входное напряжение пропорционально относительно постоянной физической величине. Здесь основную роль играет статическая погрешность измерения. В спецификации АЦП этот тип погрешности определяют аддитивная погрешность (Offset), мультипликативная погрешность (Full-Scale), дифференциальная нелинейность (DNL), интегральная нелинейность (INL) и погрешность квантования. Эти пять характеристик позволяют полностью описать статическую погрешность АЦП.

### PowerGraph.

Программное обеспечение «PowerGraph» содержит расширяемую библиотеку драйверов для различных устройств (рис. 41):

1. Внутренние платы и внешние модули АЦП.
2. Виртуальные генераторы.
3. Цифровые приборы и датчики.
4. Компьютерные устройства ввода и звукозаписи платы.
5. Системные устройства компьютера и др.

Чтобы использовать какой-либо источник сигналов, достаточно при загрузке программы выбрать его в списке поддерживаемых устройств.

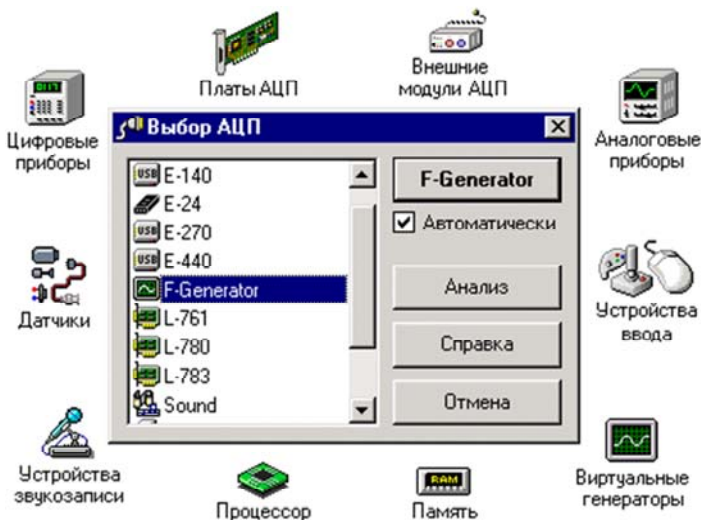


Рис. 41. Окно программы «PowerGraph»

Поддержка широкого спектра устройств сбора данных осуществляется за счет универсальной системы драйверов, что позволяет подключать к ПО «PowerGraph» любые источники сигналов.

В состав программного обеспечения «PowerGraph» входит постоянно расширяемая библиотека функций обработки сигналов:

1. Функции копирования, калибровки и нормализации сигналов.
2. Арифметические и логические операции с сигналами.
3. Функции амплитудной и частотной фильтрации сигналов.
4. Функции усреднения и сглаживания сигналов.
5. Функции дифференцирования и интегрирования сигналов.
6. Функции обработки циклических сигналов.
7. Функции выделения огибающей.
8. Функции статистической обработки.
9. Функции тригонометрические, логарифмические и др.

Программа осуществляет автоматическую запись протокола используемых функций, который можно сохранить в специальный файл и использовать в следующих сеансах работы. Это позволяет создавать, редактировать и многократно использовать сложные алгоритмы обработки данных.

ПО «PowerGraph» имеет дополнительный набор инструментов анализа данных, который постоянно расширяется и дополняется новыми возможностями.

Для проведения расчетов необходимо:

- выбрать функцию математической обработки;
- выбрать канал с исходными данными;
- указать канал, в который будут скопированы расчетные данные.

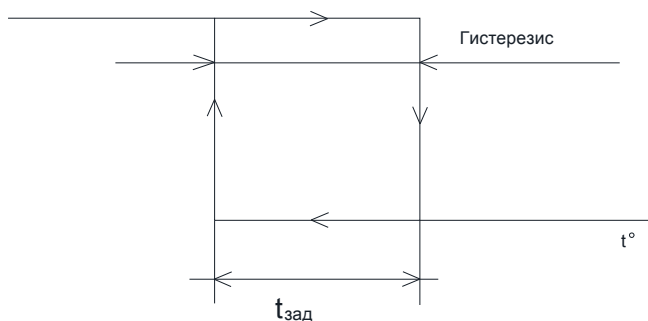


Рис. 42. Процесс регулирования

*Свойство гистерезиса в аналоговых и цифровых устройствах* (рис. 42) означает различные пороги срабатывания устройства в зависимости от направления изменения входного сигнала: при возрастании сигнала порог срабатывания выше, при убывании – ниже. Типичным представителем устройств с гистерезисом с двумя фиксированными порогами переключения является *триггер Шмитта* (Schmitt trigger). В цифровой технике вход с гистерезисом используется для подавления *эффекта дребезга фронтов* при формировании цифровых сигналов из входного зашумленного сигнала с затяжными фронтами. В частности, в отличие от обычных TTL-входов, *TTL-вход с гистерезисом* позволяет не предъявлять требования к нижней границе скорости нарастания сигнала, поданного на вход.

Гистерезис имеют некоторые *входы синхронизации*, входы частотомеров. У частотомеров встречается вход с управляемыми порогами гистерезиса входной схемы.

*Величиной гистерезиса* называют разницу между порогами срабатывания (*размерность величины* соотносится с размерностью измерения сигнала на входе с гистерезисом).

### **Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомиться с конструкцией электронного потенциометра и системы в целом и зарисовать принципиальную измерительную схему потенциометра.

2. Задать требуемую температуру датчиком (89 °С) и включить систему. Опыт продолжать до установившегося режима.

3. После окончания опыта произвести обработку диаграммы, построить временную характеристику САР.

4. На основании временной характеристики определить основные качественные показатели САР, заполнить таблицу 12.

5. Составить структурную схему автоматического регулирования.

6. Сделать выводы.

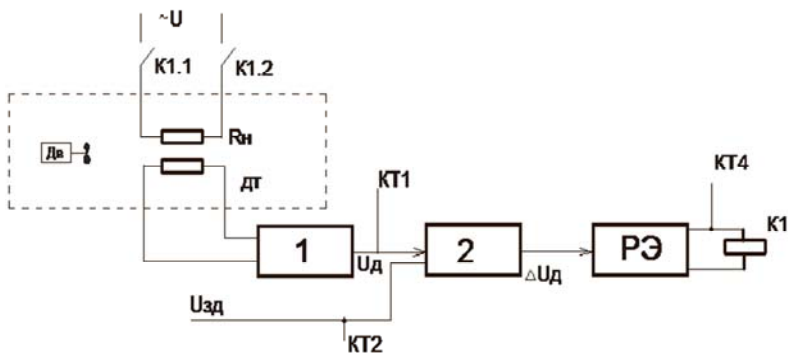


Рис. 43. Описание установки:

- 1 – преобразователь температуры в напряжение; 2 – устройство сравнения;  
 $R_n$  – нагреватель; ДТ – датчик температуры;  
 РЭ – релейный элемент с регулируемой петлей гистерезиса;  
 КЛ – реле электромагнитное;  $K_{T1}$ ,  $K_{T2}$ ,  $K_{T3}$ ,  $K_{T4}$  – клеммы измерения;  
 $U_d$ ,  $U_{зд}$  и  $\Delta U_d$  – реле срабатывания;  
 Дв – двигатель с вентилятором для изменения температуры воздуха.

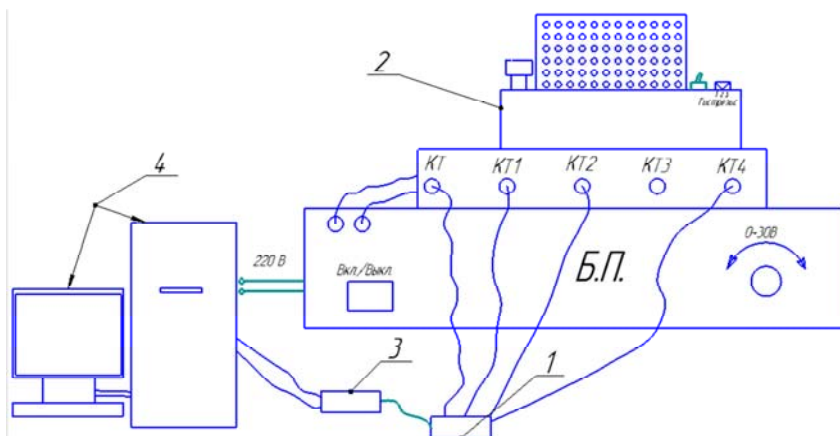


Рис. 44. Схема лабораторной установки:

- 1 – устройство коммутации – двухпозиционный регулятор;  
 2 – блок лабораторной работы; 3 – АЦПВ-480; 4 – ЭВМ

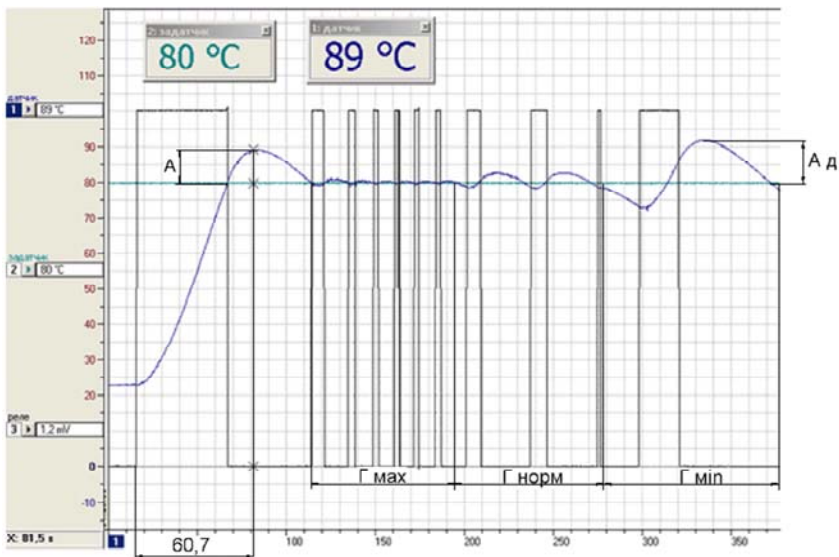


Рис. 45. Кривая разгона

Таблица 12

Характеристика САР

Время разгона $t_p$ , с	
Запаздывание $\tau_3$ , с	
Максимальное перегулирование $t_{max}$ , с	
Время переходного процесса $t_{пп}$ , с	
Величину перегулирования $A_n$ , °С	
Статическую ошибку $\Delta_{ст.}$ , °С	

## **Лабораторная работа № 11.** **АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ**

### **Цель работы:**

Ознакомится с системами защиты, контроля и управления ленточного конвейера.

### **Общие сведения.**

Важным залогом обеспечения устойчивого функционирования и развития горнодобывающего предприятия служит стабильная и эффективная система транспортировки минерального сырья. В составе полных затрат по добыче и переработке полезного ископаемого, затраты на транспорт являются одной из наиболее существенных составляющих. Так на открытых горных работах затраты на транспорт могут достигать до 40–50 % в себестоимости добычи полезного ископаемого. Такая существенная роль доказывает необходимость обоснования использования наиболее эффективной системы транспортирования.

Конвейер – машина непрерывного действия, предназначенная для транспортирования насыпных (полезного ископаемого, породы, закладочных материалов и др.) и штучных грузов.

Для транспортирования горной массы на подземных и открытых работах наиболее распространены ленточные конвейеры.

Ленточный конвейер – транспортирующее устройство непрерывного действия с объединенным грузонесущим и тяговым органом в виде замкнутой (бесконечной) гибкой ленты.

### **Классификация конвейеров.**

по конструктивному признаку:

– конвейеры с гибким тяговым органом – груз движется вместе с тяговым органом на его рабочей ветви (ленточные конвейеры, ленточно-канатные конвейеры, ленточно-цепные конвейеры, ленточно-тележечные конвейеры, скребковые конвейеры, пластинчатые конвейеры, элеваторы);

– без тягового органа – поступательное движение транспортируемого груза осуществляется при колебательном или вращательном движении рабочих элементов.



по виду потребляемой энергии:

- с электрическим приводом;
- с гидравлическим приводом;
- с пневматическим приводом.

по углу подъема:

- горизонтальные;
- слабонаклонные (от  $6^\circ$  до  $-3^\circ$ );
- наклонные (до  $18-20^\circ$  и до  $-16^\circ$ );
- крутонаклонные конвейеры (свыше  $18-20^\circ$  или свыше  $-16^\circ$ ).

по виду трассы:

- прямолинейные;
- криволинейные в профиле;
- криволинейные (изгибающиеся) в плане.

по возможности изменения длины става конвейера:

- постоянной длины;
- переменной ступенчато изменяющейся длины с рассоединением тягового и грузонесущего органов (например, скребковый конвейер);
- переменной бесступенчато изменяющейся длины без рассоединения тягово-грузонесущего органа (например, телескопический ленточный конвейер).

по длительности времени работы на одном месте:

- стационарные;
- полустационарные;
- передвижные.

по назначению:

- для подземных работ;
- для открытых работ;
- общего назначения, применяющиеся на поверхности шахт и обогатительных фабриках;
- специальные (например, питатели, перегружатели, для погрузочных машин, отвалообразователей, транспортно-отвальных мостов и др.).

Применение ленточных конвейеров (рис. 46) дает процессу добычи полезных ископаемых целый ряд преимуществ:

- работа линий оптимизируется, сокращаются простои;
- уровень безопасности в шахте увеличивается;
- автоматизируется учет добываемых полезных ископаемых;
- можно автоматически определять на линии брак и без труда останавливать транспортеры;

– пуск, скорость, остановку и режим работы конвейеров можно контролировать с безопасного расстояния.

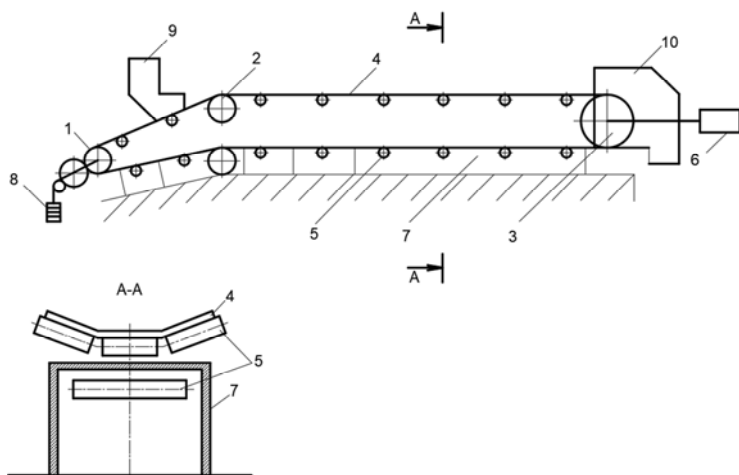


Рис. 46. Схема устройства ленточного конвейера:

- 1 – натяжной барабан; 2 – направляющий барабан; 3 – приводной барабан;
- 4 – лента конвейера; 5 – роlikоопоры; 6 – электродвигатель;
- 7 – рама конвейера; 8 – натяжное устройство; 9 – загрузочный люк;
- 10 – разгрузочный люк

Управление конвейерными линиями в простейшем случае заключается в пуске и останове электродвигателей, приводящих в действие тяговые органы конвейеров. Так как число конвейеров в линии может быть значительным, то применяется централизованное управление приводами конвейерных установок с автоматизированным пуском. В этом случае оператор подает только начальный командный импульс на пуск первого конвейера, а двигатели остальных конвейеров включаются автоматически в заданной последовательности. Тем самым централизованное управление позволяет освободить человека от непосредственного участия в пуске каждого конвейера.

При автоматизации конвейерных линий должны соблюдаться следующие основные требования:

1. Не менее чем за 5 с перед пуском первого конвейера и перед допуском части линии должен автоматически подаваться отчетливо слышимый по всей длине конвейерной линии предупредительный

звуковой сигнал, который должен прекращаться только после окончания пуска последнего конвейера.

2. Пуск конвейерной линии должен производиться поочередным включением конвейеров в направлении, обратном грузопотоку. Этим исключается опасность образования завалов.

3. Дозапуск части конвейерной линии должен осуществляться без остановки работающего участка конвейерной линии.

4. Пуск каждого последующего конвейера разрешается после достижения тяговым органом предыдущего конвейера рабочей скорости. Такая блокировка осуществляется с помощью реле скорости, контролирующего движение тягового органа.

5. Останов конвейерной линии должен осуществляться поочередным выключением конвейеров в направлении грузопотока. В случае аварийного режима на конвейере он должен быть отключен, и также остановлены конвейеры, подающие на аварийный конвейер груз. Остальные конвейеры должны работать, чтобы освободить тяговый орган от груза.

6. Оперативный останов конвейерной линии должен осуществляться с постов управления, а экстренное прекращение пуска и экстренный останов любого конвейера из любой точки по его длине – по сигналам от кабель-тросовых выключателей.

Для конвейерного транспорта существенное значение имеет надежность его работы. Нарушения в работе оборудования могут привести к нарушению всего технологического процесса. Поэтому в схемах автоматизации конвейеров (рис. 47) применяется большое число защитных блокировок, которые осуществляют автоматическое аварийное отключение конвейера при: неисправности электродвигателя под действием соответствующих электрических защит; неисправности механической части конвейера (обрыв цепи скребкового конвейера, обрыв или останов ленты); затянувшемся пуске конвейера; засыпании мест перегрузки транспортируемого материала (образование заштыбовки между конвейерами); снижении номинальной скорости ленты на 25 % или при превышении скорости ленты на 8 %; пробуксовке ленты относительно приводного барабана более чем на 10 % номинальной скорости; снижении скорости приводной звездочки скребкового конвейера на 15 % номинального значения; сходе ленты на 10 % ее ширины; перегреве ленты или при пожароопасной ситуации.

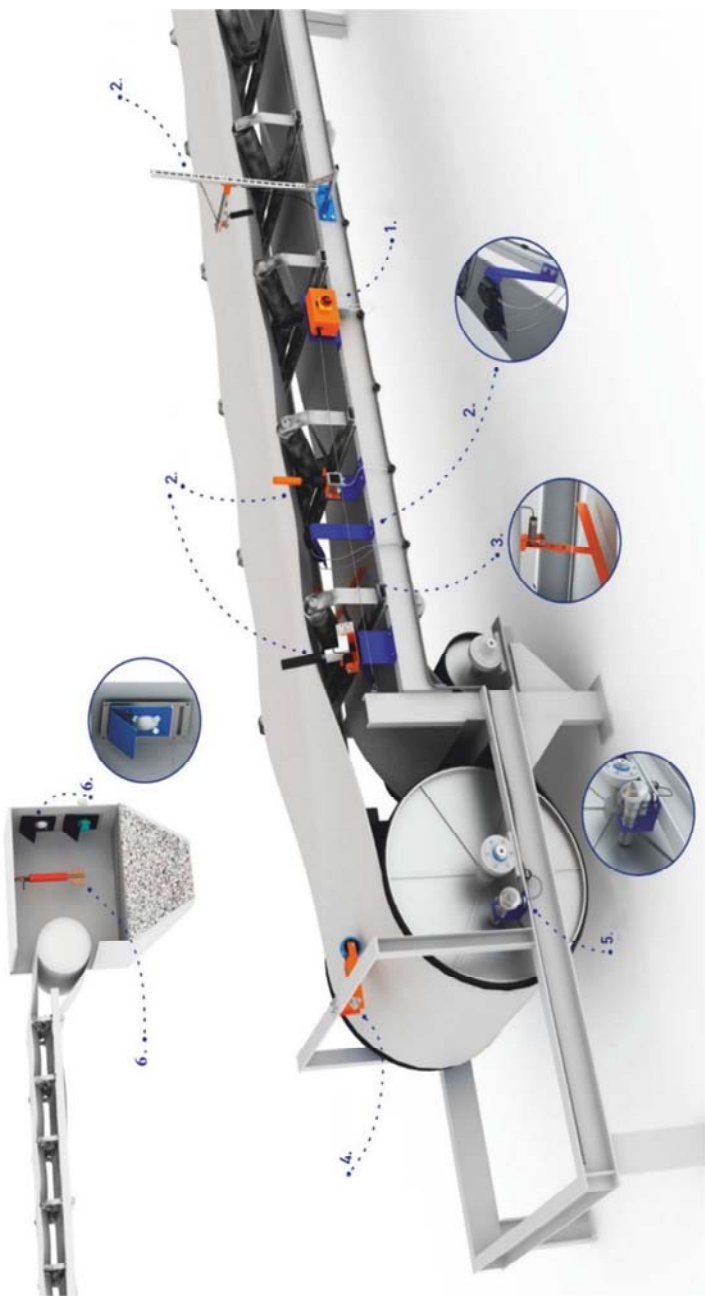


Рис. 47. Датчики конвейерной автоматики:

1 – аварийное выключение; 2 – датчик контроля схода ленты; 3 – устройство контроля продольного разрыва ленты; 4 – датчик скорости ленты; 5 – датчик контроля минимальной скорости; 6 – датчик заштыбовки

Экономический эффект при автоматизации конвейерного транспорта в основном достигается за счет высвобождения обслуживающего персонала.

Кроме этого, автоматизация позволяет уменьшить расход электроэнергии за счет уменьшения примерно в 2 раза времени работы конвейеров вхолостую; снизить расход материалов (тяговых цепей, ленты, запасных частей) примерно на 23 %, так как увеличивается надежность работы оборудования.

Аварийные тросовые выключатели (АТВ) (рис. 48) служат для блокирования пуска и экстренного останова конвейерных приводов с любого места технологических линий в случае возникновения аварийной ситуации. Также АТВ можно использовать для контроля несанкционированного вскрытия ограждений и в местах, где невозможно применить защитные механические ограждения.



Рис. 48. Выключатель тросовый ВТ-2-01

Таблица 13

### Техническая характеристика ВТ-2-01

Показатель	Значение
Номинальное напряжение коммутируемых цепей, В	36
Количество коммутируемых электрических цепей, шт.	2
Номинальный коммутируемый ток, А	0,25
Класс по способу защиты человека от поражения электрическим током по ГОСТ 12.2.007.0-75	III

Показатель	Значение
Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254-96	IP54
Максимальный ход штока, мм	20
Габаритные размеры, мм	400×125×68
Масса, кг	2,5
Максимальная длина троса выключателя, м	250

Датчик схода ленты ДСЛ-01 (рис. 49) предназначен для контроля аварийного схода конвейерной ленты в сторону. Датчик можно использовать для контроля положения перегрузочных узлов на конвейерном транспорте, ограждений, дверей и т. п. Датчики должны быть расположены вертикально, по обе стороны конвейерной ленты.



Рис. 49. Датчик схода ленты ДСЛ-01

Таблица 14

## Техническая характеристика ДСЛ-01

Показатели	Значение
Напряжение переменного (постоянного) тока, В	0,5–36 (0,5–30)
Коммутируемый ток, А	3 (4)
Маркировка по ГОСТ 24754-81 и класс изоляции по ГОСТ 24719-81	Рудничное нормальное PH2
Степень защиты оболочки по ГОСТ 14254-96	IP54

Показатели	Значение
Отклонение вершины тяги датчика от его оси, при котором происходит срабатывание, мм	$70 \pm 5$
Число контактов, шт.	2
Число циклов включения-отключения, штук	10 000
Габариты, мм	355×140×87
Масса, кг	2,5

Устройство контроля продольного разрыва ленты (просьпы) в комплекте с индуктивным или герконовым датчиком (рис. 50) предназначено для обнаружения продольных повреждений (разрывов) конвейерной ленты. Устройство устанавливается на ставе конвейера, над холостой ветвью.



Рис. 50. Устройство контроля продольного разрыва УКПР1

В случае продольного разрыва ленты транспортируемый материал попадает на нижнюю (холостую) ветвь конвейера, и, достигнув скребка, выводит рычаг из зоны чувствительности датчика, изменяя тем самым его выходной сигнал.

## Техническая характеристика УКПР1

Габариты устройства, мм (В×Ш×Г)	200...330 × 650 × 130
Отверстие для крепления датчика, мм	Ø = 30,5
Материал, покрытие	Углеродистая сталь, полимерно-порошковое покрытие

Датчики контроля скорости (рис. 51) предназначены для получения сигналов, частота которых пропорциональна скорости движения конвейерной ленты. Сигналы передаются в контроллер (блок управления конвейером), который при критическом снижении частоты сигналов, получаемых от одного датчика, или критическом рассогласовании частот сигналов, получаемых от двух датчиков, выдает команду включения предупреждающей сигнализации или команду аварийной остановки конвейера.

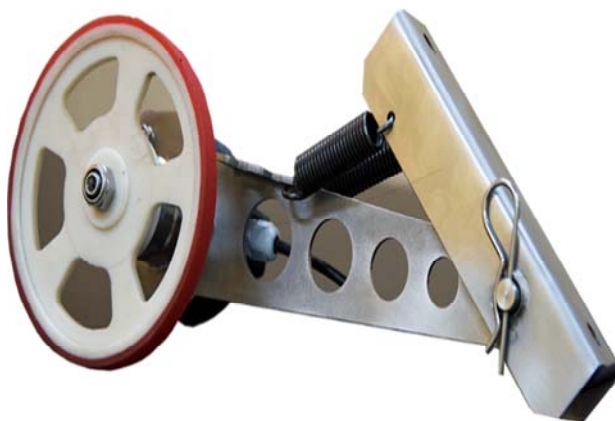


Рис. 51. Датчик контроля скорости конвейерной ленты энкодерный ДКСЭ

Датчик должен устанавливаться таким образом, чтобы при движении конвейера в его рабочей зоне оказывались металлические элементы конструкции. Такими элементами могут быть ребра жесткости ведущего (натяжного) барабана, звенья цепи, и т. д.



## Техническая характеристика ДКСЭ

Параметр	Значение
Напряжение питания $U_{пит.}$ , В	7–24
Потребляемая мощность, В·А	2
Диапазон измерения скорости, м/с	0,2–5,0
Относительное отклонение измеренной скорости, %	0,2
Температура окружающего воздуха, °С	–25 до +60
Степень защиты оболочкой по ГОСТ 14254-2015	IP 65
Габаритные размеры, мм	360×270×200
Средний срок службы, лет	≥6

Датчики контроля минимальной скорости предназначены для контроля минимальной скорости ленты конвейера в пределах номинальных скоростей от 0,4 до 10 м/с. При вращении барабана металлические части (спицы барабана, зубья шестерни, приливы и т. д.) воздействуют на чувствительную поверхность датчика с частотой, пропорциональной частоте вращения. Схема контроля частоты сравнивает частоту воздействия с заданной пороговой. При снижении частоты воздействия ниже установленной датчик изменяет выходной сигнал.



Рис. 52. Датчик контроля минимальной скорости ДКМС1-1551

Необходимое значение минимальной частоты устанавливается с помощью подстроечного резистора. Датчик обеспечивает задержку при первоначальном включении, необходимую для разгона механизма после подачи питания и достижения заданной частоты следования импульсов воздействия.

Таблица 17

Техническая характеристика ДКМС1-1551

Способ установки в металл	Встраиваемый
Максимальное коммутируемое напряжение $U_{\max}$ , В	240 AC / 60 DC
Коммутируемый рабочий ток $I_{\text{раб}}$ , А	$\leq 1$
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP67
Габариты, мм	M30×1,5×150
Номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$ , В	24
Диапазон рабочих температур, °С	от -45 до +65
Рабочий зазор, мм	0–8
Собственный ток потребления $I_0$ , мА	55

Датчик заштыбовки (рис. 53) предназначен для контроля заштыбовки (забивки) перегрузочных точек конвейеров при транспортировании угля, породы и других твердых материалов крупных и средних фракций, на предприятиях не опасных по газу (метану). Корпус из стали обеспечивает повышенную ударопрочность и износостойкость, в связи с чем он рекомендован для применения в жестких условиях эксплуатации. Датчик не требует питания, вследствие чего существует возможность последовательного подключения нескольких изделий.

При воздействии материала на корпус происходит отклонение датчика от вертикального положения. При отклонении от вертикальной оси на угол 20–30° происходит изменение логического сигнала датчика.

Датчик подвешивается на цепи вне зоны падения материала, с таким расчетом, чтобы транспортируемый материал, достигнув верхнего уровня, отклонил датчик от вертикали на угол не менее 20°.



Рис. 53. Датчик заштыбовки ДЗ-7002

Таблица 18

Техническая характеристика ДЗ-7002

Параметр	Значение
Угол срабатывания	$\leq 30^\circ$
Материал корпуса	Сталь
Степень защиты по ГОСТ 14254-96	IP67
Индикация срабатывания	Нет
Масса, кг	1,8
Диапазон рабочих температур, °С	от -45 до +65
Рабочий ток (ток нагрузки) $I_{\text{раб.}}$ , А	$\leq 1$
Тип контакта	Переключающий

Датчики положения магнитогерконовые типа ДПМГ2-40, ДПМГ-2-100, ДПМГ-2-200 (рис. 54) предназначены для контроля положения перемещающихся частей механизмов при выполнении технологических операций в шахтах, а также в различных автоматических устройствах систем управления:

- в качестве концевых выключателей различных машин и механизмов;
- в комплексе обмена вагонеток;

- породном комплексе;
- подъемных установках;
- подземных погрузочных пунктах;
- системе диспетчеризации шахт и т. п.



Рис. 54. Датчик положения магнитогерконовый ДПМГ2-40

Таблица 19

#### Техническая характеристика ДПМГ2-40

Параметр	Значение
Тип контактов	НЗ
Рабочий зазор, мм	40
Количество переключений, млн. раз	≥50
Режим коммутации	
– ток, А	0,03220
– напряжение, В	
Диапазон рабочих температур, °С	–40 до +50
Габариты	
– блок магнита, мм	150×70×50
– блок геркона, мм	165×81×55

#### Ход работы:

1. Осмотреть лабораторную установку (рис. 55), определить расположение датчиков.

2. Включить установку кнопкой «Пуск» (F1) на панели управления SIMATIC OP17 (рис. 56).

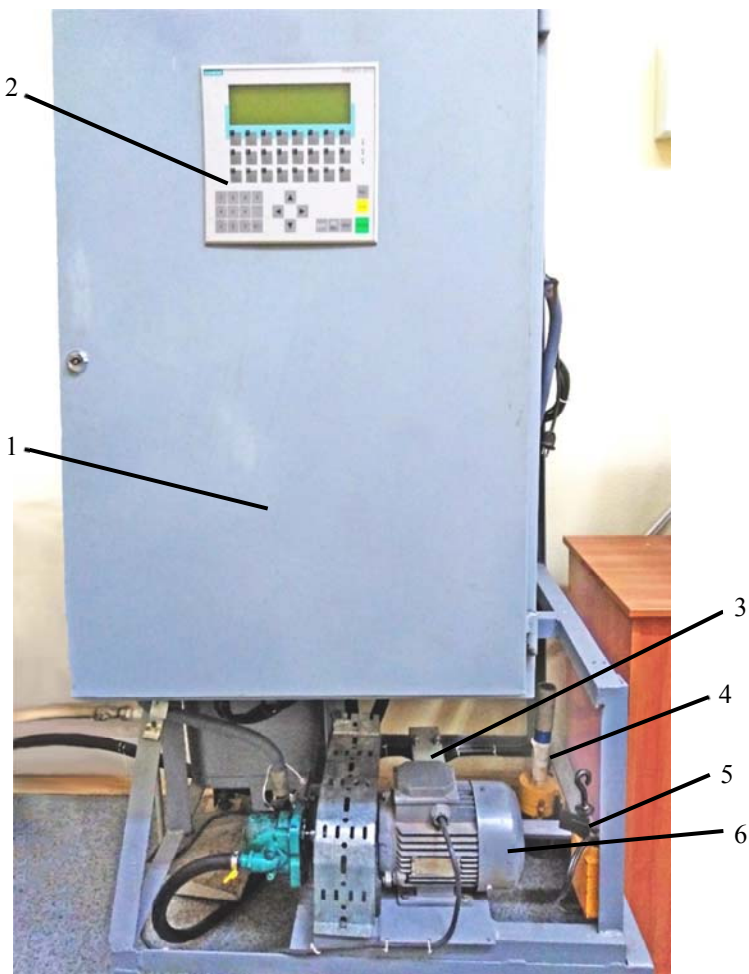


Рис. 55. Схема лабораторной установки:

- 1 – шкаф управления; 2 – панель управления SIMATIC OP17;  
 3 – датчик положения ДПМГ2-40; 4 – датчик контроля схода ленты ДСЛ-01;  
 5 – выключатель тросовый ВТ-2-01; 6 – электродвигатель конвейера

3. Имитировать сход ленты, отклонив датчик контроля схода ленты ДСЛ-01 в сторону до момента отключения электродвигателя.

4. Зафиксировать причину остановки ленточного конвейера на панели управления.

5. Вернуть датчик в исходное положение.
6. Запустить установку по готовности (индикатор-слово «ГОТОВ» в строке состояния прибора).
7. Воспроизвести ситуацию проникновения человека/предмета за оградительную установку прибора, отсоединив верхнюю часть магнитогерконового датчика ДПМГ2-40 рукой.
8. Зарегистрировать причину остановки ленты.
9. Возвратить датчик контроля ограждений в исходное состояние и, по готовности установки, запустить ее.
10. Остановить установку с помощью тросового выключателя ВТ-2-01, потянув его вверх.
11. Зафиксировать показания на панели управления о причине остановки оборудования.
12. Вернуть тросовый выключатель ВТ-2-01 в исходное положение и запустить установку.
13. Остановить работу ленточного конвейера кнопкой «СТОП» (F2) на панели управления.
14. Отметить причину остановки на панели управления.
15. Сделать выводы на основании проведенного опыта.



Рис. 56. Панель управления SIMATIC OP17 в рабочем состоянии

**Лабораторная работа № 12.**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ.**  
**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПК МВТУ**

**Цель работы:**

1. Ознакомиться с программным комплексом МВТУ.
2. Получить начальные навыки в моделировании процессов.

**Общие сведения.**

Программный комплекс «Моделирование в технических устройствах» («МВТУ») – современная среда интеллектуального САПР, предназначенная для детального исследования и анализа нестационарных процессов в системах автоматического управления, в следящих приводах и роботах, в любых технических системах, описание динамики которых может быть реализовано методами структурного моделирования.

ПК «МВТУ» реализует режимы работы:

*Моделирование:*

- моделирование нестационарных процессов в непрерывных, дискретных и гибридных технических системах;
- редактирование параметров структурной схемы и расчета в режиме «on-line»;
- расчет в реальном времени или в режиме масштабирования модельного времени;
- рестарт, архивация и воспроизведение результатов моделирования;
- выполнение статистической обработки сигналов, основанное на быстром преобразовании Фурье.

*Оптимизация:*

- параметрическая оптимизация САУ и идентификация опытных данных;
- синтез оптимальных регуляторов и оптимального управления в многокритериальной постановке при наличии ограничений на значения динамических переменных, управляющих воздействий, параметров элементов, функционалов качества.

*Анализ:*

- расчет амплитудо-фазовых частотных характеристик для линейных и нелинейных систем;
- расчет коэффициентов, полюсов и нулей передаточных функций.

*Синтез:*

– реализация синтеза регуляторов по заданным частотным характеристикам;

– реализация синтеза регуляторов по заданному расположению корней характеристического уравнения.

*Контроль и управление:*

– создание виртуальных аналогов пультов управления с измерительными приборами и управляющими устройствами для задач оперативного контроля и управления;

– создание виртуальных аналогов мнемосхем с мультимедийными эффектами (включая анимационные эффекты) для оперативного контроля и управления технологическими процессами.

Основные особенности и достоинства программного комплекса:

– **открытость** за счет реализации в ПК «МВТУ» нескольких механизмов обмена данными с внешними расчетными программами, а также за счет встроенного в ПК интерпретатора математических функций;

– **принцип вложенности** структур (глубина вложенности неограниченная), что особо актуально при моделировании сложных динамических систем;

– **векторизация** алгоритмов передачи и обработки данных за счет реализации линий связи типа «шина» данных и векторизации входов/выходов всех типовых блоков;

– **наличие наиболее полной** общетехнической и ряда специализированных библиотек типовых блоков, в т. ч. библиотеки теплофизических свойств основных рабочих тел;

– **наличие библиотеки «Контроль и управление»**, что позволяет формировать в ПК «МВТУ» панели (щиты) приборов для отображения моделируемой системы и ее оперативного управления в процессе расчета;

– **16 алгоритмов интегрирования**, включая 10 новых эффективных алгоритмов (5 явных и 5 неявных) для жестких систем дифференциальных уравнений;

– **функционирование в любой версии WINDOWS**, наличие подробной контекстной справочной системы;

– **эффективность** в отраслевых разработках и учебном процессе.



**Ход работы:**

1. Изучить основные принципы работы программного комплекса МВТУ.
2. В программном комплексе МВТУ построить схему для изучения влияния постоянной времени на аperiodическое звено.
3. Установить значения постоянной времени 0,5; 1; 2; 3 и 5 секунд.
4. Построить графики переходных процессов в аperiodическом звене при различных значениях постоянной времени.
5. Сделать выводы.

## Лабораторная работа № 13. МОДЕЛИРОВАНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

### Цель работы:

1. Используя ПК «МВТУ», собрать модель колебательного звена с регулируемой обратной связью.
2. Изучить влияние обратной связи на колебательное звено.

### Общие сведения.

Устойчивость АСУ характеризует способность системы возвращаться в состояние равновесия после исчезновения внешних сил, которые вывели ее из этого состояния. Следовательно, только устойчивая система является работоспособной. Понятие «устойчивость» наглядно иллюстрирует рис. 57. На рис. 57, *а* и *б* шар находится в положении равновесия. При отклонении от этого положения в любую сторону в первом случае (рис. 57, *а*) шар не может вернуться в исходное положение (неустойчивое равновесие), а во втором (рис. 57, *б*) – возвращается (устойчивое равновесие). Если опорная поверхность представляет собой горизонтальную плоскость, то шар движется до тех пор, пока действует движущая сила  $F_d$ , и после ее исчезновения останавливается на плоскости (безразличное равновесие). Такая система иногда называется нейтральной (рис. 57, *в*).

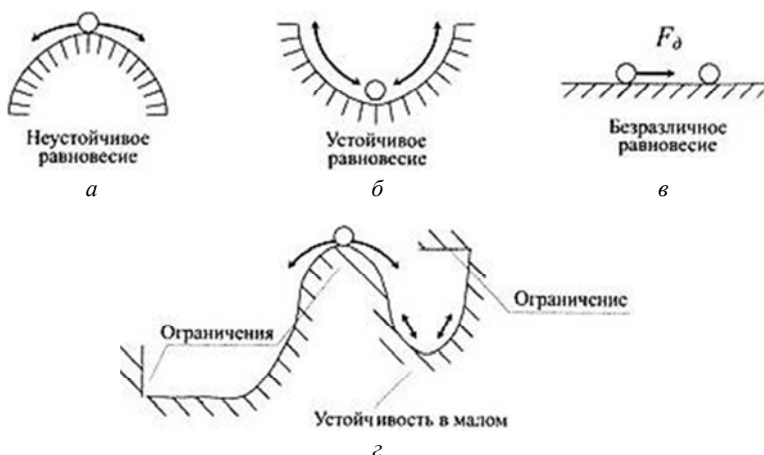


Рис. 57. Физическая система шар – опорная поверхность

Говорят, что система устойчива в малом, если констатируют лишь факт наличия области устойчивости, но не определяют каким-либо образом ее границы. Если границы устойчивости определены, т. е. границы области начальных отклонений, при которых система возвращается в состояние равновесия, известны (рис. 57, 2), и выяснено, что реальные начальные отклонения принадлежат этой области, то система устойчива в большом. Когда система возвращается в состояние равновесия при любых начальных отклонениях, ее называют устойчивой в целом, т. е. в малом и большом.

Для определения устойчивости используются аналитические методы которые называются «критерии устойчивости»

Корневой критерий устойчивости:

– критерий Ляпунова.

Алгебраические критерии устойчивости:

– критерий Рауса;

– критерий Гурвица.

Частотные критерии устойчивости:

– критерий устойчивости Михайлова;

– критерий устойчивости Найквиста.

Структурно-устойчивыми системами называются такие, которые, являясь неустойчивыми при некоторых значениях своих параметров, можно перевести в устойчивое состояние посредством изменения параметров системы (коэффициента усиления или постоянных времени отдельных звеньев).

Системы, которые не могут быть переведены в устойчивое состояние посредством изменения параметров, называются структурно-неустойчивыми.

Для того чтобы структурно-неустойчивая система стала устойчивой, следует изменить ее структуру путем добавления новых звеньев или исключения некоторых звеньев, а так же добавлением дополнительных обратных связей. Дополнительные обратные связи вводятся для улучшения процесса регулирования.

Различают положительные и отрицательные обратные связи.

Если передаваемое воздействие зависит только от выходной величины и не зависит от времени – связь считают жесткой. Жесткие обратные связи действуют как в установившемся, так и в переходном режиме.

Обратная связь, оказывающая влияние на работу системы только в переходном процессе, называется гибкой. Связи реагируют на приращение воздействий, поступающих на вход системы.

Те из них, что реагируют на производные от воздействий называются дифференцирующими гибкими связями, а те, которые реагируют на интегралы от воздействий, называются интегрирующими обратными гибкими связями.

Если обратная связь соединяет выход системы с ее входом, то ее называют главной, а остальные же обратные связи называют местными.

Такие связи служат для улучшения регулировочных свойств отдельных элементов или их групп, соединяя выход элемента или группы с соответствующим входом. Такие связи называют местные или корректирующие. Местные и главные связи могут быть как жесткими, так и гибкими.

#### **Ход работы:**

1. Изучить основные принципы работы ПК «МВТУ».
2. В программном комплексе «МВТУ» построить схему с обратной связью с возможностью ее отключения.
3. Установить значения коэффициента усиления, коэффициента демпфирования и постоянной времени.
4. Построить графики колебательного звена с прямой и обратной связью.
5. Сделать выводы.

## **Лабораторная работа № 14. ПРОГРАММИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В TRACE MODE**

### **Цель работы:**

1. Ознакомиться с проектированием в среде TRACE MODE.
2. Изучить основные понятия, структуру и назначение отдельных элементов системы TRACE MODE.
3. Изучить порядок работы по созданию АСУ ТП с помощью редакторов системы TRACE MODE.

### **Общие сведения.**

**SCADA** (Supervisory Control And Data Acquisition) – это компьютерная система для сбора и анализа текущих данных. SCADA-системы используются для слежения и управления оборудованием на заводах, системах водо-, тепло- и энергоснабжения, транспорте нефти и газа.

Компьютеры вместе с установленным на них специализированным программным обеспечением являются вершиной SCADA-пирамиды. Они обеспечивают сбор данных и их представление в удобном для человека виде, являются пультом управления системой SCADA.

Основой этой пирамиды являются датчики и преобразователи, преобразующие физические параметры контролируемого объекта (температуру, давление, ток) в нормированные электрические сигналы. Середину составляют контроллеры, которые получают сигналы с датчиков и преобразуют их в цифровую форму, обеспечивают локальную обработку данных, передают их по каналам связи в центральную ЭВМ.

Крупные SCADA-системы могут состоять из нескольких уровней. Каждый уровень обеспечивает наблюдение и управление за своей зоной ответственности. Данные, собранные нижестоящим уровнем, поступают в систему вышестоящего уровня. С вышестоящего уровня поступают команды управления. Это так называемая классическая схема: восходящий поток данных и нисходящий поток команд. В современных системах встречаются более сложные схемы информационного взаимодействия уровней.

Диспетчерское управление и сбор данных SCADA является основным и в настоящее время остается наиболее перспективным

методом автоматизированного управления сложными динамическими системами (процессами) в жизненно важных и критичных с точки зрения безопасности и надежности областях. Именно на принципах диспетчерского управления строятся крупные автоматизированные системы в промышленности и энергетике, на транспорте, в космической и военной областях, в различных государственных структурах.

На мировом рынке представлено более 50 продуктов, которые можно отнести к SCADA-системам, вот некоторые из них: TRACE MODE, Open SCADA, Rapid SCADA, Simp Light Free, Контап АРМ, Intouch Wonderware, Genesis, SCADA Infinity, DATA Rate, Круг-2000, ZenOn, Winlog, iFix, General Electric Proficiency Simplicity, Wellin Tech SCADA, Factory Link.

**TRACE MODE** – это программный комплекс, предназначенный для разработки и запуска в реальном времени распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и решения ряда задач управления предприятием (АСУП).

TRACE MODE включает в себя библиотеку из более, чем 150 алгоритмов обработки данных и управления, в т. ч. фильтрацию, PID, PDD, модальное, нечеткое, позиционное регулирование, ШИМ-преобразование, статистические арифметические, алгебраические, логические, тригонометрические и т. д. функции, а также блоки управления устройствами: клапан, задвижка, привод и так далее, а также адаптивные и модальные регуляторы.

TRACE MODE состоит из инструментальной системы и из набора исполнительных модулей. В Инструментальной системе создается набор файлов, который называется «проектом TRACEMODE». С помощью исполнительных модулей TRACE MODE проект АСУ запускается на исполнение в реальном времени на рабочем месте диспетчера или оператора.

Особенностью TRACE MODE является «технология единой линии программирования», то есть возможность разработки всех модулей АСУ при помощи одного инструмента. Технология единой линии программирования позволяет в рамках одного проекта создавать средства человеко-машинного интерфейса, системы учета ресурсов, программировать промышленные контроллеры и разрабатывать web-интерфейс. Для этого в инструментальную систему TRACE MODE встроены специализированные редакторы.

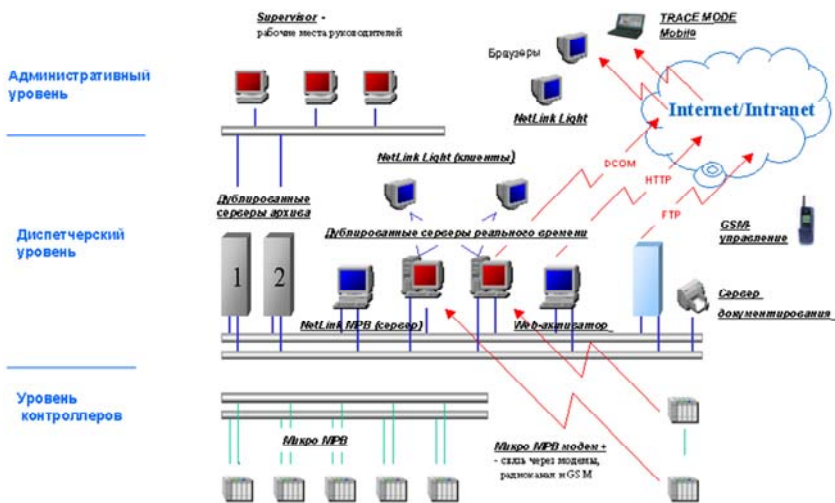


Рис. 58. Распределенная АСУТП на базе TRACE MODE

Рассмотрим работу программы TRACE MODE на примере очистки нефтепродуктов (рис. 59–60).

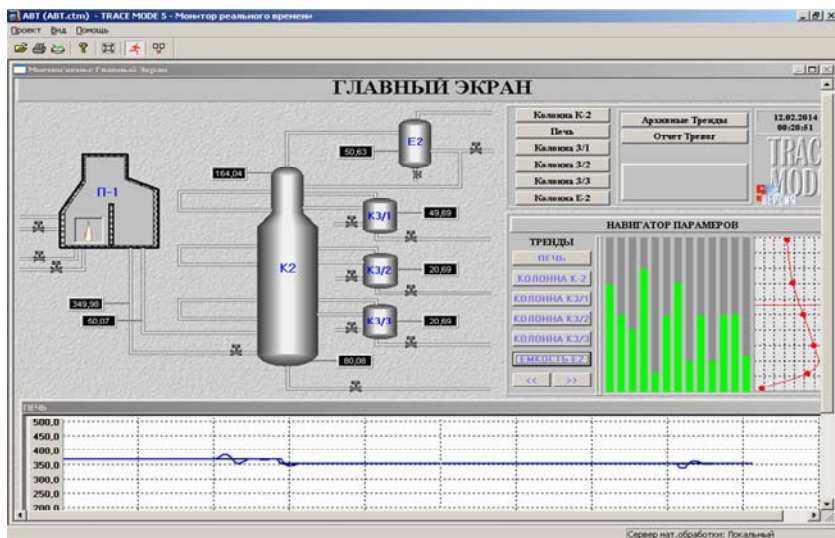


Рис. 59. Главный экран программы

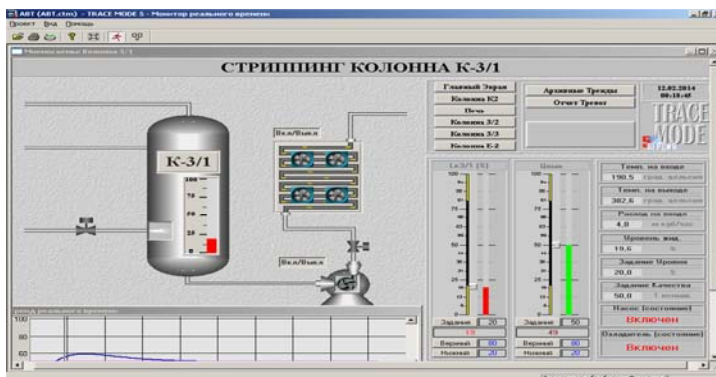


Рис. 60. Рабочее окно программы

После задания большего уровня и увеличения показателя качества графики текущих качества и уровня изменили свой вид следующим образом:

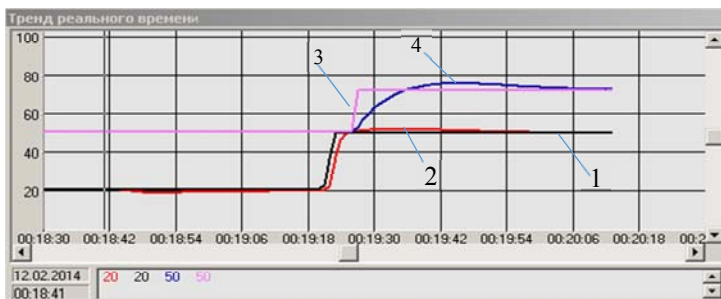


Рис. 61. Графики зависимости качества и уровня от времени, полученные в программе TRACE MODE

- Черный цвет (1) – задание уровня.
- Красный цвет (2) – текущий уровень.
- Розовый цвет (3) – задание качества.
- Синий цвет (4) – текущее качество.

**Вывод:** в программе TRACE MODE возможны разработка и запуск в реальном времени распределенных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и решение ряда задач управления предприятием (АСУП). Были изучены основные понятия, структура и назначение отдельных элементов системы TRACE MODE.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие [доп. МО РБ] / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск; Москва: Новое знание: ИНФРА-М, 2015. – 377 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат).
2. Бебихов, Ю. В. Основы автоматизации горного и нефтегазового производства : учебное пособие / Ю. В. Бебихов, Ю. А. Подкаменный, И. А. Якушев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во Инфа-Инженерия, 2023. – 128 с.
3. Селевцов, Л. И. Автоматизация технологических процессов / Л. И. Селевцов, А. Л. Селевцов. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2014. – 352 с.
4. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств / А. А. Иванов. – М. : Изд-во Форум, 2023. – 224 с.
5. Сафиуллин, Р. К. Основы автоматики и автоматизация процессов. / Р. К. Сафиуллин. – М. : Изд-во Юрайт, 2022. – 147 с.
6. Виноградов, В. М. Автоматизация технологических процессов и производств. / В. М. Виноградов, А. А. Черепяхин. – М. : Изд-во Форум, 2022. – 193 с.
7. Иванов, А. А. Автоматизация технологических процессов и производств. / А. А. Иванов. – М. : Изд-во Форум, 2020. – 224 с.
8. Окунев, А. Е. Бесконтактные датчики положения : реферат. – Раменское : МАТИ, 2010.
9. Россихин, А. Н. Датчики перемещения и положения : курсовая работа. – Липецк : ЛГТУ, 2011.
10. Решетилов, А. Р. Аналогово-цифровые преобразователи : методическое пособие / А. Р. Решетилов, Н. И. Ольшевский. – Минск : БГУИР, 2012.
11. Законы автоматического управления [Электронный ресурс] : энергетическое образование. – Режим доступа: <http://energyed.ru/Auto/PidCh03>. – Дата доступа: 12.06.2023.
12. Райс, В. Как работают аналого-цифровые преобразователи / В. Райс // Компоненты и технологии. – № 3. – 2005.
13. Автоматизация конвейерных линий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s38039t9.html>. – Дата доступа: 12.06.2023.

14. Автоматизация процессов [Электронный ресурс] : Protsesside: automatiseerimine e-kursus. – Режим доступа: <https://opiobjektid.tptlive.ee/Automatiseerimine/13.html>. – Дата доступа: 12.06.2023.

15. Многоплатформенный программный комплекс [Электронный ресурс] : Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Trace\\_mode](https://ru.wikipedia.org/wiki/Trace_mode). – Дата доступа: 12.06.2023.

16. Зарубин, М. Ю. Разработка адаптивной самообучающейся системы автоматического управления оборудованием горно-обогачительного производства для оптимизации процессов в условиях нестабильности входных параметров / М. Ю. Зарубин [и др.]. – Рудный: РИИ, 2018. – 188 с.

17. Кисаримов, Р. А. Практическая автоматика / Р. А. Кисаримов. – М. : Изд-во РадиоСофт, 2013. – 192 с.

18. Шишмарев, В. Ю. Автоматика : учебник [рек. УМО РФ] / В. Ю. Шишмарев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2019. – 280 с.

19. Технические средства автоматизации и управления / под общ. ред. О. С. Колосова. – М. : Юрайт, 2018. – 291 с.

20. Фурсенко, С. Н. Автоматизация технологических процессов : учебное пособие [доп. МО РБ] / С. Н. Фурсенко, Е. С. Якубовская, Е. С. Волкова. – Минск; Москва: Новое знание: ИНФРА-М, 2015. – 377 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат).

21. Храменков, В. Г. Автоматизация управления технологическими процессами бурения нефтегазовых скважин : учебное пособие для академического бакалавриата / В. Г. Храменков. – Люберцы : Юрайт, 2019. – 415 с.

Учебное издание

**СТАСЕВИЧ** Владимир Иванович  
**ОНИКА** Сергей Георгиевич  
**ЛЮТКО** Григорий Иванович  
**КАЗАНОВИЧ** Кристина Андреевна

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Пособие  
для студентов специальности  
1-51 02 01 «Разработка месторождений  
полезных ископаемых (по направлениям)»

Редактор *А. В. Кочемарова*  
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 12.06.2023. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 5,75. Уч.-изд. л. 4,22. Тираж 100. Заказ 291.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.