

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Одесский технический колледж

Одесской национальной академии пищевых технологий

УТВЕРЖДАЮ

зам. директора по УР

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_В.И. Уманская

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к практическим занятиям**

**по предмету “Автоматизация**

**производственных процессов”**

**для студентов 4 курса**

**технологического отделения**

**по специальности 5.05170104**

***“Производство хлеба, кондитерских,***

***макаронных изделий и***

***пищеконцентратов”***

РАССМОТРЕНО

на заседании цикловой

комиссии спецтехнологии

протокол №\_\_ от \_\_\_\_\_\_\_

Председатель комиссии:

\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Г.П. Михайлюк

Одесса 2010 г.

***Автор*: Точилкин Юрий Георгиевич, преподаватель комиссии**

**спецтехнологии,**

**предмет “Автоматизация**

**производственных процессов”.**

Содержание

1. ПЗ 1 – Изучение устройств и принципа действия систем

дистанционной передачи **5**

# 2. ПЗ 2 – Изучение конструкции и принципа действия устройств для

# измерения давления 8

# 3. ПЗ 3 – Изучение конструкции и принципа действия приборов для

# измерения уровня 11

4. ПЗ 4 – Изучение характеристик объектов регулирования 14

5. ПЗ 5 – Изучение процесса регулирования в АСР регуляторами

прямого действия 18

6. ПЗ 6 – Изучение типовых заданий на автоматизацию механических,

гидромеханических, тепловых и массообменных процессов 22

**7. ПЗ 7** – Изучение и анализ схемы автоматизации процесса

приготовления опары **28**

8. ПЗ 8 – Изучение и анализ схемы автоматизации беспрерывного

приготовления теста 31

9. ПЗ 9 – Изучение и анализ схемы автоматизации процесса отливки

и глазирования конфет 36

10. ПЗ 10 – Составление и чтение схемы автоматизации поточной

линии производства шоколадных масс 39

**11.** Список использованной литературы **42**

**Практическая работа № 1**

**Изучение устройств и принципа действия систем дистанционной передачи**

### 1 Цель работы

***Привитие навыков изучения устройств и принципа действия систем дистанционной передачи***

**2 Перечень справочной литературы**

2.1 Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с. с. 27…35.

2.2 Куприянов Б.В. Технологические измерения и КИП в пищевой промышленности.– М.: Пищевая промышленность, 1977.–280с. с. 17…32.

2.3 Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.– М.: Агропромиздат, 1985.–344с. с. 51…76.

### 3 Краткие теоретические сведения

**Сельсинная система передачи.** Рассмотренные системы передачи показаний могут передавать небольшие линейные (до **20 мм**) и угловые (до **40°**) перемещения чувствительных элементов преобразователей. Для значительных линейных и угловых перемещений применяют сельсинную систему передачи, преобразователем которой служит сельсин.

##### Сельсинная система (**рис.** **1.1**) состоит из сельсина-преобразователя (ведущего)

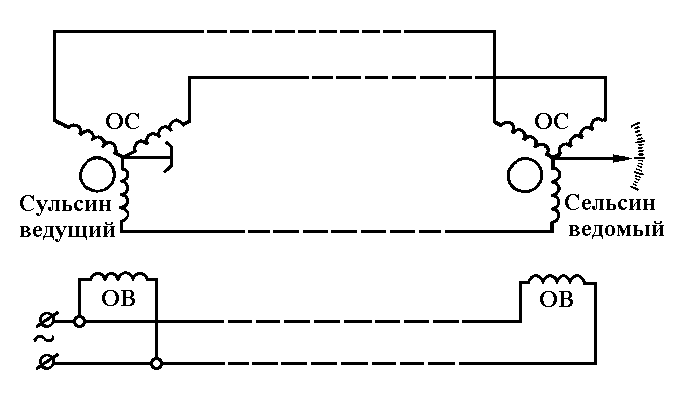


Рисунок 1.1. Схема дистанционной передачи с сельсинами.

и сельсина-приемника (ведомого), имеющих одинаковую конструкцию и соединенных электрической линией синхронной связи. Сельсин представляет собой небольшую синхронную электрическую машину с двумя обмотками. Одна из них (однофазная – обмотка возбуждения **0В**) подключается к сети переменного тока, а концы другой (трехфазной – обмотки синхронизации **ОС**) соединяются между собой. Если ротор ведущего сельсина будет поворачиваться усилием чувствительного измерительного прибора, то ротор сельсина-приемника будет синхронно следовать за движением ротора преобразователя. При этом каждому положению ротора сельсина-преобразователя соответствует только одно устойчивое положение сельсина-приемника, соединенного с отсчетной частью вторичного прибора. В этот момент оси полюсов роторов обеих машин располагаются одинаково относительно соответствующих статорных обмоток.

**Пневматические системы дистанционной передачи показаний**. Пневмопреобразователь типа сопло-заслонка (прямое преобразование). Пневмопреобразователь (**рис. 1.2**) состоит из дросселя постоянного (нерегулируемого) сопротивления **ДП**, проточной камеры **ПК**, дросселя переменного регулируемого сопротивления **ДУ**, сопла истечения **1**, заслонки **2**, линии связи **ЛС** (трубопровода), благодаря которой выходной сигнал пневмопреобразователя (командное давление **р2**) подается к чувствительному элементу вторичного прибора, измерительной камеры вторичного прибора **КВП**.

Сжатый воздух с постоянным давлением **р1** очищенный от пыли, масла и влаги, подаваемый от постороннего источника питания, через дроссель **ДП** поступает в камеру **ПК**. Далее воздух через сопло **1**, прикрываемое заслонкой **2**, выходит в атмосферу. Сопло **1** вместе с заслонкой **2** образует управляемый дроссель переменного сопротивления **ДУ**. В свою очередь дроссели **ДП** и **ДУ** образуют проточную камеру **ПК**, называемую междроссельной или сопловой, которая посредством линии связи **ЛС** соединяется с камерой вторичного прибора **КВП**.

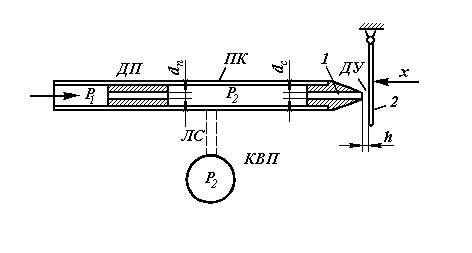


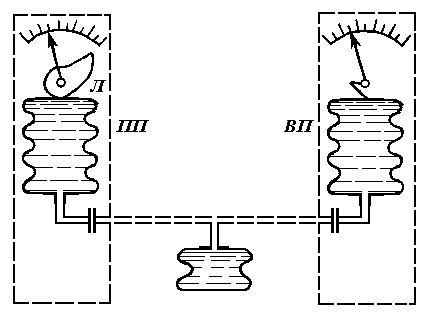
Рисунок 1.2. Пневмопреобразователь типа сопло-заслонка

Положение заслонки **2**, перемещающейся под воздействием измеряемого параметра относительно сопла **1**, определяет проходное сечение дросселя **ДУ**, что в свою очередь определяет величину командного давления **р2** в камере **ПК**.

**Гидравлическая система дистанционной передачи показаний.** Гидравлическая система (**рис. 1.3**) состоит из двух сильфонов, соединенных между собой импульсной трубкой, и заполняется трансформаторным маслом.

Сильфон первичного прибора **ПП** изменяется по длине при изменении

контролируемого параметра.

Так как жидкость в системе обладает несжима-емостью, то сильфон вторич-ного прибора **ВП** получает такое же изменение по длине, но противоположного нап-равления. Вследствие этого показания вторичного при-бора будут соответствовать показаниям первичного. Гид-равлические системы дистан-ционной передачи обладают рядом существенных недо-статков (чувствительны к температурным изменениям,

подвержены засорению, корро-

Рисунок 1.3. Схема гидравлической зии и др., кроме того наблюда-

системы передачи. ется утечка жидкости), поэтому

применение их ограниченно.

**4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть принципиальные схемы дистанционной передачи с сельсинами (**рис. 1.1**), пневмопреобразователя типа сопло-заслонка (**рис. 1.2**) и гидравлической системы передачи (**рис. 1.3**).

4.2 Ознакомиться с принципом действия систем дистанционной передачи показаний.

4.3 Выделить достоинства и недостатки этих систем.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

**5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить принципиальную схемы дистанционной передачи с сельсинами, пневмопреобразователя типа сопло-заслонка и гидравлической системы передачи.

5.2 Описать принципиальные схемы и принцип действия систем дистанционной передачи показаний.

5.3 Сделать вывод.

##### **6 Контрольные вопросы**

6.1 Что называется дистанционной системой передачи информации?

6.2 Что такое унифицированный выходной сигнал?

6.3 Какие бывают преобразователи для получения унифицированных сигналов?

6.4 Как осуществляется связь между ветвями ГСП и какие технические средства при этом применяются?

6.5 Какие бывают виды систем дистанционной передачи информации?

Практическая работа № 2

**Изучение конструкции и принципа действия устройств для измерения давления**

**1 Цель работы**

Изучение конструкции и принципа действия грузопоршневого манометра МОП – 60

##### **2 Перечень справочной литературы**

2.1 Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с. с. 61…88.

2.2 Куприянов Б.В. Технологические измерения и КИП в пищевой промышленности.– М.: Пищевая промышленность, 1977.–280с. с. 36…70.

2.3 Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.– М.: Агропромиздат, 1985.–344с. с. 128…130.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

**Грузопоршневые приборы**. Грузопоршневые манометры в основном используются в качестве эталонных и образцовых приборов для градуировки и поверки различных видов пружинных приборов давления, так как отличаются высокой точностью и широким диапазоном измерений (от **0,1** до **1000 МПа**).

Принцип действия приборов основан на уравновешивании давления, действующего на одну сторону поршня, свободно двигающегося в цилиндре, массой грузов, положенных па другую его сторону. Величина давления, уравновешенного в манометре, выражается уравнением

****,

где **G1** – вес поршня, **Н**;

**G** – вес гирь, наложенных на поршень, **Н**;

**F** – площадь поршня, **м2**.

Приведенная формула справедлива лишь в том случае, когда силами трения, действующими на поршень при его движении в цилиндре, можно пренебречь. В действительности движение жидкости в зазоре и опускание поршня вызывают силы трения, действующие на поршень в противоположном направлении. При измерении очень высоких давлений необходимо учитывать изменение вязкости жидкости, а также деформацию поршня и цилиндра.

На **рисунке 2** приведена схема образцового грузопорпшевого манометра **МОП – 60**.

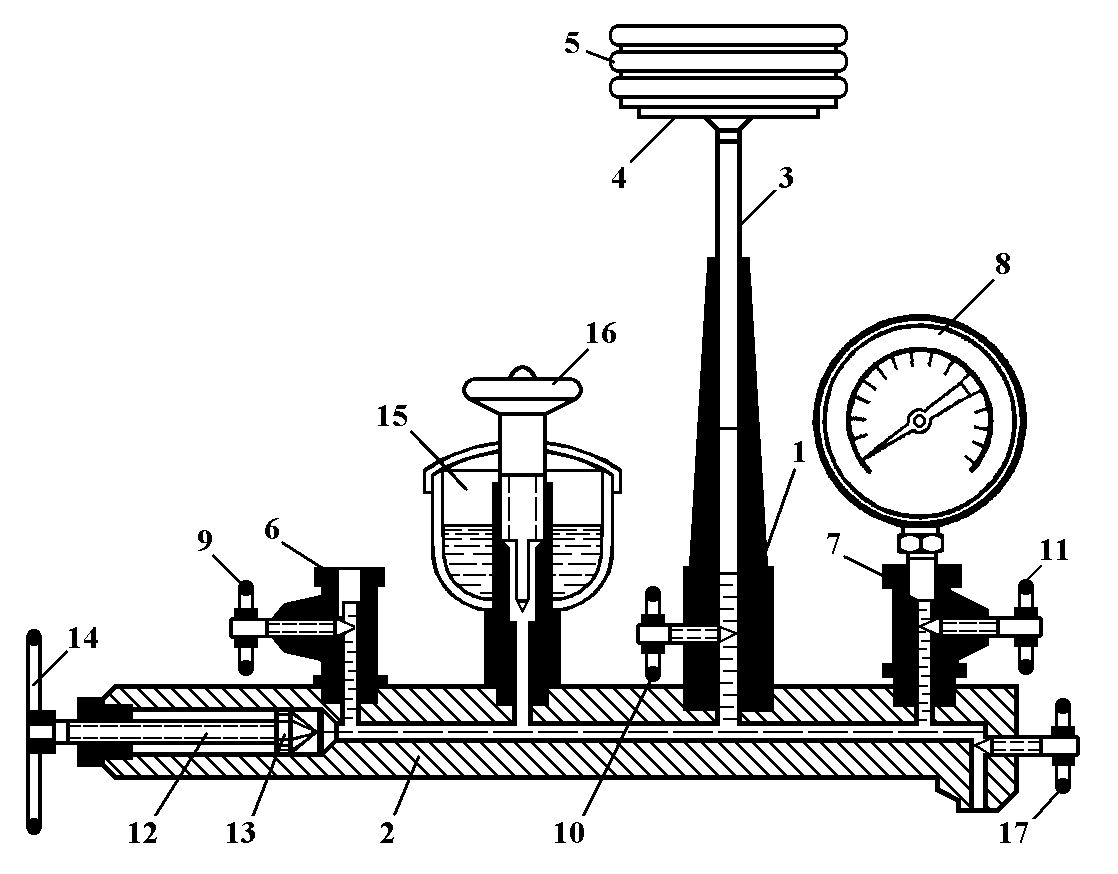


Рисунок 2. Образцовый грузопоршневой манометр МОП – 60:

1 – латунная колонка; 2 – корпус прибора; 3 – поршень; 4 – тарелка; 5 – калиброванные грузы; 6, 7 – штуцеры; 8 – поверяемый прибор; 9, 10, 11 – игольчатые вентили; 12 – винт; 13 – манжетный поршень; 14 – ручной штурвал; 15 – воронка; 16 – запорный вентиль; 17 – вентиль для выпуска масла.

Поверяемый прибор **8** находится под давлением жидкости, на которую воздействует поршень **3**, нагруженный калиброванными грузами **5**. Каждый груз создает строго определенное давление на жидкость. Сравнивая это давление с показаниями поверяемых манометров, можно оценить погрешность последних. Отключив вентилем **10** поршень **3** и воздействуя ручным штурвалом **14** на вспомогательный поршень **13**, можно создать давление в жидкости, после чего сравнить показания одного манометра с другим. По ГОСТ 8291 – 69 выпускаемые грузопоршневые манометры рассчитаны на верхние пределы измерения 0,25; 0,6; 6,0; 25; 60; 250 МПа (2,5; 6,0; 60; 250; 600; 2500 кгс/см2). В качестве рабочей жидкости применяют керосин [для предела 0,25 МПа (2,5 кгс/см2)], трансформаторное масло [до 25 МПа (250 кгс/см2)] или касторовое масло [до 250 МПа (2500 кгс/см2)]. Класс точности прибора 0,05 или 0,02.

Нормальная эксплуатация грузопоршневых манометров производится при температуре окружающей среды **20 ± 2°С** для манометров класса 0,05. При выходе за допустимые пределы температур возникают дополнительные погрешности.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть принципиальную схему образцового грузопоршневого манометра МОП – 60.

4.2 Ознакомиться с принципом действия образцового грузопоршневого манометра МОП – 60.

4.3 Выделить достоинства и недостатки образцового грузопоршневого манометра МОП – 60.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить принципиальную схему образцового грузопоршневого манометра МОП – 60.

5.2 Описать принципиальную схему и принцип действия образцового грузопоршневого манометра МОП – 60.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Что понимается под абсолютным и избыточным давлением?

6.2 По каким признакам классифицируются приборы для измерения давления и разности давлений?

6.3 Назовите жидкостные приборы.

6.4 Как устроен грузопоршневой манометр? Каково его назначение?

6.5 Как устроен сильфоннный манометр? Где он применяется?

6.6 Назовите деформационные дифманометры.

Практическая работа № 3

Изучение конструкции и принципа действия приборов для измерения уровня

##### **1 Цель работы**

Привитие навыков изучения принципиальной схемы и принципа действия электронного сигнализатора уровня.

##### **2 Перечень справочной литературы**

2.1 Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с. с. 104…112.

2.2 Куприянов Б.В. Технологические измерения и КИП в пищевой промышленности.– М.: Пищевая промышленность, 1977.–280с. с. 197…215.

2.3 Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.– М.: Агропромиздат, 1985.–344с. с. 155…171.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

**Емкостные уровнемеры**. Если электрическая проводимость контролируемой среды настолько мала, что по электрическим свойствам ее можно отнести к диэлектрикам (изоляторам), то в этом случае наиболее эффективны приборы, принцип действия которых основан на измерении емкости среды.

Известно, что емкость между двумя неподвижными электродами определенной формы, находящимися на некотором расстоянии один от другого, будет зависеть только от диэлектрической проницаемости среды между этими электродами. Для воздуха эта величина приближенно может быть принята за единицу, а для всех других диэлектриков она больше единицы, и чем меньше диэлектрическая проницаемость вещества, тем больше его электрическая проводимость.

Емкостные уровнемеры можно разделить на две группы: ***мостовые*** и ***электронные***.

В мостовых приборах контролируемая емкость включается в одно из плеч моста (приборы типов **ИУ** и **ЭИУ**). В резонансных приборах контролируемая емкость включается параллельно с индуктивностью и образует резонансный контур, настроенный на резонанс питающей частоты при определенной (начальной) емкости преобразователя, которая соответствует наличию или отсутствию контролируемой среды на заданном уровне. Изменение емкости преобразователя приводит к изменению собственной частоты колебания контура и срыву резонанса.

Емкостные приборы обладают большой чувствительностью и быстродействием, имеют малые габариты и массу. Работа их не зависит от величины начальной емкости. Это свойство дает возможность применять первичный преобразователь с покрытием электродов из фторопласта, поливинилхлорида, эмалей и др. Электроды с покрытием могут применяться в работе с химически агрессивными средами, где использование других контактных преобразователей невозможно.

Недостатками емкостных уровнемеров являются зависимость показаний от температуры, давления и других факторов, влияющих на величину диэлектрической проницаемости контролируемой среды; ограниченная длина соединительных проводов между преобразователем и вторичным прибором и необходимость использования в этой связи специального коаксиального кабеля.

**Емкостный уровнемер** (рис.3.1) предназначен для контроля одного заданного уровня различных жидких и сыпучих материалов. Он состоит из электронного блока и преобразователя **Д**, соединенных кабелем. Комплектно с прибором поставляются преобразователи 18 типоразмеров.

Схема представляет собой ламповый генератор высокочастотных колебаний, собранный на двойном триоде **Л1** типа **6Н6П**, в анодную цепь которого включена обмотка выходного реле **Р** типа **МКУ**. Лампа одновременно выполняет роль выпрямителя для реле. Так как оба триода лампы включены параллельно, то на схеме они условно изображены как один триод.

Основным управляющим звеном схемы является колебательный контур **LC**, включенный между сеткой и катодом лампы и состоящий из катушки переменной индуктивности **L1** и конденсаторов **C1** и **С3**. При настройке прибора параметры контура устанавливаются (в зависимости от условий монтажа и свойств контролируемой среды) так, чтобы при включении схемы и незамкнутой цепи электрода-преобразователя они соответствовали резонансу частоты колебаний генератора. В этом случае емкость цепи **С2** электрического преобразователя среда – земля равна начальной. Эквивалентное сопротивление контура вследствие резонанса весьма мало, и на нем практически не будет никакого падения напряжения, а следовательно, и напряжение между сеткой и катодом будет близко к нулю. Лампа **Л1** закрыта, реле **Р** отключено.

Когда между электродом преобразователя и стенкой резервуара (заземленный корпус которого является вторым электродом) появляется контролируемый материал, изменяются параметры левого по схеме плеча контура, так как емкость преобразователя и **С2** включены параллельно конденсатору **С1**. В результате этого происходит срыв резонанса и увеличение эквивалентного сопротивления контура. На сетке лампы увеличивается положительное относительно катода напряжение, лампа открывается, и срабатывает реле **Р**. Схема предусматривает два режима

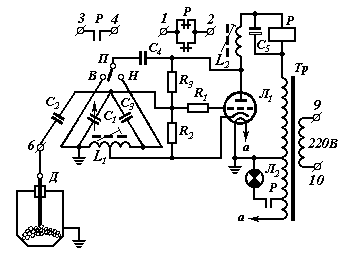


Рисунок 3. Принципиальная схема электронного сигнализатора уровня

ЭСУ-1М.

работы прибора «на включение» и «на отключение» при достижении средой контролируемого уровня. Выбор режима осуществляется переключателем **П** в зависимости от того, какой уровень контролируется: верхний или нижний. При контроле нижнего уровня принцип работы схемы остается прежним с той лишь разницей, что резонанс устанавливается при наличии материала, а срыв ‑ при его отсутствии. Лампой **Л2**, включенной на дополнительный отвод вторичной обмотки трансформатора **Тр** через контакт реле **Р**, осуществляется сигнализация наличия материала в бункере.

Конденсатор **C5** выполняет роль фильтра для реле **Р**.

В тех случаях, когда корпус бункера не может быть использован в качестве второго электрода, следует применять двухэлектродные преобразователи пластинчатого типа.

Рассмотренная схема легла в основу электронного сигнализатора уровня типа **ЭСУ-1М**, который комплектуется первичными преобразователями четырех модификаций **ДЕ1** – **ДЕ4**.

Аналогичную с рассмотренной конструкцией имеют электронные сигнализаторы уровня типов: ЭСУ-3, ЭСУ-1К, МЭСУ-1, ЭСУ-2М, ЭСУ-2А, ЭСУ-4.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть принципиальную схему электронного сигнализатора уровня ЭСУ-1М.

4.2 Ознакомиться с принципом действия электронных сигнализаторов уровня на примере ЭСУ-1М.

4.3 Выделить достоинства и недостатки электронных сигнализаторов уровня на примере ЭСУ-1М.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить принципиальную схему электронного сигнализатора уровня ЭСУ-1М.

5.2 Описать принципиальную схему и принцип действия электронного сигнализатора уровня ЭСУ-1М.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Приведите классификацию средств измерения уровня по принципу действия.

6.2 Приведите классификацию средств измерения уровня для сыпучих материалов.

6.3 Объясните принцип действия поплавковых уровнемеров.

6.4 Раскройте принцип действия гидростатических уровнемеров.

6.5 Поясните принцип действия кондуктометрических уровнемеров.

6.6 Расскажите кратко о принципе действия уровнемеров для сыпучих материалов.

Практическая работа № 4

Изучение характеристик объектов регулирования

1 Цель работы

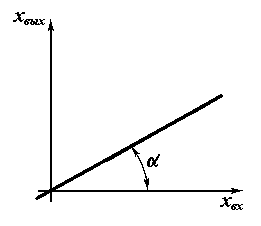
Изучить статическую, динамическую, частичную и емкостную характеристику объектов.

##### **2 Перечень справочной литературы**

Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с. с. 155…160.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

**Статической характеристикой объекта** называется зависимость его выходной величины от входной в установившемся режиме. В общем виде статическая характеристика линейного звена описывается уравнением ***xвых = kxвх***, где ***k*** – коэффициентусиления (передачи) звена, показывающий, во сколько раз изменение выходной величины больше или меньше изменения входной.



***Линейная статическая характеристика*** имеет вид прямой линии и оценивается углом ее наклона ***α*** к оси абсцисс. Отношение выходной величины к входной для любой точки линейной характеристики – величина постоянная и выражается через тангенс угла наклона: ***tgα = xвых/xвх = k***.

Статические характеристики часто представляют графически.

На **рис.4.1** приведен график статической

характеристики линейного звена. По оси абсцисс Рисунок 4.1. График

откладывается значение входной величины, а по статической характери-оси ординат – выходной. стики линейного звена

Большинство реальных элементов, из

которых состоит автоматическая система регулирования, ***нелинейны***. Расчет таких систем очень сложен, поэтому для облегчения расчетов прибегают к линеаризации статических характеристик нелинейных звеньев на небольших участках, называемых рабочими. При линеаризации нелинейные уравнения, описывающие статическую характеристику объекта, заменяют линейными.

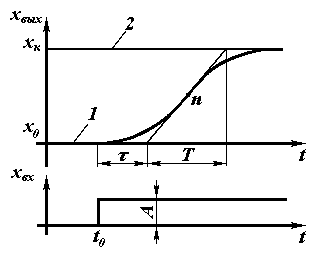
Статические характеристики определяют экспериментальным путем, а также аналитически. Статические характеристики объекта характеризуют его только в равновесном состоянии. Для характеристики объекта в любом другом состоянии необходимо знать его динамические свойства.

**Динамической характеристикой объекта** называется зависимость выходной величины во времени в переходном режиме при определенном законе изменения входной величины.

Динамические характеристики включают в себя временные и частотные характеристики. ***Временная характеристика***, или ***кривая разгона***, – это динамическая характеристика, полученная при однократном мгновенном скачкообразном возмущении. ***Частотная характеристика*** показывает зависимость изменения выходной величины от входной, если последняя изменяется по синусоидальному закону.

Динамические характеристики объекта можно определить экспериментально и аналитически, так же как и статические характеристики. При экспериментальном получении кривой разгона регулятор отключается от объекта регулирования и на вход системы вручную наносится единичное ступенчатое воздействие (**рис. 4.2**).

По кривой разгона определяют следующие динамические параметры: запаздывание, постоянную времени и коэффициент передачи.



***Запаздывание* τ** определяется отрезком времени от момента внесения возмущения до точки пересечения касательной с осью абсцисс, проведенной в точке **n**, соответствующей максимальной скорости изменения выходной величины.

***Постоянная времени* Т** – отрезок времени от момента пересечения каса-тельной с начального установившегося

Рисунок 4.2. Кривая разгона. значения **1** до момента пресечения с ли-

нией нового установившегося значения **2**. Это условное время, в течение которого выходная величина изменилась бы от начального до нового установившегося значения, если бы это изменение происходило с постоянной и максимальной для данного процесса скоростью.

***Коэффициент передачи*** – отношение изменения выходной величины объекта при переходе из начального в новое установившееся состояние к единичному возмущению на входе. За единичное возмущение принимают изменение входной величины объекта на **1%**. Коэффициент передачи (***kоб***) вычисляется по формуле ***kоб = (хк – х0)* / *Δμ***, где ***х0*** и ***хк*** – значение выходной величины соответственно в начальном и новом установившемся состоянии; ***Δμ*** – значение вносимого возмущения, **%** хода регулирующего органа.

Зная коэффициент передачи kоб (усиления), постоянную времени разгона Т, время запаздывания τ, отношение времени запаздывания к постоянной времени разгона τ/Т, входную величину xвх, а также начальное х0 и установившееся хк значение выходной величины, можно подобрать тип регулятора, приближенно определив его настройку, не прибегая к моделированию каждого объекта.

Несмотря на большое разнообразие объектов регулирования в пищевой промышленности, их различные конструкции и принципы действия, все они имеют ряд общих **свойств**: обладают емкостью, самовыравниванием, запаздыванием.

**Емкость объекта** – способность накапливать вещество или энергию, что возможно, когда в регулируемом объекте имеется сопротивление выходу вещества или энергии. Например, если бы не было гидравлического сопротивления сливных труб объектов, в которых регулируется уровень, жидкость не могла бы накапливаться и сосуд не обладал бы емкостью. Если тепловой объект (дистилляционный куб), где регулируется температура, не имел бы тепловой изоляции, то тепловая емкость не создавалась бы вследствие рассеивания всего тепла.

В зависимости от числа емкостей различают одно-, двух- и многоемкостные объекты регулирования. Одноемкостный объект состоит из одного сопротивления и одной емкости. Двух- и многоемкостные объекты состоят из двух или более емкостей, участвующих в процессе регулирования и разделенных переходными сопротивлениями. Большинство промышленных объектов регулирования являются многоемкостными. Объекты, обладающие емкостями, изображены на **рис. 4.3**

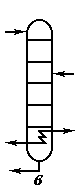
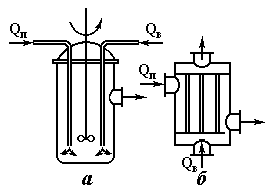


Рисунок 4.3. Схемы объектов, обладающих емкостью:

а – одноемкостный; б – двухемкостный;

в – многоемкостный.

Мерой емкости объекта служит ***коэффициент емкости*** – количество вещества или энергии, которое необходимо подвести к объекту или отвести от объекта, чтобы изменить величину регулируемого параметра на единицу. Так, для объекта, где регулируется температура, коэффициентом емкости будет то количество тепла, которое необходимо ввести в объект, чтобы температура регулируемой среды повысилась на **1ºС**.

Чем больше коэффициент емкости объекта, тем меньше изменяется регулируемый параметр при одном и том же изменении количества подаваемого продукта. Следовательно, легче поддаются регулированию объекты, имеющие большой коэффициент емкости.

Коэффициент емкости определяется по формуле **С = ΔQ / (*d*φ / *d*t*)***, где **ΔQ** – разность между притоком и расходом вещества или энергии; **φ** – регулируемый параметр; **t** – время.

***Переходное (емкостное) запаздывание*** **τ** характерно для многоемкостных объектов. Величина этого запаздывания возрастает с увеличением числа емкостей и возникает при преодолении потоком вещества или энергии сопротивлений, разделяющих гидравлические, тепловые и другие емкости объекта. В процессе эксплуатации объектов величины емкостного запаздывания могут значительно возрастать. Например, в теплообменных аппаратах это вызывается в основном загрязнением поверхностей теплообмена, в гидравлических системах – загрязнением или засорением вентилей и труб, соединяющих аппараты, в насадочных аппаратах колонного типа – загрязнением, замораживанием и обвалом насадки.

Чистое (транспортное) запаздывание – время (τч) от момента внесения возмущающего воздействия до начала изменения регулируемого параметра. Это время необходимо для того, чтобы поток вещества или энергии, обладающий скоростью v, прошел расстояние l от места внесения возмущающего воздействия до места, в котором измеряется значение регулируемого параметра, т. е. τч = l / v.

Минимальным чистым запаздыванием обладает объект, работающий при максимальной нагрузке, или объект, через который сигнал распространяется с большой скоростью. Например, изменение давления или скорости потока жидкости, полностью заполняющей гидравлическую систему, распространяется настолько быстро, что чистое запаздывание мало (за исключением длинных трубопроводов).

***Общее запаздывание*** **τоб** в объекте регулирования равно сумме емкостного (**τ**) и чистого (**τч**) запаздывания: **τоб = τ + τч**.

Запаздывания всегда неблагоприятно влияют на качество регулирования, поэтому следует стремиться к их возможному уменьшению. Этого можно достичь применением малоинерционных чувствительных элементов, выбором рациональных конструкций объектов регулирования, размещением измерительных элементов и регулирующих органов как можно ближе к регулируемым объектам, медленным изменением нагрузки (возмущением) объекта регулирования, чтобы система регулирования плавно переходила на новый режим работы.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть статическую и динамическую характеристики объекта.

4.2 Ознакомиться с линейной статической характеристикой звена, кривой разгона и частотной характеристикой.

4.3 Познакомиться со свойствами объектов – емкостью и запаздывание.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить линейную статическую характеристику звена, кривую разгона и описать их.

5.2 Изобразить схемы объектов, обладающие емкостью, причем заменив соответствующий объект печью – **ПХС 25М**; **ПИК 8** или **ФТЛ 2** (по указанию преподавателя).

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Что называется статической характеристикой объекта регулирования и как она оценивается?

6.2 Какие бывают статические характеристики?

6.3 Что называется динамической характеристикой объекта регулирования?

6.4 Охарактеризуйте временные (кривые разгона) и частотные динамические характеристики.

6.5 Что называется емкостью объекта и какая существует при этом классификация объектов регулирования?

6.6 Что служит мерой емкости объекта регулирования?

6.7 Какие бывают виды запаздывания в объектах регулирования?

Практическая работа № 5

Изучение процесса регулирования в АСР регуляторами прямого действия

1 Цель работы

Привитие навыков изучения регулирования в АСР регуляторами прямого действия.

##### **2 Перечень справочной литературы**

Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с. с. 166…171; 184…185.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

Основной характеристикой регулятора независимо от конструкции и принципа действия является реализуемый закон регулирования. Наиболее распространены следующие виды регуляторов: позиционный (Пз-регуляторы), пропорциональный (П-регулятор), интегральный (И-регулятор), пропорционально-интегральный (ПИ-регулятор), пропорционально-дифференциальный (ПД-регулятор), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД-регулятор).

**Пропорциональными** называются регуляторы, у которых отклонение регулируемого параметра от заданного значения вызывает перемещение регулирующего органа на величину, прямо пропорциональную этому отклонению.

Рассмотрим устройство и работу пропорционального регулятора прямого действия (**рис. 5.1**). Регулируемое давление **р** подается в камеру **К** измерительного мембранно-пружинного механизма, в который входят мембрана **6** с жестким центром **5** и пружина **4**. Шток **2** соединяет мембрану с затвором **1** регулирующего органа. Настройка регулятора на заданное значение давле-ния осуществляется вра-щающейся гайкой **3**, изменяющей натяжение

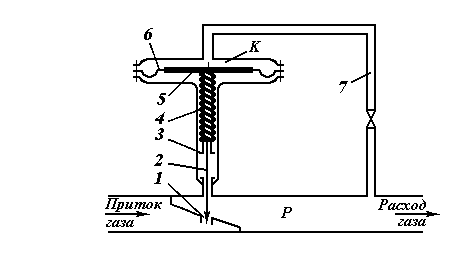


Рисунок 5.1. Схема пропорционального пружины.

#### регулятора Сверху на мембрану

регулятора действует давление р, которое подводится по трубке 7 в камеру К. Снизу действует сила деформации пружины 4. Если регулируемое давление имеет заданное значение, то силы, действующие на мембрану, равны и затвор регулирующего органа находится в покое.

Если на систему оказывается возмущающее воздействие, выражающееся в уменьшении расхода при неизменном притоке, регулируемое давление Р возрастет, мембрана будет прогибаться сильнее, но и пружина будет сжиматься плотнее, противодействуя прогибу. Как только сила противодействия пружины будет равна силе давления, движение подвижных частей прекратится, наступит новое равновесное состояние при возросшем значении регулируемого давления и другом положении затвора регулирующего органа. Тем самым достигается пропорциональность между регулируемой величиной и перемещением регулирующего органа.

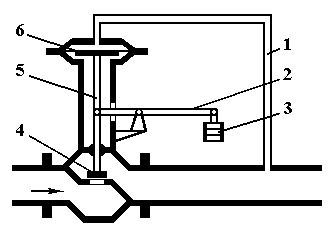
Основным достоинством пропорциональных регуляторов является их быстродействие, т. е. малое время и высокая устойчивость процесса регулирования. Благодаря этим качествам П-регуляторы используют для работы с объектами без самовыравнивания.

Недостаток П-регулятора – низкая точность регулирования, т. е. после окончания переходного процесса П-регуляторы не обеспечивают точно заданного значения регулируемого параметра. Разность между установившимся и заданным значениями регулируемого параметра при использовании П-регулятора называется остаточным отклонением или статической ошибкой, которая зависит от величины настроечного параметра ***k*р**.

**Интегральными** называются регуляторы, у которых скорость перемещения регулирующего органа прямо пропорциональна отклонению регулируемого параметра от заданного значения.

Рассмотрим устройство и принцип работы интегрального регулятора прямого действия (**рис. 5.2**). На трубопроводе (управляемый объект) установлен регулятор давления. Если регулируемая величина – давление после регулятора – будет изменяться, то изменение давления через трубку **1** будет передаваться на мембрану **6** исполнительного механизма, связанную с регулирующим органом **4** с помощью штока **5**. Шарнирно этот шток соединяется с рычагом **2**, на котором укреплен груз **3**, являющийся задающим устройством.

Регулируемое давление зависит от притока среды, т. е. от степени открытия регулирующего органа **4**. Когда давление равно заданному значению, усилия, развиваемые мембраной **6** и грузом **3**, равны и шток **5** неподвижен.



При увеличении или уменьшении давления против заданного шток и регулирующий орган будут перемещать-ся соответственно вниз или вверх до тех пор, пока регулируемое давление вновь

Рисунок 5.2. Схема интегрального не станет равно заданному значению и

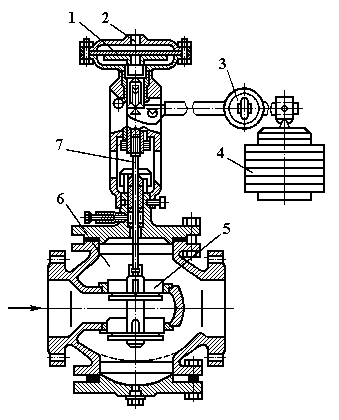
регулятора. силы, действующие на шток, не уравновесятся.

Это состояние равновесия может наступить при любом положении регулирующего клапана.

В интегральных регуляторах нет жесткой зависимости между отклонением регулируемого параметра и положением регулирующего органа. Они просты по устройству. Достоинством И-регуляторов является также то, что в установившемся режиме заданное значение регулируемого параметра ими поддерживается точно.

Недостатки И-регуляторов обусловлены их динамическими свойствами. При появлении хотя бы небольшого отклонения регулируемого параметра от заданного значения И-регулятор будет медленно перемещать регулирующий орган вплоть до положения его полного открытия или закрытия. Перемена направления движения регулирующего органа наступит лишь тогда, когда регулируемый параметр пройдет заданное значение. Это может привести к раскачиванию системы регулирования вместо ее успокоения и стабилизации. И-регуляторы могут использоваться только для работы с объектами, обладающими большим самовыравниванием.

**Регуляторы прямого действия** служат для регулирования отдельных параметров. Они применяются в тех случаях, когда для приведения в действие регулирующего органа не нужно больших усилий и чувствительный элемент обладает необходимой для этого мощностью. Регуляторы прямого действия дешевы, просты по конструкции, надежны в эксплуатации и не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала. Их область применения ограничивается простейшими объектами регулирования с благоприятными динамическими свойствами.



Для примера рассмотрим регулятор давления прямого действия. Он представляет собой мембранный клапан, регулирующий давление «после себя» (типа 25ч10нж) и «до себя» (типа 25ч12нж, РД, РДУК-2 и др.). Регуляторы

##### Рисунок 5.3. Регулятор давления давления «после себя» служат для регу-

прямого действия. лирования давления среды за регулиру-

ющим клапаном. В регуляторах «до се-

бя» импульс давления берется до клапана регулятора, где поддерживается постоянное давление.

Регулятор типа 25ч12нж изображен на **рис. 5.3**. Регулируемое давление по импульсной трубке через штуцер **2** переда-пси в камеру давления, действует на мембрану **1** и создает усилие на шток клапана **7**, которое сравнивается с противодействующим усилием грузов **3** и **4**. При отклонении регулируемого давления от заданного значения результирующее усилие перемещает затвор **5**, изменяя проходное сечение клапана **6** и регулирующее воздействие до тех пор, пока давление вновь не станет равным заданному. Тогда подвижная система регулятора возвратится в состояние равновесия. Масса груза определяет диапазон настройки регулятора. Регулятор применяется для работы с паром, газом, воздухом при давлении **1568 кПа** и температуре до **300°С**. Пределы регулируемых давлений **15…1176 кПа**. Диаметры условного прохода клапана **50**, **80**, **100**, **150 мм**.

Регуляторы давления применяются, например, для регулирования давления пара, подогревающего бензин при подаче его в экстракторы.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть принципиальные схемы пропорционального и интегрального регуляторов, регулятора давления.

4.2 Ознакомиться с принципом действия регуляторов прямого действия.

4.3 Выделить достоинства и недостатки регуляторов прямого действия.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить принципиальные схемы пропорционального и интегрального регуляторов.

5.2 Описать принципиальные схемы пропорционального и интегрального регуляторов.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Назовите основные законы регулирования. В чем их сущность?

6.2 Как подразделяются типы регуляторов в зависимости от реализуемых законов регулирования?

6.3 На какие основные звенья подразделяется структура регулятора?

6.4 Объясните принцип работы регулятора прямого действия.

6.5 Назовите достоинства и недостатки регуляторов прямого действия.

Практическая работа № 6

Изучение типовых заданий на автоматизацию механических, гидромеханических, тепловых и массообменных процессов

1 Цель работы

Привитие навыков изучения типовых схем автоматизации одноагрегатного ленточного дозатора и процесса смешивания с автономным регулированием расходов компонентов и типовых заданий на автоматизацию тепловых и массообменных процессов.

##### **2 Перечень справочной литературы**

2.1 Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с. с. 290…292.

2.2 Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др.; Под ред. Л.А. Широкова.– М.: Агропромиздат, 1986.–311с. с. 115…126.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

Автоматизация объектов процессов непрерывного дозирования сыпучих материалов. Непрерывное дозирование применяется для получения смесей сыпучих материалов или жидкостей. При автоматизации процессов дозирования необходимо обеспечить требуемое количество каждого компонента в смеси.

Дозирование сыпучих материалов производится бункерными и ленточными дозаторами. Ленточные дозаторы обеспечивают более высокую точность дозирования. В общем случае они представляют собой совокупность питателя и грузоприемного устройства – весового конвейера. Производительность дозатора определяется тремя параметрами: нагрузкой весового конвейера **Р**, скоростью движения ленты конвейера **V** и длиной грузоприемной части конвейера **L**.

Существуют различные конструкции ленточных дозаторов, однако все их можно разделить на одно- и двухагрегатные. В одноагрегатных дозаторах функции питателя и грузоприемного устройства – весового конвейера совмещены. В двухагрегатных дозаторах питатель и весовой конвейер разделены.

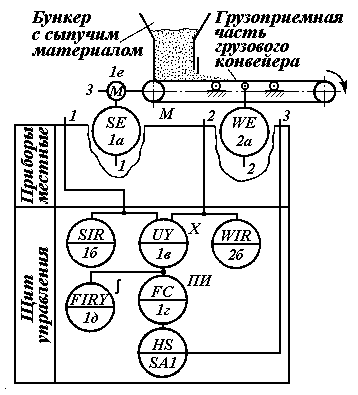
Ленточные дозаторы как объекты регулирования могут быть представлены интегрирующим звеном с чистым запаздыванием. Время чистого запаздывания определяется временем **τ** пребывания материала на весовом конвейере: **τ = L/V**.

При автоматизации процесса дозирования на двухагрегатных ленточных дозаторах обеспечение требуемой производительности дозатора может быть достигнуто путем регулирования нагрузки материала на ленте грузоприемной части конвейера: **W = P/L**. В одноагрегатных дозаторах регулирование производится по нагрузке и скорости движения ленты весового конвейера.

На **рис. 6.1** показана СА одноагрегатного ленточного дозатора непрерывного действия. Количество сыпучего материала, поступающего из бункера на ленточный транспортер, зависит от скорости дозирования, которая изменяется в соответствии с частотой вращения ротора электродвигателя **1*е***.

Схема автоматизации работает следующим образом. Датчик частоты вращения **S** приводного электродвигателя **1*а*** передает сигнал на блок умножения **1*в***. Одновременно на этот же блок поступает сигнал датчика нагрузки **W** на весовом

участке конвейера **2*а***. На выходе блока умножения формируется сигнал, пропорциональный текущей произ-водительности **F** дозатора. Этот сигнал поступает на регулирующий блок **1*г*** с изодромным законом регулирования. Регулирующее воз-действие подается на электропривод постоянного тока, который изменяет скорость движения ленты транспор-тера таким образом, чтобы обеспечить соответствие текущей и заданной производительностей дозатора.



Посредством измерительных и показывающих приборов **1*б*** и **2*б***, установленных на щите, осуществля-ется контроль соответственно величин **S** и **W**. С помощью измерительного, показывающего и самопишущего при-бора **1*д*** осуществляется контроль на щите текущей производительности

#### Рисунок 6.1. СА одноагрегатного дозатора. Переключение режима уп-

ленточного дозатора. равления с автоматического на ручной

производится ключом выбора режима **SA1**.

**Автоматизация объектов процессов смешивания**. Приготовление промежуточных продуктов в пищевых производствах требует реализации процессов смешивания двух и более потоков различных материалов, не реагирующих между собой. В процессах смешивания могут участвовать как жидкие, так и твердые сыпучие компоненты. Смесители снабжаются мешалками, которые, с одной стороны, обеспечивают равномерность смеси, с другой стороны, ускоряют процесс смешивания. В зависимости от организации технологического процесса смесители могут быть периодического или непрерывного действия.

Как объект автоматизации смеситель по каналу «расход входного компонента – показатель качества смеси» может быть представлен апериодическим звеном с чистым запаздыванием или без него. Это зависит от физических параметров компонентов смеси и эффективности перемешивания. По этим же причинам диапазоны изменения инерционности процесса смешивания могут изменяться в широких пределах.

Возмущающие воздействия, вызывающие отклонение хода процесса смешивания, возникают при изменениях расходов и свойств компонентов, участвующих в смеси.

Автоматическое регулирование процесса смешивания сводится к регулированию расходов поступающих компонентов в зависимости от качества получаемой смеси. При наличии информации о качестве смеси, поступающей с прибора-анализатора, например хроматографа, спектрометра, масспектрометра, схема регулирования может быть построена, как показано на рис. 6.2.

Расходы компонентов **К1** и **К2**, формирующих заданную смесь, измеряются посредством расходомеров соответственно **1*а*** и **2*а***. Результаты измерений фиксируются на вторичных показывающих и самопишущих приборах **1*б*** и **2*б***, после чего подаются на регулятор соотношения расходов **1*в***, который через панель дистанционного управления **1*г*** воздействует на регулирующий клапан **1*д*** расхода второго (ведомого) компонента **К2** в зависимости от расхода первого (ведущего) компонента **К1**. Расход компонента **К1** регулируется в зависимости от уровня в смесителе, который измеряется поплавковым датчиком **4*а*** и регулируется регулятором **4*б***, воздействующим через панель дистанционного управления 4в на регулирующий клапан **4*г***.

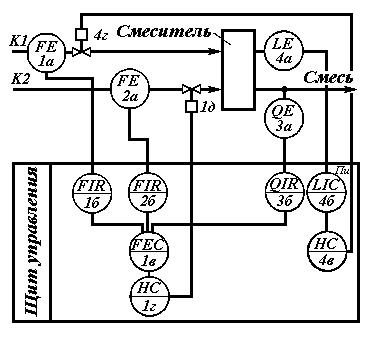


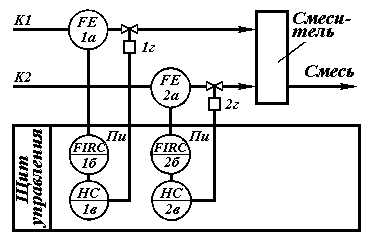
Рисунок 6.2. СА процессов смешивания Качество смеси измеряется дат-

с использованием информации чиком **3*а***, который передает сигнал

о качестве смеси. через вторичный показывающий и

самопишущий прибор **3*6*** в регулятор соотношения **1*в***. На основании сигнала качества осуществляется корректировка величины соотношения расходов компонентов **К1** и **К2** таким образом, чтобы обеспечить требуемое качество смеси.

Рассмотренная схема автоматического регулирования практически трудно реализуема, так как измерение качества смеси — достаточно сложная задача. В связи с этим часто качество смеси обеспечивают путем жесткого регулирования расходов поступающих компонентов. На **рис. 6.3** приведена СА с автономным, т. е. независимым, Рисунок 6.3. СА процессов смешивания



регулированием расходов с автономным регулированием

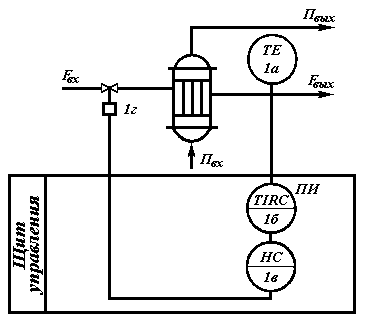
компонентов смеси. расходов компонентов.

Работа этой схемы понятна на основании вышеизложенного материала.

## Автоматизация объектов тепловых процессов

Передача тепла в тепловых процессах пищевых производств производится с помощью радиации, смешения холодного и теплого или горячего потоков, а также теплообмена через стенки.

Как объекты регулирования тепловые процессы характеризуются значительной инерционностью и наличием запаздывания. Инерционные свойства объектов дополнительно увеличиваются вследствие того, что промышленные датчики температуры – мано-метрические термометры, термопа-ры, терморезисторы – в свою очередь обладают инерцион-ностью. Вместе с тем тепловые объекты относятся к статическим объектам, т. е. объектам, характеризуемым самовыравнива-нием. Это обстоятельство повы-шает устойчивость АСР, облегчая задачу регулирования. В общем случае тепловые объекты описы-ваются апериодическими звеньями второго порядка с чистым запаз-дыванием. Возмущающими воз-действиями тепловых объектов являются теплосодержание, харак-



#### Рисунок 6.4. АСР температуры в теризуемое температурой, и расход

теплообменнике. входных продуктов, их количество

в емкостях и сборниках, а также

теплосодержание и расход греющих сред.

АСР тепловых объектов имеют медленно протекающие переходные процессы. В качестве закона регулирования наиболее часто используется изодромный.

На **рис. 6.4** приведена АСР температуры в теплообменнике. Сигнал от датчика **1*а*** температуры продукта (**Пвых**) на выходе из теплообменника поступает на показывающий и самопишущий прибор с изодромным законом регулирования **1*б***. Регулирующее воздействие передается через панель дистанционного управления **1*в*** на регулирующий клапан **1*г***, который изменяет подачу теплоносителя **Fвх** в теплообменник.

**Автоматизация объектов процессов сушки**

В различных процессах пищевых производств широкое распространение получили сушилки. На **рис. 6.5** приведена технологическая схема процесса сушки в барабанной сушилке. Горячий воздух для процесса сушки подается из калорифера, обогреваемого паром. В сушильный барабан, расположенный с некоторым уклоном, непрерывно подаются влажный материал и горячий воздух. В процессе вращения барабана происходит пересыпание и перемещение продукта к выходу из барабана с одновременным обтеканием его горячим воздухом. Для обеспечения движения горячего воздуха в сушильном барабане создается разрежение. С этой целью может быть использован, например, вытяжной вентилятор или циклон с водяным охлаждением.

При автоматизации процесса сушки требуется поддерживать заданное значение влажности материала на выходе из сушильного барабана, а также обеспечивать заданную температуру горячего воздуха, поступающего на сушилку.

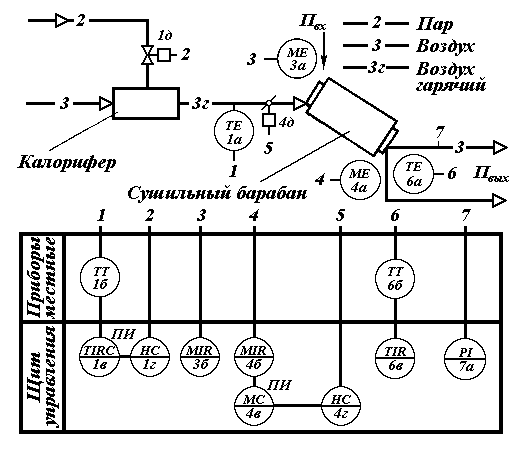


Рисунок 6.5. СА процесса сушки.

Процесс сушки в сушильном барабане как объект автоматизации описывается достаточно сложными дифференциальными уравнениями в частных производных. Для упрощения модели сушильного барабана по каналу «расход горячего воздуха – влажность материала на выходе» ее можно принять в виде апериодического звена второго порядка с чистым запаздыванием. При этом следует отметить, что процесс сушки характеризуется значительной инерционностью. Возмущающими воздействиями при сушке являются изменения влажности и расхода материала на входе, параметров горячего воздуха, поступающего в сушильный барабан.

На **рис. 6.5** приведена простейшая СА процесса сушки. Регулирование температуры горячего воздуха производится на основе ее измерения датчиком температуры **1*а***, сигнал от которого поступает на показывающий и самопишущий регулирующий блок **1*в***, управляющий через панель дистанционного управления **1*г***, исполнительный механизм **1*д*** положением регулирующего клапана на линии подачи греющего пара в калорифер. Схемой предусматривается контроль входной влажности материала с помощью датчика влажности **3*а*** и вторичного показывающего и самопишущего прибора **3*б***.

Для регулирования влажности выходного продукта ее измеряют посредством датчика влажности **4*а***, сигнал с которого поступает через вторичный показывающий и самопишущий прибор **4*б*** на регулирующий блок **4*в*** с изодромным законом регулирования. Регулятор через панель дистанционного управления **4*г*** воздействует на исполнительный механизм привода заслонки, изменяющей расход горячего воздуха в сушильный барабан.

Схемой автоматизации предусматривается также контроль температуры воздуха на выходе из сушильного барабана посредством приборов **6*а***, **6*б*** и **6*в*** и разрежения посредством показывающего манометра **7*а***.

Для ряда продуктов в настоящее время нет серийно выпускаемых датчиков влажности. В связи с этим контроль процесса сушки приходится осуществлять по косвенным параметрам. Практически приемлемые результаты получаются в случае применения для этой пели показаний термометра, измеряющего температуру выходящего из сушилки воздуха. Изменение температуры связано с влажностью материала на выходе, поэтому в зависимости от величины отклонения температуры можно организовывать изменение расхода горячего воздуха в сушильный барабан.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть схемы автоматизации одноагрегатного ленточного дозатора и процесса смешивания с автономным регулированием расходов компонентов АСР температуры в теплообменнике СА процесса сушки.

4.2 Ознакомиться с СА одноагрегатного ленточного дозатора и процесса смешивания с автономным регулированием расходов компонентов и с принципом регулирования температуры в теплообменнике и барабанной сушилке.

4.3 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить СА одноагрегатного ленточного дозатора и АСР температуры в теплообменнике (нечетные варианты); СА процесса смешивания с автономным регулированием расходов компонентов и процесса сушки (четные варианты).

5.2 Описать СА одноагрегатного ленточного дозатора и процесса смешивания с автономным регулированием расходов компонентов АСР температуры в теплообменнике и СА процесса сушки.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 На каком оборудовании осуществляется непрерывное дозирование для получения смесей сыпучих материалов или жидкостей.

6.2 Как могут быть представлены ленточные дозаторы как объекты регулирования?

6.3 За счет чего регулируется скорость движения ленточного конвейера?

6.4 Как осуществляется автоматизированное смешивание твердых сыпучих или жидких потоков материалов?

6.5 Чем отличается объект смеситель по каналу «расход входного компонента – показатель качества смеси» представленный апериодическим звеном с чистым запаздыванием или без него?

6.6 Чем характеризуются тепловые процессы как объекты регулирования?

6.7 Какой закон регулирования наиболее часто используется в АСР тепловых объектов?

6.8 Какие технологические параметры контролируют в барабанной сушилке?

6.9 Почему процесс сушки в сушильном барабане как объект автоматизации описывается достаточно сложными дифференциальными уравнениями в частных производных?

**Практическая работа № 7**

Изучение и анализ схемы автоматизации процесса приготовления опары

1 Цель работы

Привитие навыков изучение и анализ схемы автоматизации процесса приготовления опары.

##### **2 Перечень справочной литературы**

Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др.; Под ред. Л.А. Широкова.– М.: Агропромиздат, 1986.–311с. с. 172…175.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

Тесто представляет собой приготовленную определенным способом смесь муки и жидких компонентов: воды, раствора дрожжей, соли и сахара.

На многих хлебозаводах нашей страны приготовление пшеничного теста складывается из двух стадий (фаз): приготовления опары (головки) и теста. Это позволяет комплексно механизировать весь процесс приготовления теста, так как жидкую опару с влажностью **65…70%** благодаря малой вязкости и большой текучести можно транспортировать по трубопроводам насосами и самотеком.

Опара – это смесь муки, воды и дрожжей с добавлением некоторого количества соли. Технологический процесс приготовления опары иллюстрирует **рис. 7**. На участке приготовления опары размещены производственный бункер, питатель, автомукомер, заварочная машина, два насоса и шестисекционный бродильный чан. Пять секций служат для брожения опары, а шестая является расходной. Время брожения опары составляет около **4 ч**, а режим отбора ее – **60 мин**.

Технологический процесс порционного способа приготовления опары заключается в следующем. Мука из производственного бункера с помощью питателя подается аэрозольтранспортом в автомукомер, работающий по принципу весового дозирования. Он отвешивает определенную порцию муки, которая направляется в заварочную машину. Туда же подаются жидкие компоненты — вода, солевой раствор и жидкие дрожжи из автоматической мембранно-весовой станции ВНИИХП.

В течение **3 мин** компоненты перемешиваются, после чего готовая болтушка перекачивается в один из чанов для брожения. Через **4…5 ч** выбродившая опара перекачивается в расходный чан, а оттуда – на замес теста.

Схема автоматизации процесса приготовления опары предусматривает программное управление работой всех механизмов и машин: дозирование муки и других жидких компонентов, необходимых для приготовления болтушки; отбор готовой опары, мойку чанов и заполнение свежей порцией болтушки; контроль температуры опары и ее компонентов в основных точках технологического процесса.

В качестве командных аппаратов выбраны два прибора КЭП-12У: первый КЭШ служит для управления узлом приготовления болтушки, а второй КЭП2 – для управления заполнением и опорожнением чанов опары по трубам, подведенным к чанам снизу. В качестве запорной аппаратуры устанавливаются трехходовые краны, приводящиеся в движение исполнительными механизмами МЭО 4/100 и позволяющие каждый чан соединить с продуктопроводом, а также с линией канализации при мойке. Пробка крана устроена таким образом, что обеспечивает три положения: «Закрыто», «Магистраль» и «Канализация». Местный режим работы схемы служит для управления оборудованием линии при аварии и в разливочном цикле, а основным является автоматический. На нем мы и остановимся подробнее.

При достижении опарой нижнего уровня в расходном чане прибор **5*а*** типа КЭП2 дает команду на его мойку; кран этого чана устанавливается в положение «Канализация», открывается электромагнитный вентиль СВЗ подачи воды к моющему устройству. После окончания мойки кран расходного чана возвращается в положение «Магистраль», и поступление воды прекращается; дается команда на подачу опары из очередного бродильного чана. Например, кран **1/Д** на чане устанавливается в положение «Магистраль», открывается кран **7/Д**, и включается насос подачи опары. Готовая опара поступает в расходный чан. Когда сработает датчик протока **6*а***, насос опары останавливается, кран **7/Д** закрывается, кран **1/Д** устанавливается в положение «Канализация», производится мойка этого чана, вентиль **1-СВ2** открывается. После окончания мойки кран **1/Д** устанавливается в положение «Магистраль», включается насос перекачки, и готовая уже к этому времени болтушка подается в чан опары. Каждые **30 мин** в очередной бак опары поступает четыре порции болтушки. Команда на приготовление болтушки поступает одновременно с командой на мойку расходного чана.

Приготовление болтушки в заварочной машине происходит по команде КЭП1: дозировочная станция наполняется жидкими компонентами, а автомукомер – мукой; затем в заварочную машину сливаются жидкие компоненты и ссыпается порция муки; смесь перемешивается, и готовая болтушка перекачивается в чан опары.

Измерение температуры воды в производственном бункере, болтушки в заварочной машине и воды, раствора соли и жидких дрожжей в бачках дозировочной станции производится с помощью преобразователей сопротивления ТСП-753, работающих в комплекте с вторичным прибором – логометром Л-64.

Для подключения к логометру соответствующего термопреобразователя сопротивления служит щеточный переключатель ПМТ-6.

Для измерения давления воздуха, подаваемого на обрушивание сводов муки в производственном бункере, по месту установлен манометр типа ОБМ.

Для измерения давления воздуха, подаваемого к питателю из компрессорной, и контроля завала муки служит показывающий электроконтактный манометр типа ЭКМ.

Контроль нижнего уровня опары в расходном чане и болтушки в заварочной машине осуществляется с помощью приборов СБК, а протока опары, поступающей в расходный чан, – прибором РСП-15.

Сигналы от приборов и датчиков поступают на лампы, встроенные в мнемосхему щита управления.

Кислотность опары намеряется с помощью рН-метра. Сигнал от датчика передается на преобразователь типа П-201, а затем на потенциометр типа КСП-4.

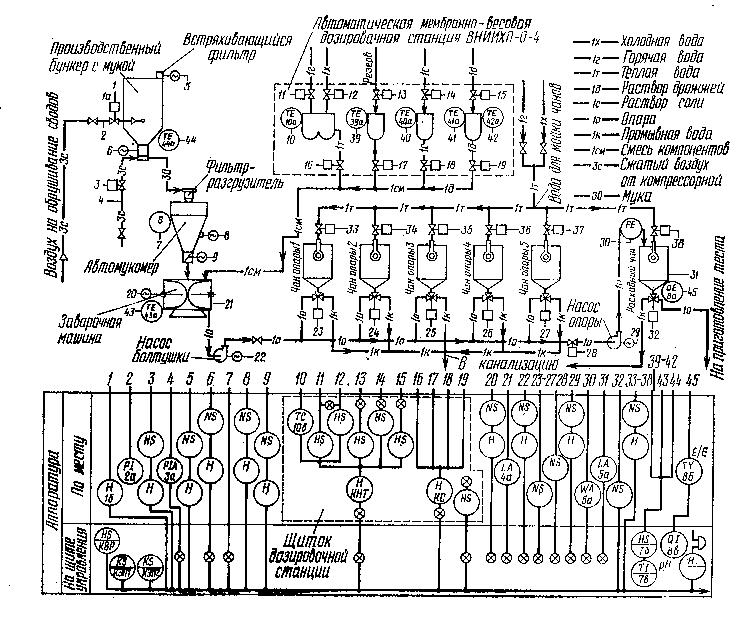


Рисунок 7. СА процесса приготовления опары.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть схему автоматизации процесса приготовления опары.

4.2 Ознакомиться с принципом автоматизации процесса приготовления опары.

4.3 Выделить системы регулирования различных технологических параметров.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить схему автоматизации процесса приготовления опары.

5.2 Описать технологические процессы процесса приготовления опары.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Что представляет собой схема автоматизации?

6.2 Назовите стадии процесса приготовления опары.

6.3 Рассмотрите управление дозированием различных ингредиентов и муки для получения болтушки.

6.4 Как осуществляется управление подачей болтушки и отбором опары бродильных чанов?

Практическая работа № 8

Изучение и анализ схемы автоматизации беспрерывного приготовления теста

1 Цель работы

Привитие навыков изучение и анализ схемы автоматизации беспрерывного приготовления теста.

##### **2 Перечень справочной литературы**

Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др.; Под ред. Л.А. Широкова.– М.: Агропромиздат, 1986.–311с. с. 175…179.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

Приготовление теста – это не только наиболее продолжительный по времени производственный этап, но и один из главных процессов хлебопекарного производства. Он складывается из следующих операций и процессов: дозирования сырья и полуфабрикатов, замеса опары и теста, их брожения и в некоторых случаях обминки теста.

От свойств теста в значительной степени зависит как его дальнейшее поведение при делении, формовке, расстойке и выпечке, так и качество готовой продукции.

В зависимости от установленного на хлебозаводе оборудования и выпускаемого сорта изделий тесто может приготавливаться порционно с применением тестомесильных машин и дозирующей аппаратуры периодического действия, а также непрерывно с использованием тестомесильных машин, дозирующей аппаратуры и бродильных устройств непрерывного действия. Здесь необходимо отметить, что для порционного приготовления теста используются тестомесильные машины периодического действия типа «Стандарт» и другие, замешивающие тесто в стационарных или перемещаемых вручную емкостях (дежах). На большинстве предприятий для порционного приготовления теста используются различные агрегаты, в которых механизированы все операции и процессы. Агрегаты периодического действия управляются по заданной программе с применением командных приборов и релейно-контакторной аппаратуры. Для программирования работы этих агрегатов, как правило, применяются командные приборы типа КЭП-12У. Они управляют работой оборудования и исполнительных механизмов по жесткой временной программе в соответствии с требованиями технологии. Комплексной механизации и автоматизации может подвергаться существующее на хлебозаводах оборудование при давно сложившихся технологических схемах приготовления хлеба и булочных изделий. Вместе с тем повышение уровня механизации и автоматизации требует значительного изменения в технологических схемах, вызывает переход от периодического к непрерывному процессу тестоприготовления.

В последнее время в хлебопекарной промышленности отмечается тенденция к интенсификации процесса тестоприготовления. Наряду с традиционным опарным и безопарным способами приготовления пшеничного теста все более широкое распространение начинают получать прогрессивные – на жидких и больших густых опарах с сокращенным периодом брожения теста до разделки, а также различные ускоренные методы. Интенсификация тестоприготовления достигается путем применения усиленной механической обработки полуфабрикатов при замесе, введения в рецептуру теста различных добавок, форсирующих процесс его созревания. Несмотря на активную разработку и внедрение на хлебозаводах прогрессивных технологических схем приготовления теста, существующее на них оборудование не позволяет добиться максимального эффекта, так как необходима установка в поточные линии нового специального оборудования.

Рассмотрим теперь схему автоматизации процессов тестоприготовления с использованием наиболее распространенной машины непрерывного действия типа Х-12.

Технологический процесс непрерывного приготовления теста с использованием месильной машины Х-12 иллюстрирует **рис. 8**. На участке приготовления теста размещены: производственный бункер с мукой, транспортер-дозатор подачи ее в месильную машину, дозатор опары, сама машина Х-12 и тестоделитель.

Технологический процесс непрерывного процесса приготовления теста заключается в следующем. Мука и жидкий полуфабрикат – опара с помощью дозаторов непрерывно подаются в месильную машину, перемешиваются в ней до образования однородной массы – теста, которое затем поступает в делительную машину. В верхней части последней имеется бункер для брожения теста перед делением.

Процесс непрерывного приготовления теста имеет некоторые специфические особенности, влияющие на качественные показатели теста. Прежде всего это жестко фиксированная последовательность технологических операций, исключающая возможность их повторения с целью исправления дефектов полуфабриката или конечного продукта. Так, если при порционном замесе влажность теста вышла за пределы, то можно повторить замес, добавить необходимое количество требуемого компонента и довести ее до нормы. При непрерывном замесе это исключается; тесто, которое уже вышло из месильной машины с отклонением по влажности, исправить нельзя. Поэтому приготовить тесто с требуемой влажностью в процессе непрерывного замеса можно лишь регулированием подачи в машину одного из компонентов, например опары.

Использование жидкой первой фазы (опары), на которую расходуется **30…35%** рецептурного количества муки, упрощает ее транспортирование, повышает стабильность работы оборудования, облегчает управление процессом тестоприготовления и снижает затраты муки на брожение. От объема и консистенции продукта, находящегося в производственном процессе на разных стадиях готовности, зависят вместимость и тип аппаратуры, а следовательно, габаритные размеры и масса всего комплекса тестоприготовительного агрегата. Кроме того, чем больше продукта и чем выше вязкость, тем больше энергии требуется затратить на его перемещение по технологической цепи машин и аппаратов. С этой точки зрения двухфазное приготовление теста на жидкой опаре влажностью **65…67%** имеет также бесспорное преимущество по сравнению со схемой, использующей густую первую фазу влажностью **42…45%**. Так, при равной производительности потребная рабочая емкость для брожения жидкой опары значительно меньше емкости, необходимой в случае работы на густой опаре. С учетом этих преимуществ лучше применять схему двухфазного приготовления теста из различных сортов на жидкой опаре с возможностью использования жидкой закваски при замесе теста из ржаной или ржано-пшеничной муки.

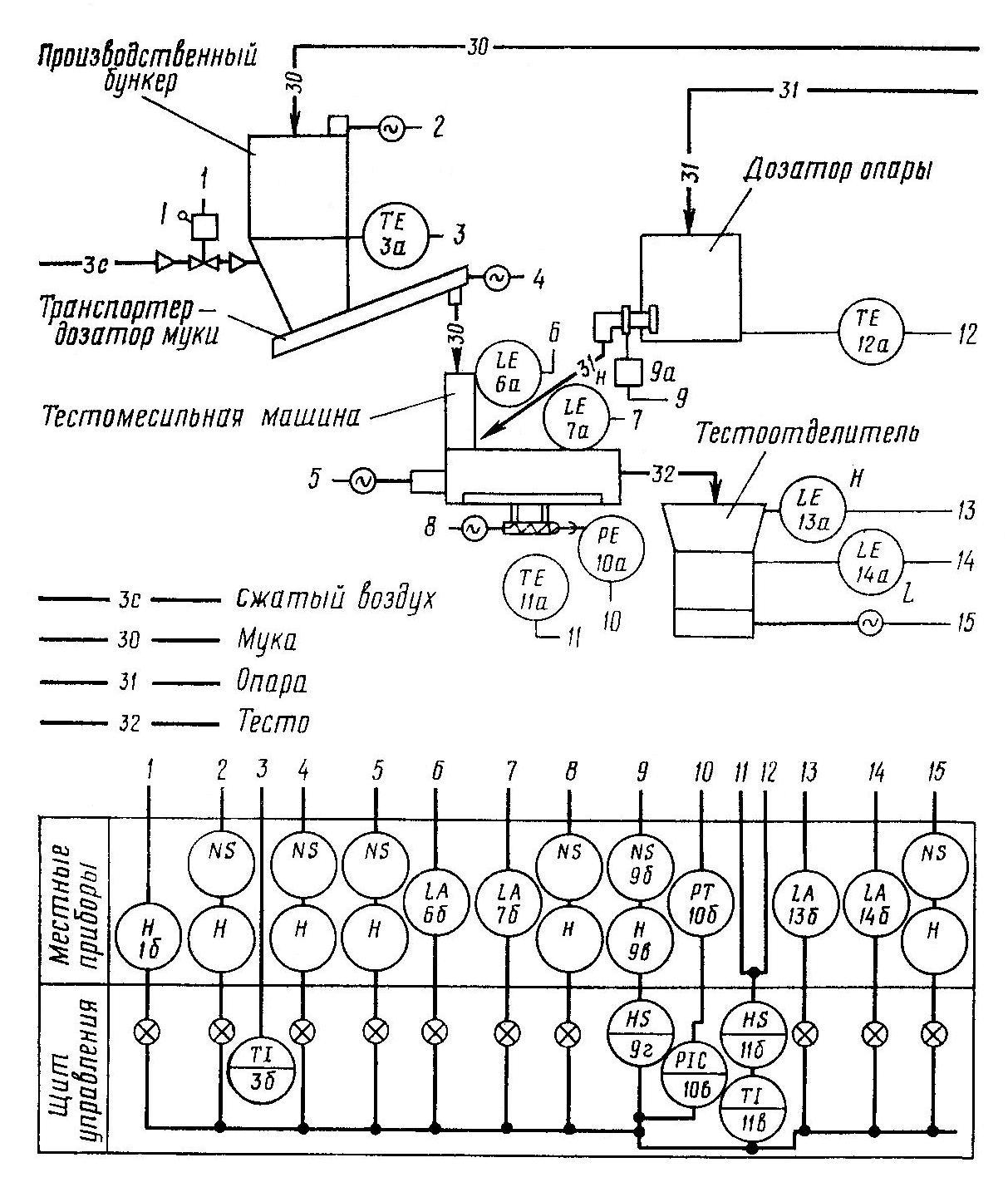


Рисунок 8. СА тестомесильной машины.

Схема автоматизации непрерывного процесса приготовления теста предусматривает контроль температуры муки, опары и теста, сигнализацию уровня муки и теста в месильной машине и в бункере для брожения теста и в делителе, контроль и регулирование консистенции теста в месильной машине, местное и автоматическое управление работой электроприводов оборудования и исполнительных механизмов в зависимости от изменения консистенции теста. Температура опары и теста является одним из основных параметров, влияющих на их качество, и в начале процесса их приготовления поддерживается обычно путем стабилизации температуры ингредиентов, поступающих на замес. Поскольку основную массу опары и теста составляют мука и вода, а количество остальных компонентов – дрожжей, соли и др. – сравнительно невелико и, кроме этого, температура последних регулируется в процессе их приготовления, то регулирование температуры опары и теста сводится к регулированию температуры подаваемой на замес воды с учетом температуры замешиваемой муки. Температура воздуха в тестоприготовительных отделениях обычно соизмерима с температурой опары и теста, величина температуры в процессе брожения изменяется незначительно и не выходит за пределы, допускаемые технологическими требованиями. Поэтому в производственных условиях ограничиваются лишь измерением температуры муки, опары и теста, стараясь не допускать отклонения ее от заданных пределов.

Контроль температуры осуществляется термопреобразователями сопротивления ТСМ-5071, работающими в комплекте с логометрами типа Ш-69. Контроль уровня муки, поступающей в месильную машину, осуществляется прибором типа МДУ-2С, а уровня теста в месильной и делительной машинах – с помощью кондуктометрических уровнемеров СБК.

Влажность опары и теста является наиболее важным технологическим параметром, однако прямой способ определения ее очень трудоемок и длителен. Кроме того, при автоматизации узла дозирования жидких ингредиентов практически обеспечивается заданная влажность теста. Поэтому автоматическое дозирование жидких ингредиентов с учетом контроля влажности муки практически исключает необходимость прямого контроля влажности опары и теста.

В теоретических исследованиях и практике хлебопечения влажность теста косвенно определяют по величине его консистенции. С этой целью на тестомесильной машине установи консистометр АКТ, представляющий собой шнековый нагнетатель с камерой, оканчивающийся сужающим устройством, в которое вмонтирован мембранный разделитель и чувствительный элемент **10*б*** дифманометра ДМ-23573. Импульс давления от него подается на прибор **10*в*** типа КСД-2-040 с регулятором, воздействующим через переключатель **9*г*** на исполнительный механизм **9*а***, установленный на трубопроводе подачи опары в тестомесильную машину.

Приготовленное тесто подается в воронку тестоделителя, где установлено два кондуктометрических датчика уровня **13*а*** и **14*а*** приборов **13*б*** и **14*б*** типа ЭРСУ-3, управляющих работой тестоприготовительного отделения. Технологический режим приготовления теста настраивается таким образом, чтобы производительность тестомесильной машины была соизмерима с производительностью печи. Это позволяет исключить частые остановки тестомесильной машины, регулируемые нижним и верхним датчиками уровня в тестоделителе.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть схему автоматизации беспрерывного приготовления теста.

4.2 Ознакомиться с принципом автоматизации беспрерывного приготовления теста.

4.3 Выделить системы регулирования различных технологических параметров.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить схему автоматизации беспрерывного приготовления теста.

5.2 Описать стадии беспрерывного приготовления теста.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Что представляет собой схема автоматизации?

6.2 Назовите стадии беспрерывное приготовление теста.

6.3 Рассмотрите управление дозированием муки и жидких ингредиентов в тестомесильную машину.

6.4 Как осуществляется управление подачей теста и регулированием уровня его в приемной воронке тестоделителя?

**Практическая работа № 9**

Изучение и анализ схемы автоматизации процесса отливки и глазирования конфет

1 Цель работы

Привитие навыков изучения и анализа схемы автоматизации процесса отливки и глазирования конфет.

##### **2 Перечень справочной литературы**

Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др.; Под ред. Л.А. Широкова.– М.: Агропромиздат, 1986.–311с. с. 188…189.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

Технологическая схема процессов отливки и глазирования конфет в поточной линии приведена на **рис. 9**. Конфетная масса из темперирующей машины подается насосом на отливочную машину. Корпуса конфет из установки ускоренной выстойки, где они обдуваются холодным воздухом, поступают в глазирующую машину, затем в охлаждающий шкаф, хладагентом в котором является рассол, и далее готовые конфеты направляются на завертку и упаковку.

Основной задачей автоматизации этих процессов является стабилизация температурных режимов, уровня в отливочной машине и управление пуском и остановом электродвигателей.

Уровень конфетной массы в отливочной машине измеряется датчиком **2*а***, подключенным к сигнализатору уровня **2*б*** воздействующему на электропривод **2*в*** насоса подачи конфетной массы.

Автоматическое регулирование температуры холодного воздуха, поступающего в установку выстойки корпусов конфет, осуществляется показывающим и самопишущим мостом **9*б*** с позиционным регулятором, управляющим электромагнитным клапаном **9*в*** на линии подачи рассола в воздухоохладитель.

Аналогичным образом обеспечивается автоматическое регулирование температуры воздуха в охладительном шкафу. В контур регулирования входят приборы **14*а***, **14*б***, **14*в***.

Схемой автоматизации предусмотрен контроль температуры в отливочной машине с помощью датчика **3*а***, соединенного со вторичным показывающим прибором **3*б***, и в установке ускоренной выстойки корпусов конфет датчиками **6*а*…8*а***, соединенными через переключатель **6*б*** с вторичным показывающим прибором **6*в***. Температура в глазирующей машине измеряется датчиком **12*а***, соединенным с показывающим вторичным прибором **12*6***.

Схема автоматизации обеспечивает пуск и останов электродвигателей машин и аппаратов. Для перехода с автоматического управления на ручное установлены ключи выбора режима.

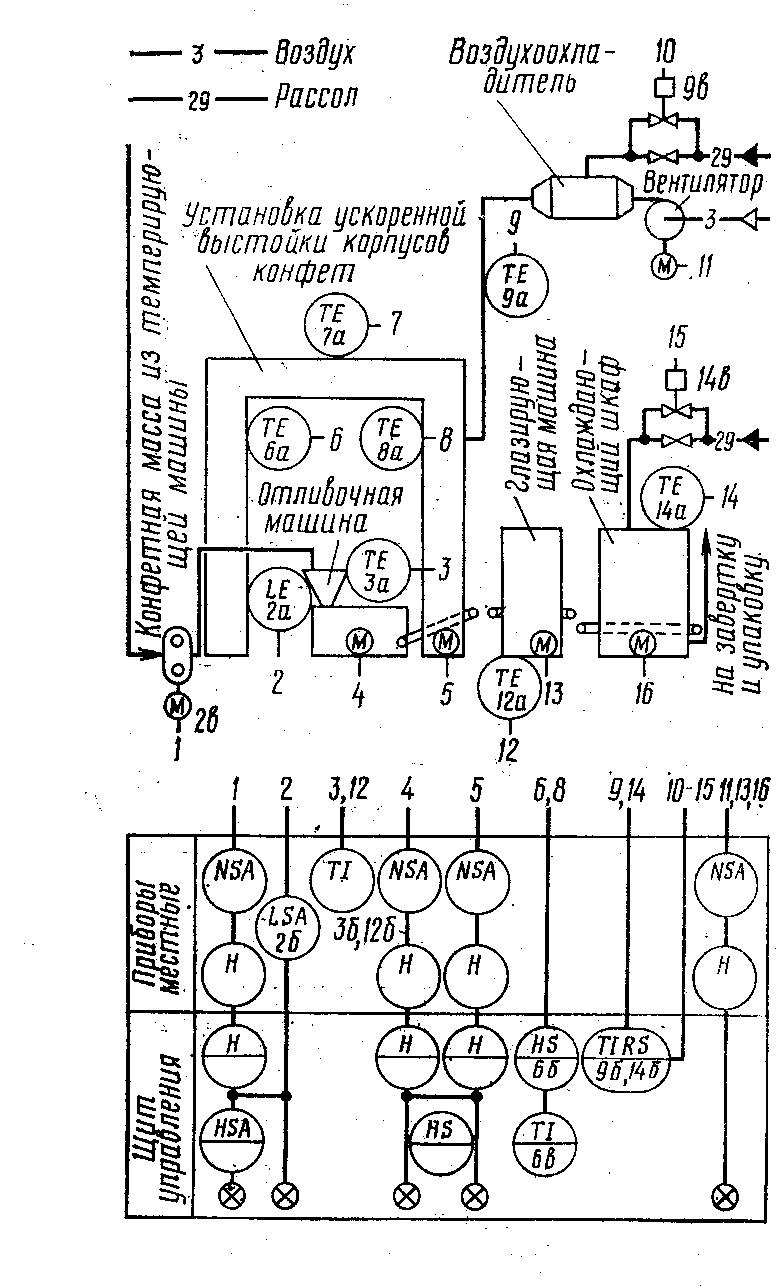


Рисунок 9. СА процессов отливки и глазирования конфет

**4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть схему автоматизации процессов отливки и глазирования конфет.

4.2 Ознакомиться с принципом автоматизации процессов отливки и глазирования конфет.

4.3 Выделить системы регулирования различных технологических параметров.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

**5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить схему автоматизации процессов отливки и глазирования конфет.

5.2 Описать технологические процессы отливки и глазирования конфет.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Что представляет собой схема автоматизации?

6.2 Назовите стадии процессов отливки и глазирования конфет.

6.3 Рассмотрите управление получением корпусов конфет и отливку в них.

6.4 Как осуществляется управление глазированием и охлаждением конфет?

Практическая работа № 10

Составление и чтение схемы автоматизации поточной линии производства шоколадных масс

1 Цель работы

Привитие навыков составления и чтения схемы автоматизации поточной линии производства шоколадных масс.

##### **2 Перечень справочной литературы**

Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др.; Под ред. Л.А. Широкова.– М.: Агропромиздат, 1986.–311с. с. 189…191.

##### **3 Краткие теоретические сведения**

Технологическая линия производства шоколадных масс, изображенная на **рис. 10** предусматривает смешение масла какао, тертого какао, сахарной пудры, вкусовых добавок, разжижителя. Тертое какао и масло какао подаются в обогреваемые горячей водой сборники, откуда поступают в первый смеситель. В тот же смеситель поступает сахарная пудра. Сахарная пудра получается путем размола сахарного песка, поступающего через дозатор из бункера, в микромельнице.

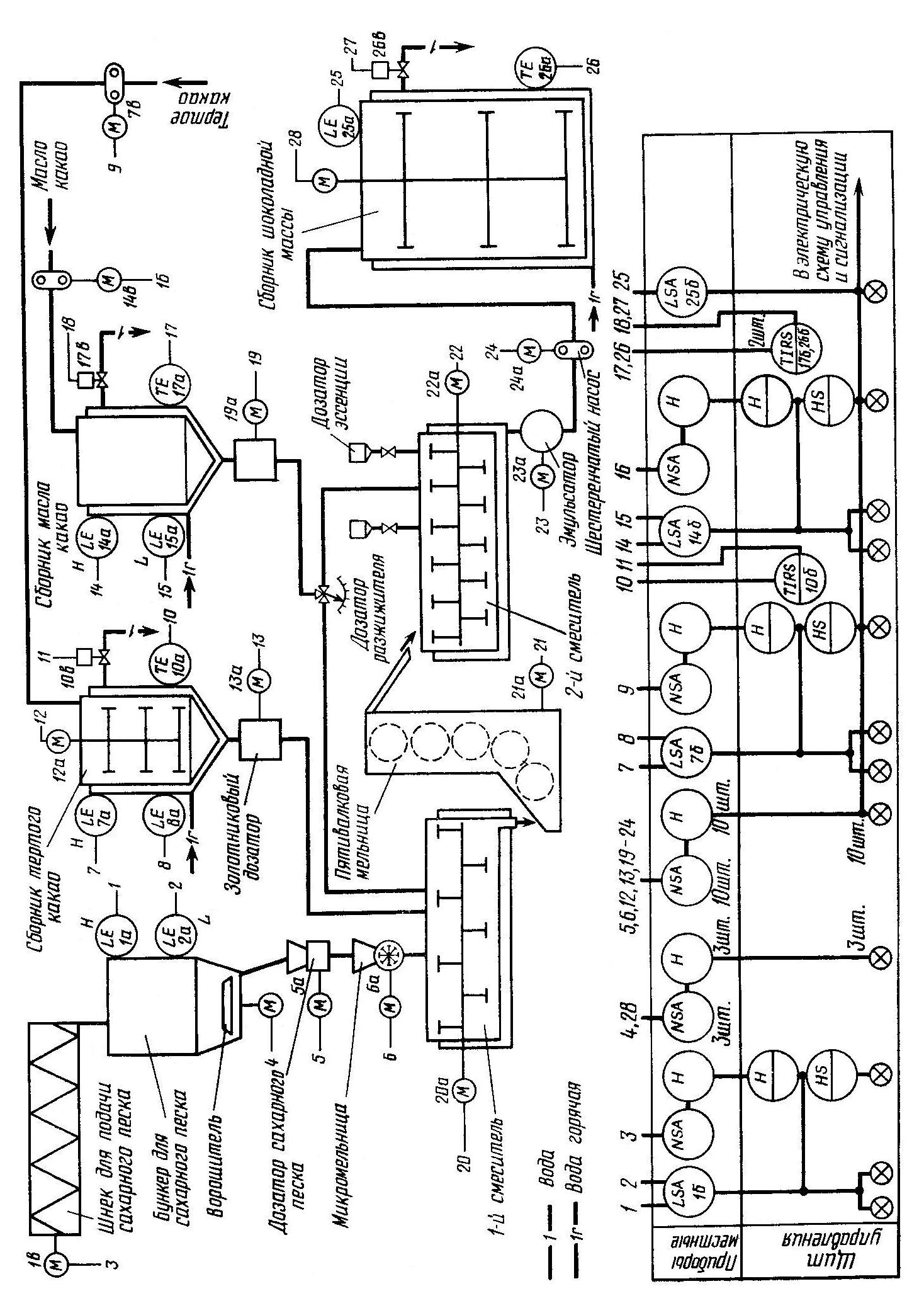
Из первого смесителя масса подается в пятивалковую мельницу, которая обеспечивает образование тонкорастертой смеси, направляемой во второй смеситель. Сюда же поступают из соответствующих дозаторов разжижитель и эссенция. После перемешивания во втором смесителе смесь поступает в эмульгатор, предназначенный для гомогенизации шоколадной массы с целью создания идеальной однородности, равномерного распределения ароматических и жировых компонентов. Далее шоколадная масса шестеренчатым насосом подается в подогреваемый горячей водой сборник шоколадной массы.

При автоматизации процесса производства шоколадной массы должны быть обеспечены точное дозирование компонентов, регулирование уровней и температурных режимов в сборниках.

Для обеспечения точной работы дозирующих устройств схема автоматизации предусматривает регулирование уровней в бункере песка, сборниках тертого какао и масла какао. Уровень в бункере сахарного песка измеряется датчиками **1а** и **2а**, соединенными с электронным сигнализатором уровня **1б**. Сигнализатор уровня управляет через магнитный пускатель включением и выключением двигателя **1в** шнека подачи сахарного песка в бункер. Аналогичным образом построены схемы регулировании уровней в сборниках тертого какао и масла какао, соответствующие контуры регулирования которых включают приборы **7а**, **8а**, **7б**, **7в** и **14а**, **15а**, **14б**, **14в**.

В сборнике шоколадной массы предусмотрено регулирование уровня по верхнему пределу. При его достижении сигнал от датчика верхнего уровня **25а** по-

Рисунок 10. СА поточной линии производства шоколадных масс.



дается на электрический сигнализатор **25б**, который сблокирован с магнитными пускателями электроприводов **5а**, **6а**, **12а**, **13а**, **19а…24а** и обеспечивает их одновременное выключение, прекращая подачу компонентов из промежуточных сборников и работу соответствующих машин линии. Отметим, что работа приводов механизмов, подающих компоненты в промежуточные сборники, управляется соответствующими системами регулирования уровней, рассмотренными ранее.

Автоматическое регулирование температурных режимов в сборниках обеспечивается путем управления сливом воды из обогревающих рубашек сборников. В сборнике тертого какао температура измеряется датчиком **10а**, соединенным с показывающим и самопишущим регулятором **10б** с позиционным законом регулирования, который воздействует на электромагнитный клапан **10в**, управляющий стоком воды из обогревающей рубашки сборника. Аналогично организовано регулирование температуры в сборниках масла какао и шоколадной массы. Соответствующие контуры регулирования включают приборы **17а**, **17б**, **17в** и **26а**, **26б**, **26в**.

Схема автоматизации обеспечивает управление электродвигателями машин и аппаратов поточной линии. Для перехода с автоматического управления на ручное предусмотрены ключи выбора режима.

##### **4 Порядок проведения работы**

4.1 Рассмотреть схему автоматизации поточной линии производства шоколадных масс.

4.2 Ознакомиться с принципом автоматизации поточной линии производства шоколадных масс.

4.3 Выделить системы регулирования различных технологических параметров.

4.4 Сделать вывод об изученном материале.

##### **5 Содержание отчета**

5.1 Изобразить схему автоматизации поточной линии производства шоколадных масс.

5.2 Описать управление технологическими процессами производства шоколадных масс.

5.3 Сделать вывод.

## 6 Контрольные вопросы

6.1 Что представляет собой схема автоматизации?

6.2 Назовите процессы производства шоколадных масс.

6.3 Рассмотрите управление подачей, дозированием сахара песка и получением сахарной пудры в 1й смеситель.

6.4 Как осуществляется управление подачей и дозированием тертого какао в 1й смеситель.

6.5 Управление подачей и дозированием масло какао в 1й и 2й смесители.

6.6 Управление подачей от 2го смесителя и хранением шоколадной массы.

##### **Список использованных источников**

1 Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983.–400с.

2 Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др.; Под ред. Л.А. Широкова.– М.: Агропромиздат, 1986.–311с.

3 Куприянов Б.В. Технологические измерения и КИП в пищевой промышленности.– М.: Пищевая промышленность, 1977.–280с.

4 Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.– М.: Агропромиздат, 1985.–344с.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Одесский технический колледж Одесской национальной

академии пищевых технологий, комиссия спецтехнологии,

предмет “Автоматизация производственных процессов”, 2010.