

ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

ОСНОВЫ
АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ
ПИЩЕВЫХ
ПРОИЗВОДСТВ



ББК Ж

О-75

УДК 65.011.56:664 (075)

**Основы автоматизации технологических процессов пи-
О-75 щевых производств/В. Ф. Яценко, В. А. Соколов, Л. Б. Си-
вакова и др. Под ред. В. А. Соколова.— М.: Легкая и пи-
щевая промышленность, 1983.— 400 с.**

Описаны методы и приборы для измерения и контроля давления, температу-
ры, массы, объема, расхода, уровня, состава и свойств веществ; виды, свой-
ства автоматических систем регулирования и управления; схемы автоматизации
отдельных процессов пищевых производств: сахарного, крахмало-паточного, мас-
ло-жирового, хлебопекарного, макаронного, спиртового, пиво-безалкогольного,
консервного, кондитерского.

Для учащихся техникумов пищевой промышленности.

О $\frac{2901000000-015}{044(01)-83}$ 45-83

ББК 38
вП8

Рецензенты: Одесский техникум пищевой промышленности (Тинитилов Л. И.),
инж. Лебедев Ю. Л. (Министерство)

© Издательство «Легкая и пищевая
промышленность», 1983 г.

Курс «Расчеты и конструирование машин и аппаратов пищевых производств» является одним из завершающих при подготовке инженера-механика пищевой промышленности. Этот курс посвящен вопросам оптимального проектирования, динамики, прочности, устойчивости и надежности основных узлов типового оборудования пищевых производств. Для учебника по данному курсу были отобраны наиболее компактные инженерные методы, требующие минимального времени для изучения, но применимые для решения достаточно сложных задач. При изложении материала по расчету и конструированию узлов принята следующая классификация пищевого оборудования.

1. Неподвижные емкостные и теплообменные аппараты.
2. Аппараты с медленновращающимися рабочими органами.
3. Ротационные машины с быстровращающимися дисками и роторами.
4. Пульсационные (поршневые) машины, рабочие органы которых совершают возвратно-поступательные движения.
5. Вибрационные машины.

При расчете неподвижных емкостных и теплообменных аппаратов основой для инженера-механика является теория пластин и оболочек. Аппараты рассмотрены как сочетания этих элементов.

Для неподвижных емкостных и теплообменных аппаратов характерными являются расчеты на устойчивость, особенно актуальные при действии внешнего давления. Основой для этих расчетов послужила теория устойчивости стержней, подвергающихся осевому сжатию.

Расчет аппаратов с медленновращающимися рабочими органами основывается на данных курса «Детали машин». Особенностью расчетов этих аппаратов являются расчеты бандажей на прочность как колец, подвергаемых несимметричному нагружению, и расчеты бандажей и роликов на контактную прочность.

Для дисковых машин характерным является расчет на прочность быстровращающихся дисков, основанный на теории упругости. Кроме того, для дисковых машин рассмотрены расчеты на виброустойчивость жестких валов с учетом их массы применительно к требованиям проектирования перемешивающих устройств.

При расчете роторных машин использованы данные из теории пластин, оболочек и быстровращающихся дисков с учетом того, что роторы одновременно нагружены силами инерции, возникающими при их вращении, и давлением находящейся внутри них жидкости. Для роторных машин приведен использованный для быстровращающихся дисков расчет по механическому критерию прочности, а также расчет индекса производительности центробежных разделительных машин.

Расчет пульсационных машин почти полностью основан на изучаемых ранее курсах «Сопротивление материалов», «Детали машин», «Теория машин и механизмов».

При изучении вибрационных машин рассмотрены задачи динамики этих машин и их расчет, основанный на теории колебаний.

В учебнике также проанализированы основы конструирования деталей и узлов оборудования, изложены общие вопросы методологии проектирования машин и аппаратов, снижения металлоемкости конструкций, обеспечения достаточной прочности и жесткости и др.

В последние годы произошли значительные изменения в масштабах и уровне автоматизации технологических процессов пищевых производств. Применяются новейшие измерительные, технические средства и системы управления на электронной основе. В ближайшие годы будут созданы и внедрены в пищевую индустрию автоматизированные технологические комплексы на основе использования микропроцессорной техники.

Вместе с тем в отрасли нет литературы, которую можно было бы рекомендовать учащимся средних специальных учебных заведений при изучении соответствующих дисциплин.

Авторы поставили цель создать учебник, отражающий современный уровень автоматизации. Особое внимание уделено новым методам измерительной техники, средствам сбора и обработки технологической информации, методам математического моделирования, построению распределенных систем автоматического регулирования на микропроцессорной технике, использованию принципов логического управления, созданию автоматизированных систем управления основными производствами пищевой промышленности с применением электронных вычислительных машин.

Изложение этого материала в рамках учебника для техникумов представляет определенные трудности, связанные с невозможностью полного использования математического аппарата и недостаточностью опыта издания подобных учебников в отрасли. Поэтому основное внимание уделено отбору материала, проверенного практикой, и изложению основных понятий.

Введение, § 8.3, 9.3, 10.7, главы 13, 14 и 19 написаны В. А. Соколовым; глава 1, § 2.1—2.5, главы 3 и 4, § 5.1—5.7, глава 6 и § 7.1—7.9 — В. Ф. Яценко; § 8.1, 8.2, 9.1, 9.2, 10.1—10.6 и глава 11 — Л. Б. Сиваковой; § 2.6, 5.8, главы 12, 15, 16, § 17.3—17.5, 18.2, 18.3 — Л. И. Рысь; § 7.10, 17.1, 17.2, 18.1, 18.4—18.7 и глава 20 написаны С. В. Лачковым.

1. Содержание и задачи курса

В энциклопедическом словаре дается следующее определение автоматизации: «Автоматизация производства — процесс в развитии машинного производства, при котором функции управления и контроля, ранее выполнявшиеся человеком, передаются приборам и автоматическим устройствам».

Автоматизацию производства, в том числе и пищевой технологии, не следует понимать как простое насыщение контрольно-измерительными приборами и автоматическими устройствами существующих или проектируемых производственных процессов. Проблемы технологии и автоматизации решаются взаимосвязанно, что предопределяется бурным развитием пищевой индустрии, созданием новых непрерывных процессов и аппаратов большой единичной мощности.

Измерительные приборы и автоматические устройства обеспечивают оптимальное протекание технологического процесса, недоступное ручному управлению. Поэтому автоматизация позволяет наиболее эффективно использовать все ресурсы пищевого производства. Непременным условием высокой эффективности автоматизации является механизация основных и вспомогательных производственных процессов.

Курс «Основы автоматизации технологических процессов» изучается учащимися средних специальных учебных заведений

В курсе «Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств» изучаются методы измерений и измерительная техника для контроля параметров, характеризующих качество поступающего сырья, полупродуктов и готовой продукции, а также автоматические регуляторы, исполнительные механизмы, средства вычислительной техники и специальные технические средства автоматизации.

Особенностью курса является изучение систем автоматизации с учетом познания сущности и закономерностей технологических процессов как объектов управления, а также разработка научно обоснованных методов автоматизации различных видов пищевых производств.

Курс основывается на общих законах метрологии, теории автоматического управления, гидравлики, теплотехники, физической химии, а также кибернетики как основы для изучения и использования экономико-математических методов и управляющих вычислительных машин.

Предметом изучения являются системы автоматизации различного назначения, общие для многих пищевых производств независимо от конкретной технологии, а также схемы автоматизации технологических процессов основных подотраслей, построенные на единых принципах и использовании положительного опыта их промышленной эксплуатации.

2. Краткий исторический обзор развития автоматизации

История развития автоматизации насчитывает уже более 200 лет. Зарождение относится к периоду промышленной революции конца XVIII — начала XIX в., характеризующемуся переходом от полукустарного производства к промышленному, когда совершенствовались орудия и приемы труда, создавались необходимые условия для механизации процессов. Машины-орудия заменяли ручной труд человека, позволяя резко увеличить производительность труда. Усовершенствование машин-орудий вызывало необходимость создания более совершенных машин-двигателей и перехода от гидравлического двигателя (водяное колесо) к паровой машине.

Последующее развитие промышленного производства заключалось в переходе от применения отдельных машин к системе взаимосвязанных машин и линий, в которой на человека возлагались функции контроля и регулирования. Развитие машинного производства неминуемо привело к тому, что для человека стало невозможным достаточно быстро и точно управлять движением машин.

Первыми изобретениями в области автоматизации были автоматический регулятор питания парового котла (1765 г.) русского механика И. И. Ползунова и центробежный регулятор скорости паровой машины (1784 г.) английского изобретателя Д. Уатта.

Большое значение для развития автоматизации промышленного производства имели работы русских электротехников.

В конце XIX в. наряду с паровыми двигателями, осуществляющими движение в машинах с помощью трансмиссий и ременных передач, появился электропривод. Развитие автоматизации электростанций и электроэнергетики обеспечило с начала

повышение на 5—7 % производительности пищевого оборудования;

снижение себестоимости продукции на 1,5—3 % в результате сокращения расхода сырья, материалов, энергетических и трудовых затрат;

увеличение выхода продукции высших сортов на 15—20 %.

Перспективное развитие автоматизации предусматривает комплексное совершенствование производства, направленное на экономию трудовых, материальных и топливно-энергетических ресурсов. Предусмотрено существенно расширить работы по созданию и промышленному освоению автоматических манипуляторов с программным управлением и робототехнических комплексов. Насыщение пищевой промышленности этими средствами обеспечит существенное снижение численности рабочих, занятых ручным трудом, в частности на разгрузке сырья и его складировании, упаковке, оформлении и погрузке готовой продукции.

Важное значение придается работам по механизации и автоматизации технологических процессов и способов пакетирования и контейнеризации на основе использования микропроцессорной техники. Расширяются работы по созданию автоматизированного оборудования и технологических комплексов на базе применения микропроцессорной техники. В пищевой промышленности намечено создать 9 базовых предприятий с высоким уровнем механизации и автоматизации, где будут широко использованы различные средства микропроцессорной техники.

Перспективное развитие и широкое использование автоматизации предусмотрено долгосрочными целевыми комплексными программами. В настоящее время в пищевой промышленности реализуется программа автоматизации, предусмотренная до 1990 г.

4. Классификация объектов и систем автоматизации

✓ При решении задач автоматизации первостепенное значение имеет знание свойств объекта управления. В самом общем виде **объект управления** — это система, рассматриваемая как комплекс динамически связанных элементов.

В пищевой индустрии имеется много разнохарактерных объектов управления из-за многообразия пищевых производств. Однако при кибернетическом подходе обнаруживается известная общность их как объектов управления.

Для понимания объектов управления важным является изучение связей между их элементами и содержащейся информацией как основы для выработки управляющих воздействий. Изучение объектов осуществляется на основе классификации по определенным признакам.

Существенное значение для практических целей автоматизации имеет классификация объектов управления пищевых производств по иерархическому уровню. Различают три иерархических уровня.

Наиболее многочисленным классом являются агрегаты, аппараты и технологические установки. Это объекты управления первого (низшего) иерархического уровня технологических процессов.

Отдельные цехи и участки для производства различных пищевых продуктов содержат комплексы тех или иных видов оборудования и представляют собой объекты управления второго иерархического уровня, в которые как элементы входят агрегаты, технологические аппараты и установки.

Третий иерархический уровень представляют наиболее крупные объекты управления пищевых производств — предприятия в целом.

Объекты пищевой технологии классифицируются также по характеру протекаемых в них физико-химических процессов. Несмотря на многообразие продуктов, получаемых на различных технологических аппаратах и оборудовании, они характеризуются общностью протекающих при их производстве физических и химических процессов. Современная наука о процессах и аппаратах пищевой технологии подразделяет огромное число физико-химических процессов на 6 основных групп, представляющих типовые процессы: механические, гидромеханические, тепловые, массообменные, биохимические и химические.

По характеру протекания технологических процессов различают производства непрерывные, непрерывно-дискретные и дискретные. Непрерывные процессы (диффузия, выпаривание, сушка) наиболее эффективны, когда они регулируются автоматически; они, как правило, легко поддаются автоматизации. Непрерывно-дискретные процессы (брожение, варка пива) более сложны для автоматизации, так как требуют регулирования большего числа параметров.

Одним из основных требований к объекту управления является его подготовленность к автоматизации: увеличение единичной мощности, переход от многостадийных процессов к одностадийным, от периодических процессов к непрерывным и т. д.

Автоматизация позволяет значительно упростить технологические схемы, дает возможность реализовать идеи полного использования отходов. Иными словами, объект управления и система автоматизированного управления любого иерархического уровня — взаимосвязанные и взаимообуславливающиеся части.

При классификации систем автоматизации выделяют два вида систем, различающихся по выполняемым функциям и применяемым техническим средствам: автоматические системы

регулирования (АСР) и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Автоматическая система регулирования (АСР) технологического процесса определяется как совокупность управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, взаимодействующих между собой. При этом имеется в виду функционирование этих систем без участия человека.

АСР широко применяются при автоматизации технологических аппаратов, агрегатов и установок, составляя основу локальной автоматизации там, где в настоящее время могут быть созданы системы управления, не предусматривающие участия человека.

АСР бывают следующих классов:

- системы локальной автоматической стабилизации параметров процессов (с применением локальных стабилизирующих, программных и других регуляторов);

- системы локальной автоматической оптимизации процессов (с использованием локальных оптимизаторов и вычислительной техники);

- системы централизованного автоматического пуска и останова производства.

Автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП) обеспечивает автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для выработки управляющих воздействий на технологический объект в соответствии с принятым критерием.

Объектами АСУ ТП являются отдельные крупные агрегаты производства (цехи, участки) или производственный процесс всего промышленного предприятия.

АСУ ТП характеризуется наличием автоматических средств сбора и обработки информации, в первую очередь ЭВМ; человек в этой системе лишь принимает участие в выработке решений по управлению.

В свою очередь АСУ ТП классифицируются по иерархическому уровню в структуре управления, по характеру процесса, по информационной мощности, по функциональной надежности и по типу функционирования.

Итак, в масштабе технологических агрегатов, аппаратов и установок речь идет об автоматической системе регулирования (АСР); переходя к масштабу производства применяется автоматизированная система управления (АСУ). И это понятно, так как по мере возрастания масштабов производства доля труда человека в управлении им увеличивается; совершается переход от чисто технологических задач к технико-экономическим и организационным; помимо регулирования процессов, возникают задачи планирования, учета и т. д., а обработка информации и решение задач осуществляются электронно-вычислительными машинами.

5. Автоматизация и охрана природы

При развитии производительных сил проявляется несогласованность хозяйственной деятельности с законами природы, приводящая к нарушению экологического баланса, что выражается в загрязнении природной среды антропогенными веществами и истощении природных ресурсов.

В Советском Союзе проводится долгосрочная программа охраны природной среды и рационального использования ее ресурсов.

На предприятиях пищевой промышленности образуется большое количество сточных вод с высокой концентрацией загрязнений. Чтобы эти загрязнения не попали в водоемы, создаются установки по очистке сточных вод перед их сбросом, а также безводные технологические схемы с малым расходом воды; ведется работа по созданию бессточных производств. Автоматизация процессов очистки сточных вод пищевых предприятий должна сыграть при этом решающую роль. Эти процессы полностью автоматизируются, и представляется возможным создавать оборудование, работающее под замком (без эксплуатационного персонала).

Решаются задачи дистанционного и телеуправления электроприводами насосов и исполнительными механизмами трубопроводов сточных вод.

В перспективе при создании безотходных технологических процессов пищевых производств, работающих по замкнутому непрерывному циклу, появится возможность создания заводов-автоматов с централизацией контроля и управления предприятием на центральном диспетчерском пункте, оснащенный ЭВМ.

Глава I. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ
И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ1.1. Основные понятия о единицах измерения,
способах и средствах измерений

Величины, характеризующие отдельные стадии технологического процесса, называются **параметрами**. Так, процесс расщепления жиров в автоклавах характеризуется двумя параметрами — температурой и давлением. Измеряя параметры, можно судить, в каком направлении протекает процесс. Параметры определяются и контролируются технологическими измерениями, сущность которых состоит в том, что измеряемую величину сравнивают с однородной, принятой за единицу. **Единицы измерения** делятся на основные, производные, когерентные, кратные и дольные.

Основные единицы устанавливаются произвольно, независимо от других единиц. Главное условие выбора основных единиц — возможность точного их воспроизведения. К числу основных единиц относятся метр, килограмм и т. п.

Производные единицы — единицы производных физических величин, образуемые по определяющим эти единицы уравнениям из других единиц данной системы. Например, $1 \text{ м}^2/\text{с}$ — единица кинематической вязкости в системе СИ.

Когерентные единицы — производные единицы, связанные с другими единицами системы уравнениями, в которых числовой коэффициент принят равным единице. Например, единица скорости 1 м/с .

Кратные и дольные единицы образуются путем умножения или деления основной или производной единицы на определенную степень числа 10. Наименование кратных и дольных единиц получается добавлением специальных приставок к названию основной единицы. Например, «кило» — для единицы в 10^3 больше исходной, «гекто» — для единицы в 10^2 больше исходной, «санτι» — в 10 раз меньше исходной и т. п.

Совокупность единиц измерения, охватывающих определенную область величин, называется системой единиц. Развитие науки и техники привело к появлению ряда систем единиц: СГС, МКС, МТС, МКГСС и др. Использование различных систем единиц затрудняет измерения и выполнение технических расчетов. Для унификации в области измерений разработана когерентная Международная система единиц (СИ), основными

единицами которой являются метр (м) — единица длины, килограмм (кг) — единица массы, секунда (с) — единица времени, ампер (А) — единица силы электрического тока, кельвин (К) — единица температуры, кандела (кд) — единица силы света и моль (моль) — единица количества вещества.

Сравнение измеряемых величин с единицами измерения производится различными способами: прямыми, косвенными и совокупными.

Прямыми измерениями называются такие, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных (например, измерение массы на циферблатных весах, длины с помощью линейки). Прямые измерения могут осуществляться различными методами: непосредственной оценки, дифференциальным, нулевым компенсационным.

Первый заключается в определении величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора (например, измерение давления пружинным манометром, массы на циферблатных весах). Такой метод отличается простотой и быстротой, поэтому широко используется в приборах промышленного контроля. Недостатком метода является невысокая точность измерения.

Дифференциальный метод состоит в том, что на измеряемый прибор воздействует разность измеряемой величины и известной (образцовой), после чего искомая величина находится путем алгебраического сложения. Этот метод обеспечивает более высокую точность измерения и применяется в приборах автоматического анализа состава и свойств веществ.

Нулевой компенсационный метод основан на уравнивании искомой контролируемой величины известной. При этом результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Этот метод используется в приборах контроля технологических параметров сахарного, масло-жирового, хлебопекарного и других производств пищевой промышленности.

Косвенными измерениями называются такие, при которых значение измеряемой величины определяют по результатам прямых измерений одной или нескольких величин, связанных с искомой величиной определенной зависимостью — формулой (например, измерение температуры при помощи измерения сопротивления металлического термометра, определение плотности однородного тела по его массе и геометрическим размерам). Косвенные измерения достаточно точны и широко применяются при контроле производственных процессов.

Совокупными измерениями называются такие, при которых числовые значения измеряемой величины определяются путем решения ряда уравнений, получаемых в результате прямых измерений одной или нескольких однородных величин (например, определение температурного коэффициента линейного расширения по результатам измерения длины при различных

температурах). Совокупные измерения применяются в лабораторной и исследовательской практике.

Средства измерения физических величин состоят из мер и измерительных приборов.

Мерой называется физическое тело, вещество или устройство, предназначенное для конкретного воспроизведения единицы измерений, либо ее кратного или дольного значения (например, гири, измерительные колбы, калибры, измерительные линейки, образцовые сопротивления). В качестве мер могут быть использованы некоторые вещества, обладающие характерными физическими свойствами (например, постоянством температуры плавления, кипения). Однако с помощью мер можно измерять лишь незначительное число величин. Большинство же измерений выполняют измерительными приборами.

Прибором называется средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Любой прибор при централизованном контроле состоит из первичного преобразователя, канала связи и вторичного прибора.

Первичный преобразователь — первый в измерительной цепи — преобразует измерительную величину в выходной сигнал, удобный для передачи по каналу связи. Неотъемлемой частью преобразователя является чувствительный элемент, непосредственно воспринимающий контролируемый параметр и преобразующий его в первичный сигнал (например, чувствительным элементом манометрического термометра является упругая трубчатая пружина, заполненная газом. Давление этого газа, изменяющееся при изменении температуры, преобразуется упругим элементом в перемещение — естественный выходной сигнал). Величина, которую первичный преобразователь воспринимает и контролирует, называется входной, или входным сигналом (например, давление, подводимое к манометру и измеряемое им); величина, измеренная на выходе первичного преобразователя, называется выходной, или выходным сигналом (например, показание манометра, отсчитываемое по шкале). Прибор может иметь один или несколько измерительных преобразователей (ИП). Прибор с унифицированным выходным сигналом состоит из первичного ИП и вторичного ИП, преобразующего естественную выходную величину (перемещение, напряжение) первичного ИП в унифицированный сигнал. Обычно на выходе первичного ИП мощность выходного сигнала недостаточна для преобразования его в унифицированный сигнал, поэтому вторичный ИП комплектуется усилительными элементами.

Канал связи, представляющий собой комплекс технических средств, предназначен для передачи сигнала от первичного преобразователя ко вторичному прибору и выполняется в виде трубки для передачи пневматического и гидравлического сиг-

налов или провода для передачи электрического сигнала. Каналы связи оказывают существенное влияние на качество работы приборов: большая длина пневматических трубок увеличивает запаздывание показаний прибора; сопротивление проводов, соединяющих термометр сопротивления с прибором, влияет на результат измерения, занижая его.

Вторичный прибор — устройство, воспринимающее сигнал от первичного преобразователя и преобразующее его в форму, удобную для установления результата измерения (показания стрелки на шкале, записи на диаграмме).

1.2. Классификация контрольно-измерительных приборов

Контрольно-измерительные приборы можно классифицировать по следующим основным признакам: по роду измеряемой величины, способу получения информации, метрологическому назначению, расположению.

По роду измеряемой величины различают приборы для измерения температуры, давления, количества и расхода, уровня, состава, состояния вещества.

По способу получения информации приборы подразделяются на показывающие, регистрирующие, сигнализирующие, компарирующие, регулирующие.

Показывающие приборы дают возможность наблюдателю получать значение измеряемой величины в момент измерения на отсчетном устройстве (шкале с цифровым указателем, пере с диаграммой). Значительное распространение получили шкаловые отсчетные устройства, основными элементами которых являются шкала и указатель. На шкалу наносятся вдоль прямой линии или по дуге окружности отметки с цифрами, соответствующими значениям измеряемой величины. Отметка наименьшего значения величины является началом шкалы, наибольшего — концом шкалы. Разность между началом и концом называется диапазоном шкалы. Расстояние между двумя отметками называется делением шкалы, а значение одного деления — ценой. Шкалы, у которых длина и цена деления не изменяются на всем диапазоне, называются равномерными, а шкалы с различными длиной и ценой делений — неравномерными.

Шкалы делятся на одно- и двусторонние. В первых нулевая отметка совпадает с началом или концом шкалы, во вторых отметки расположены по обе стороны от нуля.

Наряду со шкаловыми отсчетными устройствами применяются цифровые отсчетные устройства, позволяющие получать результат измерений в виде числового значения измеряемой величины. Они значительно снижают количество грубых ошибок при считывании и ускоряют отсчет показаний приборов.

Показывающие приборы составляют наиболее многочисленную группу приборов, получивших широкое распространение в технологических измерениях параметров процессов пищевых производств.

Регистрирующие приборы служат для автоматической записи результатов измерения на специальной бумажной ленте или диске (диаграммах). Запись на диаграмме производится пером в виде непрерывной линии или периодически печатающим механизмом и показывает изменение контролируемой величины во времени. По записи показаний можно провести последующий анализ результатов измерений за некоторый промежуток времени. Они позволяют контролировать работу персонала, управляющего технологическими процессами, помогают производить настройку регуляторов.

Регистрирующие приборы имеют особо важное значение для таких измерений, где необходимо знать изменение контролируемого параметра в течение всего процесса, например температуру теплоносителя при дистилляции.

Сигнализирующие приборы имеют специальные устройства для включения звуковой или световой сигнализации, когда измеряемая величина достигает значения, вызывающего нарушение заданных технологических параметров.

Суммирующие приборы показывают суммарное значение величины за весь промежуток времени. В этих приборах счетчики встраиваются в один корпус с показывающим или самопишущим прибором и имеют с ним одну общую измерительную систему.

Компарирующие приборы служат для сравнения измеряемой величины с соответствующими мерами. Примером могут служить рычажные весы с гириями.

Регулирующие приборы снабжены устройствами для автоматического регулирования по значениям измеряемой величины.

По метрологическому назначению приборы делятся на рабочие, образцовые и эталонные.

Рабочие приборы подразделяются на технические и лабораторные. Первые предназначены для практических целей измерения, при этом определенная их точность гарантируется заводом-изготовителем. Поправки в их показания обычно не вносятся. Лабораторные отличаются большей точностью, так как в них учитываются ошибки измерения. Они более совершенны по конструкции. Лабораторные приборы используются для поверки технических приборов и контроля продукции.

Образцовые приборы служат для проверки рабочих приборов.

Эталонные приборы предназначены для воспроизведения единицы измерения с наивысшей достижимой точностью.

По расположению различают приборы местные и дистанционные.

Местные приборы устанавливаются непосредственно на объекте или вблизи него (например, стеклянные термометры, ареометры).

Дистанционные приборы служат для передачи измеряемого параметра на расстояние. Они состоят из первичного и вторичного приборов.

1.3 Основные характеристики контрольно-измерительных приборов

Для оценки рационального использования приборов важно знать их характеристики и качественные показатели: погрешность (класс точности), вариацию, чувствительность, инерционность, надежность.

Любое измерение неизбежно сопровождается некоторыми ошибками. Ошибки, возникающие при измерениях, называются погрешностью. Они обусловлены несовершенством методов и средств измерения. Различают абсолютную, относительную и относительную приведенную погрешности.

Абсолютной погрешностью a измерительного прибора называется разность между показанием этого прибора и действительным значением, найденным по образцовым приборам: $a = Q - Q_0$, где Q — отсчитанное значение измеряемой величины; Q_0 — действительное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность b — это отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины: $b = (a : Q_0) 100 \%$.

Относительной приведенной погрешностью b' называется отношение абсолютной погрешности к разности верхнего $Q_{\max}$ и нижнего $Q_{\min}$ пределов шкалы прибора, выраженное в %: $b' = [a : (Q_{\max} - Q_{\min})] 100 \%$.

В зависимости от характера погрешности делятся на систематические, промахи и случайные.

Систематическими называются такие погрешности, которые изменяются по определенному закону. Появление систематических погрешностей вызывают свойство и состояние применяемого прибора, способы его установки, условия работы измерительного устройства, метод измерения, индивидуальные особенности наблюдателя.

Систематические погрешности выражаются в виде разности результатов измерения рабочим и образцовым прибором. Эти разности, взятые с обратным знаком, составляют таблицу поправок к показаниям прибора.

Промаями называются погрешности, резко искажающие результат измерения. Они возникают при неправильном отсчете по шкале, неправильном включении прибора, неправильной за-

Показывающие приборы составляют наиболее многочисленную группу приборов, получивших широкое распространение в технологических измерениях параметров процессов пищевых производств.

Регистрирующие приборы служат для автоматической записи результатов измерения на специальной бумажной ленте или диске (диаграммах). Запись на диаграмме производится пером в виде непрерывной линии или периодически печатающим механизмом и показывает изменение контролируемой величины во времени. По записи показаний можно провести последующий анализ результатов измерений за некоторый промежуток времени. Они позволяют контролировать работу персонала, управляющего технологическими процессами, помогают производить настройку регуляторов.

Регистрирующие приборы имеют особо важное значение для таких измерений, где необходимо знать изменение контролируемого параметра в течение всего процесса, например температуру теплоносителя при дистилляции.

Сигнализирующие приборы имеют специальные устройства для включения звуковой или световой сигнализации, когда измеряемая величина достигает значения, вызывающего нарушение заданных технологических параметров.

Суммирующие приборы показывают суммарное значение величины за весь промежуток времени. В этих приборах счетчики встраиваются в один корпус с показывающим или самопишущим прибором и имеют с ним одну общую измерительную систему.

Компарирующие приборы служат для сравнения измеряемой величины с соответствующими мерами. Примером могут служить рычажные весы с гирями.

Регулирующие приборы снабжены устройствами для автоматического регулирования по значениям измеряемой величины.

По метрологическому назначению приборы делятся на рабочие, образцовые и эталонные.

Рабочие приборы подразделяются на технические и лабораторные. Первые предназначены для практических целей измерения, при этом определенная их точность гарантируется заводом-изготовителем. Поправки в их показания обычно не вносятся. Лабораторные отличаются большей точностью, так как в них учитываются ошибки измерения. Они более совершенны по конструкции. Лабораторные приборы используются для поверки технических приборов и контроля продукции.

Образцовые приборы служат для поверки рабочих приборов.

Эталонные приборы предназначены для воспроизведения единицы измерения с наивысшей достижимой точностью.

По расположению различают приборы местные и дистанционные.

Местные приборы устанавливаются непосредственно на объекте или вблизи него (например, стеклянные термометры, ареометры).

Дистанционные приборы служат для передачи измеряемого параметра на расстояние. Они состоят из первичного и вторичного приборов.

1.3 Основные характеристики контрольно-измерительных приборов

Для оценки рационального использования приборов важно знать их характеристики и качественные показатели: погрешность (класс точности), вариацию, чувствительность, инерционность, надежность.

Любое измерение неизбежно сопровождается некоторыми ошибками. Ошибки, возникающие при измерениях, называются погрешностью. Они обусловлены несовершенством методов и средств измерения. Различают абсолютную, относительную и относительную приведенную погрешности.

Абсолютной погрешностью a измерительного прибора называется разность между показанием этого прибора и действительным значением, найденным по образцовым приборам: $a = Q - Q_0$, где Q — отсчитанное значение измеряемой величины; Q_0 — действительное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность b — это отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины: $b = (a : Q_0) 100 \%$.

Относительной приведенной погрешностью b' называется отношение абсолютной погрешности к разности верхнего $Q_{\max}$ и нижнего $Q_{\min}$ пределов шкалы прибора, выраженное в %: $b' = [a : (Q_{\max} - Q_{\min})] 100 \%$.

В зависимости от характера погрешности делятся на систематические, промахи и случайные.

Систематическими называются такие погрешности, которые изменяются по определенному закону. Появление систематических погрешностей вызывают свойства и состояние применяемого прибора, способы его установки, условия работы измерительного устройства, метод измерения, индивидуальные особенности наблюдателя.

Систематические погрешности выражаются в виде разности результатов измерения рабочим и образцовым прибором. Эти разности, взятые с обратным знаком, составляют таблицу поправок к показаниям прибора.

Промахи называются погрешности, резко искажающие результат измерения. Они возникают при неправильном отсчете по шкале, неправильном включении прибора, неправильной за-

ные операции осуществляются при помощи образцовых и эталонных мер и приборов.

Основными операциями контроля приборов являются испытание, градуировка и поверка.

При испытании вновь разработанные и предназначенные для производства меры и приборы проходят всестороннюю проверку для установления целесообразности их производства.

Градуировкой называется операция, при помощи которой деления шкалы прибора придают значения, выраженные в единицах измерения. Эта операция осуществляется приборами более высокой точности. По нескольким точкам значений измеряемой величины строят градуировочные кривые, на основании которых на шкалу наносят значения, соответствующие определенным отметкам шкалы. Градуировка производится при изготовлении приборов или при изменении условий их применения.

Поверкой называется сравнение показаний поверяемых приборов с показаниями образцовых для определения их погрешности. При поверке, кроме определения погрешностей, проводят внешний осмотр и опробование приборов, определяют сопротивление электрической изоляции, качество записи показаний, скорость передвижения диаграммной ленты. Все рабочие приборы поверяют в лаборатории не реже одного раза в два года. Кроме того, приборы поверяются на месте установки: наиболее ответственные — один раз в смену или сутки, все другие — от одного раза в неделю до одного раза в три месяца. Поверка на месте часто сводится к определению погрешности показаний прибора на рабочей точке шкалы и правильности возврата стрелки к нулевой точке.

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

Большая разнотипность измерительных приборов и средств автоматизации затрудняет их эксплуатацию и ремонт. В целях рационального использования средств измерения проводятся работы по объединению отдельных систем приборов в рамках Государственной системы приборов (ГСП).

ГСП представляет собой совокупность приборов и средств автоматизации, предназначенных для получения, обработки и использования информации. ГСП включает ряд унифицированных блоков и устройств, имеющих единые параметры входных и выходных сигналов, нормализованные габаритные и присоединительные размеры.

Переход к разработке систем приборов, объединенных одним принципом действия, позволяет получать большое число разнообразных измерительных устройств из небольшого количества типовых блоков. Кроме того, значительно повышаются на-

дежность и стабильность измерительных приборов, упрощается их эксплуатация.

По роду вспомогательной энергии сигналов, а также виду сигналов приборы и средства автоматизации делятся на 5 групп, которые называются ветвями: электрическую аналоговую, электрическую дискретную, пневматическую, гидравлическую, приборов и устройств без источников вспомогательной энергии.

Электрическая аналоговая ветвь является системой, в которой энергетическим сигналом информации служит непрерывный электрический сигнал. Система состоит из устройств для получения информации (преобразователей), приборов и устройств для преобразования, хранения и обработки информации, называемых центральной частью ветви. В центральной части значительное место занимают вторичные приборы: индикаторные, показывающие и регистрирующие, интеграторы, приборы системы «по вызову». Пределы изменения токовых сигналов постоянного тока выбираются из ряда значений 0—10 мВ. При использовании переменного тока изменение сигнала выбирается в пределах 0—1 и 0—2 В.

Электрическая дискретная (цифровая) ветвь является системой, в которой энергетическим носителем информации служит электрический дискретный сигнал в виде постоянного тока или направления. Дискретная ветвь состоит из различных приборов и средств автоматизации: преобразователей, блоков и устройств централизованного контроля; устройств представления информации; цифровых вычислительных устройств. Использование основных блоков этой ветви позволяет обрабатывать результаты измерений для непосредственного воздействия на объект управления. Устройства цифровой техники дают возможность решать ряд задач управления, которые не могут быть осуществлены в аналоговой ветви. Кроме того, цифровые устройства превосходят другие по надежности и простоте эксплуатации. Параметры сигналов унифицированы. Так, частотные диапазоны находятся в пределах 1500—2500 Гц.

Пневматическая ветвь является системой, в которой энергетическим носителем информации служит пневматический сигнал (давление сжатого воздуха). Благодаря высокой надежности пневматической аппаратуры, простоте обслуживания, невысокой стоимости, пожаро- и взрывобезопасности приборы этой ветви получили широкое распространение в пищевой промышленности. Они строятся из унифицированных универсальных пневмоэлементов.

Рабочий диапазон изменения входных и выходных пневматических сигналов находится в пределах 19,6—98 кПа. Номинальное давление питания 140 кПа.

Гидравлическая ветвь представляет собой систему, в которой энергетическим носителем информации является гидравлический сигнал. В этой ветви мало приборов и устройств для при-

ема и выдачи информации в каналы связи, а также для преобразования, хранения и обработки информации. Основным преобразователем и усилительным элементом служит струйный усилитель, преобразующий кинетическую энергию струи жидкости в потенциальную, которая используется в последующих усилителях.

Применение гидравлических регуляторов ограничено спецификой вида энергоносителя сигналов (например, масло не применяется на пожаро- и взрывоопасных производствах). Устройства гидравлической ветви применяются там, где требуются значительные перестановочные усилия для перемещения регулирующих органов при плавности их хода и высокой чувствительности. Давление рабочей жидкости лежит в пределах 1—6,4 МПа.

Ветвь приборов и устройств, работающих без источников вспомогательной энергии, является системой, использующей для работы энергию той среды, параметры которой она измеряет и регулирует. Например, для измерения давления часто применяют трубчатые манометры, которые устанавливаются непосредственно на аппаратах. При изменении давления в аппарате трубка в манометре начинает изгибаться, механически связанная с трубкой стрелка манометра отклоняется и показывает действительное давление в аппарате. Структура ветви охватывает регуляторы температуры, давления, расхода, уровня и др.

По функциональным признакам каждая ветвь ГСП подразделяется на устройства, предназначенные для получения информации о состоянии процесса (преобразователи); для приема и выдачи информации в каналы связи; для преобразования, хранения и обработки информации; для использования информации в целях воздействия на процесс и связи с оператором; для одновременного выполнения нескольких из перечисленных функций.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается процесс измерения физических величин?
2. Как построена Международная система единиц (СИ)? Какие преимущества она имеет перед другими системами единиц?
3. Какие технические средства применяются при измерениях?
4. По каким основным признакам классифицируются измерительные приборы?
5. Что такое погрешность измерения и каковы ее разновидности?
6. Что называется классом точности прибора?
7. Какие технические характеристики применяются для оценки возможностей прибора?
8. Что представляет собой ГСП и каковы ее преимущества перед другими системами?
9. По каким признакам и на какие ветви делятся в ГСП приборы и средства автоматизации?

2.1. Основные понятия

Дистанционной системой передачи информации называется устройство, передающее информацию на расстояние (дистанцию) в пределах производственного комплекса. **Информацией** в системах управления и регулирования производственными процессами называют сведения о характеристиках и состоянии процессов, выраженные посредством сигналов и символов. Для того чтобы сигнал, полученный от объекта управления или контроля, стал доступен восприятию наблюдателя, его передают на контрольно-измерительные приборы, смонтированные на специальных щитах, с помощью дистанционных систем, состоящих из следующих основных элементов:

преобразователя, находящегося под воздействием измеряемой величины (воздействие может осуществляться от чувствительного элемента средства измерения, находящегося во взаимодействии с измеряемой средой, либо от промежуточного преобразователя, занимающего определенное место в цепи передачи);

линий связи, по которым передаются сигналы измерительной информации, вырабатываемые преобразователем;

измерительного устройства, предназначенного для получения сигнала измерительной информации в форме, удобной для восприятия наблюдателем или для дальнейшего использования.

При необходимости изменения физического вида сигналов, их усиления и модуляции (преобразования входного постоянного напряжения в переменное) в систему дистанционной передачи могут быть включены дополнительные, промежуточные преобразователи.

Кроме того, в практике широко используются преобразователи, обеспечивающие связь между различными ветвями ГСП, а также преобразователи сигналов, предназначенные для приведения естественных сигналов к унифицированному виду.

При передаче информации на большие расстояния применяются электрические телемеханические устройства, работа которых основана на их способности находить в большом количестве сигналов, посылаемых по одной линии связи, сигнал определенного вида.

2.2. Преобразователи сигналов дистанционных систем передачи информации

Преобразователи систем дистанционной передачи информации могут быть с естественными и унифицированными сигналами.

Преобразователи с естественными сигналами. Под естественным выходным сигналом понимается такая физическая величина, в которую наиболее рационально и просто преобразуется величина, измеряемая в первичном измерительном преобразователе, например: электрическая — напряжение, ток, сопротивление, частота или неэлектрическая — давление, перемещение, усилие, угол поворота. В качестве примера системы и преобразователя с естественным сигналом может служить термоэлектрический термометр в комплекте с милливольтметром, схема прямого измерения термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС) которого приведена на рис. 2-1. Схема включает термоэлектрический преобразователь (T), термоэлектродные (компенсационные) провода ($ТП$), термостатирующее устройство ($ТС$), соединительные провода ($СП$), уравнительное сопротивление R_y , добавочное сопротивление R_d и милливольтметр ($мВ$). При нагревании места соединения (горячего спая $ГС$) электродов в нем возникает термо-ЭДС. Величина ее при постоянной температуре холодного спая (t_0) однозначно зависит от



Рис. 2-1. Схема прямого измерения термо-ЭДС

температуры нагрева, являющейся температурой контролируемой среды. Здесь термоэлектрический преобразователь (T) выполняет роль первичного преобразователя, который преобразует температуру в электрический сигнал (термо-ЭДС), удобный для передачи на вторичный прибор ($мВ$), установленный на значительном расстоянии от объекта измерения.

Преобразователи с унифицированными сигналами. Эти приборы позволяют преобразовывать сигналы, получаемые в результате непрерывного измерения контролируемых параметров, в пропорциональные сигналы определенной величины постоянного тока, переменного тока, давления сжатого воздуха, называемые унифицированным сигналом. Применение преобразователей с унифицированными сигналами позволяет сократить число видов вторичных приборов, обеспечить их взаимозаменяемость и расширить применение машин централизованного контроля.

Наибольшее распространение в пищевой промышленности получили электросиловые, частотно-силовые и пневматические унифицированные преобразователи, использующие принцип силовой компенсации. Унифицированные преобразователи обычно состоят из двух основных элементов: измерительного блока, преобразующего значение измеряемого параметра в механическое усилие, и силового устройства, преобразующего это усилие в стандартный выходной сигнал.

Унифицированный электросиловой преобразователь. Действие преобразователя основано на электрической силовой компенсации усилий. В измерительном блоке (рис. 2-2) измеряемый параметр воздействует на чувствительный элемент (сильфон, поплавок) и преобразуется в механическое усилие P . Если такое усилие изменяется, то происходит перемещение рычажной системы 1 и связанного с ней управляющего флажка 2 индикатора рассогласования 3. Это перемещение индикатора преобразуется в управляющий сигнал (напряжение переменного тока), поступающий на вход усилителя 4. Выходной сигнал постоянного тока с усилителя направляется в линию дистанционной передачи и обмотку рамки 5 магнито-

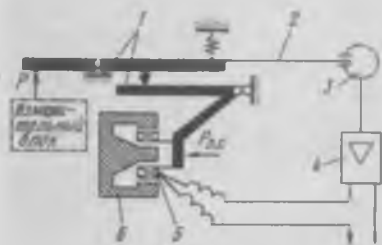


Рис. 2-2. Схема унифицированного электросилового преобразователя

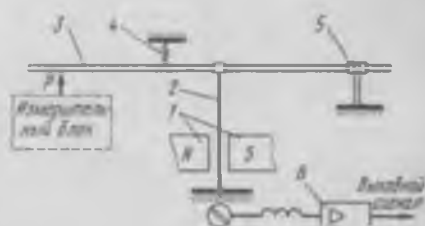


Рис. 2-3. Схема унифицированного частотно-силового преобразователя

электрического силового преобразователя 6, где преобразуется в пропорциональное усилие обратной связи $P_{о.с.}$, которое через рычажную систему 1 уравнивает усилие P . Мерой измеряемого усилия P является текущее значение величины постоянного тока (величины выходного сигнала преобразователя), создающего уравнивающее усилие $P_{о.с.}$. Выходной унифицированный сигнал постоянного тока изменяется в пределах 0—100 и 0—20 мА. Сигнал 0—5 мА обеспечивается применением дополнительного преобразователя. Вторичными приборами, подключаемыми к преобразователю, являются миллиамперметры: показывающие, самопишущие, сигнализирующие, проградуированные в соответствующих единицах.

Унифицированный частотно-силовой преобразователь. Действие преобразователя основано на преобразовании механического усилия в частоту собственных поперечных колебаний струнного элемента. Преобразователь состоит из изолированной струны 2 (рис. 2-3), расположенной между полюсными наконечниками 1 постоянного магнита. Струна одним концом жестко закреплена, а другим связана с рычагом 3, установленным в опоре 5 и соединенным с пружиной 4. Измеряемый параметр в измерительном блоке преобразуется в механическое усилие P , под действием которого происходит незначи-

тельная деформация упругого рычага 3 и струны 2. При этом меняется частота собственных поперечных колебаний струны. В результате взаимодействия протекающего по струне переменного тока с магнитным полем колебания струны преобразуются в изменение частоты электрического тока. Мерой измеряемого усилия P является текущее значение частоты переменного тока выходного сигнала усилителя 6. Пределы измерения выходного сигнала 1500—2500 Гц. Точное начальное значение сигнала устанавливается пружиной 4. Сигнал может передаваться на расстояние до 10 км. Частотно-силовые преобразова-



Рис. 2-4. Схема унифицированного пневматического преобразователя

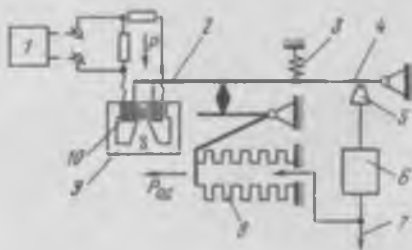


Рис. 2-5. Схема электропневматического преобразователя

тели применяются для измерения (при малых перемещениях) массы, давления, разрежения, уровня, температуры.

Унифицированный пневматический преобразователь. Действие преобразователя основано на пневматической силовой компенсации усилий. Чувствительный элемент (например, мембрана манометра) измерительного блока (рис. 2-4) преобразует измеряемый параметр в пропорциональное усилие P , под действием которого происходит незначительное перемещение рычажной системы 1 и связанной с ней заслонки 2. Сжатый воздух непрерывно поступает в сопло 3 и выходит в атмосферу. Перемещение заслонки относительно сопла вызывает изменение давления пневматического сигнала на входе усилителя 4. Выходной сигнал усилителя направляется в линию дистанционной передачи и одновременно в линию обратной связи пневматического преобразователя 5, где преобразуется в пропорциональное усилие обратной связи $P_{\text{о.с.}}$, уравновешивающее через рычажную систему 1 измеряемое усилие P . Таким образом, давление сигнала сжатого воздуха на выходе усилителя является мерой контроля технологического параметра. Пределы измерения выходного сигнала 19,6—98 кПа. Максимальное расстояние передачи пневматического сигнала 300 м.

Вторичными приборами, измеряющими унифицированный пневматический сигнал, могут быть различные показывающие, самопишущие, сигнализирующие приборы и установки централизованного контроля и регулирования.

Преобразователи для связи между ветвями ГСП. В технике автоматизации часто приходится создавать комбинированные системы, использующие энергию различных видов. В связи с этим необходимо наличие преобразователей сигналов одного рода энергии в сигналы другого рода, например электропневматических, пневмоэлектрических, электрогидравлических и др.

Электропневматический преобразователь. Для преобразования токового сигнала в унифицированное давление служат электропневматические преобразователи. Схема одного из них приведена на рис. 2-5. Входной сигнал подается из первичного измерительного преобразователя 1 в катушку 10 магнитного электрического преобразователя, соединенную с рычагом 2. При изменении тока в катушке за счет его взаимодействия с магнитным полем постоянного магнита 9 рычаг 2, соединенный с пружиной 3, будет перемещаться с заслонкой 4 относительно сопла 5. В результате изменится давление сжатого воздуха на выходе пневматического усилителя 6. Усиленный пневматический сигнал направляется в линию дистанционной передачи 7 и одновременно в сильфон обратной связи 8, где преобразуется в пропорциональное усилие обратной связи $P_{о.с.}$, которое противодействует дальнейшему перемещению заслонки до момента полного уравнивания рычажной системы 2. Вследствие этого давление сжатого воздуха, преобразованное в усилие $P_{о.с.}$, становится пропорциональным унифицированным пневматическим сигналом.

Пневмоэлектрический преобразователь. В качестве примера такого прибора может служить преобразователь типа ПЭ-55М, преобразующий пневматический сигнал давления сжатого воздуха 19,6—98 кПа в пропорциональный электрический сигнал постоянного тока 0—5 мА. Сила, возникающая на сильфоне от давления сжатого воздуха входного сигнала, уравнивается воздействием деформации сильфона и измерительной пружины.

Перемещение дна сильфона преобразуется в угол поворота управляющей оси универсального электронного механического преобразователя, предназначенного для непрерывного бесконтактного преобразования угла поворота в пропорциональный электрический сигнал постоянного тока.

2.3. Виды систем дистанционной передачи информации

Системы дистанционной передачи информации по виду энергии можно подразделить на пневматические и электрические. Электрические системы в свою очередь подразделяются на диф-

ференциально-трансформаторные, ферродинамические, сельсинные и омические.

Пневматические дистанционные передачи. Одна из таких передач показана на рис. 2-6. Она состоит из первичного прибора *I*, включающего устройство для получения пневматического выходного сигнала, канала связи *III* и вторичного прибора *II*. Первичными приборами могут быть манометр, вакуумметр, мановакуумметр и др.

Изменение измеряемого давления, поступающего во внутреннюю полость трубчатой пружины *1*, вызывает перемещение ее

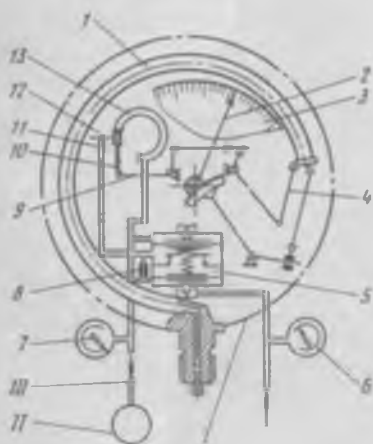


Рис. 2-6. Схема пневматической дистанционной передачи

свободного конца, которое преобразуется посредством передаточного механизма в движение стрелки *2* относительно шкалы *3*. Одновременно перемещение конца трубчатой пружины передается на заслонку *12* пневмопреобразователя посредством тяги *4*, рычажного механизма *9* и цилиндрической пружины *10*. Заслонка перемещается относительно сопла *11*. Питающий воздух под давлением 140 кПа, контролируемым манометром *6*, направляется в пневмореле *5*, где давление его понижается, и через дроссель *8* попадает в линию сопла.

При этом под действием давления, поступающего во внутреннюю полость трубчатой пружины *13* обратной связи, пружина деформируется, отводя заслонку *12* от сопла на расстояние, обеспечивающее давление воздуха в системе, пропорциональное измеряемому параметру. Такое давление, контролируемое манометром *7*, является выходным сигналом, поступающим по каналу связи во вторичный прибор или приборы системы автоматического регулирования. При изменении измеряемой величины выходной сигнал изменяется в пределах 19,6—98 кПа.

Электрические дистанционные передачи. Они обеспечивают передачу команд и измерительной информации на большие расстояния при малом запаздывании.

Дифференциально-трансформаторная система передачи. Действие системы основано на принципе компенсации разности трансформируемых напряжений в катушках преобразователя и вторичного прибора. Система состоит из двух одинаковых катушек *ТК*, одна из которых находится в первичном преобразователе *ПП* (рис. 2-7), а другая — во вторичном приборе *ВП*. Каждая катушка имеет две обмотки. Пер-

вичная обмотка W_1 равномерно намотана по всей длине катушки, а вторичная W_2 разделена на две равные секции, каждая из которых расположена на половине первичной обмотки. Внутри катушек находятся сердечники C . Если по первичным обмоткам катушек, включенным последовательно, проходит переменный ток, то во вторичных обмотках, включенных навстречу одна другой, индуктируются переменные напряжения, величина и фаза которых зависят от положения сердечников C в катушках TK . При среднем положении сердечников в обеих катушках напряжения на вторичных обмотках равны между собой. При изменении измеряемого технологического параметра

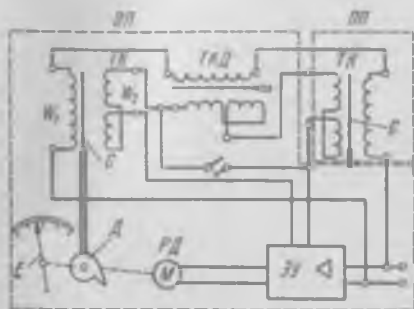


Рис. 2-7. Схема дифференциально-трансформаторной системы передачи

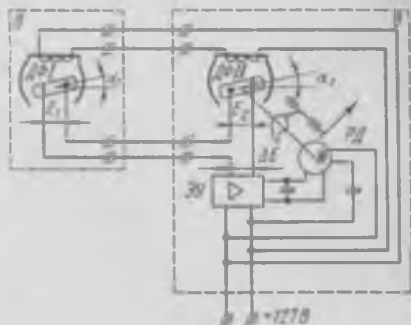


Рис. 2-8. Схема дистанционной передачи на ферродинамических преобразователях

сердечник преобразователя $ПП$, связанный с чувствительным элементом (мембраной, сильфоном) прибора, переместится. Сердечники C в катушках окажутся в разных положениях, и во вторичных обмотках преобразователя и вторичного прибора возникнет разность потенциалов, поступающая на вход электронного усилителя $ЭУ$. В усилителе эта разность потенциалов усиливается до величины, необходимой для управления двигателем $РД$, который с помощью профилированного диска $Д$ перемещает сердечник дифференциального трансформатора вторичного прибора в положение, соответствующее положению сердечника в катушке первичного прибора. В этот момент результирующая разности потенциалов вторичных обмоток будет снова равна нулю и реверсивный двигатель остановится. Следовательно, каждому положению сердечника преобразователя, определяемому величиной измеряемого параметра, соответствует определенное положение сердечника катушки вторичного прибора.

Реверсивный двигатель связан со стрелкой E или записывающим устройством вторичного прибора, которые фиксируют значение контролируемого параметра. В качестве вторичных

приборов могут применяться показывающие, самопишущие и регулирующие электронные приборы типов КД-140, КВД1, КСД1, КСД2, КСД3, но наиболее распространен прибор типа КСД, работающий с любыми приборами, имеющими катушки дифференциально-трансформаторной системы. В настоящее время эта система является одной из наиболее распространенных в схемах тепловой автоматики различных отраслей пищевой промышленности, например при контроле расхода пара на распределительном коллекторе. Дифференциально-трансформаторная система используется для передачи малых и средних линейных перемещений (1—25 мм) чувствительных элементов (мембран, сильфонов, поплавков), но наилучшие результаты получаются при перемещениях 2—7 мм.

Ферродинамическая система передачи. Действие системы основано на преобразовании угловых перемещений преобразователей типа 2ИУФ (однофазные трансформаторы с подвижной обмоткой) в пропорциональные значения ЭДС переменного тока. Система состоит из выходного преобразователя $ДФI$ (рис. 2-8) первичного измерительного прибора $П$, компенсирующего преобразователя $ДФII$ вторичного прибора $В$, электронного усилителя $ЭУ$ и реверсивного двигателя $РД$. Рамка преобразователя $ДФI$ связана кинематически с измерительной системой (чувствительным элементом) первичного прибора, поэтому угол поворота рамки α_1 преобразователя и развиваемая им ЭДС E_1 определяются значением измеряемой величины.

Рамка преобразователя вторичного прибора механически связана с реверсивным двигателем, поворачивающим ее на угол α_2 , при котором преобразователь вторичного прибора развивает ЭДС E_2 .

Рамки $ДФI$ и $ДФII$ соединены так, что развиваемые ими ЭДС направлены встречно. При $\Delta E = E_1 - E_2 = 0$ система находится в равновесии. Если величина контролируемого параметра изменяется, то изменяются угол α_1 и ЭДС E_1 . Равновесие системы нарушается, и на вход электронного усилителя подается разность ЭДС (ΔE). Напряжение с выхода электронного усилителя поступает на реверсивный двигатель, поворачивающий рамку $ДФII$ до момента, когда $\Delta E = E_1 - E_2 = 0$. Одновременно двигатель поворачивает стрелку вторичного прибора, непрерывно показывающего значение контролируемой величины. Обмотки возбуждения преобразователей $ДФI$ и $ДФII$ включены последовательно, благодаря чему устраняется погрешность, вызываемая изменением напряжения питающей сети и влиянием сопротивления линии связи. Вторичными приборами этой системы служат показывающие, самопишущие и регулирующие типы ВФС.

Сельсинная система передачи. Рассмотренные системы передачи показаний могут передавать небольшие линей-

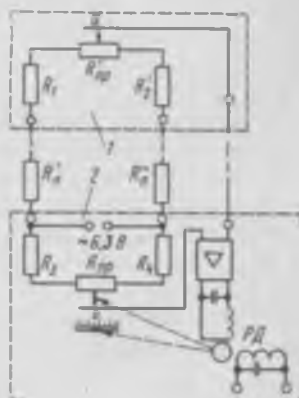
ные (до 20 мм) и угловые (до 40°) перемещения чувствительных элементов преобразователей. Для значительных линейных и угловых перемещений применяют сельсинную систему передачи, преобразователем которой служит сельсин.

Сельсинная система (рис. 2-9) состоит из сельсина-преобразователя (ведущего) 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 *ОВ*) подключается к сети переменного тока, а концы другой (трехфазной — об-



Рис. 2-9. Схема дистанционной передачи с сельсинами

Рис. 2-10. Схема дистанционной передачи с реостатными преобразователями



мотки 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.

Омическая система передачи. Одной из распространенных дистанционных передач является омическая (реостатная), в которой сигналы, получаемые при перемещении чувствительных элементов, преобразуются с помощью реостатов в сигналы электрического напряжения или силы тока, передаваемые в линию дистанционной передачи. Переменным параметром является активное проволочное или непроволочное сопротивление, распределенное линейно или по некоторому закону по пути перемещения движка реостатного преобразователя или потенциометра.

В качестве вторичных приборов при использовании реостатных преобразователей применяются вольтметры, милливольтметры, миллиамперметры постоянного и переменного тока, логометры, автоматические потенциометры и мосты.

На рис. 2-10 приведена принципиальная мостовая схема дистанционной передачи с использованием двух реостатных преобразователей, один из которых, установленный во вторичном приборе 1, является передающим, а второй, установленный в дублирующем приборе 2, выполняет функции следящего. Преобразователи с постоянными резисторами R_1 , R_2 , R_3 и R_4 составляют схему автоматического уравновешенного моста. Подгонка сопротивлений соединительных проводов до заданного значения осуществляется при помощи резисторов R_n , R_m .

Если равновесие мостовой схемы нарушается, перемещением движка реостатного преобразователя на вход усилителя подается напряжение небаланса с вершин a и b . Этот сигнал усиливается до значения, необходимого для приведения в действие реверсивного двигателя РД. При достижении равновесия мостовой схемы вал реверсивного двигателя, кинематически связанный с движком реостатного преобразователя и кареткой указателя, останавливается. При этом движок и каретка с указательной стрелкой занимают положение, соответствующее измеряемой величине, т. е. показанию вторичного прибора.

Достоинством рассмотренной схемы дистанционной передачи является высокая точность и независимость показаний от изменения напряжения питания, которое может осуществляться как переменным, так и постоянным током.

2.4. Телемеханические системы передачи информации

Дистанционные системы передачи, описанные выше, экономически оправдывают себя при радиусе действия несколько сот метров. При более значительных расстояниях используют дистанционные передачи в виде телемеханических систем, сущность которых заключается в том, что по каналу связи передается не сама измеряемая величина, а преобразованная, более удобная для передачи на большие расстояния, — телемеханический сигнал. Различают телемеханические системы ближнего (15—30 км) и дальнего действия. В системах ближнего действия измеряемая величина преобразуется в эквивалентные значения тока или напряжения, используемые для передачи по линии связи. В системах дальнего действия измеряемая величина преобразуется в импульсы тока или в переменный ток меняющейся частоты. Поэтому они получили название импульсных и частотных.

Обобщенная структурная схема телемеханической системы приведена на рис. 2-11. Информация, передаваемая источником

с помощью преобразователя I, преобразуется в непрерывный или дискретный сигнал. Непрерывным называется сигнал, у которого параметр, несущий информацию, может принимать любое значение в некоторых заданных границах (например, первичный сигнал, представляющий собой синусоиду с частотой, которая в зависимости от передаваемой информации может принимать любое значение от 27 до 44 Гц).

Дискретным называется сигнал, у которого параметр, несущий информацию (амплитуда, фаза или частота), может принимать несколько заданных значений (например, первичный сигнал одного сигнального аварийно-предупредительного устройства, представляющий собой постоянный ток, амплитуда которого может принимать значение либо +1, либо -1).

Рис. 2-11. Структурная схема телемеханической системы



Для передачи телемеханических сигналов линии связи во многих случаях используются многократно. По ним осуществляется независимая передача сообщений от различных источников информации к соответствующим ее получателям. С помощью канала связи обеспечивается независимая передача телемеханических сигналов. На одной линии может быть образована группа каналов связи. В большинстве случаев для образования каналов связи на проводных линиях выделяют стандартные телефонные и телеграфные каналы, по которым передаются сигналы телемеханики.

На приемном конце линии связи преобразователь РП расшифровывает сигнал, который воспринимается получателем информации. При этом операции ввода или вывода информации в телемеханической системе частично или полностью автоматизированы. Например, в системах автоматического контроля ввод информации осуществляет преобразователь, а в системах управления командная информация воспринимается исполнительным органом, автоматически обрабатывающим посланную команду.

Устройства телемеханики подразделяются на системы телеизмерения (ТИ), телесигнализации (ТС), телеуправления (ТУ), телерегулирования (ТР), аварийно-предупредительной сигнализации (АПС).

Системы телеизмерения осуществляют передачу значений величин, характеризующих режим работы контролируемого объекта, для визуального наблюдения за этими величинами, регистрации их или ввода в ЭВМ.

Системы телесигнализации осуществляют передачу информации о состоянии контролируемых объектов.

Системы телеуправления предназначены для передачи команд управления, которые воспринимаются исполнительными механизмами управляемых установок. С помощью этой системы производится отключение оборудования, изменение нагрузок, вызов ТИ и другие управляющие воздействия.

Системы телерегулирования применяются для регулирования технологического процесса.

Наиболее часто применяются телемеханические системы телеизмерения, которые подразделяются на число-импульсные, частотно-импульсные и время-импульсные.

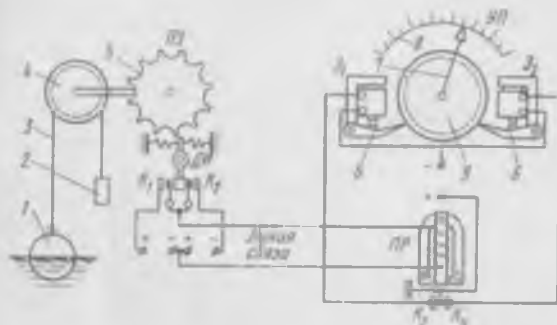


Рис. 2-12. Схема число-импульсной системы

Число-импульсная система является самой простой и наиболее распространенной. Она основана на передаче по линии связи числа импульсов постоянного тока, пропорционального изменению измеряемой величины, например уровня жидкости. На рис. 2-12 приведена схема системы, состоящая из передающего устройства ПУ, приемного устройства УП и линии связи. Перемещение поплавка 1, вызванное изменением уровня жидкости, с помощью противовеса 2 и троса 3 приводит во вращение блок 4 и связанное с ним через редуктор зубчатое колесо 5. При изменении уровня зубчатое колесо большее или меньшее число раз замыкает левые или правые контактные пары преобразователя импульсов ДИ. В результате в линию связи к обмотке якоря поляризованного реле ПР посылаются импульсы постоянного тока: положительные — при замыкании K_1 или отрицательные — при замыкании K_2 . При замыкании K_1 в приемном устройстве УП срабатывает поляризованное реле ПР, и контактная группа K_3 замыкает местную батарею на электромагнит $\mathcal{E}_1$. В случае замыкания контактов K_2 поляризованное реле контактной группой K_4 замыкает ту же батарею на электромагнит $\mathcal{E}_2$. Якорь притягивается электромагнитом, собачка 6, соединенная с концом якоря, передвигает храповик 9, и стрелка 7 измерительного прибора перемещается. Число импульсов, посылаемых ПУ в линию связи, пропорционально ве-

личине перемещения поплавка, вследствие чего угол отклонения стрелки всегда пропорционален измеряемому уровню. Поэтому шкала 8 прибора градуирована в единицах измерения уровня. К недостаткам системы относится ложная информация при обрыве или замыкании в канале связи, повреждении источников питания и контактных групп.

В частотно-импульсной системе сигналы передаются с частотой, пропорциональной изменению измеряемой величины. Частотно-импульсные системы первоначально получили развитие в энергетике в основном для телеизмерения мощности переменного тока. Для получения импульсов тока, следующих с частотой, пропорциональной измеряемой мощности, оказалось удобным применить индукционный счетчик электроэнергии. Такой счетчик, используемый в качестве преобразователя импульсов, снабжается токопрерывающим устройством, которое при повороте диска счетчика на определенный угол осуществляет замыкание или размыкание линейной связи. При этом в линию связи посылаются импульсы с частотой, пропорциональной измеряемой мощности. Приемное устройство измеряет частоту импульсов тока в канале связи и воспроизводит результат отклонением стрелки милливольтметра.

Во время импульсной системы в канал связи периодически посылаются импульсы продолжительностью, зависящей от измеряемой величины. В передающем устройстве продолжительность импульса зависит от угла отклонения стрелки первичного измерительного прибора (для этого применяется контактное устройство, приводимое в движение синхронным электродвигателем). На приемном устройстве устанавливается чувствительное электромагнитное реле, которое срабатывает от каждого импульса тока, поступающего от линии связи, и замыкает цепь электрической батареи на измерительный прибор. Прибор измеряет среднее значение тока.

2.5. Вторичные приборы

Вторичные приборы служат для преобразования сигналов, полученных от первичных приборов, и измерения их величины. Одновременно с измерением вторичные приборы могут осуществлять регистрацию измеренной величины, суммирование мгновенных значений, сигнализацию предельных значений и другие функции.

Типовыми системами вторичных приборов для измерения величин, преобразуемых в электрическое сопротивление и напряжение электрического тока, служат автоматические уравновешенные мосты и автоматические потенциометры.

Автоматические уравновешенные мосты широко применяются в различных отраслях пищевой промышленности. Эти приборы имеют одну измерительную схему (рис. 2-13), состоящую

из четырех сопротивлений R_1, R_2, R_3, R_4 , причем сопротивление R_4 переменное и изменяется пропорционально измеряемой величине. Для уравнивания моста в его схему включен реохорд R_p , движок которого связан с реверсивным двигателем $РД$. В диагональ питания ab включен источник питания U , в измерительную cd — электронный усилитель $ЭУ$. В результате изменения измеряемой величины сопротивление R_4 изменяется и равновесие моста нарушается, на вход усилителя подается напряжение небаланса. Вследствие этого включается реверсивный двигатель $РД$, который перемещает движок реохорда, пока не наступит равновесие моста. При этом каждому значению измеряемой величины соответствует определенное значение сопротивления R_4 . Поэтому положение движка реохорда при уравнивании моста всегда будет соответствовать определенному значению измеряемой величины, что позволяет градуировать шкалу прибора в единицах измеряемой величины. В схему уравновешенного автоматического моста входят также сопротивление $R_{ш}$ шунта реохорда, служащего для подгонки сопротивления R_p до заданного нормированного значения; сопротивления

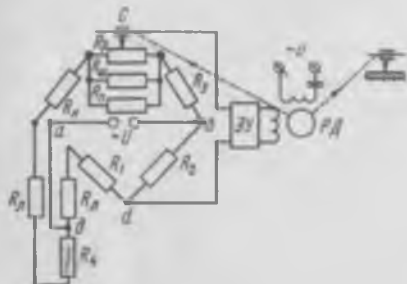


Рис. 2-13. Измерительная схема уравновешенного автоматического моста

R_n и R_n для подгонки предела измерения моста; сопротивления R_n для подгонки сопротивлений соединительных проводов. (Температура окружающей среды оказывает влияние на сопротивление соединительных проводов, что приводит к погрешностям при измерениях. Для исключения этого влияния применяют трехпроводную схему подключения преобразователя.)

Питание измерительной схемы уравновешенных мостов осуществляется переменным током напряжением 6,3 В, частотой 50 Гц от вторичной обмотки силового трансформатора усилителя.

Питание силовой цепи приборов производится от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц.

Автоматические потенциометры широко применяются в различных отраслях пищевой промышленности для измерения температуры, давления, расхода, уровня и других величин, изменение которых может быть преобразовано в изменение напряжения постоянного тока. Принцип действия этих приборов основан на уравнивании (компенсации) измеряемой ЭДС известным напряжением, полученным от строго определенного тока, называемого обычно рабочим; при этом компенсирующее напряжение измеряется с высокой точностью. Потенциометры бы-

вают ручные (переносные, лабораторные) и автоматические. Характерной особенностью автоматических потенциометров в отличие от переносных и лабораторных является то, что регулирование компенсирующего напряжения перемещением движка по реохорду производится не вручную, а автоматически с помощью электронного усилителя и реверсивного двигателя.

2.6. Системы передачи информации в АСУ ТП

В общей структуре комплекса технических средств АСУ ТП особое место занимают средства систем сбора, передачи и отображения информации.

Система сбора информации о характеристиках и состоянии технологического объекта управления в АСУ ТП включает измерительные датчики, которые вырабатывают электрические токовые (аналоговые), электрические частотные (дискретные), пневматические и гидравлические выходные сигналы, а также автоматизированные средства сбора, обеспечивающие ввод цифровой информации в ЭВМ с перфокарты, перфоленты и графической информации.

Электрические измерительные датчики могут иметь на выходе сигналы постоянного и переменного тока. Каждый из электрических сигналов подвергается модуляции, с помощью которой формируется сигнал, несущий информацию. Например, у постоянного тока информационным параметром является напряжение или ток, у переменного тока — амплитуда, частота и фаза, у электрических импульсов — длительность импульса, частота и фаза. В зависимости от диапазона изменения вышеперечисленных параметров их разделяют на сигналы высокого (0—5 мА, 0—20 мА, 0—100 мА; 0—5 В; 0—10 В) и низкого уровня (0—100 мВ). Непосредственно на вход ЭВМ может передаваться информация сигналами низкого уровня от термопреобразователей (изменение ЭДС), термопреобразователей сопротивления (изменение сопротивления), потенциометров (изменение напряжения) и сигналами высокого уровня от датчиков, на выходе которых формируются сигнал изменения тока, напряжения и дискретные сигналы (от контактных и бесконтактных датчиков).

До непосредственного ввода в ЭВМ осуществляется функциональное преобразование сигналов от пневматических и гидравлических датчиков, обеспечивающее получение линейной зависимости между значением контролируемого параметра и входным сигналом.

Функциональное преобразование, унификация сигнала, поступающего на ЭВМ, осуществляются с помощью измерительных и нормирующих преобразователей с унифицированными выходными сигналами, выбираемых из номенклатуры устройств ГСП.

Ввод в ЭВМ измерительной и цифровой информации обеспечивается **системами передачи**, в состав которых входят коммутатор аналоговых сигналов, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), коммутатор цифровых сигналов и устройство приема цифровой информации.

После обработки входной информации о состоянии объекта управления ЭВМ формирует управляющую и контрольную информацию в виде цифровых кодов. Однако командная и контрольная информация на регуляторы, исполнительные механизмы и вторичные приборы должна поступать в виде непрерывных величин. Поэтому система передачи информации от ЭВМ предусматривает наличие коммутатора цифровых сигналов управляющих воздействий и цифро-аналоговых преобразователей.

В зависимости от вида примененных исполнительных устройств и регуляторов выходные команды ЭВМ необходимо преобразовывать в унифицированные электрические или пневматические сигналы. Осуществляется это с помощью соответствующих преобразователей, серийно выпускаемых отечественной промышленностью.

Для наглядного представления протекания технологического процесса, а также для «совета» оператору, как дальше вести процесс, используется **система отображения информации**.

В качестве устройств отображения информации используются цифровая и алфавитно-цифровая печать, экранные пульты (дисплей), мнемосхемы, средства сигнализации и оповещения обслуживающего персонала.

Итак, входные-выходные устройства ЭВМ с помощью преобразователей позволяют осуществлять прием в ЭВМ информации от датчиков, передавать из ЭВМ управляющие воздействия на исполнительные устройства — регуляторы, а также наглядно контролировать протекание технологического процесса.

Контрольные вопросы

1. Что называется дистанционной системой передачи информации?
2. Что такое унифицированный выходной сигнал?
3. Какие бывают преобразователи для получения унифицированных сигналов?
4. Как осуществляется связь между ветвями ГСП и какие технические средства при этом применяются?
5. Какие бывают виды систем дистанционной передачи информации?
6. В чем заключается сущность телемеханической системы передачи информации?
7. Как подразделяются устройства телемеханики по выполняемым функциям?
8. Какие основные системы телеизмерения применяют для измерения технологических параметров?
9. Что понимают под вторичным прибором и какие основные функции он может выполнять в системе дистанционной передачи?
10. На каком принципе основаны мостовые схемы для измерения электрического сопротивления?

11. В чем заключается компенсационный метод измерения напряжения, используемый в схемах автоматических потенциометров?

12. Каково назначение аналого-цифровых и цифро-аналоговых преобразователей ЭВМ?

Глава 3 ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

3.1. Основные понятия

Температура является одним из основных параметров, определяющих ход процесса и качество продукта. Поэтому во многих процессах пищевых производств, например при сушке макаронных и хлебопекарных изделий, варке начинок, выпечке вафельных листов, подогреве продуктов в вакуум-аппаратах и др., контроль температуры имеет первостепенное значение для качества готовой продукции.

Температурой называют величину, количественно характеризующую степень нагретости тела. По современным представлениям температуру определяют как меру кинетической энергии поступательного движения молекул.

Для перехода к количественному выражению температуры необходимо установить шкалу температур, т. е. выбрать начало отсчета (ноль температурной шкалы) и единицу измерения температурного интервала (градус). ГОСТ 8550—61 предусматривает применение двух температурных шкал — термодинамической и Международной практической.

Термодинамическая шкала (шкала Кельвина) базируется на втором законе термодинамики и поэтому отличается точностью и равномерностью. В термодинамической шкале Кельвина за реперную (постоянную) точку принята точка воды — состояние, когда в равновесии находятся сразу три фазы: лед, вода, пар. Она лежит выше точки плавления льда на $0,01^\circ\text{C}$. Реперной точке присвоена температура $+273,16\text{ K}$. Нижним пределом шкалы является абсолютный нуль (0 K). Температура кипения воды по этой шкале $+373,15\text{ K}$.

Термодинамическую температуру обозначают через T , а числовые значения сопровождают знаком K .

Градус Кельвина термодинамической температурной шкалы является основной единицей измерений в Международной системе единиц.

Международная практическая температурная шкала (МПТШ-68) основана на ряде постоянных легковоспроизводимых точек плавления и кипения химически чистых веществ. За основной интервал шкалы принят диапазон: тройная точка воды ($0,01^\circ\text{C}$) — точка кипения воды (100°C) при нормальных условиях. Эта шкала в 1948 г. была названа шкалой Цельсия. Между прежней шкалой Цельсия и Международной практической общей является одна постоянная точка — тем-

пература кипения воды; во всех остальных точках эти шкалы существенно различаются.

Измеряемая по Международной практической шкале температура обозначается буквой t , а числовое значение — знаком $^{\circ}\text{C}$.

Связь между температурами по термодинамической шкале и Международной практической выражается соотношением $T = t + 273,15$.

Для измерения температуры используются термометры — приборы, служащие для измерения параметра путем преобразования его в показание или сигнал, являющийся известной функцией температуры.

Существуют следующие приборы для измерения температуры:

- термометры расширения, принцип действия которых основан на использовании зависимости удельного объема вещества или линейных размеров твердых тел от температуры;

- манометрические термометры, принцип действия которых основан на использовании зависимости давления веществ при постоянном объеме от температуры;

- термоэлектрические термометры, принцип действия которых основан на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы термопары от температуры;

- термопреобразователи сопротивления, принцип действия которых основан на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников при изменении их температуры;

- пирометры излучения, принцип действия которых основан на использовании теплового излучения нагретых тел.

3.2. Термометры расширения

В эту группу входят жидкостные стеклянные термометры, принцип действия которых основан на тепловом расширении рабочего вещества (жидкости, удельный объем которой зависит от температуры), dilatометрические и биметаллические термометры, принцип действия которых основан на различном удлинении двух твердых тел, имеющих разные температурные коэффициенты линейного расширения.

Жидкостные стеклянные термометры. В них в качестве термометрических (рабочих) веществ применяются ртуть Hg , этиловый спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, толуол $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$, пентан C_5H_{12} и др. Наиболее широкое распространение получили ртутные стеклянные термометры, которые изготавливаются двух типов: с вложенной внутренней шкалой и палочные.

Ртутный стеклянный термометр с вложенной внутренней шкалой (рис. 3-1) состоит из наружной оболочки 1, в которой расположены термобаллон с ртутью 4, тонкостенный капилляр 3 и пластинка с нанесенной на ней

шкалой 2. Термобаллон припаян к наружной оболочке, закрытой герметически.

Ртутный стеклянный палочный термометр состоит из термобаллона, соединенного с толстостенным капилляром. Шкала у этого термометра нанесена на наружной поверхности капилляра в виде насечки по стеклу.

Ртутными термометрами измеряют температуру от -30 до $+500^{\circ}\text{C}$. Верхний предел определяется температурой размягчения стеклянной оболочки термометра, нижний — температурой затвердевания ртути (-35°C). Для повышения температуры кипения ртути пространство над ртутью в капиллярной трубке заполняется инертным газом (азотом) под давлением $1,47\text{—}1,96\text{ МПа}$. Для измерения низких температур (от -190 до $+80^{\circ}\text{C}$) предназначены стеклянные термометры с органическими заполнителями. Устройство их аналогично ртутным.

Ртутные термометры разделяются по назначению на технические, лабораторные и образцовые. Технические термометры обычно бывают с вложенной шкалой и имеют тонкую прямую или изогнутую под углом 90 , 120 или 135° нижнюю часть с баллоном на конце.

Разновидностью ртутных технических термометров являются электроконтактные термометры с впаянными в капиллярную трубку контактами для разрывания и замыкания столбиком ртути электрической цепи. Они используются в основном для сигнализации о нарушении заданного температурного режима.

Для предохранения технических термометров от повреждения их помещают в специальные металлические защитные оправы или гильзы. Зазор между баллоном и стенкой гильзы заполняется машинным маслом при измерении температуры до 150°C , а при более высокой температуре — медными опилками. Гильзу делают такой длины, чтобы чувствительная часть термометра находилась на оси трубопровода. На горизонтальном трубопроводе диаметром менее 200 мм термометр устанавливают наклонно навстречу потоку, а при диаметре более 200 мм — перпендикулярно оси трубы.

Жидкостные стеклянные термометры расширения благодаря простоте конструкции, дешевизне, достаточно высокой точности измерения используются в лабораторной и производственной практике пищевых производств. К недостаткам приборов отно-

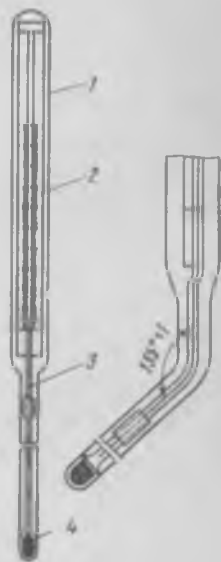


Рис. 3-1. Общий вид термометров с вложенной шкалой

сятся плохая наглядность шкалы, хрупкость, невозможность передачи показаний на расстояние, запаздывание показаний вследствие большой тепловой инерции.

Дилатометрические термометры. На рис. 3-2 показан трубчатый дилатометрический термометр, представляющий собой закрытую с одного конца трубку 1, внутри которой находится стержень 2, прижимаемый к дну трубки рычагом 3, соединенным с пружиной 4. Трубку изготавливают из материала с большим коэффициентом линейного расширения (меди, алюминия, латуни), а стержень — из материала с малым коэффициентом линейного расширения (кварца, инвара). При погружении термометра в измеряемую среду длина трубки изменяется,

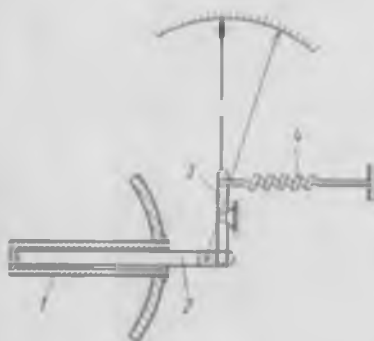
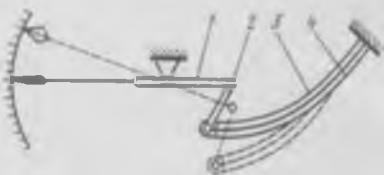


Рис. 3-2. Схема дилатометрического термометра

Рис. 3-3. Схема биметаллического термометра



а стержня остается практически прежней. Это приводит к перемещению конца стержня относительно трубки; стержень же связан посредством рычага 3 с указательной стрелкой прибора (либо с контактным устройством в системах автоматического регулирования температуры).

Биметаллические термометры. Чувствительный элемент этих приборов выполнен в виде плоской или спиральной пружины, которая состоит из двух спаянных металлических полосок. Полоска 3 (рис. 3-3) изготовлена из материала с большим коэффициентом линейного расширения, а полоска 4 — с незначительным. Образованная из этих полосок биметаллическая пластина меняет степень своего изгиба в зависимости от температуры. Биметаллическая пластина соединена посредством рычага 1 и тяги 2 со стрелкой, которая указывает температуру на шкале прибора.

Кроме показывающих, промышленность выпускает бесшкальные биметаллические термометры, использующиеся в основном в качестве электрических преобразователей или температурных реле для позиционного регулирования и сигнализации. Диапазон измерения температуры биметаллическими термометрами от -150 до $+700$ °C, погрешность 1—1,5 %.

3.3. Манометрические термометры

Эти приборы служат для измерения температуры от -120 до $+600$ °С. В зависимости от рабочего вещества замкнутой системы манометрические термометры подразделяются на газозаполненные (газовые), система которых заполнена инертным газом (азотом) при начальном давлении $0,98\text{--}4,9$ МПа (для уменьшения барометрической погрешности), позволяющие измерять температуру в пределах $0\text{--}600$ °С; жидкозаполненные (жидкостные), система которых заполнена ртутью (при измерении температуры в интервале $-30\text{--}600$ °С) или ксиолом (при измерении температуры в интервале $-40\text{--}200$ °С) при начальном давлении $1,47\text{--}1,96$ МПа, и конденсационные, в которых термобаллон частично (на $\frac{2}{3}$) заполнен низкокипящей жидкостью (хлорметилом, хлорэтилом, ацетоном и др.), позволяющие измерять температуру в интервале $-25\text{--}250$ °С (давление насыщенного пара в системе термометра изменяется непропорционально изменению температуры, поэтому шкала конденсационного прибора получается неравномерной).

Промышленностью выпускаются манометрические термометры различных типов: показывающие газовые и жидкостные (ТПГ4, ТПЖ4), показывающие газовые и жидкостные с пневматической и электрической дистанционными передачами, преобразующими температуру в унифицированный пневматический или электрический сигнал (ТПГ4-VI, ТПЖ4-VI), показывающие и сигнализирующие газовые и парожидкостные (ТПГ-СК, ТПП-СК), самопишущие газовые и жидкостные с пневматическим регулирующим устройством (ТГ-711Р, ТЖ-711Р). Основная погрешность манометрических термометров составляет $\pm 0,5\text{--}2,5$.

На рис. 3-4 показана схема манометрического термометра. Прибор состоит из термобаллона 6, капиллярной трубки 5, трубчатой одновитковой или многовитковой пружины 1, держателя 4, поводка 2, зубчатого сектора 3. Термобаллон, капилляр и трубчатая пружина образуют замкнутую термосистему, заполненную рабочим веществом. При измерениях термобаллон помещают в контролируемую среду. При нагревании термобаллона давление рабочего вещества внутри замкнутой системы увеличивается. Увеличение давления воспринимается трубчатой пружиной, свободный конец которой отклоняется и через пере-



Рис. 3-4. Схема манометрического термометра с трубчатой пружиной

даточный механизм перемещает перо или стрелку по шкале, которая градуируется непосредственно в градусах.

Термобаллон представляет собой стальную или латунную трубку, с одного конца закрытую, а с другого соединенную с капилляром. Капилляр изготавливают из медной или стальной трубки с внутренним диаметром 0,15—0,5 мм и длиной до 60 м. Снаружи он защищен от механических повреждений оцинкованной стальной оплеткой.

При установке манометрического термометра положение термобаллона для газовых и жидкостных термометров может быть любым, а для конденсационных — вертикальным. При этом термобаллон помещается в середину потока. В случае измерения температуры агрессивной среды или среды, находящейся под большим давлением (свыше 6,27 МПа), термобаллон устанавливается в защитной гильзе, заполненной маслом или медными опилками. Корпус прибора должен располагаться вертикально на месте, свободном от вибраций и защищенном от нагревательных устройств. Капилляр крепится к стенке при помощи крючков или скоб. Для защиты от механических воздействий его заключают в трубу. Температура окружающей среды не должна превышать 60 °С.

Манометрические термометры широко применяются в пищевых производствах для дистанционного измерения, сигнализации и регулирования температуры, например в линиях подачи горячей воды, варочных колоннах, котлах и других теплообменных аппаратах.

3.4. Термоэлектрические термометры

Комплект термоэлектрического термометра состоит из термоэлектрического преобразователя, измерительного прибора и соединительных проводов.

Преобразователь термоэлектрический (рис. 3—5) служит первичным преобразователем (чувствительным

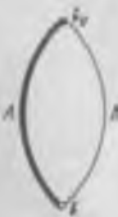


Рис. 3-5. Термоэлектрическая цепь

элементом) термоэлектрического термометра. Он состоит из двух разнородных проводников — электродов *A* и *B*, соединенных между собой. Место соединения электродов, нагреваемое до температуры *t* (температурой измеряемой среды), называется рабочим (горячим спаем), а до

постоянной температуры t_0 — свободным (холодным). Действие преобразователя основано на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в замкнутой цепи из двух или нескольких разнородных проводников возникает термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС), если спай проводников имеют

разную температуру. Следовательно, термо-ЭДС, развиваемая преобразователем, зависит как от температуры t рабочего спая, так и от температуры t_0 холодного спая. Если температура холодного спая поддерживается постоянной, то термо-ЭДС зависит лишь от степени нагрева горячего спая t . Измеряя эту термо-ЭДС, можно определить искомую температуру.

Термопреобразователи изготавливают из чистых металлов и сплавов, обладающих постоянством и хорошей воспроизводимостью термоэлектрических свойств. Для изготовления положительного электрода чаще всего используют платинородий, хромель, а отрицательного — алюмель, копель и др.

В технических термометрах создаваемая термо-ЭДС не превышает 8 мВ на каждые 100 °С; при измерении высоких температур она не превышает 70 мВ.

Согласно ГОСТ 3044—74 допускается применение стандартных термоэлектрических преобразователей пяти типов (табл. 3—1).

Т а б л и ц а 3—1

Вид термо- электрического преобразователя	Материал электродов	Условное обозначение градуйровки	Диапазон измерения температур, °С
ТВР	Вольфрамовый—вольфрамовый	ВР 5/20	0—220
ТПР	Платинородий—платинородий	ПР 30/6	300—1600
ТПП	Платинородий—платина	ПП	0—1300
ТХА	Хромель—алюмель	ХА	—200—1000
ТХК	Хромель—копель	ХК	—200—600

Изолированные термоэлектроды помещают в защитный чехол из газонепроницаемых материалов (сталь, фарфор и др.), выдерживающих высокие температуры.

На рис. 3-6, а показан общий вид термоэлектрического термометра. Термоэлектроды помещены в стальной чехол 8 с насаженным на него фланцем 9 со стопорным винтом. Рабочий конец чувствительного элемента 12 (рис. 3—6, б) расположен в фарфоровом стаканчике 11 или приваривается ко дну чехла. Оба электрода изолированы фарфоровыми бусами 10. Головка термоэлектрического термометра состоит из корпуса 7, крышки 3, штуцера 5 для вывода проводов. Крышка прикрепляется к головке цепочкой 1. Внутри головки расположена фарфоровая колодка 6 с двумя подвижными зажимами 4, имеющими две пары винтов 2 для закрепления термопроводов и соединительных проводов.

Температура головки термометра под действием окружающей среды может изменяться, вследствие чего нарушается постоянство температуры холодных спаев, вызывающее погрешность измерения. Устранения влияния температуры окружающей среды на величину термо-ЭДС достигают путем использования

двух схем подключения термоэлектрического преобразователя к измерительному прибору.

Первая схема — подключение преобразователя с помощью термоэлектродных проводов, которые развивают при темпера-

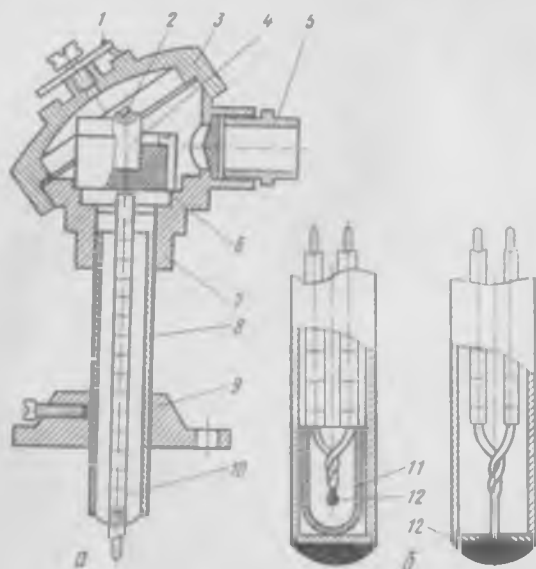


Рис. 3-6. Термоэлектрический термометр:

а — общий вид; б — рабочий конец чувствительного элемента

турах не более 100—150 °С термо-ЭДС, равную термо-ЭДС преобразователя. При наращивании преобразователя термоэлектродными проводами холодные спаи удаляются от среды

с меняющейся температурой в зону с постоянной температурой, где может находиться нулевой (ледяной) или иной термостат (ТС). Вторая схема предусматривает использование компенсационной коробки КТ-54, принцип действия которой основан на уравнивании термо-ЭДС холодных спаев, вызванной изменением температуры окружающей среды, при помощи мостовой схемы. Схема моста коробки (рис. 3-7) включает постоянные сопротивления R_1 , R_2 , R_3 и переменное сопротивление R_4 .

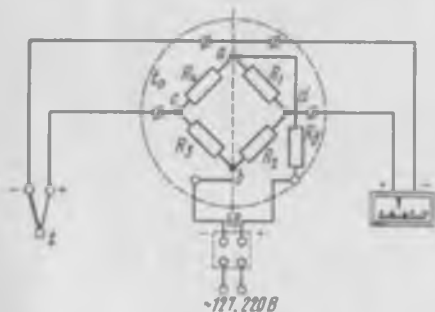


Рис. 3-7. Схема компенсационной коробки КТ-54

Добавочное сопротивление R_d служит для подгонки подаваемого на мост напряжения. От термоэлектрического преобразователя до моста коробки прокладываются термоэлектродные провода, от моста до измерительного прибора — медные. Вто-

ричный измерительный прибор и преобразователь включены последовательно в диагональ ab моста, источник тока и добавочное сопротивление R_d — в диагональ cd .

При отклонении температуры окружающего воздуха от 20°C сопротивление R_4 изменяется, равновесие моста нарушается и между вершинами a и b возникает разность потенциалов, равная по величине изменению термо-ЭДС преобразователя и противоположная по знаку. В результате происходит автоматическая компенсация температуры холодных спаев. Поэтому показания измерительного прибора будут зависеть только от состояния рабочего конца термоэлектрического преобразователя.

Вторичные приборы термоэлектрических термометров. В качестве вторичных приборов для измерения термо-ЭДС в комплектах термоэлектрических термометров применяют милливольтметры и потенциометры.

✓ Милливольтметр является прибором магнитоэлектрической системы. Принцип его работы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита с магнитным полем, образованным проводником, по которому протекает измеряемый электрический ток. Милливольтметр состоит из постоянного магнита 4 (рис. 3-8) с полюсными наконечниками, круглого неподвижного сердечника 3, расположенного между полюсами магнита с зазором, в котором может поворачиваться подвижная рамка 1. Рамка изготавливается из медной или алюминиевой проволоки и укрепляется по центру охватываемого сердечника на кернах или подвешивается на металлических подвесках. Стрелка 2, конец которой перемещается вдоль шкалы 6, жестко соединена с подвижной рамкой. Грузики 5 служат для балансирования подвижной системы. Электрическая цепь, в которой производится измерение термо-ЭДС, подключается к рамке через спиральные пружины (на схеме не показаны), соединенные одним концом с рамкой, а другим с неподвижными деталями прибора. Ток, протекая через рамку, вызывает вращающий момент. При этом угол поворота рамки зависит от величины тока. Милливольтметр может быть отградуирован в градусах температуры или в милливольттах. На шкале технического прибора указывается градуировка термоэлектрического преобразователя, для работы с которым он предназначен.

Милливольтметры выпускаются разных модификаций: переносные показывающие типа МПП-054; стационарные показываю-

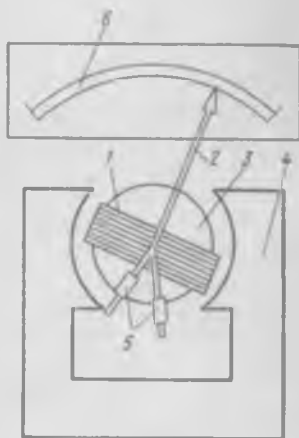


Рис. 3-8. Схема магнитоэлектрической системы милливольтметра

щие типа Ш4501; стационарные показывающие и сигнализирующие, показывающие и позиционно регулирующие узкопрофильные со световым указателем МВУ6; самопишущие для измерения и записи температуры в одной или нескольких точках на одной диаграммной ленте.

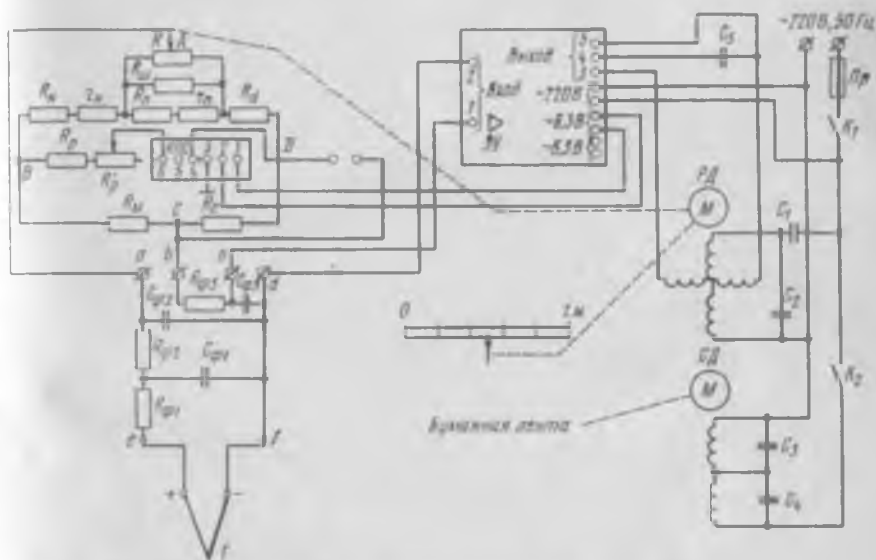
Милливольтметры просты по устройству, но обладают рядом недостатков, вызывающих погрешности. Одним из основных источников погрешностей является изменение сопротивления подводящих проводов с изменением температуры. Для показывающих переносных милливольтметров установлены классы точности 0,2; 0,5; 1, а для стационарных, показывающих и самопишущих — 0,5; 1; 1,5 и 2,5. Класс точности 2,5 допускается только для показывающих миниатюрных приборов с длиной шкалы менее 90 мм. В последние годы в связи с развитием более совершенных методов измерения термо-ЭДС для ответственных измерений милливольтметры применяются мало.

Потенциометры позволяют устранить недостатки милливольтметров за счет применения компенсационного метода измерения термо-ЭДС. Принцип действия автоматического потенциометра описан ранее (см. § 2.5). В настоящее время создана унифицированная система автоматических потенциометров, автоматических измерительных мостов и миллиамперметров, которые получили название комплекс самописцев (КС).

Система построена на принципе взаимозаменяемых узлов — блоков и предназначена для измерения, записи и регулирования (позиционного) температуры и других величин, которые могут быть преобразованы в постоянные ток, напряжение или активное сопротивление. Потенциометры системы КС имеют более высокий класс точности, чем большинство других систем. Кроме того, в них значительно облегчаются условия переградуировки и ремонта путем простой замены блоков.

Комплекс приборов КС обладает высокой надежностью. Среднее время безотказной работы составляет не менее 10 тыс. ч. На рис. 3-9 показана схема потенциометра типа КСП. Питание схемы осуществляется от стабилизированного источника типа ИПС-148П без применения нормального элемента. Источник развивает на выходе стабилизированное напряжение 5 В при токе 5 мА и постоянной нагрузке 1000 Ом, которая достигается путем последовательного включения с источником в диагональ BD балластного сопротивления R_p (750 Ом) и регулировочного R_p (до 560 Ом), а также за счет сопротивлений измерительного моста. Ток ИПС разветвляется в точке D . Одна его часть (i_1) протекает через сопротивление R_d , служащее для общего уравнивания схемы, затем через три параллельно включенных сопротивления R , R_m и (R_n и r_n) и далее через сопротивления ($R_n + r_n$) к точке B . Другая часть тока (i_2) проходит через сопротивления R_e и R_m . Параллельно реохорду R

Последовательно с термоэлектрическим преобразователем включен электронный усилитель с вибрационным преобразова-



теlem. Потенциометр питается от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц. Выходные зажимы усилителя ЭУ подключаются к одной из обмоток реверсивного двигателя РД. Если измеряемая ЭДС термоэлектрического преобразователя равна падению напряжения на реохорде R , то схема находится в равновесии. При нарушении равновесия на вход усилителя подается сигнал, преобразующийся в переменный ток, который усиливается и приводит в действие двигатель РД. Двигатель перемещает движок реохорда R , пока не установится равновесие в измерительной схеме. Одновременно перемещаются указатель на шкале $0-t_m$ и перо самопишущего устройства. Ленточная диаграмма приводится в движение двигателем СД, питаемым от сети.

Выпускаемые отечественной приборостроительной промышленностью автоматические потенциометры могут работать

в комплекте с одним или несколькими термоэлектрическими преобразователями стандартных градуировок и разделяются по конструктивному оформлению на следующие основные группы: показывающие (КПП1 и КВП1), показывающие и самопишущие с ленточной диаграммой (КСП1, КСП2 и КСП4), показывающие и самопишущие с дисковой диаграммой (КСП3). Перечисленные типы потенциометров, изготовленные с дополнительными устройствами, применяются также для измерения и сигнализации или регулирования.

В зависимости от размеров отдельных элементов и блоков потенциометры бывают миниатюрные с длиной шкалы 100 мм (КПП1, КВП1, КСП1), малогабаритные с длиной шкалы 160 мм (КСП2, КСП3), нормально габаритные с длиной шкалы 250 мм и более (КСП4).

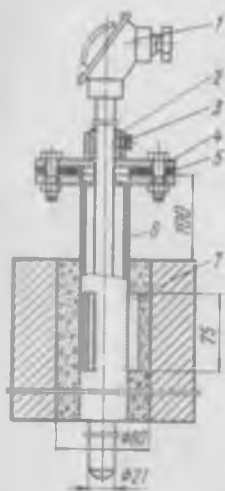


Рис. 3-10. Монтаж термоэлектрического термометра в кирпичной кладке

Миниатюрные и малогабаритные приборы широко применяются для измерения и записи температуры при автоматизации технологических процессов, для создания малогабаритных щитов и пультов управления.

Шкала автоматических потенциометров может быть отградуирована в единицах напряжения (милливольты) и температуры (градусах МПТШ-68). При этом шкала в градусах МПТШ-68 действительна только для указанного на шкале обозначения градуировки, а следовательно, и для определенного термоэлектрического термометра.

Автоматические потенциометры отечественного производства являются техническими приборами высокого класса точности: 0,25; 0,5; 1.

Автоматические потенциометры в комплекте с термоэлектрическими термометрами применяются в основном для контроля и регулирования технологических процессов, протекающих при высоких температурах, например при сушке жома на свеклосахарном заводе.

Точность показаний термоэлектрического термометра зависит от способов его установки. При монтаже термометра в трубопроводах рабочий конец его располагают в центре потока (на оси трубопровода). В трубопроводах малого диаметра термометр устанавливают наклонно, концом навстречу потоку. Если температура измеряемой среды превышает 800 °С, то термометр располагают вертикально, что заметно уменьшает деформацию его защитного чехла под действием высоких температур. Места крепления термометров к ограждающим стенкам должны быть надежно уплотнены, так как присосы холодного

воздуха или прорывы нагретых газов наружу могут привести к неправильным показаниям и повреждению защитного чехла и головки термометра.

Установка термоэлектрического термометра в кирпичной кладке показана на рис. 3-10. Труба 6, заделываемая в кладку, имеет три ребра 7, которые предохраняют ее от проветывания и осевого смещения. Термометр 1 со стопорным винтом 3 укреплен на фланцах 4, между которыми находится асбестовая прокладка 5. Свободные щели уплотнены набивкой 2. Глубина погружения термометра регулируется винтом 3. При монтаже термометра на металлической стенке труба с фланцем приваривается к этой стенке.

Милливольтметры и автоматические потенциометры устанавливаются в сухих, хорошо освещенных и доступных местах, не подверженных действию вибрации, пыли, агрессивных газов и расположенных на значительных расстояниях от мощных источников переменных магнитных полей (электродвигателей, трансформаторов).

3.5. Термопреобразователи сопротивления

Б-7

Принцип действия термопреобразователей сопротивления основан на использовании зависимости электрического сопротивления проводников и полупроводников от температуры. У большинства чистых металлов с ростом температуры сопротивление увеличивается приблизительно на $0,4\%$ град $^{-1}$.

Зная зависимость сопротивления от температуры, можно судить о температуре среды, в которой находится термометр. Измерительный комплект состоит из термопреобразователя сопротивления, вторичного прибора, подсоединительных проводов, источника питания. Чаще всего применяют металлические термопреобразователи сопротивления, чувствительные элементы которых изготовляют из чистых металлов.

Металлы для термопреобразователей сопротивления должны обладать следующими свойствами: не окисляться и не вступать в химическое взаимодействие с измеряемой средой; иметь большой и по возможности постоянный температурный коэффициент электрического сопротивления; изменять свое сопротивление с изменением температуры по прямой или плавной кривой; иметь большое удельное сопротивление; легко технологически производиться. Наиболее полно указанным требованиям отвечают платина и медь.

Платина Pt имеет достаточно большой температурный коэффициент электрического сопротивления ($3,94 \cdot 10^{-3}$ град $^{-1}$) и высокое удельное сопротивление ($0,099$ Ом·мм ^{2} /м). Она обладает химической инертностью в окислительной среде и может быть легко получена в чистом виде. Сопротивление Pt платины в зависимости от температуры в интервале $0-650^\circ\text{C}$ выражается формулой $R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$, где R_0 — сопротивление при 0°C ; A и B — постоянные, определяемые при градуировке термопреобразователя.

Медь достаточно дешева, может быть легко получена в чистом виде, имеет высокий температурный коэффициент электрического сопротивления ($4,26 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$). Зависимость сопротивления меди от температуры в интервале $-50-180^\circ\text{C}$ выражается уравнением $R_t = R_0(1 + at)$, где a — температурный коэффициент сопротивления меди.

Помимо металлов для термопреобразователей сопротивления применяются полупроводниковые материалы, которые изготавливают из смесей оксидов меди, марганца, магния, никеля, кобальта и других металлов. Смеси двух-трех оксидов со связывающими добавками спекают и придают им нужную форму (цилиндра, шайбочек, бусинок). В торцы таких элементов заделывают контакты.

Платиновые термопреобразователи сопротивления. Они бывают технические, образцовые и эталонные. Технические термо-

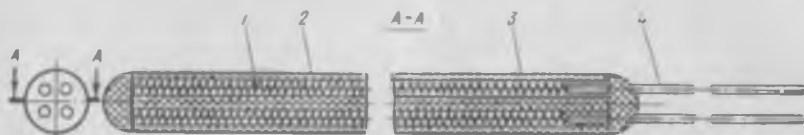


Рис. 3-11. Чувствительный элемент платинового термопреобразователя сопротивления

преобразователи типа ТСП выпускаются для измерения температуры от -200 до $+650^\circ\text{C}$. Чувствительный элемент этих термопреобразователей представляет собой платиновую спираль 1 (рис. 3-11), расположенную в четырех капиллярных керамических трубках (каналах) каркаса 2, заполненных керамическим порошком 3, который служит изолятором, создает эффект подпружинивания спиралей, соединенных с выводами 4. Чувствительный элемент помещают в герметичную защитную алюминиевую трубку, свободное сечение которой по всей длине чувствительной части заполнено оксидом алюминия. Собранный элемент термопреобразователя помещается еще в одну наружную трубку с заваренным дном, имеющую штуцерную гайку и головку, в которой расположена контактная колодка с зажимами для проводов, соединяющих термопреобразователь с измерительным устройством.

Платиновые технические термопреобразователи сопротивления выпускаются трех градуировок:

Обозначение градуировки	Гр. 20	Гр. 21	Гр. 22
Сопротивление R_0 , Ом	10	46	100

Допустимые отклонения R_0 при 0°C у технических термопреобразователей класса 1 составляют $\pm 0,05\%$, класса 2 — $0,1\%$.

Медные термопреобразователи сопротивления. Эти термопреобразователи (типа ТСМ) имеют чувствительный элемент

в виде бескаркасной безындукционной намотки 2 (рис. 3-12) из медной проволоки диаметром 0,08 мм, покрытой фторопластовой пленкой 3. К намотке припаяны два вывода 1. Для обеспечения виброустойчивости чувствительный элемент помещают в тонкостенную металлическую гильзу, которую засыпают керамическим порошком и герметизируют. Гильзу помещают во внешний защитный чехол с заваренным дном, имеющим штуцерную гайку и головку.

Медные технические термопреобразователи сопротивления бывают двух градуировок:

Обозначение градуировки	Гр. 23	Гр. 24
Сопротивление R_0 , Ом	53	100

Платиновые и медные термопреобразователи сопротивления отечественного производства выпускаются со строго определенными значениями сопротивления, обеспечивающими их взаимозаменяемость. Внешний вид и размеры этих приборов такие же, как и у термоэлектрических термометров.

Рис. 3-12. Чувствительный элемент медного термопреобразователя сопротивления



Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления. Кроме металлических термопреобразователей сопротивления в последние годы применяют полупроводниковые, предназначенные для измерения температуры от -90 до $+180$ °С. Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления называются термисторами и терморезисторами. При 50 °С и ниже терморезисторы обладают значительно большим (в 5—10 раз) температурным коэффициентом электрического сопротивления, чем металлы, и вследствие этого намного превосходят по чувствительности медные и платиновые термометры сопротивления. Терморезисторы подразделяются на кобальто-марганцевые (типа КМТ) и медно-марганцевые (типа ММТ). Устройство стержневого полупроводникового сопротивления показано на рис. 3-13. Полупроводниковый элемент 6 покрыт снаружи эмалевой краской, имеет на концах контактные колпачки 2, к которым припаяно два вывода 1. Полупроводник, обмотанный металлической фольгой 3, помещен в защитный металлический чехол 5, в верхней части которого имеется стеклянный изолятор 4. Термосопротивление имеет диаметр 4 мм и длину 20 мм. Широкое внедрение терморезисторов в промышленность ограничивается слабой воспроизводимостью свойств полупроводников, что исключает их взаимозаменяемость.

Электрические платиновые и медные термопреобразователи сопротивления являются одними из основных измерительных

устройств при осуществлении автоматизации технологических процессов пищевых производств и применяются для измерения температуры в диффузионных и выпарных установках сахарного производства, в дезодораторах, барометрических конденсаторах, холодильных барабанах

масло-жирового производства, в темперирующих машинах кондитерского производства, в вакуум-аппаратах и сушилках макаронного производства, в мучных силосах и пекарных камерах хлебопекарного и кондитерского производств.

Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления применяются в системах температурной компенсации, в сигнализаторах и регуляторах температуры, автоматических установках контроля температуры

плавления саломаса при гидрогенизации жиров.

Вторичные приборы термопреобразователей сопротивления. В качестве вторичных приборов для измерения сопротивления термопреобразователя применяются логометры, уравновешенные и неуравновешенные мосты.

Логометры являются магнитоэлектрическими приборами, предназначенными для измерения температуры с помощью термопреобразователей сопротивления. Принцип работы их основан на взаимодействии тока, протекающего через рамки подвижной системы, с полем постоянного магнита. Упрощенная схема логометра приведена на рис. 3-14. Подвижная часть прибора состоит из двух скрещенных рамок 1 и 2, жестко скрепленных друг с другом и со стрелкой, конец которой перемещается вдоль шкалы. Рамки могут перемещаться в зазоре переменной ширины, образованной цилиндрическим сердечником C и полюсными наконечниками N и S . Вся подвижная система укрепляется по центру сердечника, обычно на керновых опорах. Питание рамок осуществляется от общего источника постоянного тока B . Ток, протекающий через рамки, имеет направление, при котором вращающие моменты рамок направлены навстречу один другому. В рамку 1 ток поступает через постоянное сопротивление R_k , а в рамку 2 — через сопротивление термопреобразователя R_t . Угол пово-



Рис. 3-14. Магнитоэлектрический логометр

рота подвижной системы зависит от отношения сил токов, протекающих в рамках. Если сопротивление термопреобразователя изменится вследствие нагрева (или охлаждения), через одну из рамок потечет ток большей силы и равновесие моментов нарушится. Подвижная система будет поворачиваться в сторону большего момента. При этом рамка, по которой течет ток большей силы, переходит в место, где поле более слабое, а момент, действующий на рамку, уменьшается. Другая рамка в это время поворачивается в том же направлении, входит в место, где поле более сильное, и вращающий момент ее увеличивается. Рамки перестанут вращаться, когда их вращающие моменты сравняются. Стрелка будет отклонена на угол, пропорциональный изменению сопротивления термопреобразователя и, следовательно, его температуре. Это позволяет градуировать шкалу логометра в градусах. При этом необходимо иметь в виду, что температурная шкала действительна только для определенной градуировки термопреобразователя сопротивления. Для переносных приборов класс точности составляет 0,2; 0,5; 1; а для щитовых — 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5. Логометры могут быть показывающими, самопишущими, многоточечными (до 12 точек измерения), а также иметь устройства для позиционного регулирования, сигнализации и др.

В автоматических уравновешенных мостах используется, как отмечалось выше (см. § 2.5, рис. 2-13), измерительная схема уравновешенного четырехплечего моста с реохордом.

Автоматические уравновешенные мосты, как и потенциометры, подразделяются по конструктивному оформлению на показывающие (КПМ1, КВМ1); показывающие и самопишущие с ленточной диаграммой (КСМ1, КСМ2, КСМ4); показывающие и самопишущие с дисковой диаграммой (КСМ3). Приборы этих типов могут применяться также для сигнализации или регулирования температуры, если они имеют дополнительные устройства

Мосты, как и другие вторичные приборы, бывают миниатюрные (КПМ1, КСМ1), малогабаритные (КВМ1, КСМ2, КСМ3) и нормально габаритные (КСМ4).

Значительное распространение в пищевой промышленности получили мосты КСМ1, КСМ2, КСМ3, КСМ4, которые, как и потенциометры КСП, построены по блочному принципу с широким применением модулей.

На рис. 3-15 показана принципиальная схема одноточечного моста типа КСМ2. В приборе применена схема уравновешенного моста переменного тока.

Термопреобразователь сопротивления R_t подключается к измерительной схеме 1 по трехпроводной системе. К одной диагонали измерительного моста подается питание, в другую включен электронный усилитель 2. Вращение выходного вала реверс-

сивного двигателя 3, управляемого усилителем моста, посредством механической передачи преобразуется в прямолинейное движение каретки 4, которая кинематически связана с контактом реохорда R_p , указателя 5 и записывающего устройства. При равновесии измерительной схемы положение указателя определяет значение измеряемой температуры, которое записывается на диаграммной ленте 6, приводимой в движение двигателем 7. С помощью ключа $K1$ на прибор подается питание, а ключ $K2$ служит для управления двигателем 7.

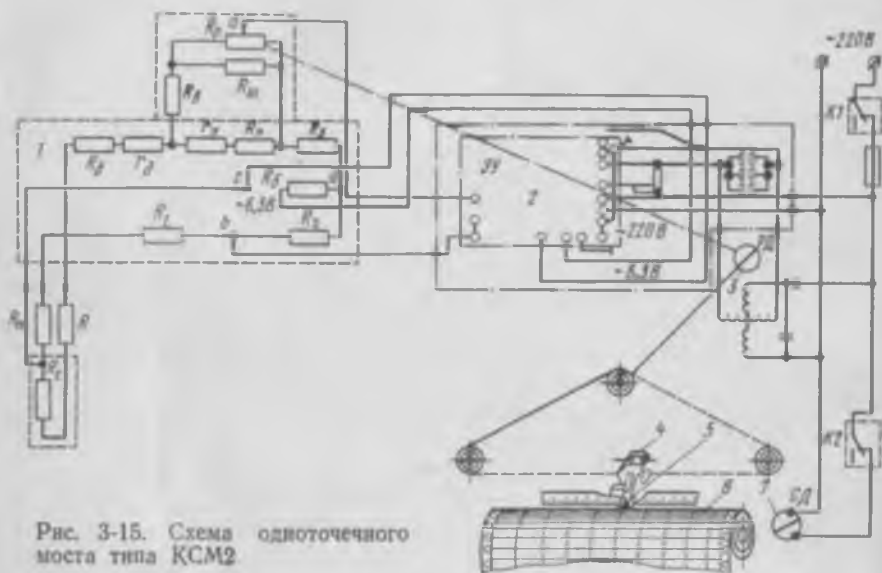


Рис. 3-15. Схема одноточечного моста типа КСМ2.

Мосты, предназначенные для работы в комплекте с термопреобразователями сопротивления, выпускаются с градуировкой шкалы в градусах МПТШ-68. При этом такая шкала действительна только для термопреобразователя сопротивления определенной градуировки и заданного сопротивления внешней соединительной линии.

Автоматические уравновешенные мосты являются техническими приборами классов точности 0,25; 0,5; 1; 1,5.

Термопреобразователи сопротивления можно устанавливать в любом положении на глубину 150—1900 мм. При этом чувствительный элемент должен полностью погружаться в контролируемую среду, а середина активной части его соответствовать точке измерения температуры (рис. 3-16, а). При измерении температуры среды в трубопроводах небольшого диаметра или в колене термопреобразователь устанавливают наклонно (рис. 3-16, б, в), но в обоих случаях навстречу потоку. Важ-

ным требованием при установке термометра является предупреждение утечки тепла от чувствительного элемента через арматуру или лучеиспусканием и притока тепла к чувствительному элементу от более нагретых поверхностей.

Мосты и логометры устанавливают в доступных и хорошо освещенных местах, защищенных от действия вибраций, высоких температур (не более 50°C), пыли, влаги (не выше 80 %) и агрессивных газов. Логометр питается от электросети, допускающей одновременное присоединение нескольких приборов.

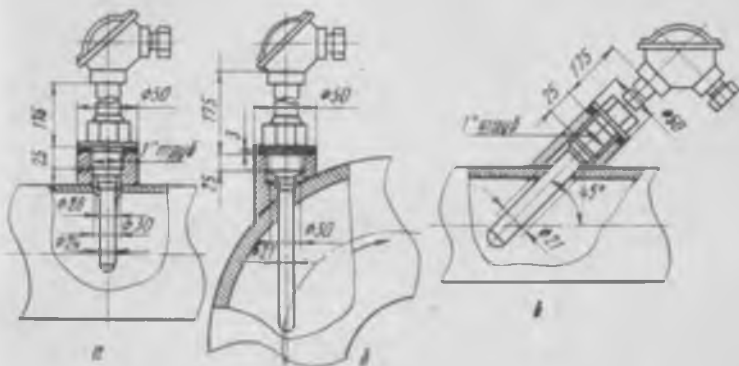


Рис. 3-16. Установка термопреобразователя сопротивления

3.6. Пирометры излучения

Действие пирометров излучения основано на измерении излучаемой телом энергии, зависящей от его температуры и физико-химических свойств. Чем выше температура нагретого тела, тем больше интенсивность излучения. При нагреве до 500°C тело излучает невидимые инфракрасные (тепловые) лучи с большой длиной волны. Дальнейшее повышение температуры вызывает появление излучения видимых световых лучей. Вначале раскаленное тело имеет темно-красный цвет, который по мере увеличения температуры переходит в красный, оранжевый, желтый и, наконец, в белый. Наряду с повышением температуры нагретого тела и изменением его цвета быстро возрастает интенсивность (яркость) монохроматического (одноцветного) излучения, а также заметно увеличивается суммарное излучение (радиация). Такие свойства нагретых тел, как яркость и радиация, используются для измерения температуры пирометрами излучения, которые по принципу действия подразделяются на яркостные (оптические), фотоэлектрические и радиационные.

Яркостные пирометры действуют по методу сравнения яркости двух тел: тела, температура которого измеряется, и эталонного тела (нити лампы накаливания с регулируемой яркостью). Принципиальная схема яркостного пирометра с исчезающей

нитью приведена на рис. 3-17. Объектив 1 служит для фокусирования изображения раскаленного тела с плоскостью нити лампы. Перед лампой включен фильтр 2, уменьшающий видимую интенсивность излучения раскаленного тела. Внутри телескопической трубы в фокусе объективной линзы находится пирометрическая лампа 3, питающаяся током от батарей Б. Для

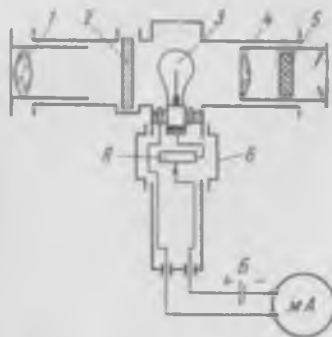


Рис. 3-17. Схема яркостного пирометра с исчезающей нитью

Рис. 3-18. Нить пирометрической лампы на фоне раскаленного тела



определения силы питающего тока в цепь включен миллиамперметр МА, шкала которого градуируется в градусах МПТШ-68. Через окуляр 4 корректируется изображение нити по глазу наблюдателя. В момент отсчета включается красный светофильтр 5 и реостатом R с помощью поворотного кольца 6 регулируется сила тока до тех пор, пока средняя часть нити не исчезнет на фоне раскаленного тела (рис. 3-18), т. е. не наступит равенство яркостных температур нити и тела. Промышленностью выпускаются яркостные пирометры с исчезающей нитью для измерения температур от 880 до нескольких тысяч градусов.

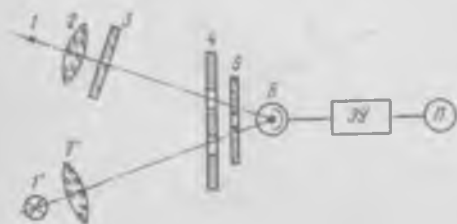


Рис. 3-19. Схема фотоэлектрического яркостного пирометра

Фотоэлектрические пирометры отличаются от оптических тем, что оценка яркости производится не глазом наблюдателя, а с помощью фотоприемников — фотоэлементов и фотоумножителей. Действие фотоэлектрического пирометра основано на свойствах фотоэлемента изменять возникающий в нем фототок пропорционально световому потоку. На рис. 3-19 показана схема фотоэлектрического яркостного пирометра. Тело 1 (лампа накаливания 1') излучает световой поток, который концентрируется линзой 2 (2'), а затем через светофильтр 3, служащий для изменения пределов измерения, и красный светофильтр 4

попадает на фотоприемник 6. Очередность освещения создается модулятором 5, вибрирующим с частотой 50 Гц. При разных яркостных температурах излучающего тела и лампы накаливания в цепи фотоэлемента возникает переменная составляющая фототока, совпадающая по фазе с фототоком от тела либо от лампы. Переменная составляющая усиливается электронным усилителем, выходной сигнал которого управляет цепью питания лампы до тех пор, пока освещенности измеряемого тела и лампы не уравниваются. Сила тока, питающего лампу, измеряется автоматическим электронным потенциометром П, имеющим самопишущее устройство. Предел измерения температуры 800—4000 °С.

Радиационные пирометры действуют по принципу измерения мощности излучения нагретого тела. Испускаемые нагретым телом лучи воспринимаются теплоприемником, состоящим из нескольких последовательно соединенных термопреобразователей (термобатарей), термометра сопротивления и измерительных приборов (милливольтметров, автоматических потенциометров и уравновешенных мостов). Корпус с оптической системой, теплоприемником и другими устройствами называют телескопом радиационного пирометра.

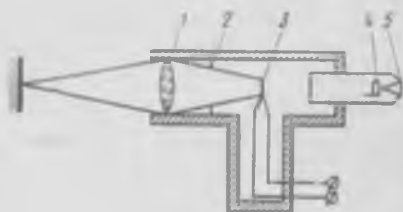


Рис 3-20. Схема радиационного пирометра с термобатареей

Оптические системы бывают двух разновидностей: рефракторная — преломляющая (с линзой) и рефлекторная — отражающая (с собирательным зеркалом).

Пирометр с рефлекторной оптической системой (рис. 3-20) состоит из объективной линзы 1, собирающей лучи, окуляра 2 для наводки телескопа на нагретое тело, ограничивающей диафрагмы 3, установленной на пути лучей от источника излучения, термоэлектрической батареи 4, расположенной в фокусе объективной линзы, цветного стекла 5 для защиты глаза при установке прибора. Улавливаемые пирометром тепловые лучи концентрируются при помощи линзы 1 на термобатарею 4, состоящей из ряда термопреобразователей. По термо-ЭДС, развиваемой этими термопреобразователями, определяется величина измеряемой температуры. Расстояние между излучающим телом и телескопом принимают 0,8—1,3 м. Предел измерения температуры 20—3000 °С.

Радиационные пирометры могут быть установлены стационарно с применением дистанционной передачи, автоматической записи и регулирования температуры.

3.7. Особенности использования приборов для измерения температуры в пищевой промышленности

При выборе и использовании приборов для измерения температуры в пищевой промышленности учитывают не только такие требования, как диапазон измерения, точность, надежность, но и требования, вызванные специфическими условиями пищевых производств. Так, при ведении биохимических и микробиологических процессов должна соблюдаться стерильность, чтобы не допустить появления побочной микрофлоры или появления со стороны контактирующих с пищевой средой элементов, вредно действующих на полезную микрофлору.

Пищевые продукты нередко являются химически активными и агрессивными средами, и материалы, находящиеся в контакте с ними (например, чувствительные элементы термопреобразователей сопротивления и манометрических термометров), должны быть коррозионно- и эрозиястойкими. Кроме того, материал чувствительного элемента выбирается из числа разрешенных санитарными органами для контакта с определенными пищевыми продуктами.

В случае использования жидкостных стеклянных термометров применяются меры, полностью исключающие попадание в пищевую среду осколков стекла и заполнителя (ртути, спирта, толуола), что достигается установкой термометров в защитных гильзах и выбором места их установки. Такое же требование следует учитывать и при установке термобаллонов манометрических термометров, заполняемых газами или жидкостями, попадание которых в пищевую продукт может сделать его непригодным к употреблению.

В помещениях спиртовых, ацетон-бутиловых, ликерно-водочных, маслоэкстракционных и некоторых других производств необходимо учитывать взрыво- и пожароопасность технологических сред и помещений. В этом случае для измерения температуры предпочтительно применение неэлектрических устройств, а для передачи показаний на расстояние — пневматических дистанционных передач.

Измерение температуры вязких сред (опары, теста, конфетной массы, фруктовых начинок и т. п.) связано с определенными трудностями, для устранения которых термочувствительные элементы приборов должны устанавливаться так, чтобы их можно было быстро заменять и чистить.

Несмотря на значительные достижения термометрии, отвечающей практически любым требованиям пищевой промышленности, проблемой остается измерение температуры внутри отдельных единиц изготавливаемых пищевых продуктов (консервных банках, хлебобулочных и колбасных изделиях и т. п.), особенно при их движении в процессе производства в пекарных, копильных или обжарочных камерах.

Появилась перспектива применения бесконтактных методов измерения температуры, в частности с использованием низко-температурных быстродействующих радиационных пирометров, которые могут найти применение в хлебопекарной, кондитерской и других отраслях пищевой промышленности.

Контрольные вопросы

1. Какие температурные шкалы применяются и каковы их характерные точки?
2. Объясните принцип действия термометров расширения и манометрических термометров.
3. Из каких основных элементов состоит манометрический термометр?
4. Как подразделяются манометрические термометры в зависимости от рабочего вещества замкнутой системы?
5. Объясните принцип действия термоэлектрического термометра.
6. Назовите типы стандартных термоэлектрических преобразователей и дайте им характеристики.
7. Какими путями устраняется влияние температуры окружающей среды на величину термоэлектродвижущей силы термоэлектрического термометра?
8. Какие виды вторичных приборов используются для измерения температуры термоэлектрическим термометром?
9. Что представляет собой унифицированная система комплекса самописцев (КС) и каковы ее преимущества перед другими системами?
10. По каким признакам и на какие основные группы подразделяются автоматические потенциометры?
11. Объясните принцип действия термопреобразователей сопротивления.
12. Какие материалы используются для изготовления чувствительных элементов термопреобразователей сопротивления и каким требованиям должны удовлетворять эти материалы?
13. Как устроен платиновый термопреобразователь сопротивления?
14. Как устроен медный термопреобразователь сопротивления?
15. Какие вторичные приборы используют для измерения температуры с помощью термопреобразователей сопротивления?
16. Объясните принцип действия логометра.
17. Какие бывают автоматические мосты для измерения температуры с помощью термопреобразователей сопротивления?

Глава 4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

4.1. Основные понятия

Давление, как и температура, представляет собой один из важнейших параметров технологических процессов пищевых производств. От величины давления во многом зависит режим и качество протекания процесса, поэтому возникает необходимость своевременно контролировать и регулировать величину этого параметра.

Давлением называется сила, равномерно распределенная по нормальной к ней поверхности. За единицу давления в Международной системе единиц (СИ) принят паскаль (Па) — давление, вызываемое силой в 1 ньютон, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м^2 .

Кроме паскаля, в практике измерений применяются и внесистемные единицы: техническая атмосфера $1 \text{ кгс/см}^2 = 98066,5 \text{ Па}$; миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.) — давление столба ртути высотой 1 мм на свое основание ($1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па}$); миллиметр водяного столба (мм вод. ст.) — давление водяного столба на свое основание ($1 \text{ мм вод. ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2 = 9,80665 \text{ Па}$).

Различают давление абсолютное, барометрическое, избыточное и вакуумметрическое.

Абсолютным давлением P_a называется полное давление, под которым находится жидкость, газ или пар. Оно равно сумме давлений избыточного и атмосферного, или барометрического ($P_a = P_{\pi} + P_b$).

Барометрическим давлением P_b называется давление, которое производит масса воздушного столба атмосферы.

Избыточным давлением P_{π} называется разность между абсолютным и барометрическим давлением ($P_{\pi} = P_a - P_b$), а вакуумметрическим P_v — разность между барометрическим и абсолютным давлением, меньшим атмосферного ($P_v = P_b - P_a$).

По роду измеряемой величины приборы для измерения давления и разрежения делятся на:

манометры — для измерения абсолютного и избыточного давления;

вакуумметры — для измерения вакуумметрического давления (разрежения);

мановакуумметры — для измерения избыточного и вакуумметрического давления;

тягиометры — для измерения вакуумметрического давления (малых разрежений) газа;

напорометры — для измерения малых избыточных давлений газа;

тягионапорометры — для измерения вакуумметрического и малого избыточного давления газа;

барометры — для измерения барометрического давления атмосферного воздуха;

дифференциальные манометры — для измерения разности двух давлений, из которых ни одно не является давлением окружающей среды.

По принципу действия приборы для измерения давления делятся на следующие основные группы:

жидкостные, в которых измеряемое давление уравнивается гидростатическим давлением столба жидкости;

деформационные, в которых давление измеряется по величине деформации упругих элементов или по развиваемой ими силе;

грузопоршневые, действие которых основано на уравнивании измеряемого давления внешней силой, действующей на поршень;

электрические, действие которых основано либо на преобразовании давления в какую-нибудь электрическую величину, либо на изменении электрических свойств материала под действием давления.

4.2. Жидкостные и деформационные манометры

Жидкостные манометры. Простейшим прибором этого типа является U-образный жидкостный манометр (рис. 4-1), состоящий из стеклянных измерительных трубок 2 и 1, соединен-



Рис. 4-1. U-образный жидкостный манометр

Рис. 4-2. Манометр с одновитковой трубчатой пружиной



ных внизу и укрепленных на вертикальной доске 4, на которой находится миллиметровая шкала 3 с нулевой отметкой посередине. До этой отметки измерительные трубки заполняются рабочей жидкостью (ртутью, водой, спиртом). Если трубка 2 сообщается со средой большего давления, а трубка 1 — со средой меньшего давления, то в первой уровень жидкости понизится, а во второй повысится, в результате чего общая высота отсчета будет равна сумме отклонений уровней в каждой трубке от нулевой отметки. Тогда для сечения ab можно написать равенство $P_a = P_0 + h\rho g$, где h — высота столба рабочей жидкости, м; ρ — плотность рабочей жидкости, кг/м^3 ; g — ускорение свободного падения, м/с^2 . Из приведенного равенства следует, что избыточное давление измеряемой среды прямо пропорционально высоте столба и плотности уравнивающей жидкости в манометре. Такие приборы благодаря простоте конструкции и

достаточно высокой точности измерений широко применяются для лабораторных и технических измерений.

Технические жидкостные манометры выполняются также в виде комбинированных жидкостно-механических приборов (поплавковые, колокольные, кольцевые), которые будут описаны ниже.

Деформационные манометры. Они составляют обширную группу приборов для технических измерений. Действие их основано на измерении величины деформации различных видов упругих элементов: пружин, сильфонов, мембран и др. Деформация упругого элемента преобразуется передаточными механизмами в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора или других устройств.

В зависимости от применяемых упругих элементов деформационные приборы бывают с одновитковой трубчатой пружиной, с многовитковой трубчатой пружиной, с упругой гармониковой мембраной (сильфонные) и мембранными.

Существенными достоинствами деформационных приборов являются надежность, простота устройства, большой предел измерения, возможность применения дистанционной передачи и автоматической записи показаний.

В манометрах с одновитковой трубчатой пружиной основной частью является пружина 1 (рис. 4-2), выполненная в форме согнутой по кругу трубки с поперечным сечением в виде эллипса или сплюснутой окружности¹. Один конец трубчатой пружины 1 закреплен в держателе 4, соединенном с корпусом манометра. Внизу держатель снабжен шестигранной головкой и радиальным штуцером 5 с резьбой для присоединения к месту, где необходимо измерить избыточное давление среды. Свободный конец пружины соединен с секторным механизмом (поводок 3, сектор 6, трубка 7). На оси трубки укреплен стрелка 2. Спиральная пружина постоянно прижимает трубку к одной стороне зубчатого сектора, устраняя «мертвый» ход. Под действием измеряемого избыточного давления овальное сечение трубки 1 стремится превратиться в круглое, что заставляет трубку разгибаться и тянуть поводок, который приводит в движение зубчатый сектор и соответственно трубку со стрелкой. Передвигающаяся вдоль шкалы стрелка показывает значение измеряемого избыточного давления. Регулировка хода стрелки осуществляется изменением длины плеча сектора со стороны поводка.

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной подразделяются на технические показывающие общего и специального

¹ В манометрах высокого давления (свыше 98 МПа) применяют толсто-стенные стальные трубчатые пружины круглого поперечного сечения с каналом, ось которого смещена относительно оси пружины в сторону центра кривизны последней.

назначения, лабораторные, образцовые показывающие сигнализирующие, самопишущие, показывающие с пневматическим выходным сигналом, показывающие с электрическим выходным сигналом.

Технические показывающие манометры общего назначения имеют классы точности 1; 1,5; 2,5.

В зависимости от условий монтажа технические манометры изготовляют с радиальным или осевым штуцером, а также с передним или задним фланцем на корпусе. Эти приборы широко применяются в пищевых производствах для измерения давления в различных аппаратах, машинах, установках, трубопроводах (парогенераторах, автоклавах, колоннах, насосных установках, паропроводах, водопроводах и др.).

Манометрами специального назначения измеряют давление различных газов (аммиака, ацетилена, водорода, кислорода). Для каждого газа выпускается специальный манометр, на шкале которого указано название газа и корпус которого окрашен в определенный цвет: для аммиака — в желтый, для ацетилена — в белый, для водорода — в темно-зеленый, для других горючих газов — в красный, для кислорода — в голубой, для негорючих газов — в черный. В условном обозначении прибора указывается соответствующей буквой его назначение: аммиачный — А, ацетиленовый — А_ц, водородный — В, кислородный — К. Классы точности, пределы измерения такие же, как у манометров общего назначения.

Лабораторные или контрольные манометры предназначены для поверки технических манометров на месте их установки. В отличие от обычных манометров они имеют две трубчатые пружины, рычажные передаточные механизмы и две стрелки, показания которых должны совпадать. Контрольные манометры выпускают для верхнего предела измерений 156,8 МПа с классами точности 0,4; 0,6; 1.

Образцовые манометры типа МО по конструкции не отличаются от технических и служат для поверки манометров в лабораторных условиях. Шкала их имеет условные единицы, угловые градусы. По окружности циферблата нанесено 100 условных делений с числовой отметкой через каждые 5 делений. Для перевода условных делений в единицы давления пользуются специальной таблицей свидетельства на образцовый манометр. Образцовые манометры этого типа имеют верхний предел измерения до 58,5 МПа и классы точности 0,16; 0,25 и 0,4. Пользование образцовыми манометрами допускается при температуре воздуха 20 ± 5 °С.

Показывающие сигнализирующие манометры имеют электрическое сигнальное устройство, срабатывающее при достижении заданного давления. Манометр снабжен двумя контрольными стрелками с контактами, которые устанавливают на максимум и минимум давления. Стрелка прибора, несущая

контакты, замыкает электрическую цепь, если давление достигло значений, установленных контрольными стрелками. Приборостроительными заводами выпускаются сигнализирующие манометры типов МП4-III, МП4-IV с пределами измерения от 0,0588 до 156,8 МПа. Они имеют классы точности 1 и 1,5 и широко применяются для контроля давления в автоклавах, дистилляционных аппаратах, воздушных компрессорах, водопроводах и паропроводах.

Манометры показывающие с пневматическим выходным сигналом (типа МП4-V) одновременно с измерением давления выдают сигнал в виде давления воздуха, величина которого про-



Рис. 4-3. Многовитковая трубчатая пружина

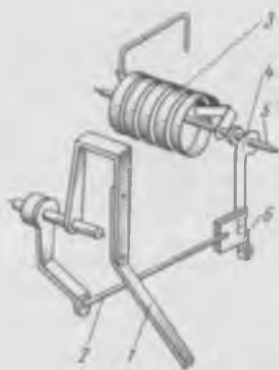


Рис. 4-4. Кинематическая схема чувствительного элемента

порциональна значению измеряемого параметра. Пневматический сигнал, обрабатываемый на выходе манометра, может быть передан на приборы универсальной системы элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) или другие устройства автоматической системы регулирования.

Манометры показывающие с электрическими выходными сигналами (типа МП4-VI) предназначены для измерения давления, отсчета показаний и выдачи унифицированного токового выходного сигнала, пропорционального измеряемому давлению. Эти приборы могут быть использованы для работы с автоматическими регуляторами и электронными вычислительными машинами.

Манометры с многовитковой трубчатой пружиной отличаются от одновитковых формой упругого элемента, имеющего вид цилиндрической (винтовой) спирали (рис. 4-3) с 6—9 витками, изготовленной из плоской трубки. Такую конструкцию упругого чувствительного элемента можно рассматривать как ряд одновитковых пружин, соединенных последовательно, что позволяет получить значительное перемещение свободного конца трубки (15 мм) и перестановочное усилие, улучшающие условия автоматической записи и дистанционной

передачи. Поэтому манометры с многовитковой трубчатой пружиной выпускаются в основном как самопишущие для передачи показаний на расстояние. Максимальное давление до 15,6 МПа.

На рис. 4-4 показана кинематическая схема упругого чувствительного элемента прибора. Пружина 3 припаяна одним концом к неподвижной скобе и соединена с капилляром; свободным концом она связана с осью 5. На оси пружины жестко закреплен рычаг 4, по которому может перемещаться регулировочная каретка 6, соединенная тягой 2 с поводком и несущим

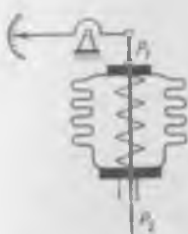


Рис. 4-5. Схема сильфона

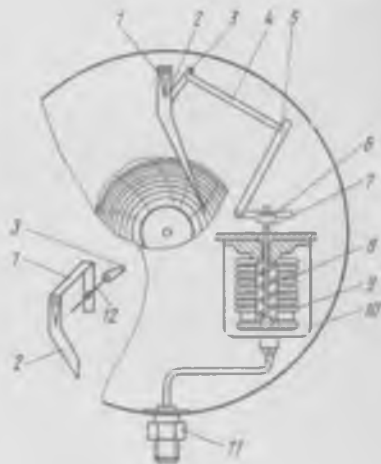


Рис. 4-6. Манометр самопишущий сильфонного типа МСС

мостиком пера 1. При перемещении свободного конца пружины под действием измеряемого давления ось 5 поворачивается и посредством рычагов и тяг перемещает мостик пера. Запись показаний производится на дисковой диаграмме, приводимой в движение от часового механизма или синхронного двигателя.

В сильфонных манометрах упругим чувствительным элементом является сильфон, представляющий собой цилиндрический тонкостенный сосуд с кольцевыми складками (гофрами). Для увеличения жесткости часто внутри сильфона помещают винтовую цилиндрическую пружину (рис. 4-5), которая преобразует давление входа P_2 в давление выхода P_1 .

Сравнительно большой рабочий ход сильфонов позволяет применять их в самопишущих приборах. На рис. 4-6 показана схема манометра самопишущего сильфонного типа МСС. Сильфон 9 снабжен пружиной 8, которая вместе с ним создает противодействующую силу. Объект, где необходимо измерить избыточное давление среды, присоединяется к штуцеру 11, соединенному трубкой с камерой 10. Под действием давления среды сильфон деформируется, и дно его поднимает шток 7.

Шток перемещает рычаг 6, который через рычаг 5, тягу 4 и рычаг 3 поворачивает ось 12 и сидящий на ней П-образный рычаг 1, несущий перо 2. Измеряемое давление записывается на дисковой диаграмме, приводимой в движение с помощью синхронного двигателя или часового механизма.

Сильфонные манометры могут снабжаться электрическими или пневматическими преобразователями для передачи показаний на расстояние. Манометры типа МСС выпускаются с верхними пределами измерений от 0,025 до 0,4 МПа и имеют класс точности 1,5.

В мембранных манометрах в качестве чувствительных элементов используются эластичные упругие мембраны, деформация которых преобразуется передаточными механизмами в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора. Эластичные мембраны представляют собой плоские или гофрированные диски, зажатые между фланцами. Материалами для эластичных мембран служат капроновые пленки, тефлон, прорезиненные ткани и другие материалы, обладающие необходимой механической прочностью, устойчивостью к воздействию агрессивных сред, эластичностью при значительных изменениях температур (от -50 до $+50$ °C).

Эластичные мембраны получили распространение в мембранных дифманометрах, пневмопреобразователях и регулирующих устройствах пневмоавтоматики.

Мембранные манометры применяются для измерения небольших избыточных давлений (0,04 МПа) жидких, газообразных и особенно вязких сред (сахарный сироп, сусло, купажи, масло, мазут и др.).

Деформационные (пружинные) манометры выбираются с учетом условий измерения (величины измеряемого давления, пределов и характеров его колебаний, физико-химических свойств среды, требуемой точности измерения).

Для обеспечения продолжительного срока надежной работы пружинного манометра допустимое рабочее давление его должно быть не более $\frac{3}{4}$ верхнего предела шкалы при постоянном и не более $\frac{2}{3}$ — при переменном давлении.

Допустимое рабочее давление непружинных манометров должно быть ближе к верхнему предельному значению шкалы. При выборе манометра обращается внимание на то, чтобы он имел пломбу, свидетельствующую о его исправности. Срок действия пломбы один год.

4.3. Грузопоршневые манометры

Грузопоршневые манометры отличаются высокой точностью и широким диапазоном измерений (от 0,098 до 980 МПа). Они широко применяются для поверки технических, контрольных и образцовых пружинных манометров в лабораторных условиях.

Измеряемое давление определяется с помощью калиброванных грузов по величине нагрузки на поршень.

На рис. 4-7 приведена схема грузопоршневого манометра. Основной частью прибора является вертикальная колонна 11, в цилиндрическом канале которой находится свободно перемещающийся поршень 7. На штоке поршня укреплена тарелка 9 со съемными грузами 8, каждый из которых создает строго определенное давление рабочей жидкости, заключенной в камере манометра. Камеру заполняют через воронку 10 трансформаторным (давление до 25 МПа) или касторовым (давление до 250 МПа) маслом. Поверяемые манометры ввертывают в отверстия штуцеров 5 и 12. При проверке одного прибора свободный штуцер закрывают вентилем 4. Давление жидкости, создаваемое грузами и поршнями через вентиль 6 колонки и вентиль 13 при закрытом вентиле 14, передается пружинному манометру. Сравнивая это давление с показаниями поверяемого манометра, оценивают его погрешность.

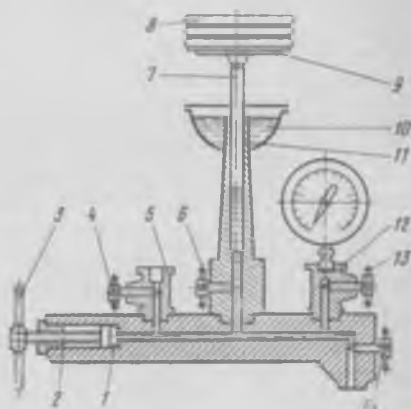


Рис. 4-7. Грузопоршневой манометр

Если закрыть вентиль 6 и с помощью рукоятки 3 и винта 2 перемещать поршень 1, то можно создать давление жидкости для проверки манометров на более высокие пределы. В этом случае в один из штуцеров устанавливают образцовый пружинный манометр. Грузопоршневые манометры имеют верхние пределы измерения 0,25; 0,6; 6; 25; 60; 250 МПа и классы точности 0,02 или 0,05. Высокая точность этих приборов требует хорошего ухода за ними и соблюдения правил эксплуатации.

4.4. Электрические манометры

В основу действия этих приборов положены различные физические явления, когда давление преобразуется прямо или косвенно в какую-либо электрическую величину, функционально связанную с давлением, например изменение электрического сопротивления проводников при воздействии внешнего избыточного давления, изменение индуктивности или электрической емкости и т. д.

К приборам этого типа относятся манометры сопротивления и пьезоэлектрические.

Пьезоэлектрические манометры. Принцип их действия основан на использовании пьезоэлектрического эффекта, т. е.

эффекта возникновения электрических зарядов при деформации некоторых кристаллов (кварца, турмалина, бария и др.). Для изготовления пьезоэлектрических чувствительных элементов наиболее широко применяется кварц, обладающий хорошими пьезоэлектрическими свойствами, механической прочностью, высокими изоляционными свойствами и независимостью пьезоэлектрической характеристики от изменения температуры.

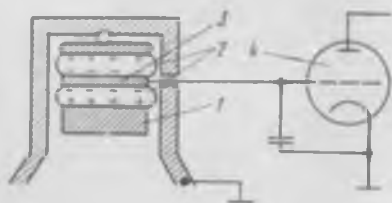


Рис. 4-8. Пьезоэлектрический манометр

Устройство пьезоэлектрического манометра схематично показано на рис. 4-8. Измеряемое избыточное давление действует на металлическую пластину 1, сжимающую кварцевые пластины 2, разделенные металлической прокладкой 3. Кварцевые

пластины располагают так, чтобы грани с отрицательным зарядом были обращены к прокладке 3, а стороны с положительным зарядом прилегали к пластинам, через которые они электрически замыкаются на корпус преобразователя. Возникающая при этом разность потенциалов поступает на ламповый вольтметр 4, по показаниям которого судят о величине измеряемого давления.

Характерной особенностью пьезоэлектрических манометров является мгновенное возникновение электрических зарядов в момент приложения силы (т. е. они безынерционны), благодаря чему они становятся незаменимыми при измерении давления быстропротекающих процессов. Они позволяют измерять давление до 100 МПа. Погрешность измерения пьезоэлектрическим манометром составляет $\pm 1,5-2\%$.

Манометры сопротивления. Действие манометров сопротивления основано на изменении электрического сопротивления проводника под влиянием внешнего избыточного давления. Для изготовления чувствительного элемента прибора используется манганин, имеющий линейную независимость приращения электрического сопротивления от давления, обладающий очень малым температурным коэффициентом электрического сопротивления, что позволяет не считаться с изменением температуры окружающего прибор воздуха. Недостаток манганина заключается в малом изменении сопротивления под действием давления. На рис. 4-9 показана схема манганинового манометра, в корпусе 1 которого на двух металлических стержнях 3 смонтирована манганиновая однослойная

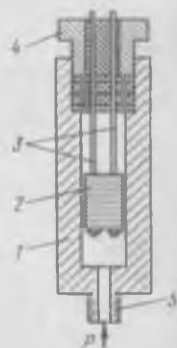


Рис. 4-9. Манометр с преобразователем из манганиновой проволоки

катушка 2. Стержни крепятся посредством гайки 4, герметически соединенной с корпусом при помощи уплотнения, состоящего из изоляционных прокладок. Для присоединения манометра к аппарату или трубопроводу служит ниппель 5. Стержни в верхней своей части имеют зажимы для присоединения к приборам, измеряющим сопротивление катушки. В качестве таких приборов применяют мосты или потенциометры. Манганиновые манометры типа ММ25000 могут измерять давление до 2500 МПа. Пределы допускаемой основной погрешности не превышают $\pm 1\%$.

К манометрам сопротивления относятся также приборы с чувствительным элементом — тензометром. Тензометр представляет собой тонкую проволоку (манганиновую диаметром 0,02—0,05 мм), наклеенную на изоляционное основание (бумагу). К концам проволоки припаивают выводы. Такой чувствительный элемент наклеивается на поверхность, подвергающуюся деформации, и преобразует усилие или пропорциональную ему деформацию в изменение сопротивления проволоки.

Тензометр обладает прямолинейностью характеристики $R = f(P)$, малой инерционностью, возможностью размещения в труднодоступных местах, достаточно малой погрешностью, не превышающей $\pm 2\%$.

Измерительными приборами сопротивления тензометра служат обычно мостовые схемы, в одно плечо которых включается измерительный тензометр, а в смежное — компенсационный тензометр, не подвергающийся деформации и служащий для компенсации температурных влияний среды.

4.5. Вакуумметры и мановакуумметры

Вакуумметры и мановакуумметры подразделяются по принципу действия на жидкостные и деформационные.

Жидкостный мановакуумметр. На рис. 4-10 показан мановакуумметр, состоящий из двух сообщающихся между собой стеклянных измерительных трубок 1 и 6, укрепленных на деревянном основании 5. Трубка 1 снабжена манометрической шкалой с ценой деления 1961 Па, а трубка 6 — вакуумметрической шкалой с ценой деления 1333,22 Па. Расширитель 3, служащий для уменьшения колебаний избыточного или вакуумметрического давления, соединяется при помощи сальника с концом трубки 1 и несет на себе присоединительный штуцер 2. Воронка 4 предназначена для заливки в трубки ртути. При измерении избыточного давления ртуть вытесняется в трубку 6, а при измерении вакуумметрического — в трубку 1. Прибор имеет основную погрешность $\pm 0,2\%$ и применяется как для лабораторных, так и для технологических измерений, например в аппаратах остаточного давления паров жирных кислот.

Деформационные вакуумметры и мановакуумметры. По своему устройству эти приборы аналогичны деформационным

манометрам избыточного давления (с одновитковой пружиной или сильфоном). Только при измерении вакуумметрического давления трубчатая пружина не разгибается, как в манометрах, а сгибается.

Вакуумметры с одновитковой пружиной подразделяются на технические, лабораторные (контрольные) и образцовые. Технические пружинные вакуумметры по устройству принципиально не отличаются от деформационных манометров избыточного давления. Как и манометры, они бывают показывающие (ОБВ), самопишущие сильфонные (ВТС), показывающие сигнализирующие (ВП4-III), показывающие с пневматическим выходным сигналом (ВП4-V), показывающие с электрическим выходным сигналом (ВП4-VI) и др. Верхний предел измерения приборов от 0,0588 до 0, нижний — от $-0,098$ до 0 МПа. Классы точности 1 и 1,5.



Рис. 4-10. Ртутный двухтрубный мановакуумметр

Технические пружинные мановакуумметры по конструкции не отличаются от соответствующих типов вакуумметров. Различие между ними состоит в том, что мановакуумметры имеют двустороннюю шкалу, т. е. с нулем посередине. Отечественные приборостроительные заводы выпускают различные типы мановакуумметров: самопишущие сильфонные (МВСС), самопишущие с трубчатой пружиной (МВТС), показывающие сигнализирующие (МВП4-III), показывающие с пневматическим выходным сигналом (МВП4-V), показывающие с электрическим выходным сигналом (МВП4-VI). Они имеют нижний предел измерения от $-0,098$ до 0,0580, верхний — от 0,0588 до 0,235 МПа.

Классы точности 1 и 1,5.

Мановакуумметры широко применяются для измерения избыточного и вакуумметрического давления в выпарных аппаратах, конденсаторах, дистилляторах, вакуум-сушильных установках и других аппаратах пищевых производств. Вакуумметры и мановакуумметры с пневматическим и электрическим выходным сигналом используются в автоматических системах регулирования.

При установке вакуумметров и мановакуумметров место прибора импульса выбирается так, чтобы на результатах измерений не отражалось влияние динамического напора движущейся среды; все места соединения труб и запорной арматуры тщательно уплотняются. Плотность соединительной линии проверяется путем отключения рабочего прибора от измеряемой среды. Если при этом скорость падения уровня ртути в приборе не превышает 100 мм/мин, плотность считается удовлетворительной.

Пружинные вакуумметры проверяются по образцовым пружинным или ртутным вакуумметрам. В процессе проверки вакуумметрическое давление, создаваемое вакуум-насосом, сначала повышается, а затем понижается.

4.6. Тягомеры, напоромеры, тягонапоромеры

При измерении небольшого вакуумметрического и избыточного давления газовых сред применяют тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры.

Тягомер (вакуумметр с верхним пределом измерения до 40 000 Па) служит для измерения малых разрежений газа, на-

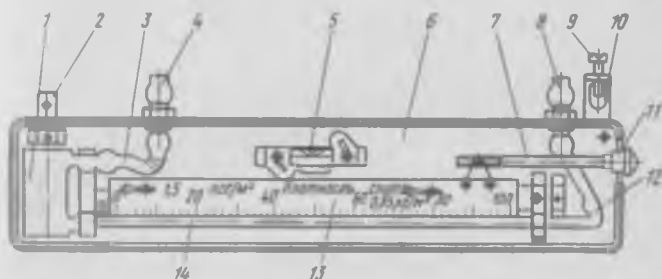


Рис. 4-11. Жидкостный однострубный тягомер

поромер — манометр для измерения небольшого избыточного давления газовых сред, тягонапоромер — мановакуумметр с верхним пределом измерения до 20 000 Па. Тягонапоромер, как и мановакуумметр, имеет двустороннюю шкалу.

По принципу действия тяго-, напоро- и тягонапоромеры разделяются на жидкостные и деформационные.

Жидкостные тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры. В качестве примера жидкостного тягомера может служить прибор, показанный на рис. 4-11, состоящий из стеклянного сосуда 1 и измерительной трубки 14, укрепленной в корпусе 6. Вдоль трубки расположена шкала 13. Холодовой винт 7 с головкой 11 является корректором нуля, служащим для совмещения при установке прибора нулевой отметки шкалы с мениском рабочей жидкости (этилового спирта или дистиллированной воды) в измерительной трубке. При измерении избыточного давления прибор соединяется с измеряемой средой через штуцер 4 и резиновую трубку 3, а в случае измерения вакуумметрического давления — через штуцер 8 и трубку 12. Уровень 5 служит для установки прибора под определенным углом наклона. При вращении винта 9 ушко 2 остается на месте, а ушко 10 перемещается, и угол наклона корпуса меняется. Эти приборы получили

широкое распространение и изготавливаются с верхним пределом измерения 245, 392, 617, 980, 1568 Па; основная погрешность $\pm 1,6$.

Колокольные тягонапоромеры используются для измерения малых давлений и разрежений. В этих приборах давление определяется по перемещению колокола 4 (рис. 4-12), опущенного в сосуд 5 с маслом. Пространство под колоколом через специальные трубки сообщается с измеряемой средой. Колокола подвешены к коромыслу 6, которое свободно качается на опоре. Каретка 3 со стрелкой и пером соединена с коромыслом при помощи тросика и пружины 7. Асинхронный двига-

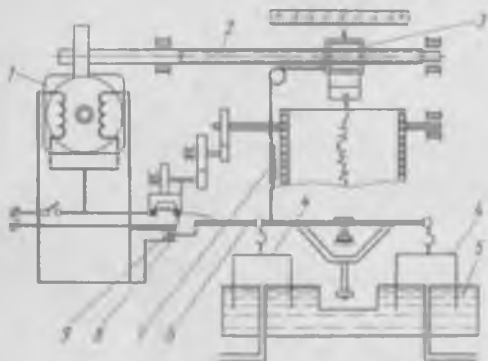


Рис. 4-12. Схема колокольного тягонапоромера типа ТНКС

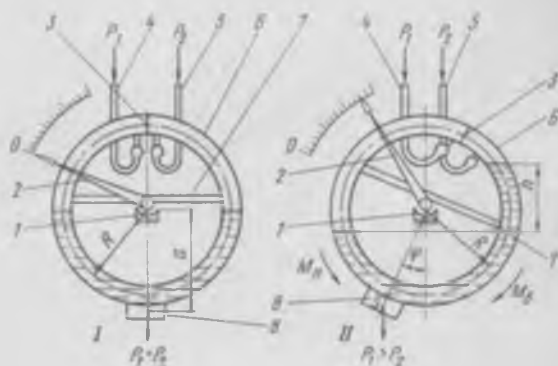
тель 1, вращая ходовой винт 2, перемещает каретку. Если под обоими колоколами давление одинаковое, коромысло будет находиться в горизонтальном положении, а контактная пластина 9 установится между контактами 8. При увеличении давления под правым колоколом левая часть коромысла опустится и контактная пластина замкнет нижний контакт, двигатель 1 включится и начнет вращать ходовой винт 2, в результате каретка 3 будет перемещаться вправо до тех пор, пока тросик с пружиной не поднимет плечо коромысла в горизонтальное положение. В этот момент контакт выключится и двигатель остановится, стрелка покажет величину давления под правым колоколом. Передача показаний на расстояние в колокольных приборах осуществляется электрическими (дифференциально-трансформаторными и ферродинамическими) и пневматическими сигналами. Основная погрешность прибора не превышает $\pm 2,5\%$. Пределы измерений от $-39,2$ до $+39,2$; от $-78,4$ до $+78,4$; от $-156,8$ до $+156,8$ Па. Для приборов с одним колоколом верхние пределы измерения давления составляют от 98,1 до 392,4 Па.

Кольцевые тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры имеют вид полого, разделенного перегородкой и частично заполненного жидкостью кольца, в котором давле-

ние уравнивающей жидкости определяется по углу поворота кольца или по моменту силы, создаваемой кольцом.

Кольцевой тягонапормер (рис. 4-13) состоит из металлической трубки 6, нижняя половина которой заполнена рабочей жидкостью (дистиллированной водой или трансформаторным маслом), а верхняя разделена на две части перегородкой 3. Кольцо опирается посредством траверсы 7 с призмой на неподвижную подушку 1. В стенку кольцевой трубки встроены подводящие трубки 4 и 5 для соединения со средой большего и меньшего давления. В нижней части кольцевой трубки прикреплен уравнивающий груз 8. Указательная стрелка 2 жестко соединена с траверсой 7. При равенстве давлений

Рис. 4-13. Схема работы кольцевого тягонапормера



в обеих полостях кольцевой трубки, т. е. при $P_1 = P_2$ (состояние I), рабочая жидкость в кольце располагается на одном уровне и стрелка прибора находится на нулевой отметке шкалы. Если давление P_1 повысится (состояние II), уровень жидкости в левой полости кольца понизится, а в правой повысится. Под воздействием столба h перемещенной жидкости правая часть кольца станет тяжелее и оно будет поворачиваться по часовой стрелке. Вместе с ним переместится указательная стрелка на угол, соответствующий новому состоянию равновесия, достигнутому за счет противодействующего момента рабочего груза 8. При этом чем больше $\Delta P = P_1 - P_2$, тем на больший угол повернется кольцо. Максимальный угол поворота кольца принимается равным 50° .

Приборы кольцевого типа изготавливаются показывающими, показывающими самопишущими и с дистанционной передачей.

Величина верхнего предела измерения для приборов с водяным или масляным заполнением составляет 2,425 кПа. Основная погрешность не превышает 1,1—1,5 %.

Деформационные тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры. В качестве чувствительных элементов этих приборов широко применяют мембранные металлические коробки, неметалличе-

ские мембраны с жестким центром, сильфон. Под действием повышенного давления внутри мембранной коробки она деформируется (раздувается). Мерой измеряемого давления служит деформация гофрированного доньшка. Давление измеряемой среды, действующее на мембрану, уравнивается усилием противодействующей пружины. Мембранные тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры выпускаются в виде показывающих приборов с вертикальной или концентрической шкалой. Приборы с профильным корпусом более удобны для монтажа на щитах. Пределы допускаемой основной погрешности не превышают $\pm 1,5$ и $\pm 2,5$ %.

Разновидностью мембранных тяго-, напоро- и тягонапоромеров являются сильфонные приборы. Основная часть их —

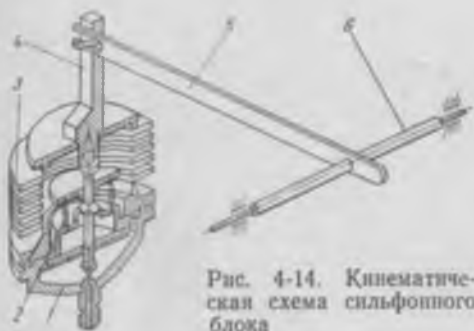


Рис. 4-14. Кинематическая схема сильфонного блока

блок — состоит из сильфона 3 (рис. 4-14) и диафрагмы 2. Блок собирается на основании 1, закрепленном на корпусе прибора. Измеряемое давление подается во внутреннюю полость сильфона. Перемещение свободного конца сильфона, вызванное действием измеряемого давления, через толкатель 4 и рычаг 5 преобразуется

в угловое перемещение оси 6. Вращение оси 6 через передаточный механизм передается на стрелку или преобразуется в соответствующий электросигнал.

Мембранные тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры устанавливаются на щитах при отсутствии значительной вибрации. Приборы при помощи соединительной линии диаметром 10—15 мм и длиной до 30 м подключаются к трубке для отбора давления. Отборную трубку рекомендуется устанавливать заподлицо с внутренней поверхностью стенки, ограничивающей измеряемую среду. Правильная работа прибора зависит от плотности соединительной линии, которая периодически проверяется путем отключения ее от отборной трубки. Если стрелка прибора не будет двигаться в сторону нулевой отметки, значит, линия плотная.

4.7. Дифференциальные манометры

Дифференциальные манометры (дифманометры) применяются для измерения перепада давления жидкости, газа и пара, уровня жидкости, находящегося под атмосферным, вакуумметрическим или избыточным давлением. Некоторые типы дифма-

нометров используются в качестве тягомеров, напорометров и гягонапорометров (см. § 4.6).

Особенно широкое распространение дифманометры получили для определения расхода жидкостей, газов, пара по перепаду давления в сужающем устройстве. По принципу действия дифманометры разделяются на жидкостные и деформационные.

Жидкостные дифференциальные манометры. В них рабочей средой является жидкость (ртуть, масло). По конструкции они подразделяются на трубные, поплавковые, колокольные и кольцевые.

Трубные манометры представляют собой U-образные приборы и используются в основном для различных контрольных испытаний оборудования и поверки рабочих приборов.



Рис. 4-15. Схема поплавкового дифференциального манометра



Рис. 4-16. Передающий механизм дифманометров-расходомеров

Поплавковый дифманометр (рис. 4-15) состоит из плюсового сосуда 7, соединительной трубки 1 и минусового сосуда 2, заполненных рабочей жидкостью (ртутью, трансформаторным маслом). В плюсовом сосуде на поверхности жидкости плавает поплавок 6. Рычаг 5, соединенный шарнирно с поплавком 6, закреплен неподвижно на оси (выходной) 4, которая связана с указательной стрелкой 3.

У дифференциальных манометров этого типа измеряемый перепад давления уравнивается давлением столба рабочей жидкости, залитой в прибор. Измерение высоты этого столба осуществляется с помощью поплавка, передающего положение уровня рабочей жидкости в одном из сосудов. Перемещение поплавка, вызванное изменением уровня жидкости в сосуде, передается механическим путем к отсчетному устройству или с помощью преобразователей на вторичный прибор.

На рис. 4-16 показан передающий механизм самопишущего прибора типа ДП-710чР. На выходной оси 4 насажено лекало 5, рассчитанное по квадратичной зависимости. По

профилю лекала скользит шуп 3, на оси которого жестко закреплен рычаг 1, несущий на конце перо. На этой же оси может быть закреплен кривошип 2 для передачи угла поворота шупа к трибко-секторному механизму.

Действие сигнального устройства приборов типа ДП-778 и ДП-778Р основано на свойстве фоторезистора резко уменьшать свое внутреннее сопротивление при воздействии на него источника света.

При изменении измеряемых параметров происходит перемещение поплавка 1 (рис. 4-17), которое через сектор 2, ле-

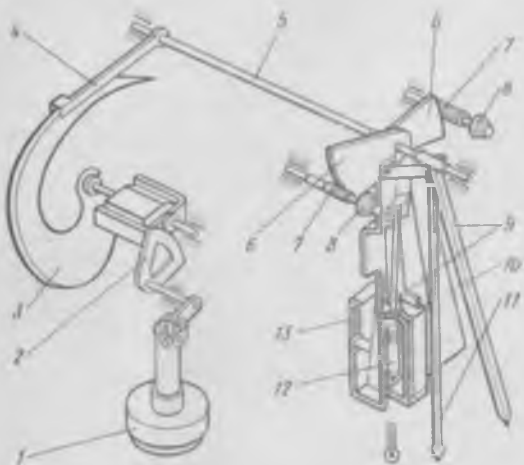


Рис. 4-17. Кинематическая схема дифференциального манометра с сигнальным устройством типа ДП-778

кало 3 и шуп 4 передается на ось 5. На этой же оси жестко закреплены стрелка 11 и шторка 10 сигнального устройства относительно фоторезисторов 13, установленных на кронштейнах. Положение фоторезисторов определяется задающими стрелками 9 с помощью ручек 8, трибок 7, секторов 6 по шкале прибора. Максимальный и минимальный пределы измерения можно устанавливать на любом участке шкалы. В качестве осветителя 12 применяется лампа ПЛ-13 с линейной нитью. Если значение параметра находится в установленных пределах, горит лампочка желтого цвета (норма). При достижении максимума или минимума шторка открывает щель в кронштейне и пучок света, проходящий от лампочки, падает на фоторезистор, сигнал с которого подается в цепь управления. При этом на крышке прибора загорается сигнальная лампочка красного цвета (максимум) или зеленого цвета (минимум).

Дифференциальный манометр с пневматическим преобразователем действует по принципу превращения угла поворота шупа в пропорциональные импульсы сжатого воздуха. Дифманометры типа ДП выпускаются рассчитанными на рабочее дав-

ление до 24,5 МПа с предельными перепадами давления для расходомеров 6,17; 9,8; 15,68; 24,5; 39,2; 61,7; 98,0 кПа, для уровнемеров — 6,3; 100; 160; 250; 400; 630; 1000 см столба измеряемой жидкости. Класс точности расходомеров 1 и уровнемеров 1 и 1,5.

Питание микродвигателей осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В. Давление воздуха для питания пневматической части 0,137 МПа; рабочий диапазон пневматических сигналов 0,0196—0,098 МПа.

Поплавковые дифманометры надежны в работе, дают достаточную точность измерения, но имеют и существенный недостаток: сообщающиеся сосуды заполняются дорогостоящей ртутью, пары которой ядовиты. Для работы с ртутью требуется специально оборудованное помещение. Эти приборы применяются для измерения расходов пара, газов, непищевых сред.

Колокольные манометры действуют по тому же принципу, что и колокольные тягонапоромеры (см. рис. 4-12). По сравнению с поплавковыми дифманометрами они более чувствительны к изменению перепада давления и применяются для измерения расхода и перепада давлений газовых сред.

Колокольные дифманометры выпускаются рассчитанными на рабочее давление до 0,245 МПа с предельными перепадами давления 98; 156,8; 245; 392; 617; 980 Па. Классы точности расходомеров 1 и 1,5.

Кольцевые манометры устроены так же, как и кольцевые тягонапоромеры (см. рис. 4-13). Кольцевые дифманометры предназначены для измерения расхода газов и рассчитаны на предельные перепады давления 392; 617,4; 980 и 1568 Па. Классы точности этих приборов 1 и 1,5.

Деформационные дифференциальные манометры. Принцип их действия основан на преобразовании измеряемого давления в величину деформации упругого элемента (мембраны, сильфона). По конструкции они подразделяются на мембранные и сильфонные.

Мембранные дифманометры служат для измерения как небольших избыточных давлений и разрежений, так и разности давлений в системах дистанционных передач при измерении расхода по перепаду давления. На рис. 4-18 показана схема устройства дифференциального манометра типа ДМ с электрическим выходным сигналом. Чувствительным элементом прибора является мембранный блок, состоящий из двух мембранных коробок 1 и 3, закрепленных с обеих сторон в основании 2, которое с верхней и нижней крышками корпуса образует две камеры: нижнюю — плюсовую и верхнюю — минусовую. Внутренние полости мембранных коробок, заполненные дистиллированной водой, сообщаются через отверстие в перегородке. Центр мембраны верхней коробки с помощью немагнитного штока жестко связан с сердечником 4 дифференци-

ально-трансформаторного преобразователя 5. Сердечник находится внутри трубки 6. Давления P_1 и P_2 к камерам подводятся через два запорных вентиля, расположенных на вертикальных трубках. Под воздействием разности давлений $P_1 - P_2$ нижняя мембранная коробка сжимается, жидкость из нее перетекает в верхнюю коробку, вызывая перемещение центра мембраны верхней коробки, а вместе с тем и сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя, что приводит к изменению взаимной индуктивности между первичной и вторич-

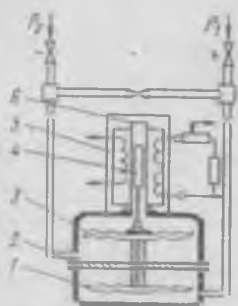


Рис. 4-18. Схема дифманометра мембранного типа ДМ

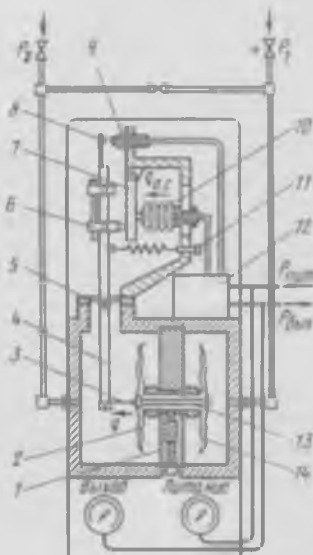


Рис. 4-19. Схема дифференциального манометра типа ДМПК

ной обмотками преобразователя, а следовательно, и к изменению напряжения на выходе его пропорционально измеряемому перепаду давления.

Мембранные дифманометры подобного типа изготавливаются на перепады давлений от 1,6 до 630 кПа и рабочее давление среды до 25 МПа. Классы точности приборов 1 и 1,5.

На рис. 4-19 показана схема мембранного манометра пневматического типа ДМПК, имеющего унифицированный пневматический выходной сигнал. Он предназначен для измерения перепада давления, расхода жидкостей, газов и пара по перепаду давления в сужающем устройстве, а также уровня жидкости. Манометр ДМПК используется в системах автоматического регулирования.

Для указанных выше величин манометр может применяться с любым вторичным прибором или устройством, рассчитанным на измерение избыточного давления от 0,02 до 0,1 МПа. Принцип действия прибора основан на компенсации усилия, развн-

ваемого чувствительным элементом, которым является блок, состоящий из двух мембранных коробок 2 и 14, закрепленных с обеих сторон в основании 1. Это основание с двумя боковыми крышками корпуса прибора образует измерительные камеры, в правую из которых подводится давление P_1 , а в левую камеру — давление P_2 . Внутренние полости мембранных коробок соединены между собой и заполнены жидкостью. Внешние жесткие центры мембран обеих коробок соединены между собой штоком 13. Центр минусовой камеры соединен с основным рычагом 4 пневматического преобразователя 3. Вывод основного рычага из минусовой камеры с высоким рабочим давлением уплотнен с помощью мембраны 5, приваренной к рычагу 4 и втулке.

Измеряемая разность давлений действует на чувствительный элемент и преобразуется в пропорциональное усилие q , которое через рычажную систему 4 и 7 пневматического преобразователя уравнивается усилием q_0 с сильфона обратной связи 10.

В результате изменения измеряемой разности давлений и усилия q происходит незначительное перемещение рычажной системы и связанной с ней рычагом 4 заслонки 8 индикатора рассогласования, зазор между заслонкой и соплом 9 меняется, вызывая изменение давления сжатого воздуха в линии сопла. Давление сжатого воздуха в линии сопла управляется пневматическим усилителем 12 таким образом, что выходное давление воздуха, поступающее в линию дистанционной передачи, изменяется пропорционально измеряемому перепаду давления. Мемой измеряемого перепада давления является текущее значение выходного давления, необходимое для создания уравнивающего усилия обратной связи.

Настройка прибора на заданный перепад давления производится при помощи подвижной опоры 6.

Сильфонные манометры предназначены для измерения расхода, перепада давления, избыточных и вакуумметрических давлений жидких и газообразных сред, а также для измерения уровня. Принцип действия сильфонных дифманометров основан на преобразовании деформации сильфона, вызванной измеряемым перепадом давления, в перемещение, которое с помощью рычажно-передаточного механизма передается на указатель, перо или суммирующее устройство (интегратор). Указатель или перо поворачивается до тех пор, пока сила, вызываемая перепадом давления, не уравнивается силами упругих деформаций и других устройств.

В качестве чувствительного элемента в этих приборах могут использоваться один или два сильфона, образующие сильфонный блок, располагающийся в корпусе прибора, где могут находиться показывающее, самопишущее и интегрирующее устройства.

На рис. 4-20 показан дифманометр типа ДСС. Сильфонный блок прибора состоит из основания (перегородки) 6, на котором укреплены рабочие сильфоны 5 и 8, жестко связанные между собой штоком 9. На свободном конце штока находится диск с противодействующими винтовыми пружинами 11. Левые концы этих пружин присоединены к нижней части неподвижного конуса 12, укрепленного шпильками 10 на перегородке 6. Внутренние полости сильфонов заполняются водно-глицериновой смесью и сообщаются между собой через зазор между плавающим кольцом 2, расположенным на штоке, и стенками от-

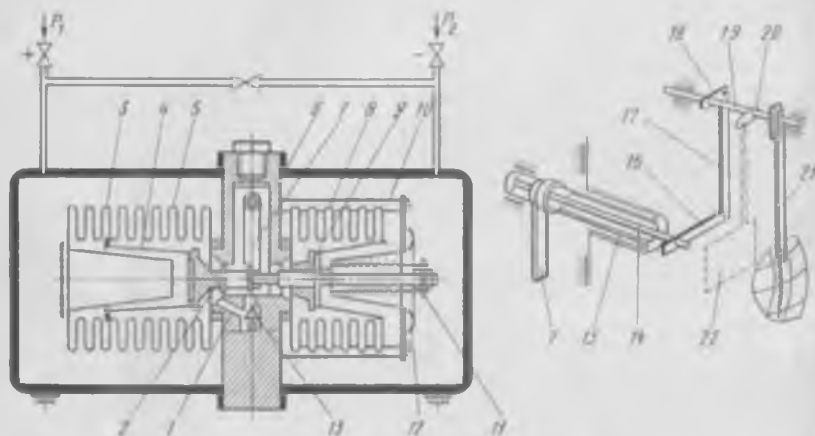


Рис. 4-20. Дифманометр сильфонный типа ДСС

верстия. Сильфон 5 снабжен температурным компенсатором 3 в виде трех дополнительных гофр. Внутренние полости температурного компенсатора и сильфона сообщаются между собой отверстиями в разделительном стакане 4. При изменении температуры окружающей среды, а вместе с ней и объема жидкости она будет перетекать через отверстия в разделительном стакане 4. Давления P_1 и P_2 подводятся в камеры дифманометра через два запорных вентиля. Под действием разности давлений $\Delta P = P_1 - P_2$ сильфон 5 сжимается, жидкость из него частично перетекает через регулируемое клапаном 13 отверстие 1 в сильфон 8, вызывая перемещение дна его стакана. При этом перемещается шток, связанный с сильфонами, и изменяется натяг пружин. В результате перемещения штока рычаг 7, находящийся в постоянном контакте со штоком, закрывает торсионную трубку 15, поворачивающую ось 14, которая с помощью рычага 16, шатуна 17 и поводка 18 поворачивает ось 19, несущую перо 21. Если прибор снабжен интегратором, то поводок 20 соединяют с помощью шатуна с поводком интегратора 22.

На рис. 4-21 приведена кинематическая схема механического интегратора. Кулачок 2 от синхронного двигателя через шестерню 5, валик 4 постоянно вращается с угловой скоростью $0,1667 \text{ с}^{-1}$ (10 об/мин). Вращение кулачка через ролик 3 приводит в качательное движение рычаг 21, укрепленный на оси 7. На конце рычага 21 имеется шуп 20, который периодически соприкасается с лекалом 19, когда ролик 3 выходит из зацепления с кулачком 2. Величина угла качания рычага 21 зависит

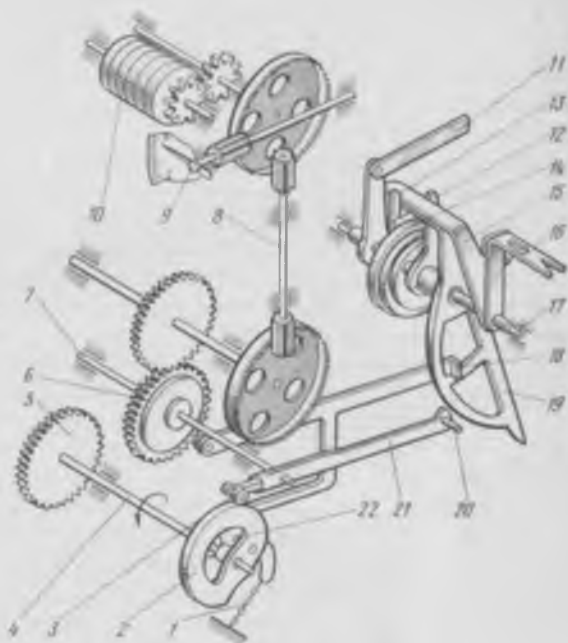


Рис. 4-21. Кинематическая схема механического интегратора

от положения лекала, а профиль лекала рассчитан так, чтобы этот угол был прямо пропорционален величине расхода измеряемой среды. Лекало в свою очередь связано с осью 17. На этой оси жестко закреплен рычаг 16 с пером прибора. Следовательно, угол поворота оси 17 прямопропорционален изменению измеряемой физической величины (расхода, массы, объема), передаваемой к интегратору с помощью рычага 11.

Движение (качательное) рычага 21 посредством оси 7 передается на муфту 6, суммирующую углы поворота в одном направлении и передающую их с помощью зубчатой передачи 8 на счетный механизм 10 и стрелку 9. Для устранения влияния движения рычагов на показания прибора лекало 19 во время соприкосновения со шупом стопорится посредством рычага 18 и пружины 1. Это происходит тогда, когда ролик 3 входит в соприкосновение с кулачком 2, а шуп 20 отходит от лекала.

В этот момент рычаг 18 при помощи штифта 22, входящего в вырез кулачка 2, освобождает лекало, устанавливающееся в положение, соответствующее положению пера. Поворот оси 17 в момент, когда лекало застопорено, осуществляется с помощью спирали 14 и лапок 12 и 13, обжимающих рычаг 15, жестко соединенный с осью 17 силами предварительно заданного момента спирали.

Приборостроительной промышленностью выпускаются сильфонные дифманометры, показывающие с интегратором, показывающие с пневмопреобразователем, показывающие с электрическим преобразователем, самопишущие с интегратором (типов ДСП-780, ДСП-781, ДСП-787, ДСП-786, ДСС-710, ДСС-712) с верхними пределами измерения от 6,17 до 156 кПа и классами точности 1 и 1,5.

Место установки дифманометров и работающих с ними в комплекте вторичных приборов выбирается с учетом обеспечения удобства обслуживания, хорошей видимости шкалы, отсутствия вибрации, сотрясений, перегревов. Дифманометр может монтироваться на вертикальной плоскости, кронштейне или стойке из труб. При измерении расхода газа прибор устанавливается выше трубопровода, а при измерении расхода жидкости — наоборот. Длина трубок, соединяющих место отбора давления с прибором, должна быть не более 50 м, а внутренний диаметр их составляет 6—15 мм. При этом чем длиннее соединительная линия и больше вязкость измеряемой среды, тем большим должен быть диаметр трубок. Трубки рекомендуется прокладывать вертикально или с уклоном не менее 0,1 в сторону продувочных вентиляй, газосборников

или отстойных сосудов. После монтажа проверяют плотность установки. При закрытом уравнительном и открытых запорных вентилях поверяемого прибора создают прессом давление, необходимое для перемещения стрелки или пера на предельное значение шкалы или диаграммы. Установка считается плотной, если стрелка или перо в течение 5 мин не смещается в сторону уменьшения показаний.

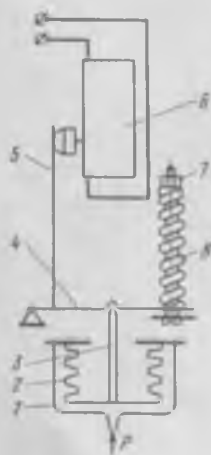


Рис. 4-22. Схема реле давления

4.8. Реле давления

Реле (или сигнализаторы) давления представляют собой устройства, которые применяют при автоматизации технологических процессов в схемах сигнализации.

На рис. 4-22 представлена принципиальная схема реле давления типа РД. Контролируемое давление подается в корпус 1, где

установлен сильфон 2. К дну сильфона припаян шток 3, который упирается в рычаг 4. Если давление повышается, сильфон сжимается и перемещает шток 3, который через рычаги 4 и 5 переключает контактное устройство 6. Равновесие системы наступает тогда, когда усилие, создаваемое измеряемым давлением, действующим на дно сильфона, уравнивается усилием упругих деформаций сильфона и винтовой цилиндрической пружины 8. При понижении измеряемого давления сильфон 2 будет разжиматься под действием винтовой цилиндрической пружины 8, и через систему рычагов произойдет новое переключение контактного устройства 6.

Прибор настраивается на определенное значение давления, при котором должно срабатывать устройство 6, путем изменения натяжения пружины 8 с помощью гайки 7. Реле типа РД выпускают с одним или двумя сильфонами, в последнем случае можно контролировать сразу два давления.

4.9. Вспомогательные устройства для измерения давления

При измерении давления кроме основных приборов применяется ряд вспомогательных устройств: сифонные трубки, разделительные устройства, антипульсаторы, краны и др.

Сифонные трубки. Зависимость показания деформационного манометра от температуры пружины вызывает необходимость защиты ее от действия высоких температур газов и паров. С этой целью на линии перед манометром устанавливают сифонную трубку в виде буквы U или кольцевой петли (рис. 4-23), которая образует гидравлический затвор из остывшей жидкости и предохраняет пружину от непосредственного соприкосновения с нагретой измеряемой средой.

Рис. 4-23. Сифонные трубки:

а — U-образная; б — кольцевая

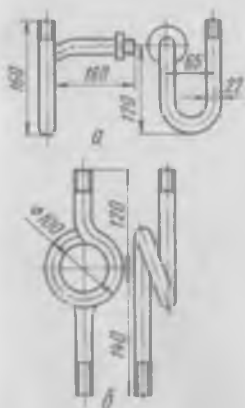
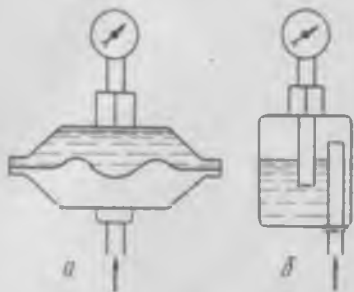


Рис. 4-24. Разделительные устройства:

а — мембранное устройство; б — разделительный сосуд



Разделительные устройства. В случае измерения давления среды, химически активной по отношению к материалу воспринимающей части манометра, перед ним устанавливают разделительное устройство в виде мембраны или защитного сосуда (рис. 4-24), заполненного разделительной жидкостью, нейтральной по отношению к материалу соединительных трубок сосуда и прибора. В качестве разделительных жидкостей используют воду, технические масла, глицерин, этиленгликоль и др. Измеряемое давление через разделительную жидкость или разделительную мембрану передается прибору.

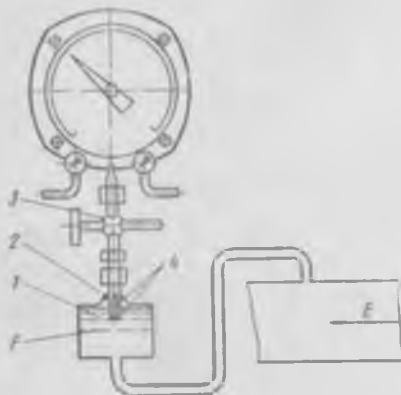
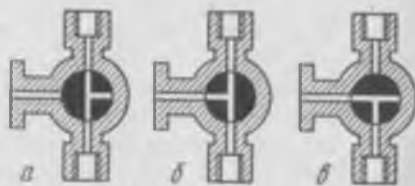


Рис. 4-25. Схема антипульсатора

Рис. 4-26. Трехходовой кран:

а — подключение манометра к объекту;
б — проверка показаний манометра; *в* — продувка импульсных линий



Антипульсаторы. Если поток измеряемой среды сильно пульсирует, между прибором и точкой отбора импульса устанавливают антипульсатор, представляющий собой сосуд 1 (рис. 4-25), заполненный вязкой жидкостью, не реагирующей с измеряемой средой. Сверху сосуд закрыт диском 2, в который установлены два капилляра 4 длиной 100—120 мм и внутренним диаметром 1—2 мм. На линии между прибором и антипульсатором имеется трехходовой кран 3, при помощи которого производится подключение прибора к измеряемому объекту. Применение антипульсатора позволяет устранить нежелательные действия пульсирующего потока измеряемой среды на прибор.

Краны. Являются неперенным элементом всех линий, соединяющих приборы с измеряемой средой. Так, перед манометром обязательно устанавливают трехходовой кран, при помощи которого производятся плавное подключение манометра к объекту (рис. 4-26, *а*), проверка нулевой точки и проверка показаний манометра; подключение контрольного прибора (рис. 4-26, *б*); продувка импульсных линий (рис. 4-26, *в*). Для установки трехходового крана в требуемое положение на нем сделаны риски, указывающие расположение и направление каналов. Обычно

манометр ввинчивается штуцером в трехходовой кран, который соединен с сифонной трубкой. При этом длина импульсных трубок бывает не более 30 м для давлений до 980 Па и не более 50 м при измерении давлений выше указанного предела.

4.10. Особенности использования приборов для измерения давления и разности давлений в пищевой промышленности

Приборы для измерения давления (разности давлений) являются в большинстве своем приборами общепромышленного назначения. При выборе необходимых типов приборов должны учитываться не только такие общие требования, как значение измеряемой величины, диапазон измерения, требуемая точность, надежность, но и требования, обуславливаемые процессами пищевой технологии.

Прежде всего необходимо иметь в виду воздействие анализируемой среды на чувствительные элементы, а также чувствительных элементов или продуктов их окисления на качество пищевых продуктов.

Недопустимо применение токсических веществ, попадание которых в среду может испортить большие массы пищевых продуктов. В связи с этим с большой осторожностью следует подходить к использованию в цехах пищевых производств приборов с ртутным заполнением, трансформаторным маслом, керосином.

Пищевая среда, находящаяся в соединительных трубках без циркуляции, может закисать, в ней создаются благоприятные условия для развития вредной микрофлоры, что приводит к порче большой массы пищевых продуктов. Все это вызывает необходимость применения специальных разделительных устройств, устанавливаемых между анализируемой средой и чувствительным элементом прибора.

Помимо этого следует предусматривать возможность удобной и быстрой чистки и мойки отборных и разделительных устройств, а в случае необходимости — их замены.

К приборам для измерения давления очень вязких сред, опары, теста, фруктовых начинок и т. д. предъявляются особые требования. В этом случае рекомендуется применять отборные устройства специальной конструкции, допускающие возможность их быстрой чистки. Соединительные линии делают более короткими и по возможности с большим проходным сечением.

При применении дифманометров, расходомеров для измерения разности давлений следует учитывать то, что многие пищевые продукты, находящиеся в жидком состоянии, например виноматериалы, солевые растворы, пивное сусло, фруктовые

воды, насыщены пузырьками воздуха. Растворы пищевых производств нередко являются быстrokристаллизирующимися. Поэтому при работе с такими продуктами на соединительных линиях устанавливают газосборники, шлакосборники, фильтры, газоотделители, а для устранения кристаллизации импульсные линии оборудуются подогревающими устройствами в виде паровых рубашек.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под абсолютным и избыточным давлением?
2. По каким признакам классифицируются приборы для измерения давления и разности давлений?
3. По какому принципу действуют жидкостные приборы?
4. Назовите жидкостные приборы.
5. Какие виды упругих чувствительных элементов применяют в деформационных приборах?
6. Объясните устройство измерительного механизма манометра с одновитковой трубчатой пружиной.
7. Какие бывают манометры с одновитковой трубчатой пружиной?
8. Как устроен грузопоршневой манометр? Каково его назначение?
9. Как устроен сильфонный манометр? Где он применяется?
10. Какие бывают вакуумметры и мановакуумметры? Где они применяются?
11. Какие бывают тягомеры, напоромеры и тягонапоромеры?
12. Назовите деформационные дифманометры.
13. В чем заключаются особенности использования приборов для измерения давления и разности давлений в пищевой промышленности?

Глава 5 ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ, ОБЪЕМА И РАСХОДА

5.1. Основные понятия

В технологических процессах пищевых производств измерение массы, объема и расхода имеет большое значение как для контроля и управления, так и для учета потребления сырья, полуфабрикатов и отпуска готовой продукции.

Количеством вещества называют суммарный объем или массу вещества, проходящего через поперечное сечение трубопровода или другого транспортного устройства за определенный промежуток времени. Количество вещества выражается в единицах объема или массы. Основной единицей измерения объема является кубический метр (м^3), а основной единицей измерения массы — килограмм (кг). Приборы, измеряющие массу или объем вещества, которое протекает через прибор в течение любого промежутка времени, называются **счетчиками**.

Расходом вещества называется количество вещества, проходящее через данное сечение канала в единицу времени.

В зависимости от того, в каких единицах измеряется расход вещества, различают расход объемный (в $\text{м}^3/\text{с}$) и массовый (в $\text{кг}/\text{с}$).

Приборы, измеряющие расход, называются **расходомерами**. Они позволяют определить расход вещества в любой момент времени. При добавлении к расходомеру интегратора (счетного суммирующего механизма) он может выполнять функции расходомера и счетчика.

Приборы для измерения количества и расхода в зависимости от метода измерения подразделяются на следующие группы: скоростные и объемные счетчики; расходомеры переменного и постоянного перепада давления; расходомеры переменного уровня (щелевые); электромагнитные и ультразвуковые расходомеры; весы и дозаторы; приборы для учета штучной продукции.

5.2. Объемные и скоростные счетчики

Объемные счетчики. Действие этих приборов основано на отмеривании определенного объема вещества, проходящего через прибор, и суммировании результатов измерений. К числу объемных счетчиков относятся счетчики с овальными шестернями, ковшовые счетчики, поршневые, дисковые, ротационные и др.



Рис. 5-1. Схема счетчика с овальными шестернями:

а — первое положение (исходное); б — второе положение (через $1/4$ оборота); в — третье положение (через $1/2$ оборота)

✓ Счетчики жидкости с овальными шестернями получили широкое применение в пищевой промышленности. В таких приборах жидкость, протекающая через измерительную камеру 2 (рис. 5-1), вращает овальные шестерни 3 и 4, которые периодически отсекают определенные объемы вещества А, ограниченные овалом шестерен и стенкой измерительной камеры 1. За один оборот шестерни отсекаются четыре объема жидкости, равные в сумме свободному объему измерительной камеры счетчика.

Количество жидкости, прошедшее через счетчик, учитывается по частоте вращения шестерен, связанных со счетным механизмом. Выпускаются счетчики, обеспечивающие измерение в диапазоне от 0,8 до 36 м³/ч. Диаметры условных проходов 15—80 мм; точность измерения $\pm 0,5\%$.

На рис. 5-2 приведена схема действия объемного ковшового счетчика жидкости. Поток жидкости проходит через измерительную камеру, в которой часть давления потока расходуется на привод ротора во вращение. Ротор имеет четыре ковша. За один полный оборот отсекается четыре измерительных объема, равных объему цилиндра, ограниченного стенками корпуса, барабана и крышками камеры. Вращение ротора



Рис. 5-2. Схема действия ковшового счетчика жидкости

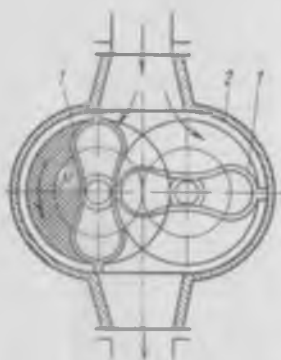


Рис. 5-3. Принципиальная схема ротационного счетчика

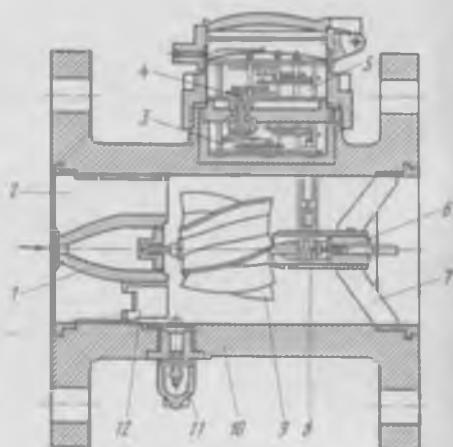


Рис. 5-4. Скоростной счетчик с винтовой вертушкой

передается отсчетному механизму. Такие приборы выпускаются на расход от 42 до 2700 м³/ч с условным проходом от 200 до 500 мм.

На рис. 5-3 показана схема ротационного счетчика газа, в котором объемное измерение осуществляется с помощью двух роторов 1, установленных в кожухе 2. Валы роторов связаны шестернями, находящимися вне кожуха. От одного из валов вращение передается счетному механизму, который и показывает объемное количество прошедшего через прибор газа. В положении, изображенном на схеме, левый ротор, расположенный вертикально, под действием разности давления газа между входом и выходом поворачивается и увлекает за собой правый ротор. За один оборот обоих роторов объем M газа, прошедшего через прибор, равен объему измерительной камеры

счетчика. Разность давления газа в приборе измеряется дифференциальным манометром.

Погрешность счетчиков составляет $\pm 2-3\%$, а потеря напора не превышает 343—392 Па. Рабочее давление 0,6; 1,6; 6,4 МПа. Большая номенклатура этих приборов выпускается на расходы от 40 до 40 000 м³/ч.

Скоростные счетчики. Действие этих приборов основано на измерении средней скорости движущегося потока, действующего на вертушку или другой измерительный элемент.

По форме вертушки счетчики делятся на приборы с винтовой вертушкой и крыльчатые. Первые располагаются параллельно измеряемому потоку, вторые — перпендикулярно ему. Число оборотов вертушки пропорционально средней скорости потока, а следовательно, и расходу протекающей жидкости или газа.

На рис. 5-4 показан скоростной счетчик со спиральной вертушкой 9, расположенной в корпусе 10. На ось вертушки перед задним подшипником 6, закрепленным на крестовине 7, насажен червяк 8. Червячное колесо, сцепляющееся с червяком, передает вращение передающему механизму 3, соединенному посредством оси, проходящей через сальник 4, со стрелочным механизмом 5.

Шкала большой стрелки прибора разбита на 100 частей с ценой деления 0,001 м³, а шкалы малых стрелок — на 10 частей с ценой деления 0,1; 10; 100; 1000 м³. Со стороны входа жидкости перед вертушкой установлен струевыпрямитель 2. Лопасть 12 вращается вокруг вертикальной оси и служит для регулирования счетчика через рычажный привод 11. Передний подшипник 1 оси вертушки закреплен в струевыпрямителе.

Счетчики со спиральной вертушкой изготавливаются на пропускную способность до 600 м³/ч воды. Погрешность приборов в зависимости от расхода составляет $\pm 2-3\%$. Установка приборов чаще всего производится в горизонтальных участках трубопроводов. Для успокоения потока перед счетчиком выбирается прямой участок трубопровода длиной 8—10 D , а после него — длиной не менее 5 D (D — внутренний диаметр трубопровода).

5.3. Расходомеры переменного перепада давления

Принцип действия расходомеров этого вида основан на измерении разности давлений, создаваемой каким-либо сужающим устройством, установленным в трубопроводе на пути движения вещества.

При протекании жидкого или газообразного вещества через место сужения скорость потока возрастает. Это происходит потому, что часть потенциальной энергии давления в данном сечении становится меньше статического давления перед сужа-

ющим устройством. Разность этих давлений, или перепад давления, будет тем больше, чем больше расход протекающего вещества.

Зависимость между расходом несжимаемой жидкости и перепадом давления можно установить, решая совместно уравнение Бернулли и уравнение неразрывности струи. Для объемного расхода $Q_0 = \alpha F_0 \sqrt{(2/\rho) \Delta P}$; для массового расхода $Q_m = \alpha F_0 \sqrt{2\rho \Delta P}$ (где Q_0 — объемный расход, м³/с; Q_m — массовый расход, кг/с; α — коэффициент расхода, зависящий от геометрической формы сужающего устройства и физических свойств измеряемой среды; F_0 — площадь сечения сужающего устройства, м²; ρ — плотность жидкости, кг/м³; ΔP — перепад давления Па).



Рис. 5-5. Нормальная диафрагма

Формулы для газов и паров с учетом их сжимаемости имеют вид: $Q_0 = \alpha \epsilon F_0 \sqrt{(2/\rho) \Delta P}$; $Q_m = \alpha \epsilon F_0 \sqrt{2\rho \Delta P}$ (где ϵ — коэффициент расширения, учитывающий влияние сжимаемости измеряемой среды при прохождении потока через сужающее устройство для жидкостей $\epsilon = 1$).

Из приведенных формул следует, что перепад давления может служить мерой расхода вещества, протекающего по трубопроводу.

В комплект расходомера переменного перепада давления входят сужающее устройство, дифференциальный манометр для измерения перепада давления, а следовательно, и для измерения расхода вещества, две соединительные импульсные трубки. Различают следующие виды сужающих устройств: нормальные диафрагмы, нормальные сопла и сопла Вентури. Наибольшее распространение получили нормальные диафрагмы.

Диафрагма представляет собой тонкий металлический диск с концентрическим отверстием (рис. 5-5), которое во входной части делают цилиндрическим с острой кромкой, а далее расширяют на конус 30°. Диафрагму изготавливают обычно из нержавеющей стали, а кольцевые камеры, между которыми она зажата, — из углеродистой стали. Эти диафрагмы применяют для трубопроводов диаметром от 50 до 400 мм. Необходимый диаметр отверстия диафрагмы рассчитывается по методике, утвержденной Государственным комитетом СССР по стандартам.

Второй элемент комплекта расходомера — дифференциальный манометр — описан в § 4.7.

Расходомеры переменного перепада давления устанавливают таким образом, чтобы измеряемое вещество заполняло все поперечное сечение трубопровода перед сужающим устройством.

вом и за ним; поток в трубопроводе являлся установившимся, фазовое состояние вещества не изменялось при прохождении сужающего устройства (например, жидкость не испаряется, пар не был перегретым; в трубопроводе вблизи сужающего устройства не скапливались конденсат, пыль, газы или осадки). Если сужающее устройство можно было очистить от образующихся отложений измеряемого вещества.

Сужающие устройства могут устанавливаться на прямых участках горизонтальных, вертикальных и наклонных трубопроводов. Диафрагму устанавливают между двумя фланцами трубопровода таким образом, чтобы острая кромка ее отверстия была направлена против потока струи, а центр отверстия диафрагмы совпадал с центром трубопровода.

При монтаже диафрагмы с камерами внутренний диаметр их должен равняться внутреннему диаметру трубопровода или быть на 2—3 мм больше него.

Сужающие устройства соединяются с дифференциальными манометрами двумя трубками (медными, алюминиевыми, стальными, пластмассовыми), ограниченными числом поворотов и имеющими длину не более 50 м. На соединительных трубках устанавливаются устройства для периодической их продувки, сбора конденсата, газов и грязи. Если измеряется расход агрессивных или вязких веществ, то около сужающих устройств устанавливаются разделительные сосуды.

5.4. Расходомеры постоянного перепада давления

Наиболее распространенными расходомерами постоянного перепада давления являются **ротаметры**. Они широко используются в винодельческом, спиртовом, ликерно-водочном, масло-жировом и других производствах. Принцип действия ротаметров основан на вертикальном перемещении поплавка, находящегося внутри конической трубки, под воздействием проходящего снизу вверх потока измеряемой среды.

На рис. 5-6 показана схема стеклянного поплавкового ротаметра, представляющего собой вертикально расположенную стеклянную трубку 1, расширяющуюся кверху, внутри которой находится поплавок 2, свободно плавающий в потоке. Протекающий снизу вверх поток поднимает поплавок до тех пор, пока кольцевая щель между стенками конусной трубки и поплавком не достигнет величины, при которой действующие на поплавок силы уравниваются. В этот момент поплавок устанавливается на той или иной высоте в зависимости от величины расхода.

Объемный расход вещества, протекающего через ротаметр, определяется по формуле $Q_0 = \alpha (F_T - F) \sqrt{(2/\rho) \Delta P}$ (где α — коэффициент расхода; F_T — площадь поперечного сечения

трубки, соответствующая подъему поплавка на определенную высоту, m^2 ; F — площадь лобовой поверхности поплавка, m^2 ; ρ — плотность вещества, kg/m^3 ; ΔP — перепад давления над поплавком и под ним, Pa). Из этой формулы следует, что при постоянном значении всех величин, кроме F , расход определяется по высоте подъема поплавка. Эта высота в простейших стеклянных ротаметрах определяется визуально по положению верхней плоскости поплавка. Для отсчета на внешней поверхности трубки нанесена равномерная шкала 3, отградуированная в единицах объема. Ротаметры со стеклянной трубкой из-

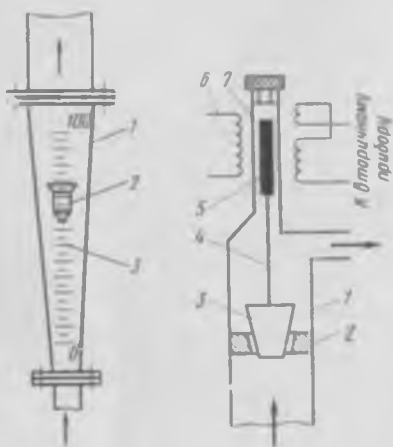


Рис. 5-6. Схема стеклянного ротаметра

Рис. 5-7. Схема ротаметра с электрической дистанционной передачей

готовляются на давление жидкости или газа, не превышающее 0,6 МПа. В технологических процессах пищевых производств используются выпускавшиеся ранее ротаметры типов РС-3А, РС-3, РС-5, РС-7, замененные ротаметрами РМ.

В пищевой промышленности применяются также ротаметры с электрической и пневматической системой дистанционной передачи показаний.

Ротаметр с дистанционной электрической передачей типа РЭД (рис. 5-7) состоит из металлического корпуса 1 с диафрагмой 2, в отверстии кото-

рой перемещается поплавок 3, жестко соединенный со штоком 4. Сердечник 5, насаженный на верхнем конце штока, находится внутри разделительной трубки 7, окруженной катушкой 6, которая включена в дифференциально-трансформаторную схему вторичного электрического прибора.

Ротаметры с пневматической дистанционной передачей состоят из двух основных частей: собственно ротаметра, устроенного аналогично ротаметру, показанному на рис. 5-7, и механизма пневматической дистанционной передачи, включающего пневмопреобразователь и узел обратной связи (см. рис. 2-4).

Ротаметры с дистанционной передачей показаний рассчитаны на рабочее давление до 6,27 МПа. Пределы измерения расходов (в расчете на воду) от $0,44 \cdot 10^{-4}$ до $0,44 \cdot 10^{-2} m^3/c$. Основная погрешность преобразователя и вторичного прибора $\pm 2,5-3 \%$.

5.5. Расходомеры щелевые и индукционные

Расходомеры щелевые. Принцип их действия основан на измерении уровня жидкости в сосуде при свободном вытекании ее через отверстие в дне или боковой стенке.

Щелевой расходомер (рис. 5-8) состоит из прямоугольного корпуса 2 со штуцерами: боковым (или верхним) — для подвода измеряемой жидкости и нижним — для слива в открытый приемник. Корпус разделен внутри глухой перегородкой, имеющей профильную сливную щель. Для измерения уровня в сосуде перед сливной щелью погружена пьезометрическая

Рис. 5-8. Схема щелевого расходомера

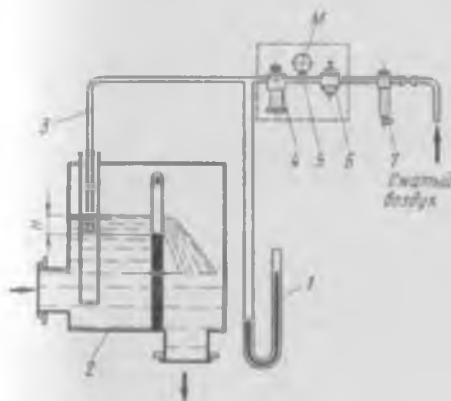
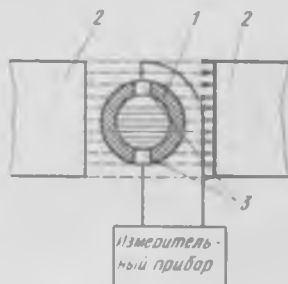


Рис. 5-9. Схема преобразователя индукционного расходомера



трубка 3, через которую непрерывно продувается воздух. Количество продуваемого воздуха контролируется с помощью стаканчика 4, а давление его поддерживается постоянным редуктором 6 и контролируется прибором 5. Фильтр 7 служит для очистки воздуха.

Давление в пьезометрической трубке (см. § 4. 3) создается противодействием столба жидкости перед щелью, поэтому оно определяет уровень, а следовательно, и массовый расход контролируемой среды. Гидростатический напор в пьезометрической трубке измеряется дифференциальным манометром 1.

В пищевой промышленности щелевые расходомеры широко применяются для измерения расхода загрязненных жидкостей, известкового молока, диффузионного сока, сула-самотека. Эти расходомеры хорошо зарекомендовали себя при измерении быстrokристаллизирующихся жидкостей и растворов. Диапазон измерения расхода 10—50 м³/ч; основная погрешность устройства в комплекте с вторичным прибором $\pm 3,5\%$. Приборы входят в систему ГСП.

Расходомеры индукционные. Принцип действия индукционных расходомеров основан на измерении ЭДС, индуцируемой

в потоке электропроводной жидкости под действием внешнего магнитного поля. Схема преобразователя индукционного расходомера приведена на рис. 5-9. Жидкость, протекающая в трубе 1, изготовленной из немагнитного материала, пересекает силовые линии магнитного поля, создаваемого электромагнитом 2. Под действием магнитного поля в жидкости индуцируется ЭДС, пропорциональная средней скорости потока и при постоянном сечении трубы — расходу.

Индуктируемая ЭДС снимается двумя электродами 3, расположенными в одном поперечном сечении трубы. Величина ЭДС усиливается и измеряется во вторичном приборе. В расходомере предусмотрена возможность подключения любых блоков системы ГСП, работающих от входных токовых сигналов 0—5 мА, пневматических сигналов 0,02—0,1 МПа.

Индукционные расходомеры обладают рядом преимуществ: чувствительный элемент не имеет контакта с измеряемой средой, благодаря чему он не подвергается химическому воздействию измеряемой среды, а это очень важно для пищевой промышленности; приборы практически безынерционны, что немаловажно при использовании их в автоматических системах регулирования; показания приборов не зависят от вязкости, плотности и характера потока (ламинарный, турбулентный) жидкости. Индукционные расходомеры применяются для измерения расхода многих продовольственных продуктов — пива, виноградного и яблочного соков, сахарного сиропа, патоки, кофейной гущи, жидких дрожжей, молока, крахмальной пульпы и др.

Приборы обеспечивают измерение расхода 1—2500 м³/ч при внутренних диаметрах трубопроводов от 3 до 1000 мм. Погрешность не превышает $\pm 1,5\%$.

5.6. Ультразвуковые и радиоактивные расходомеры

Ультразвуковые расходомеры. Эти расходомеры действуют по принципу измерения сдвига фаз ультразвуковых колебаний в зависимости от скорости движения среды в трубопроводе. Источником и приемником ультразвуковых колебаний служат пьезоэлементы, способные преобразовывать электрические колебания, получаемые от генератора, в механические и обратно. Разность фаз между колебаниями, создаваемыми источником, является мерой расхода измеряемой жидкости.

В качестве пьезоэлементов 4 и 5 (рис. 5-10), расположенных на поверхности трубопровода, используются пластины титана, бария.

Механическим переключателем 3 к генератору 1 подключен пьезоэлемент 4, преобразующий электрические колебания в ультразвуковые, последние через стенку трубопровода направляются в контролируемую жидкость. Пройдя расстояние L ,

ультразвуковые колебания воспринимаются пьезоэлементом 5, преобразующим их в выходные электрические колебания, которые поступают на усилитель 6, преобразующий синусоидальные колебания в прямоугольные. Последние подаются на одну из сеток лампы 7 фазометра. Генератор 1 подключен ко второму усилителю 2, от которого прямоугольные колебания подаются на вторую сетку лампы 7.

Сдвиг между прямоугольными колебаниями, поступающими от усилителей 2 и 6 на сетки лампы 7, равен разности фаз между ультразвуковыми колебаниями, создаваемыми пьезоэле-

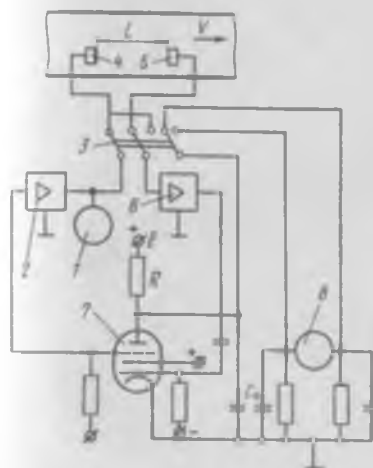
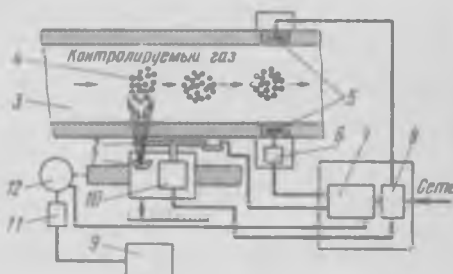


Рис. 5-10. Схема ультразвукового расходомера

Рис. 5-11. Схема измерения расхода с помощью радиоактивных расходомеров



ментом 4, и колебаниями, поступающими к воспринимающему пьезоэлементу 5.

Высокоомный вольтметр 8, включенный между конденсаторами C_1 и C_2 , измеряет разность анодных напряжений.

Ультразвуковые расходомеры применяются для измерения расходов загрязненных, быстрокристаллизующихся и агрессивных жидкостей и пульп, а также пульсирующих потоков. Теоретически диапазон измерения расхода такими приборами не ограничен. Погрешность измерения составляет примерно $\pm 2\%$.

Расходомеры радиоактивные. Действие этих расходомеров основано на измерении времени переноса «ионных пакетов» от места их образования до приемника. Если расстояние между источником излучения и приемником не изменяется, то время передвижения пакетов обратно пропорционально средней скорости потока или объемному расходу измеряемой среды.

Схема измерения расхода с помощью радиоактивных расходомеров показана на рис. 5-11. Излучение источника 1 периодически перекрывается заслонкой 2 (обтюратором), приводимой в действие электродвигателем 10. В результате образуются

порции излучения, которые проходят через стенку трубопровода 3 и создают в движущемся потоке измеряемой среды (пара или газа) «ионные пакеты» 4 — группы заряженных частиц (ионов), возникающих в результате облучения молекул вещества радиоактивным излучением. Двигаясь по трубопроводу, ионные пакеты воздействуют на приемник 5, расположенный на некотором расстоянии от излучателя. Импульсы, воспринимаемые приемником, преобразуются им в электрические сигналы и подаются на электронный блок 6 с фазочувствительным усилителем 7, получающим питание от источника 8. В усилитель поступают сигналы и от непрерывно вращающегося обтюратора. При равном времени прохождения сигналов от приемника и обтюратора электродвигатель 12, включенный на выходе усилителя, не вращается. Если скорость движения потока в трубопроводе изменяется, то изменяется и время переноса ионного потока от излучателя к приемнику. Вследствие этого нарушается время прохождения импульсов от приемника и обтюратора. Электродвигатель 12, соединенный с задатчиком 11, приходит в движение и перемещает каретку с излучателем вдоль трубопровода до восстановления первоначального сочетания импульсов. Величина перемещения каретки прямо пропорциональна изменению скорости потока, а следовательно, и расходу измеряемой среды. С кареткой связана стрелка показывающего прибора и устройство дистанционной передачи показаний на вторичный прибор 9.

5.7. Автоматические весы и дозаторы

Автоматические весы. Широко применяются на предприятиях пищевой промышленности для учета сырья, вспомогательных материалов и готовой продукции. Отечественной промышленностью выпускаются автоматические весы периодического (порционные) и непрерывного (конвейерные) действия.

На рис. 5-12 приведена схема устройства автоматических весов периодического действия (порционных), построенных по принципу равноплечих коромысловых весов. К одному концу коромысла 8, установленного на станине 9, на подвеске 5 прикреплен ковш 4, а к другому — гиредержатель 12. В нижней части последнего закреплена скоба 13, ограничивающая ход ковша благодаря неподвижному упору 14.

В закрытом положении откидное дно 2 ковша удерживается защелкой 3, находящейся в зацеплении с укрепленной на стенке ковша собачкой 10. При достижении равновесия, т. е. когда масса в ковше оказывается равной массе гирь, собачка 10 встречается с упором 1 и поворачивается против часовой стрелки, освобождая защелку, а вместе с ней и дно ковша. Дно открывается и взвешенная порция высыпается в приемное устройство. Под действием противовеса 11 дно опорожненного

ковша закрывается, а счетчик количества отвесов фиксирует взвешенную порцию. Затем воронка 6 открывается заслонкой 7 и цикл повторяется. Такие весы служат для автоматического взвешивания муки и других сыпучих материалов, поступающих непрерывным потоком. Пределы взвешивания весов 40—80 кг; класс точности 0,1; производительность 1—5 т/ч.

Автоматические весы непрерывного действия (конвейерные) предназначены для непрерывного взвешивания сыпучих материалов и штучных грузов. Действие этих весов основано на непрерывном автоматическом умножении определенной длины проходящей через весы ленты с материалом на его массу.

Конструктивно конвейерные весы делятся на весы, встраиваемые в действующие конвейеры, и весы с коротким весовым конвейером, являющимся неотъемлемой грузоприемной частью весов. Грузоприемная часть может быть выполнена в виде платформы, подвешенной или опирающейся всеми опорными точками на подвижную рычажную систему и имеющей плоскопараллельные перемещения, или в виде платформы, опирающейся с одной стороны на неподвижную опору и имеющей угловые перемещения.

В качестве устройств, уравнивающих нагрузку материала на ленту в конвейерных весах, применяют коромысло, квадрат, электротензометрический преобразователь и др. В процессе работы на движущуюся ленту конвейера подается материал, толщина слоя которого регулируется. Весы непрерывно взвешивают движущийся материал, а счетчик показывает массу прошедшего материала. Конвейерные весы имеют точность взвешивания $\pm 1\%$, пределы взвешивания 16—160 кг/м при скорости ленты 0,2—2,5 м/с.

Дозаторы. При управлении объектами пищевой технологии важную роль играет стабилизация материальных потоков, для осуществления которой применяют различные дозирующие устройства, отмеривающие и выдающие заданные количества вещества. В зависимости от рода дозируемых веществ дозаторы подразделяются на дозаторы жидкости, сыпучих материалов и газов.

В качестве дозатора жидкости применяется плунжерный насос (рис. 5-13). В насосе вращение от электродвигателя 5 передается через червячную пару 4 кривошипно-

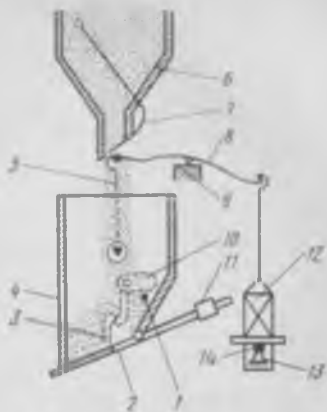


Рис. 5-12. Автоматические порционные весы с открывающимся дном

шатунному механизму 3, приводящему в движение плунжер 2 насоса 1. Производительность изменяется за счет регулирования хода плунжера эксцентриком кривошипа 3. Насосы-дозаторы серии НД выпускаются производительностью 10—2500 л/ч на давление 140 МПа и предназначаются для объемного дозирования чистых нейтральных и агрессивных жидкостей. Классы точности 0,5 и 2,5.

Для дозирования сыпучих материалов применяются автоматические ленточные дозаторы. В процессе

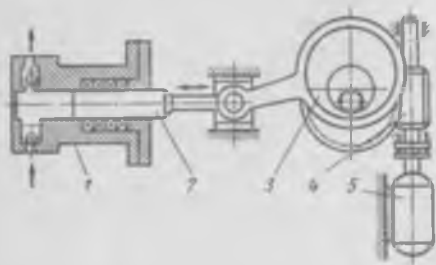


Рис. 5-13. Плунжерный насос типа НД

работы дозатор непрерывно взвешивает движущийся по конвейеру материал и по результатам взвешивания регулирует интенсивность потока.

Ленточные дозаторы бывают с механической связью регулирующего органа, изменяющего подачу материала на ленте дозатора, и с электрической или пневматической связью с посторонним источником энергии, обеспечивающим автоматическое регулирование подачи материала питателю.

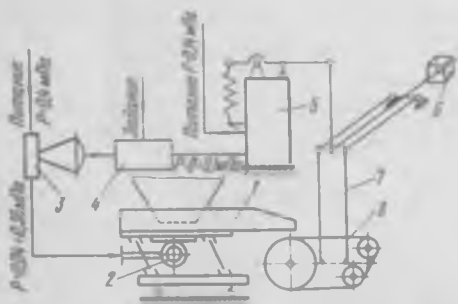


Рис. 5-14. Схема автоматического весового дозатора непрерывного взвешивания с пневматическим вибрационным питателем и пневматическим регулятором

Схема автоматического ленточного весового дозатора с пневматическим вибрационным питателем показана на рис. 5-14. Материал из лотка 1 пневматического вибрационного питателя равномерно подается на грузоприемный конвейер 8. Конвейер через подвески 7 связан с весоизмерительным механизмом, состоящим из рычаж-

ной системы, уравновешенной грузом 6, и преобразователя 5. Отработанный преобразователем сигнал поступает на регулятор 4. Вследствие рассогласования задания со значением переменной преобразователя 5 регулятор отрабатывает командный сигнал, поступающий на мембрану регулирующего клапана 3, изменяя давление воздуха, идущего к вибродвигателю 2, который вызывает колебания лотка 1. Производительность питателя может меняться в широких пределах. Погрешность таких дозаторов составляет $\pm 0,5\%$.

5.8. Механические и бесконтактные счетчики для штучной продукции

В пищевой промышленности важное значение имеет учет штучной продукции или продукции, находящейся в стандартной таре или упаковке и движущейся по конвейеру, рольгангу и т. п. По принципу работы различают счетчики для учета штучной продукции механические, электромеханические, электронно-двухтактные, фотоэлектрические и радиоактивные.

Механические счетчики являются местными приборами, отсчет по которым производится по месту измерений. Они бывают нумераторными и стрелочными.

В нумераторных счетчиках счетный механизм выполнен из набора чередующихся цифр и зубчатых колес, связанных таким образом, что при вращении цифрового колеса от «0» до «9» цифровое колесо высшего разряда остается неподвижным, и лишь при переходе с «9» на «0» осуществляется поворот колеса высшего разряда на одну единицу. Этим достигается передача десятков. Любое показание счетчика может быть погашено.

Сигнал на счетчик вводится от приводного устройства механического типа, установленного на конвейерах, рольгангах и устройствах, по которым перемещается штучная продукция (рис. 5-15). Счетный механизм укреплается в корпусе. Результаты считываются по положению цифровых колес через смотровое окно, которое имеется в корпусе счетчика.

Механизм стрелочного счетчика аналогичен нумераторному, только показания в стрелочном счетчике выражаются положением стрелок на неподвижных циферблатах.

В электромеханических счетчиках механизм счета состоит из счетных колес 6 (рис. 5-16), анкерного колеса 1, трибок 5, анкера 3 и электромагнита 4. Электромагнит механизма счета под действием электрического импульса возбуждается и притягивает якорь, который поворачивает анкер. При этом нижний зуб анкера выходит из зацепления со звездочкой анкерного колеса, а верхний входит в зацепление с ней и поворачивает анкерное колесо на 18° . После прекращения действия электрического тока анкер пружиной 2 возвращается в исходное положение и нижний зуб анкера, входя в зацепление со звездочкой, доворачивает анкерное колесо еще на 18° . Таким образом, анкерное колесо за один цикл повернется на 36° . Ведущая шестерня и цифровые колеса соединены между собой трибками, следовательно, за полный цикл срабатывания механизма счета отсчитывается один импульс. Каждый десятый импульс, отсчитанный счетчиком в первом разряде, одновременно передается трибкой во второй разряд.

Счетчик обеспечивает отсчет 99999 импульсов. Следующий импульс устанавливает все цифровые колеса в нулевое положение.

ние. Сброс показаний может выполняться и вручную специальным рычагом. Считывание показаний производится визуально по положению цифровых колес.

Механические и электромеханические счетчики имеют конструктивно одинаковые счетные механизмы, различаются они по типу привода счетного механизма. У механических счетчиков в качестве привода служит рычажный механизм, у электромеханических — электромагнит.

Электроиндуктивные счетчики используются для счета продукции, обладающей ферромагнитными свойствами. Отсчет им-

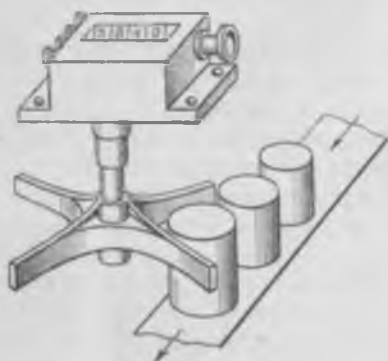


Рис. 5-15. Механическое счетное устройство

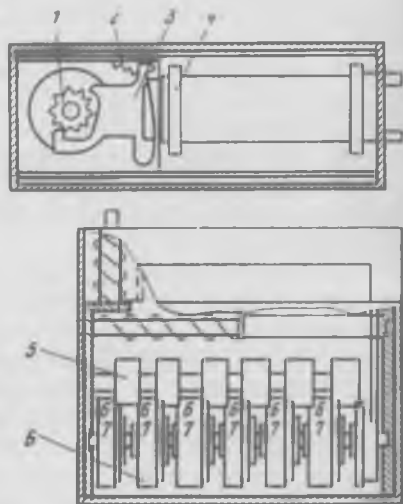


Рис. 5-16. Электромеханический счетчик

пульсов производится с помощью индукционной катушки, которая включена в схему высокочастотного колебательного контура. При прохождении продукции мимо катушки меняется ее индуктивность и происходит срыв генерации высокочастотных колебаний; выходное реле обесточивается. Контакты выходного реле электрически соединены с электроимпульсным счетчиком, который срабатывает в момент обесточивания.

Фотоэлектрические счетчики предназначены для автоматического счета непрозрачной штучной продукции, перемещающейся по конвейеру. Они представляют собой устройства, которые состоят из оптико-механической системы, фотоэлектрической цепи и электронной схемы.

Принцип их действия основан на явлении фотоэффекта, т. е. на эффекте возникновения или изменения силы электрического тока под действием света, падающего на фотоэлемент. В качестве фотоэлемента применяются фоторезисторы или фотодиоды.

На рис. 5-17 приведена схема фотоэлектрического счетчика. Штучная продукция, передвигаясь между осветительной лампой ЛО и фотосопротивлением ФС, прерывает луч света, падающий на фотосопротивление. В этот момент электрическое сопротивление его резко повышается, ток в цепи транзистора T падает и срабатывает реле P , которое своими контактами $I-P$ замыкает цепь питания импульсного счетного механизма Сч. Сопротивление R_2 является защитным на случай закорачивания цепи ФС; R_1 — ограничитель; R_3 — искрогаситель. Конденсатор C служит для сглаживания пульсаций напряжения, питания, поступающего от обмоток трансформатора TP и выпрямленного диодными мостами D_1 и D_2 . Трансформатор TP

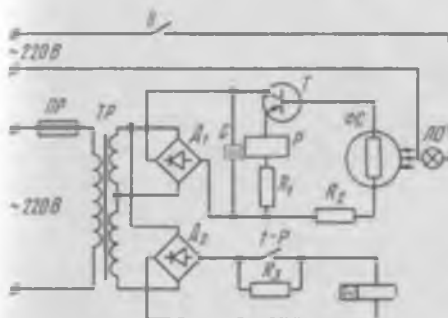
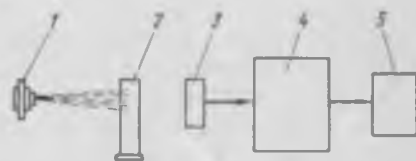


Рис. 5-17. Фотоэлектрический счетчик

Рис. 5-18. Радиоактивный счетчик



получает питание от сети переменного тока через предохранитель $ПР$, а осветительная лампа $ЛО$ — через выключатель $В$.

Радиоактивные счетчики применяют в тех случаях, когда механические и фотоэлектрические счетчики себя не оправдывают (например, счет легких и прозрачных предметов; тяжелые условия работы — пыль, повышенная влажность). Работа прибора основана на поглощении радиоактивного излучения предметом, подлежащим счету (рис. 5-18). При входе предмета 2 в пространство между излучателем 1 и датчиком 3 облучение датчика снижается. В результате этого электронно-релейный блок 4 срабатывает и выдает импульс на счетчик 5, подсчитывающий количество предметов. При выходе предмета из зоны облучения схема прибора возвращается в исходное положение и готова к счету следующего предмета.

Контрольные вопросы

1. Что понимается под количеством и расходом вещества?
2. Как устроены объемные и скоростные счетчики?
3. Как зависит объемный расход вещества от перепада давления на сужающем устройстве?
4. Из каких частей состоит комплект расходомера переменного перепада давления?
5. Каким способом создается перепад давления в трубопроводах и какие виды устройств используются для этой цели?

6. Как устроены ротаметры и каковы области их применения?
7. В чем состоит индукционный метод измерения расхода жидкости?
8. Как устроены ультразвуковые расходомеры? Каковы их достоинства и недостатки?
9. Объясните устройство весов периодического действия.
10. Какие бывают дозаторы в зависимости от дозируемых веществ? Расскажите об их устройстве.
11. Назовите счетчики для штучных изделий.
12. Объясните принцип действия фотоэлектрического счетчика штучной продукции.
13. Объясните принцип действия электромеханического счетчика штучной продукции.

Глава 6. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ

6.1. Основные понятия

Приборы для измерения уровня жидких и сыпучих материалов широко применяются в пищевой промышленности. В любом пищевом производстве возникает необходимость измерять уровень непрерывно или сигнализировать о достижении им заданного максимального или минимального значения. При этом контроль уровня производится с целью учета наличия и расхода материалов, предупреждения переполнения емкостей и бункеров, сигнализации отклонения уровня от заданного значения, а также для отмера определенных порций применяемых материалов. В зависимости от характера работы уровнемеры подразделяются на приборы непрерывного (измерители) и дискретного (сигнализаторы) действия.

По принципу действия приборы для измерения уровня делятся на поплавковые, гидростатические, кондуктометрические, емкостные и радиоизотопные.

6.2. Поплавковые уровнемеры

Действие поплавковых уровнемеров основано на законе Архимеда. Чувствительным элементом этих приборов является поплавок.

Существует два типа поплавковых преобразователей. В первом применяется поплавок, плавающий на поверхности жидкости и имеющий постоянную глубину погружения. Уровень жидкости определяется измерением перемещения поплавка. Во втором измеряется выталкивающая сила, действующая на поплавок (бук), глубина погружения которого меняется в зависимости от уровня жидкости. Перемещение поплавка передается на преобразователь для преобразования перемещения поплавка в выходной сигнал.

Примером уровнемера с плавающим поплавком может служить уровнемер с сельсинным преобразователем (рис. 6-1). Прибор включает сельсин 6, приводимый в движение поплав-

ком 10, следующим за колебаниями измеряемого уровня. Поплавок подвешен на тросе 9, навивающемся на мерительный барабан 8, один оборот которого соответствует перемещению поплавка на 0,5 м. На вал 7 барабана насажено зубчатое колесо 5, сцепленное с шестерней сельсина и шестерней счетчика 1. Трос поплавка натягивается противовесом 2, подвешенным на тросе 3 к барабану 4.

Вторичный прибор состоит из сельсина-приемника, связанного со счетным механизмом, позволяющим определять измеряемый уровень с точностью до миллиметра. Кроме того, вто-

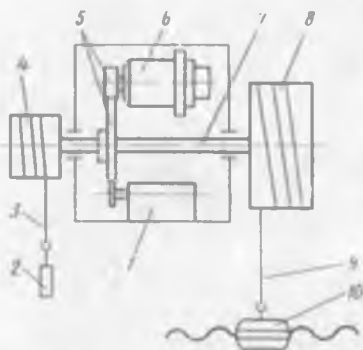


Рис. 6-1. Поплавковый уровнемер с сельсинным преобразователем

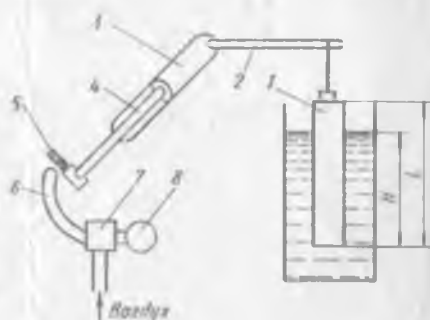


Рис. 6-2. Принципиальная схема уровнемера переменного погружения с пневматической передачей показаний на расстояние

ричный прибор имеет два контакта для сигнализации предельных положений уровня. Диапазон измерения уровня 10 м.

В уровнемерах с поплавком переменного погружения (буйковых уровнемерах) используются упругие элементы с линейной характеристикой (торсионная трубка, пружины).

Схема буйкового уровнемера с пневматической передачей показана на рис. 6-2. Чувствительный элемент — цилиндрический боек 1 — подвешен к рычагу 2, укрепленному на конце упругой торсионной трубки 3, внутри которой располагается стальной стержень 4. На свободном конце стержня укреплен заслонка 5 пневмоустройства 7.

Под действием силы тяжести буйка торсионная трубка и стальной стержень закручиваются. При этом угол закручивания пропорционален силе тяжести буйка, изменяющейся с изменением уровня жидкости. Во время поворота стержня торсионной трубки заслонка отклоняется относительно сопла 6 на такой же угол.

Угловое перемещение заслонки преобразуется пневмоустройством 7 в пропорциональное изменение давления воздуха, измеряемое прибором 8 со шкалой, отградуированной в единицах уровня. Недостатком буйковых уровнемеров является зависимость их показаний от плотности жидкостей.

Уровнемеры типа УБ рассчитаны на 19 пределов измерения от 0—20 мм до 0—16 м. Классы точности приборов 1 и 1,5. Предельно допускаемое рабочее давление 10 МПа.

6.3. Гидростатические уровнемеры

Принцип действия гидростатических приборов основан на измерении давления, создаваемого столбом жидкости. По способу измерения этого давления гидростатические уровнемеры

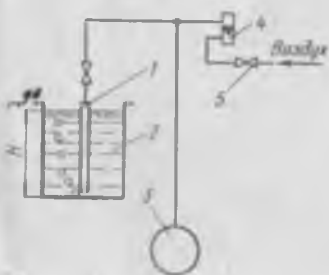


Рис. 6-3. Пьезометрический уровнемер с продуваемым воздухом

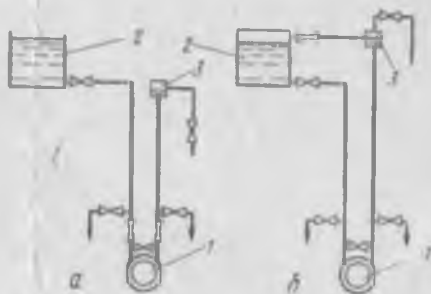


Рис. 6-4. Гидростатические уровнемеры с непосредственным измерением столба жидкости:

а — при измерении уровня жидкости в открытом сосуде; б — при измерении уровня жидкости в резервуаре, находящемся под давлением

подразделяются на приборы с непрерывным продуванием воздуха или газа (пьезометрические уровнемеры) и с непосредственным измерением столба жидкости.

В пьезометрическом уровнемере (рис. 6-3) сжатый воздух или газ через дроссель 5 и ротамер 4 попадает в открытую с одного конца пьезометрическую трубку 1, погруженную в резервуар 2. Давление воздуха в пьезометрической трубке создается противодавлением столба жидкости и равно ему. Поэтому давление воздуха, измеряемое манометром 3, характеризует положение уровня жидкости в резервуаре. Шкала манометра градуируется в единицах высоты уровня жидкости. Величина расхода воздуха, продуваемого непрерывно через пьезометрическую трубку, устанавливается дросселем 5, а контроль осуществляется ротамером 4. Основная погрешность этой группы приборов $\pm 2,5\%$. Пьезометрические уровнемеры хорошо действуют при работе с различными жидкими средами,

в том числе с агрессивными, загрязненными, содержащими механические включения.

Гидростатические уровнемеры с непосредственным измерением столба жидкости представляют собой дифференциальные манометры (см. § 4.7), которыми можно измерять уровень в открытых и закрытых сосудах, находящихся под давлением выше и ниже атмосферного.

При установке дифференциального манометра 1 (рис. 6-4) применяется уравнительный сосуд 3, создающий постоянный столб жидкости в одном из колен. Во втором колене прибора высота столба жидкости изменяется с изменением уровня в сосуде 2, что позволяет по величине перепада, показываемого манометром, судить о положении уровня.

6.4. Приборы для сигнализации уровня

Кондуктометрические сигнализаторы уровня. Принцип их действия основан на измерении сопротивления между электродами соответствующей формы, введенными в электропроводную среду.

Одним из электродов может служить металлическая стенка емкости, которая должна быть заземлена. Если корпус емкости изготовлен из неэлектропроводного материала, то контактные преобразователи содержат два электрода.

Кондуктометрические приборы представляют собой сигнализаторы одного или нескольких значений уровня.

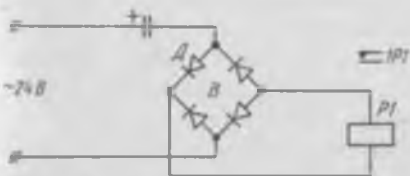


Рис. 6-5. Электрическая схема одноточечного кондуктометрического сигнализатора уровня

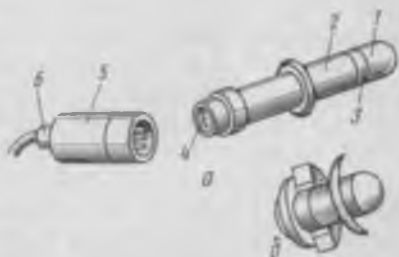


Рис. 6-6. Устройство одноточечного сигнализатора уровня:
а — верхнего; б — нижнего

Электрическая схема одноточечного сигнализатора уровня представлена на рис. 6-5. При достижении заданного уровня жидкость замыкает цепь переменного тока между электродами. Выпрямленный мостом В, собранным на германиевых диодах, электрический ток питает обмотку контактного электромагнитного реле Р1 типа РСМ-2, которое срабатывает, замыкая цепь контактов 1Р1, управляющих сигнальным устройством. При снижении уровня контакты реле размыкаются.

Конструктивно сигнализатор состоит из преобразователя и релейного блока. Преобразователь сигнализатора верхнего уровня имеет два электрода 1 и 2 (рис. 6-6, а), изготовленных из нержавеющей стали. Между ними расположен электроизолирующий слой 3 полипропилена или фторопласта. Для соединения преобразователя с контактными штырями релейного блока в электродах имеются гнезда 4. Релейный блок 5, включающий реле и выпрямительный мостик, связан с устройством сигнализации штепсельным разъемом 6. Преобразователь сигнализатора нижнего уровня (опорожнение резервуаров), показанный на рис. 6—6, б, отличается от преобразователя сигнализатора верхнего уровня формой электродов. Выходные контакты прибора рассчитаны на безындукционную нагрузку током силой 1 А и напряжением 24 В. При контроле уровня погрешность сигнализации составляет ± 2 мм.

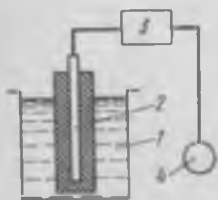


Рис. 6-7. Схема измерения уровня емкостными уровнемерами

Кондуктометрические сигнализаторы уровня просты по устройству и обеспечивают высокую точность контроля заданных положений уровня. Но наличие непосредственного электрического контакта с контролируемой средой приводит к коррозии и загрязнению электродов, что снижает надежность работы приборов.

Емкостные сигнализаторы уровня. В качестве чувствительного элемента этих приборов применяются конденсаторные преобразователи, электрическая емкость которых меняется при изменении контролируемого уровня среды. Электроды преобразователя могут быть голыми металлическими стержнями (для сред диэлектриков), пластинчатыми (для сыпучих материалов), а также покрытыми изоляцией (для электропроводных сред). Покрытиями электродов служат винипласт, полиэтилен и фторопласт. Схема измерения уровня емкостными уровнемерами показана на рис. 6-7. В сосуд 1 с жидкостью, уровень которой необходимо измерять, помещен покрытый изоляционным материалом электрод 2, образующий вместе со стенками цилиндрический конденсатор. При колебаниях уровня жидкости емкость конденсатора меняется. Величина ее измеряется электронным блоком 3, выдающим сигнал в блок 4, являющийся релейным элементом в схемах сигнализации или указывающим в схемах измерения уровня.

Для измерения электрической емкости используются резонансные или мостовые схемы. Резонансные схемы применяются в сигнализаторах уровня типа СУС, служащих для контроля уровня жидких и сыпучих сред с различными физическими свойствами. Электрическая схема сигнализатора уровня приведена на рис. 6-8.

В контур высокочастотного генератора, состоящего из

лампы L_1 , катушки индуктивности L_1 и конденсаторов C_1 и C_2 , включен электрод $C_{пр}$. Переключатель B служит для выбора верхнего и нижнего пределов измерения, а конденсатор C_3 — для подгонки емкости преобразователя и настройки прибора. Если отсутствует измеряемая среда, схема работает в режиме генерации, на сетку лампы подается отрицательное смещение и анодный ток имеет минимальное значение. Когда электрод погружается в среду, емкость его увеличивается. При изменении емкости на 5 пФ происходит срыв высокочастотных колебаний, анодный ток лампы L_1 резко возрастает и выходное

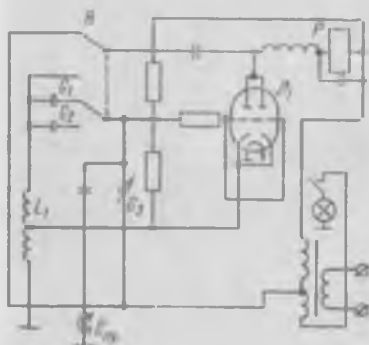


Рис. 6-8. Электрическая схема сигнализатора уровня СУС

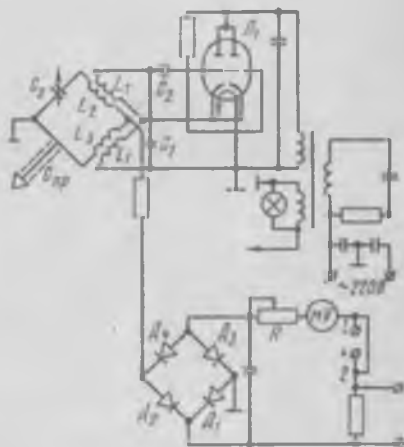


Рис. 6-9. Мостовая схема емкостного индикатора уровня

реле P , включенное в анодную цепь лампы, срабатывает, в результате чего включается цепь сигнализации.

Мостовая схема емкостного индикатора уровня типа ЭИУ, показанная на рис. 6-9, состоит из генератора высокой частоты, моста переменного тока и диодного детектора. Генератор собран на электронной лампе L_1 , имеет колебательный контур, образованный катушкой индуктивности L_1 и конденсатором C_1 ; конденсатор C_2 является емкостью связи контура с лампой.

Два плеча измерительного моста состоят из катушек индуктивности L_2 и L_3 , а два других — из емкости преобразователя $C_{пр}$ и переменного конденсатора C_3 , с помощью которого мост настраивается на начальный уровень измеряемой среды. При изменении уровня контролируемой среды меняется емкость преобразователя $C_{пр}$, вследствие чего нарушается равновесие моста. Высокочастотное напряжение разбаланса, снимаемое с диагонали моста, детектируется диодами D_1, D_2, D_3, D_4 , через переменное сопротивление R подается на местный измерительный прибор (милливольтметр mV) и через клеммы 1 и 2 — на

дистанционные вторичные приборы. Уровнемеры, работающие по этой схеме, состоят из емкостного преобразователя, электронного блока, местного и дистанционного указателей уровня. Преобразователь монтируется на крышке резервуара таким образом, чтобы электрод его располагался внутри объекта.

Контролируемыми средами прибора могут быть проводящие и непроводящие электрический ток жидкости, порошкообразные и гранулированные материалы. Емкостные приборы обладают большой чувствительностью и быстродействием, имеют малые габариты и массу. Работа их не зависит от величины начальной емкости.

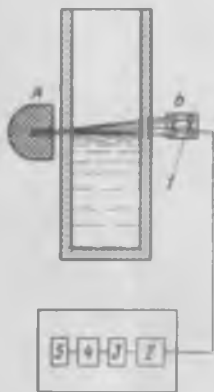


Рис. 6-10. Структурная схема радионуклеонного индикатора уровня

Недостатками этих уровнемеров являются зависимость показаний от температуры и давления, влияющих на величину диэлектрической проницаемости контролируемой среды, и ограниченная длина соединительных проводов между преобразователем и вторичным прибором.

Пределы измерения уровня 0—10 м; наибольшее расстояние от электронного блока до дистанционного указателя 1000 м; давление в резервуаре 2,94 МПа; погрешность не более $\pm 2,5\%$; питание от сети напряжением 220 В.

6.5. Радиоизотопные уровнемеры

Принцип действия радиоизотопных уровнемеров основан на регистрации радиационного излучения, проходящего две среды с различными поглощающими свойствами и меняющего интенсивность при перемещении границы этих сред. Чаще всего используется различие в поглощении ионизирующего излучения воздухом и измеряемой жидкостью или сыпучим материалом.

В любом радиоизотопном уровнемере основными узлами являются источники и приемники излучения. В качестве источников чаще всего применяются γ -излучатели: кобальт-60, цезий-137, селен-75 и др. В качестве приемников — счетчики, полупроводниковые детекторы. Возникающие на выходе детектора импульсы усиливаются и преобразуются электронной аппаратурой в электрический сигнал, соответствующий изменению уровня и используемый для целей контроля.

Структурная схема радиоизотопного индикатора уровня приведена на рис. 6-10. Прибор предназначен для бесконтактной сигнализации подхода границы раздела двух сред к заданному значению. Уровнемер состоит из источника радиоактивного излучения А и блока счетчиков Б, представляющего собой кожух со смонтированными в нем счетчиками. Счетчики 1 фик-

сируют изменение количества квантов, если граница раздела сред находится ниже или выше заданного значения уровня.

Импульсы радионизотопного излучения фиксируются при помощи мультивибратора 2 и поступают на измеритель скорости счета 3. Напряжение, вырабатываемое им, усиливается электронным усилителем 4, который управляет сигнальным устройством 5. Точность приборов ± 20 мм при расстоянии между источником излучения и детектором до 6 м.

6.6. Уровнемеры для сыпучих материалов

Для измерения уровня сыпучих материалов применяются уровнемеры поплавковые, электрические емкостные, с гибким проволочным щупом, с мембранным преобразователем и др. Сигнализаторы с гибким проволочным щупом имеют специальную трубку, состоящую из двух контактов, которые замыкаются при изгибе щупа от давления на него сыпучего материала.

Принцип действия мембранных уровнемеров основан на свойстве сыпучих материалов создавать давление как на дно, так и на стенки сосуда. Применительно к сыпучим материалам мембранные приборы являются только указателями предельного уровня. На рис. 6-11 показан указатель уровня с металлической мембраной, состоящий из мембраны 1 с закрепленным по центру штоком 2. При прогибе мембраны шток воздействует на контактное устройство 3. На кронштейне 4 закреплена возвратная пружина 5, натяг которой осуществляется с помощью регулировочного винта 6. Изолятор 7 крепится в корпусе сигнализатора 8. Такие указатели устанавливаются на различной высоте в стенках бункеров или силосных башен для муки, зерна и других материалов. Под давлением сыпучего материала мембрана прогибается и через перемещение штока замыкает контактное устройство, обеспечивающее подачу электрического сигнала о достижении заданного уровня материала. При понижении уровня пружина 5 возвращает мембрану в исходное положение и контактное устройство размыкается.

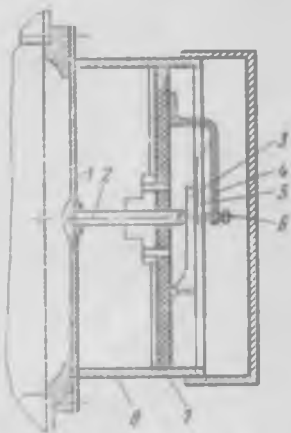


Рис. 6-11. Указатель уровня с металлической мембраной

6.7. Области применения уровнемеров в различных отраслях пищевой промышленности

Для измерения уровней в пищевой промышленности широко применяются такие общепромышленные приборы, как поплавковые, буйковые, пьезометрические, емкостные, кондуктометри-

ческие, мембранные и другие уровнемеры. Однако области применения их обуславливаются конкретными требованиями технологических процессов пищевых производств. Так, например, буйковые уровнемеры успешно применяют в непрерывных технологических процессах производства спирта, пива, кваса. В то же время эти приборы не могут быть использованы в процессах, где встречаются быстrokристаллизующиеся, липкие, вязкие продукты.

Достаточно эффективными для измерения уровня быстrokристаллизующихся жидкостей, таких, как сахарные растворы, виноматериалы и т. п., являются пьезометрические уровнемеры, но для работы их требуется чистый сжатый воздух давлением до 20 кПа.

В сахарном производстве для измерения и регулирования уровня в сборниках воды и продуктов, известкового молока в мешалках находят широкое применение поплавковые уровнемеры.

В хлебопекарной промышленности хорошо зарекомендовали себя мембранные сигнализаторы уровня, контролирующие уровень опары, теста и др.

Емкостные сигнализаторы уровня устанавливаются в сборниках готовой продукции — сока, вина, молока, масла, спирта. И наконец, кондуктометрические уровнемеры используются для контроля уровня электропроводящих жидкостей: воды, соков, купажей, свекловодяной смеси, жидких компонентов, маргариновой эмульсии.

Контрольные вопросы

1. Какие цели преследует контроль уровня?
2. Как подразделяются приборы для измерения уровня по характеру работы и принципу действия?
3. Какие бывают поплавковые приборы? Каковы их устройство и области применения?
4. Расскажите о принципе действия и устройстве гидростатических уровнемеров.
5. На каких принципах основано действие емкостных и кондуктометрических сигнализаторов уровня? Расскажите об их преимуществах и недостатках.
6. Какие приборы применяются для контроля уровня сыпучих материалов?

Глава 7 ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА, СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА

7.1. Приборы для измерения влажности

Измерение влажности играет очень важную роль в различных отраслях пищевой промышленности. Широко применяющиеся процессы сушки, выпечки, обжарки, уваривания и упаривания характеризуются в первую очередь влажностью обрабатываемых материалов. Влажность продукта — важнейший

технологический параметр, определяющий ход процесса и качество готовой продукции. Так, например, в макаронном производстве влажность теста оказывает решающее влияние на качество изделий.

Содержание влаги в любом теле характеризуется его абсолютной или относительной влажностью. За величину **абсолютной влажности** принимают массу воды в единице объема вещества ($\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{г}/\text{м}^3$). **Относительной влажностью** называется отношение абсолютной влажности к максимально возможной при данной температуре. Выражается она либо в относительных единицах, либо в процентах.

Влажность измеряют специальными приборами — **влагомерами**, которые в зависимости от метода, положенного в основу их работы, делятся на психрометры, гигрометры, весовые влагомеры, кондуктометрические влагомеры, дизлькометрические влагомеры, влагомеры ядерно-магнитного резонанса и др.

Психрометры. Принцип действия психрометров основан на использовании зависимости скорости испарения влаги от влажности окружающей среды, или так называемого психрометрического эффекта. Измерение психрометрического эффекта осуществляется двумя одинаковыми термометрами, у одного из которых (мокрого) тепловоспринимающая часть все время остается влажной, так как на нее надет постоянно смачиваемый чехол.

В результате испарения влаги с увлажненной поверхности мокрого термометра его температура понижается и получается разность температур между сухим и мокрым термометрами. По этой разнице температур, называемой психрометрической, относительная влажность может быть определена по специальным номограммам или психрометрическим таблицам.

Психрометрический метод положен в основу построения ряда автоматических промышленных приборов, непрерывно измеряющих влажность воздуха и газов. Наиболее распространенными приборами этой группы являются электрические психрометры, состоящие из первичного прибора и измерительной части. Внутри корпуса первичного прибора установлены два датчика — термопреобразователя сопротивления и резервуар с водой для смачивания хлопчатобумажного чехла, надетого на влажный датчик. Для освобождения контролируемого газа от механических примесей служат фильтры. Воздух или газ при помощи вытяжного устройства просасывается через каналы, в которых установлены датчики.

Измерительная часть прибора состоит из двух мостов *I* и *II* (рис. 7-1), питающихся переменным током от обмотки силового трансформатора электронного усилителя ЭУ и имеющих два общих плеча. Сухой термопреобразователь сопротивления $R_{т.с}$ включен в плечо моста *I*, мокрый $R_{т.м}$ — в плечо моста *II*. Сопротивления R_1 , R_2 , R_3 образуют мост *I*, а сопротивления R_1 ,

R_3, R_4 — мост II . На вершинах a и b диагонали моста I возникает разность потенциалов, пропорциональная температуре сухого датчика; разность потенциалов, возникающая на вершинах a и c диагонали моста II , пропорциональна температуре влажного термопреобразователя сопротивления. При изменении влажности падение напряжения между точками b и c диагонали двойного моста, пропорциональное разности температур сухого и мокрого термопреобразователей сопротивления, подается на электронный усилитель ЭУ, где усиливается и управляет движением реверсивного двигателя РД, который производит перестановку движка реохорда до тех пор, пока не наступит

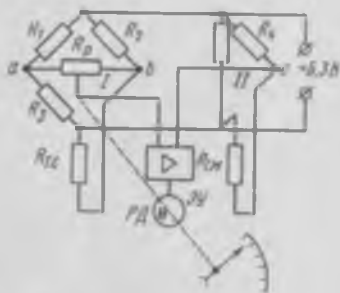
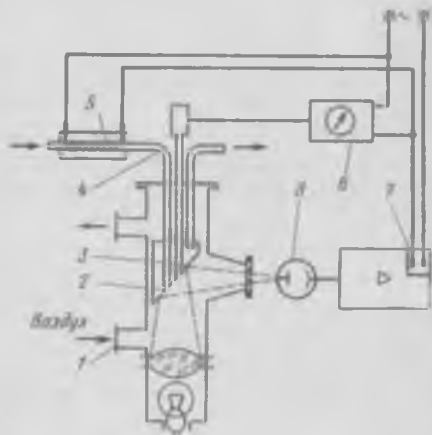


Рис. 7-1. Схема электрического психрометра

Рис. 7-2. Структурная схема гигрометра



пит новое равновесное состояние системы. Одновременно реверсивный двигатель производит перестановку стрелки измерительного прибора, шкала которого градуируется в процентах относительной влажности.

Гигрометры. Действие этих приборов основано на методе точки росы, состоящем в охлаждении контролируемого газа или воздуха до наступления насыщения, т. е. до точки росы, или на определении температуры, до которой необходимо охладить ненасыщенный газ, чтобы он стал насыщенным. Таким образом, измерение влажности по этому методу сводится к определению температуры.

Точка росы определяется по началу конденсации водяного пара на охлаждаемом твердом теле — металлическом зеркале, температуру которого в момент выпадения на нем конденсата фиксируют как точку росы. В автоматических приборах появление точки росы на зеркальной поверхности определяется по ослаблению светового потока, отраженного от зеркала и воспринимаемого фотоприемником. Метод точки росы позволяет определять влажность газа в широких диапазонах с большой точностью и при любом давлении (10—15 МПа и выше).

На рис. 7-2 приведена структурная схема одной из конструкций прибора для определения влажности газов по методу точки росы. Анализируемый газ или воздух подается через канал 1 к зеркальцу (чувствительному элементу) 2, охлаждаемому потоком холодного воздуха, поступающего по трубке 4. К поверхности зеркальца припаян малоинерционный термоэлектропреобразователь 3, включенный на милливольтметр 6. При появлении росы на зеркальце с помощью фотоэлемента 8, включенного по схеме фотореле, происходят замыкание контактов 7 и включение милливольтметра 6 на измерение температуры зеркальца.

Одновременно включается электронагревательный элемент воздуха 5, действующий до тех пор, пока зеркальце не станет вновь ясным, после чего нагреватель отключается. В результате процесс измерения будет циклически повторяться. При этом каждой температуре точки росы соответствует определенное количество влаги, содержащейся в воздухе или газе.

Весовые влагомеры. Действие этих влагомеров основано на выпаривании влаги из испытуемого материала в специальных сушильных устройствах и взвешивании пробы до и после сушки. Благодаря высокой точности и простоте аппаратного оформления этот метод измерения влажности твердых и сыпучих материалов получил широкое распространение как в лабораторной, так и в производственной практике. Основными частями весовых влагомеров являются весы и сушильные устройства.

В конструкциях весовых автоматических влагомеров (установок) автоматически отобранная проба контролируемого материала взвешивается и подается в сушильную камеру, где высушивается. Затем проба снова взвешивается. Вычислительное устройство выдает готовый результат в виде отклонения стрелки или в цифровой форме. Но подобные устройства не обладают достаточным быстродействием, что ограничивает их использование в системах автоматического контроля и регулирования.

— **Кондуктометрические влагомеры.** В основу принципа действия этих влагомеров положена зависимость электрического сопротивления от влагосодержания. В результате увлажнения большинство материалов, которые в сухом виде являются диэлектриками, становятся проводниками тока. При этом резкое изменение сопротивления оказывается в пределах относительной влажности — от 2 до 30 %.

Чувствительным элементом кондуктометрических влагомеров являются два электрода, конструктивно выполненных в виде пластин, цилиндрических трубок, роликов и т. п., а измерительным устройством — автоматический электронный мост сопротивления.

Электрическое сопротивление материала зависит не только от содержания в нем влаги, но и температуры, поэтому для

термокомпенсации применяют термопреобразователи сопротивления. Кондуктометрические влагомеры применяют для измерения влажности зерна, муки, макаронных и кондитерских изделий и других сыпучих материалов.

Диэлькометрические влагомеры. Принцип действия этих приборов основан на влиянии влаги в твердом теле на величину диэлектрической проницаемости. Диэлектрическая проницаемость сухого вещества обычно равна 2—5, а воды 81. При небольшом изменении содержания воды в веществе величина диэлектрической проницаемости значительно изменяется.

Любой диэлькометрический влагомер состоит из трех основных частей: преобразователя, высокочастотного генератора и



Рис. 7-3. Структурная схема влагомера с емкостным делителем напряжения

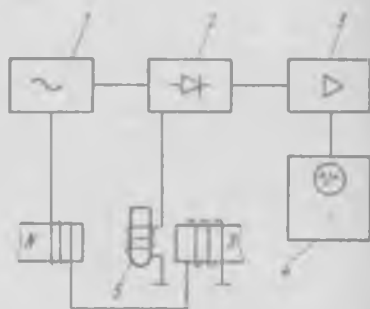


Рис. 7-4. Структурная схема влагомера ядерно-магнитного резонанса (ЯМР)

измерительной схемы. Одной из главных частей являются преобразователи, в которых должны учитываться свойства контролируемых материалов. Преобразователи выполняются в виде двух плоских пластин или двух концентрических цилиндров, пространство между которыми заполняется анализируемым веществом. Для измерения параметров емкостного преобразователя применяются различные схемы, одна из которых показана на рис. 7-3.

Действующие по этой схеме влагомеры являются делителями напряжения, в которых одно плечо Z_0 образуется конденсатором и постоянной емкостью или комбинацией реактивных и активных сопротивлений, а второе плечо Z_x — преобразователем, заполняемым анализируемым материалом.

Напряжение питания U , подаваемое в плечи моста, вырабатывается генератором высокой частоты ГВЧ.

Измерение производится с помощью лампового вольтметра ЛВ, включенного на выходе делителя. При этом в дифференциальной схеме измеренная разность напряжений пропорциональна диэлектрической проницаемости или влажности материала.

Диэлькометрические влагомеры широко используются для измерения влажности различных пищевых продуктов и материалов: чая, варено-сушеных круп (овсяной, гороховой, рисовой, пшеничной), сливочного масла, сушеных молочных продуктов, маргариновой эмульсии, семян, мезги подсолнечника.

Влагомеры ядерно-магнитного резонанса. Принцип действия приборов основан на поглощении энергии высокочастотного магнитного поля ядрами атомов водорода (протонами) из состава воды, содержащейся в материале. При этом интенсивность поглощения энергии контролируемым образцом при магнитном резонансе пропорциональна числу протонов водорода в единице объема исследуемого вещества. Таким образом, по величине поглощения высокочастотной энергии можно оценивать влагосодержание.

На рис. 7-4 показана структурная схема влагомера, состоящего из высокочастотного генератора 1, детектора 2, усилителя 3 и измерительного устройства — осциллографа 4. Исследуемый материал, помещенный в преобразователь 5, находится в поле мощного постоянного магнита ($N-S$). Высокочастотная энергия подводится к материалу с помощью катушки, охватывающей преобразователь 5 и подключенной к детектору 2. При подводе энергии на частоте, соответствующей резонансной, наступает поглощение энергии, резко изменяющее электрические параметры катушки. Детектор преобразует это изменение в изменение выходного напряжения, которое затем усиливается и подается на измерительное устройство.

Исследованы возможности использования метода ЯМР для контроля влажности продуктов и материалов в пищевой промышленности. Результаты исследований показали, что этот метод является перспективным, обеспечивающим чувствительность, точность и быстродействие, но он пока еще не нашел широкого применения.

7.2. Приборы для измерения величины рН

Для многих процессов пищевых производств важным показателем является активная концентрация водородных ионов, которая характеризует степень кислотности или щелочности среды.

Кислотные и щелочные свойства принято выражать величиной рН, равной отрицательному десятичному логарифму активности ионов водорода. Величина рН для чистой воды и нейтральных растворов равна 7. Если рН больше 7, то это указывает на щелочность раствора, кислые растворы характеризуются числом рН, меньшим 7. Основным методом измерения рН является потенциометрический, заключающийся в том, что при погружении в раствор электродов из определенных материалов на границе между электродом и раствором возникает элект-

рический потенциал, величина которого зависит от концентрации водородных ионов и температуры раствора.

Величину рН определяют рН-метрами путем измерения разности потенциалов между двумя электродами, из которых один (измерительный) погружен в исследуемый раствор, а другой (сравнительный) — в раствор с известной величиной рН. В качестве измерительного применяют сурьмяный и стеклянный электроды. Сравнительным служит хлорсеребряный электрод. Электроды помещают в специальные устройства для защиты от механических повреждений. Для измерения ЭДС между измерительным и сравнительным электродами используют ламповые вольтметры или потенциометры.

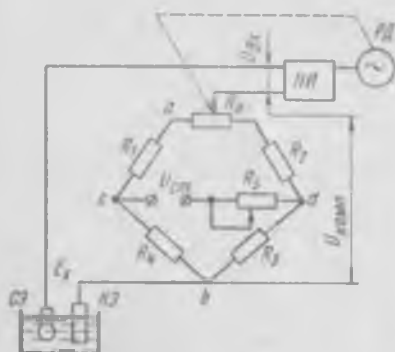


Рис. 7-5. Принципиальная схема компенсационного рН-метра

Многие современные рН-метры представляют собой автоматические приборы, в которых измерение ЭДС электродной системы осуществляется потенциометром, действующим на основе использования компенсации измеряемой ЭДС напряжением известной величины. При этом в большинстве приборов применяются мостовые схемы, имеющие ряд преимуществ: про-

стота настройки и регулирования, сравнительная легкость введения температурных поправок. На рис. 7-5 показана упрощенная схема компенсационного рН-метра. Питание моста производится от постоянного стабилизированного источника напряжения $U_{ст}$ через переменное сопротивление R_6 , служащее для настройки тока в цепях моста. Нулевой индикатор НИ фиксирует разность $U_{вх}$ между ЭДС измерительной ячейки E_x и компенсационным напряжением $U_{комп}$ в диагонали ab и вырабатывает сигнал разбаланса, с помощью которого через реверсивный двигатель РД перемещением движка реохорда R_p осуществляется компенсационная балансировка схемы. В этот момент положение движка на реохорде, связанного со стрелкой или другим устройством прибора, однозначно определяет величину ЭДС и, следовательно, величину рН. Описанная схема во многом сходна с измерительными схемами электронных потенциометров, используемых для измерения температуры в комплекте с термопреобразователями.

Приборостроительными заводами выпускается большая номенклатура промышленных и лабораторных рН-метров, из которых широкое применение получили промышленные рН-метры типа рН-261, предназначенные для измерения рН от -1 до $+14$

в комплекте со стеклянными электродами и отвечающие всем требованиям ГСП.

Общепромышленные рН-метры применяются во многих пищевых производствах: в сахарном для измерения кислотности диффузионного сока I и II сатурации, спиртовом для контроля брожения сусла, консервном, винодельческом и др.

7.3. Автоматические рефрактометры

Рефрактометры широко применяются в различных отраслях пищевой промышленности (сахарной, спиртовой, консервной, кондитерской, винодельческой) для определения концентрации растворенных в жидкостях веществ. Принцип действия этих приборов основан на использовании зависимости показателя преломления бинарной смеси от соотношения ее компонентов.

Показатель преломления выражается отношением синуса угла падения к синусу угла преломления и является постоянной величиной для двух сред. Существует несколько методов определения показателя преломления, из которых наиболее приемлемым считается спектрометрический, основанный на использовании полного внутреннего отражения. В спектрометрическом методе показатель

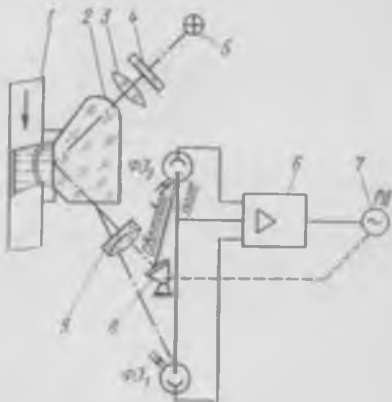


Рис. 7-6. Принципиальная схема автоматического рефрактометра полного внутреннего отражения

преломления находится по углу наименьшего отклонения светового луча в стеклянной призме, заполняемой анализируемой жидкостью. Второй метод заключается в том, что свет полностью отражается от границы раздела в первую среду и совсем не попадает в среду с меньшим показателем преломления.

Рефрактометры полного внутреннего отражения могут применяться для работы с непрозрачными жидкостями, что является очень важным при контроле многих технологических сред пищевых производств.

На рис. 7-6 показана принципиальная схема рефрактометра типа РДА, основанного на использовании полного внутреннего отражения. В трубопроводе 1, по которому протекает анализируемая жидкость, установлена измерительная призма 2, на которую поступает поток света от источника 5, проходящий предварительно светофильтр 4 и коллиматор 3. Световой поток, падая на границу раздела среды и призмы, отражается от нее и идет в направлении оптического рассеивателя 9, пройдя

который, поступает на фотоэлемент ФЭ₁ и зеркало 8. Поток, отраженный от зеркала, попадает на фотоэлемент ФЭ₂. Сигнал разбаланса, равный разности ЭДС от фотоэлементов, усиливается электронным усилителем 6 и поступает на реверсивный двигатель 7, с осью которого связано отсчетное устройство, не показанное по схеме. Двигатель 7 поворачивает зеркало 8 до тех пор, пока свет, направляемый на фотоэлемент ФЭ₂, не уравновесит световой поток, падающий на ФЭ₁, и тем самым не приведет систему в равновесие. Многие приборы, построенные по аналогичной схеме, имеют шкалы, отградуированные в процентах сухого вещества, например сахарозы (тип РАР, РД-Е, РАС).

Основная погрешность измерения $\pm 0,5\text{--}1,5\%$ сухих веществ.

Рефрактометры являются весьма перспективными приборами, предназначенными для анализа жидких пищевых продуктов.

7.4. Автоматические поляриметры

Принцип действия поляриметров основан на том, что для растворов, содержащих оптически активные вещества (сахарозу, глюкозу, фруктозу,

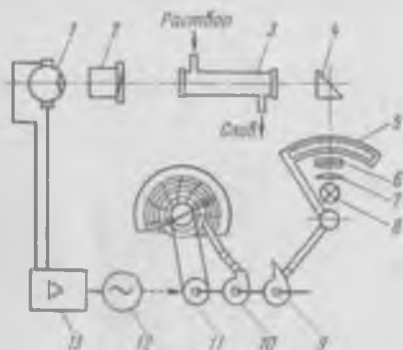


Рис. 7-7. Принципиальная схема автоматического поляриметра

большинство эфирных масел и т. д.), угол вращения плоскости поляризации поляризованного¹ света пропорционален их концентрации.

Связь между углом вращения α и концентрацией раствора C выражается зависимостью $\alpha = \alpha_0 \delta CK$ (где α_0 — угол удельного вращения плоскости поляризации, зависящий от длины волны света и температуры; δ — толщина слоя раствора, м; K — постоянный коэффициент, м²/моль).

Таким образом, измеряя угол вращения, можно определить концентрацию вещества в контролируемом растворе. На рис. 7-7 показана схема автоматического поляриметра для непрерывного анализа пищевых сред. Луч света от источника 8 проходит через конденсор 7 и светофильтр 6 и попадает на поляризатор 5, откуда выходит плоскополяризованным. Затем поток поляризованного света с помощью призмы 4 направляется в кювету 3, через которую непрерывно протекает контролируемый

¹ Поляризованным называется луч света, электромагнитные колебания которого ориентированы в одной плоскости. Для выделения такого луча служат поляризаторы (призмы Николя и поляроидные светофильтры).

раствор. После кюветы свет проходит поляроидный анализатор и магнитооптический модулятор 2 и направляется на фотоприемник 1, включенный на вход электронного усилителя 13. Если оптически активные вещества отсутствуют в анализируемой жидкости, свет полностью гасится на анализаторе 2, не попадая на фотоэлемент. Появление оптически активного вещества в растворе вызывает поворот плоскости поляризации на угол, пропорциональный количеству этого вещества, и модулированный поток света падает на фотоэлемент, благодаря чему на входе в усилитель 13 возникает сигнал разбаланса, который усиливается и приводит во вращение реверсивный двигатель 12, перемещающий через кулачок 9 поляризатор 5. Вращение происходит до тех пор, пока не будет скомпенсирован возникший поворот плоскости поляризации. Следовательно, угол поворота поляризатора 5 прямо пропорционален содержанию в анализируемом растворе оптически активного вещества.

Насаженные на ось реверсивного двигателя кулачок 10 и ролик 11 предназначены для передачи движения на показывающие устройства.

По приведенной схеме работают приборы для определения содержания сахара в сахарной свекле, продуктах, полупродуктах и отходах сахарного производства (тип САП), имеющие пределы измерения $7-20^{\circ}\text{S}$ по международной сахарной шкале и предельно допустимую погрешность $\pm 1^{\circ}\text{S}$. Специальные печатающие устройства этих приборов отбивают содержание сахаристых веществ на чеке, вручаемом сдастчику сахарной свеклы на свеклоприемных пунктах.

Разработаны и применяются поляриметры для определения кристалличности ирисных масс и некоторых других материалов.

7.5. Автоматические титрометры

Приборы, предназначенные для автоматического титрования растворов с целью определения концентрации вещества известной природы, находящегося в смеси с другими компонентами, называются автоматическими титрометрами (титраторами). По назначению автоматические титрометры делятся на лабораторные и производственные. Лабораторные титрометры предназначены в основном для выполнения больших серий однотипных титрований. В этих приборах все подготовительные и вспомогательные операции выполняются вручную. Производственные автоматические титрометры предназначены для непрерывно-циклического или непрерывного автоматического анализа технологических потоков в промышленных условиях.

На рис. 7-8 приведена схема автоматического титрометра. Проба отбирается из контролируемого технологического потока и непрерывно поступает в стабилизатор 1 (регулирующий орган), а затем — в смеситель 2. Сюда же подается титрующий

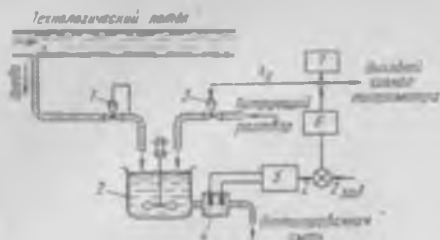


Рис. 7-8. Схема непрерывного автоматического титрометра

раствор, расход которого определяется регулирующим органом 3 (например, дозирующим насосом высокой точности). Соотношение количества титрующего раствора и титруемого вещества в смеси контролируется вспомогательным автоматическим концентрометром 5 с преобразователем 4. Выходной сигнал Z преобразователя сравнивается

с заданным значением $Z_{зад}$, соответствующим конечной точке титрования. Если они равны, расход титрующего раствора остается неизменным и характеризует концентрацию контролируемого компонента пробы. В случае неравенства выходного сигнала и заданного значения сигнал рассогласования, преобразованный регулятором 6, подается на регулирующий орган 3, изменяющий подачу титрующего раствора. При линейной характеристике регулирующего органа 3 расход титрующего раствора пропорционален величине управляющего сигнала X_y . Таким образом, прибор 7, регистрирующий величину X_y , можно проградуировать в единицах концентрации определенного вещества.

7.6. Автоматические вискозиметры

Вязкость является одним из параметров, определяющих состав и качество продуктов во многих технологических процессах пищевых производств. Различают динамическую и кинематическую вязкость.

Динамическая вязкость называется свойство жидкостей и газов, характеризующее их сопротивление скольжению или сдвигу. За единицу динамической вязкости ($\text{Па} \cdot \text{с}$) принимается вязкость жидкости, оказывающей сопротивление 1 Па пластинам площадью 1 м^2 , расположенным на расстоянии 1 м и перемещающимся относительно друг друга.

Кинематическая вязкость называется отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности; она измеряется в $\text{м}^2/\text{с}$.

Для измерения вязкости применяются приборы — **вискозиметры**, которые в зависимости от принципа действия подразделяются на капиллярные, шариковые, ротационные, вибрационные.

Принцип действия капиллярных вискозиметров основан на зависимости времени протекания известного количества жидкости через узкие трубки от ее вязкости. При этом параметры потока жидкости (расход, перепад давления) зависят от динамической вязкости $Q = (\pi d^4 / 12 \eta l) \Delta P$, где Q — объемный

Плечи 6 и 8 сравнительного моста *Б* находятся в среде, состав которой соответствует началу шкалы, а плечи 5 и 7 — в газовой среде, содержащей анализируемый газ в количестве, соответствующем концу шкалы. Движок реохорда *R_p* в диагонали моста *А* и вершина *б* включены на вход электронного усилителя *ЭУ*.

При изменении состава анализируемого газа нарушается равновесие схемы, т. е. снимаемый с рабочего моста сигнал остается нескомпенсированным сигналом сравнительного моста. Сигнал разбаланса, усиленный в электронном усилителе, вызывает с помощью реверсивного двигателя *РД* перемещение движка реохорда *R_p* и указывающей стрелки по шкале до тех пор, пока напряжение на вершинах моста *ab* не уравнивается напряжением, снимаемым движком с реохорда.

Термокондуктометрические газоанализаторы выпускаются на различные диапазоны измерения для определения количества водорода, кислорода, аммиака и других газов и имеют основную погрешность $\pm 2,5-3\%$. Приборы типа ТП, например, применяются в автоматических системах регулирования чистоты водорода в процессе непрерывной гидрогенизации жиров и масел.

Оптико-акустические газоанализаторы. Принцип действия этих приборов основан на определении количества энергии, те-

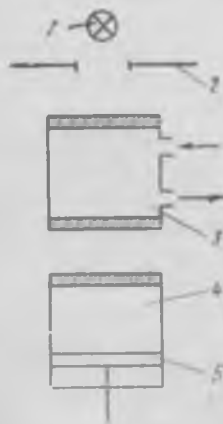


Рис. 7-11. Структурная схема оптико-акустического газоанализатора

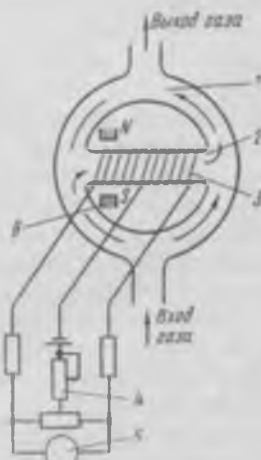


Рис. 7-12. Принципиальная схема термомагнитного газоанализатора

ряемой прерывистым потоком инфракрасного излучения при прохождении через слой анализируемой газовой смеси.

Оптико-акустический газоанализатор состоит из источника инфракрасного излучения 1 (рис. 7-11), обтюлятора 2, прерывающего поток, и двух камер — рабочей 3 и измерительной

4. Через рабочую камеру, пропускающую инфракрасные лучи, протекает анализируемая газовая смесь. В измерительной камере установлен микрофон 5, реагирующий на колебания давления, возникающие при поглощении газом прерывистого потока излучения. При содержании в смеси определенного компонента в измерительную камеру поступает ослабленный поток излучения, пропорциональный концентрации определяемого компонента. В результате амплитуда колебания давления газа уменьшается. Такие колебания давления воспринимаются микрофоном, преобразующим их в электрический сигнал, поступающий в усилитель и затем на вторичный измерительный прибор, шкала которого отградуирована в единицах концентрации компонента в анализируемой газовой смеси.

Подобные приборы выпускаются для диапазонов от 0—1 до 0—100 % с основной погрешностью $\pm 2,5$ %. Эти приборы используют для определения в воздухе оксида и диоксида углерода, аммиака и других газов, состоящих не менее чем из двух различных атомов.

Магнитные газоанализаторы. Эти приборы служат для определения содержания кислорода, который в отличие от других газов притягивается магнитом. Такое свойство называется магнитной восприимчивостью. Оно положено в основу работы газоанализатора.

К числу магнитных газоанализаторов, имеющих практическое значение, относятся термомангнитные газоанализаторы. Принципиальная схема такого прибора показана на рис. 7-12. Газоанализатор имеет кольцевую камеру 1, по диаметру которой установлена стеклянная трубка 2 со спиралью 3. Реостат 4 служит для установки величины тока питания моста. Спираль, нагреваемая электрическим током, состоит из двух секций, представляющих собой смежные плечи моста, служащие измерительными элементами. Одна из секций находится в поле постоянного магнита 6.

Если кислорода в смеси нет, поток через поперечную трубку не проходит. Температура обеих секций спиралей одинакова и напряжение на выходе моста равно нулю. При наличии в газовой смеси кислорода часть потока вытягивается в трубку 2, где образуется течение газа слева направо. Поступающая холодная смесь охлаждает левую секцию спирали, а правая нагревается подогретым потоком газа.

В результате изменения температуры измерительных элементов меняется их сопротивление, и в диагонали моста возникает напряжение разбаланса, пропорциональное содержанию кислорода в смеси. Шкала прибора 5 отградуирована в объемных процентах кислорода. Пределы измерения 0—5, 0—10, 0—21, 20—35 % кислорода.

Основная погрешность прибора не превышает $\pm 2,5$ % диапазона шкалы.

Сигнализаторы содержания горючих газов в воздухе. Сигнализатор представляет собой непрерывнодействующий прибор, предназначенный для автоматической сигнализации наличия в воздухе закрытых помещений горючих газов, паров и их смесей, относящихся к взрывоопасным. Подобные приборы устанавливают в закрытых помещениях, где получают водород, гидрогенизируют жиры, экстрагируют растительные масла.

Принцип действия сигнализатора основан на зависимости количества теплоты, образующейся при сгорании горючих газов на платиновой проволоке, от концентрации определяемого компонента. Сигнализатор состоит из преобразователя во взрывозащищенном исполнении, блока питания и вторичного прибора. Преобразователь (рис. 7-13) включает измерительную проволоку 1, обдуваемую контролируемым газом, и сравнительную проволоку 2, помещенную в герметичный чехол, также обдуваемый потоком газа. Проволоки включены в неуравновешенный мост, плечи которого подобраны таким образом, что при прохождении через преобразователь чистого воздуха сигнал, поступающий на вторичный прибор, равен нулю. При сгорании анализируемого компонента на измерительной проволоке 1 температура и сопротивление ее изменяются. В диагонали моста возникает ЭДС, пропорциональная концентрации определяемого компонента. Повышение концентрации горючих газов в воздухе отмечается вторичным прибором, подающим сигнал при достижении концентрации 5—50 % от нижнего предела взрываемости. В качестве вторичного прибора используется показывающий потенциометр. Подобные приборы применяются для определения содержания в воздухе помещений паров бензина (гексана), спирта, водорода, метана и других газов.

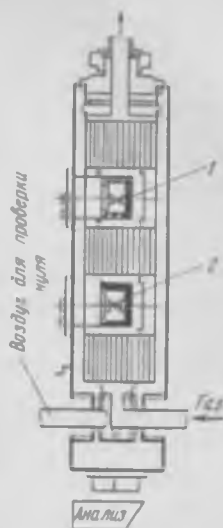


Рис. 7-13. Преобразователь сигнализатора горючих газов

7.8. Приборы для измерения плотности жидкостей

Плотностью называется отношение массы тела к его объему. Единицей измерения плотности в Международной системе (СИ) является килограмм на кубический метр (кг/м^3). Измерение плотности жидкости имеет большое значение в автоматизации целого ряда процессов сахарного, масло-жирового, кондитерского, спиртового, винодельческого, пивоваренного и других производств, требующих непрерывного контроля плотности. Приборы для измерения плотности жидкостей, растворов и пульп называются плотномерами.

По принципу действия плотномеры подразделяются на поплавковые, весовые, гидростатические и радиоизотопные.

Поплавковые плотномеры. Принцип действия поплавковых плотномеров основан на законе Архимеда. Их применяют для измерения плотности однородных жидкостей. Поплавковые плотномеры бывают с плавающим и полностью погруженным поплавком. В первых мерой плотности служит глубина погружения поплавка, во вторых — выталкивающая сила, пропорциональная плотности жидкости.

В плотномере с полностью погруженным поплавком жидкость по трубе 2 (рис. 7-14) поступает в измерительную камеру 3, откуда по трубе 1 направляется в трубопровод. Поплавок 4 насажен на коромысло 7, проходящее через уплотнительный сильфон 5. Противовес 6 уравнивает коромысло таким

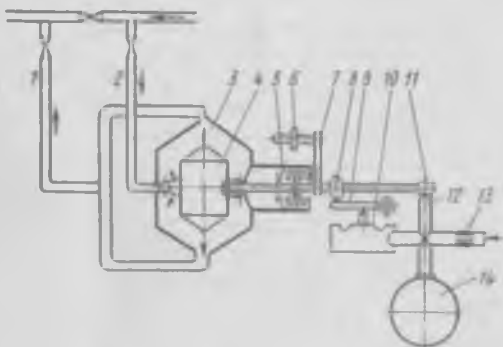


Рис. 7-14. Принципиальная схема плотмера с полностью погруженным поплавком

образом, чтобы поплавок начинал перемещаться вниз в жидкости с наименьшей плотностью. Когда плотность жидкости увеличивается, поплавок под действием выталкивающей силы поднимается и равновесие системы нарушается. В результате поднятия поплавка заслонка 11, закрепленная на конце коромысла, опускается. Давление на выходе из сопла 12 и в мембранной коробке 10 повышается. Толкатель мембраны через рычаг 9 и ролик 8 перемещает правый конец коромысла вверх и заслонка отводится от сопла.

Давление воздуха на мембрану, пропорциональное действующей на поплавок выталкивающей силе, является мерой плотности жидкости и передается на вторичный прибор 14. Расход воздуха через прибор устанавливается с помощью дросселя 13.

Весовые плотномеры. Плотность в этих приборах определяется по массе постоянного объема контролируемой среды.

Автоматический весовой плотномер состоит из измерительного сосуда с двумя гибкими патрубками: по первому контролируемая жидкость поступает в сосуд, по второму избыток жидкости вытекает, обеспечивая постоянство объема в потоке. Сосуд с жидкостью уравнивается противовесом. Значение

плотности фиксируется на шкале показывающего или самопишущего прибора. Подобные приборы выпускаются на диапазон измерений от 1000 до 2500 кг/м³. Они хорошо зарекомендовали себя в контроле суспензии сока сатурации в свеклосахарном производстве.

Гидростатические плотномеры. Принцип их действия основан на том, что давление в жидкости на некоторой глубине равно массе столба жидкости той же высоты. В пьезометрических плотномерах гидростатическое давление столба определяется по давлению инертного газа, непрерывно продуваемого через контролируемую жидкость. Это давление пропорционально давлению столба жидкости. Преобразователь пьезометрического плотномера состоит из рабочего сосуда, внутри которого располагается сосуд постоянного уровня, заполненный эталонной жидкостью. Исследуемая жидкость непрерывно проходит через рабочий сосуд, где поддерживается постоянный уровень. В сосудах находятся пьезометрические трубки, продуваемые газом. К трубкам подсоединен дифференциальный манометр, который измеряет разность давлений двух столбов жидкостей различной высоты. Эта разность давлений является мерой плотности рабочей жидкости. Подобные плотномеры с пневмопреобразователем используются для измерения плотности мисцеллы и других растворов.

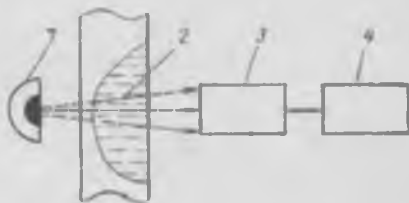


Рис. 7-15. Блок-схема радиоизотопного плотномера

Радиоизотопные плотномеры. Принцип действия плотномеров этого типа основан на определении изменения интенсивности потока γ -лучей после прохождения их через измеряемую среду. В качестве примера радиоизотопного плотномера может служить прибор типа ПР-1024В, предназначенный для измерения плотности в потоке жидкостей, растворов, суспензий. Плотномер состоит из блока источника излучения 1 (рис. 7—15), блока приемника 3, электронного самопишущего блока 4 и стабилизатора напряжения.

Блок источника излучения представляет собой чугунный корпус, залитый свинцом и являющийся надежной защитой обслуживающего персонала от ионизирующего излучения. Внутри корпуса помещается источник ионизирующего излучения (ампула с цезием-137), который перемещают в нужное положение специальным механизмом.

Блок приемника в виде стальной коробчатой конструкции состоит из основания и корпуса, служащего для защиты от механических повреждений. На основании крепится плата с узлами и деталями приемника. Электронный самопишущий блок выполнен на базе электронного моста КСМ-3. При помощи

разъемов типа ШР осуществляется электрическое соединение электронного самопишущего блока с остальными блоками прибора. Контейнер основного источника и блок приемника крепятся на общем контейнере, обеспечивающем их фиксированное положение.

Плотномер работает следующим образом: поток γ -лучей от источника излучения 1, пройдя через контролируемую среду 2, регистрируется блоком приемника 3. В блоке приемника γ -лучи преобразуются в электрические импульсы, которые в электронном самопишущем блоке усиливаются, формируются

и подаются на вход электронного моста, шкала которого отградуирована в кг/м^3 . Пределы измерения плотности 500—3000 кг/м^3 . Основная погрешность прибора не более $\pm 2\%$. Внутренний диаметр трубопровода, на котором может быть установлен плотномер, 100—300 мм.

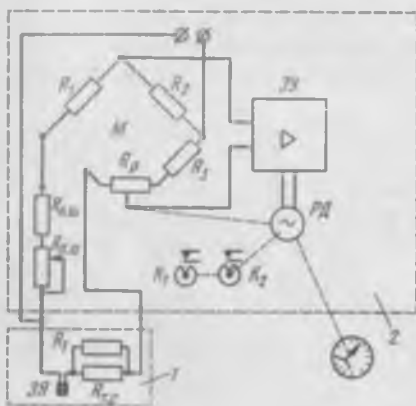


Рис. 7-16. Принципиальная схема кондуктометрического концентратомера моющих растворов

7.9. Приборы для измерения концентрации растворов кондуктометрическим методом

Устройства, предназначенные для измерения концентрации растворов, называются концентратомерами, к числу

которых относятся и кондуктометрические концентратомеры.

Принцип действия этих приборов основан на измерении электропроводимости анализируемых растворов, т. е. на кондуктометрическом методе. В контактных кондуктометрических концентратомерах, как правило, применяются измерительные ячейки, состоящие из двух электродов, помещенных в анализируемый раствор на определенном расстоянии друг от друга. Сопротивление ячейки определяется только электропроводимостью раствора. Измерение электропроводимости производится главным образом на постоянном токе. На рис. 7—16 приведена принципиальная схема контактного концентратомера моющих растворов (типа КНР-1). Прибор состоит из двух основных узлов — преобразователя 1 и измерительного устройства 2. Преобразователь включает электродную ячейку ЭЯ, температурно-компенсирующее сопротивление $R_{т.с}$ и шунтирующее сопротивление $R_{ш}$, служащее для настройки схемы. Измерительное устройство — уравновешенный мост переменного тока — включает мостовую схему М, электронный усилитель ЭУ и реверсивный

двигатель $PД$, воздействующий на движок реохорда R_p . Сопротивления $R_{н.ш}$ и $R_{п.ш}$ служат для настройки в процессе работы. Действует прибор следующим образом. Изменение концентрации раствора вызывает изменение сопротивления между электродами измерительной ячейки $ЭЯ$, что приводит к разбалансу моста, и на входе усилителя появляется сигнал, пропорциональный изменению концентрации раствора. Усиленный сигнал воздействует на реверсивный двигатель $PД$, перемещающий движок реохорда в направлении ликвидации разбаланса. Контакты K_1 и K_2 сигнализируют о максимальном и минимальном значении концентрации моющего раствора.

7.10. Специальные приборы и устройства автоматизации пищевой промышленности

За последние годы получило развитие специальное приборостроение для пищевой промышленности. В связи с тем что среды пищевой промышленности, а также производственные помещения, оборудование, технологические процессы обладают определенными специфическими свойствами — взрывоопасностью, вязкостью, налипанием, абразивностью и т. п. — необходимо, чтобы применяемые приборы и средства автоматизации по своим характеристикам удовлетворяли перечисленным условиям.

Наряду с подразделением специальных приборов и устройств по назначению по указанным группам возможна классификация их по подотраслям пищевой промышленности. Так, для межотраслевого применения предназначены, например, устройства для счета бутылок, банок, штучной продукции, электронно-тензометрические взвешивающие устройства, весы автомобильные полуавтоматические, акустические уровнемеры, гидростатические измерители и сигнализаторы уровня жидких и сыпучих сред, отсечные, распределительные, дренажные клапаны с пневмоприводами.

Приборы и устройства, разработка которых проводится специально для отраслей пищевой промышленности — масло-жировой, сахарной, спиртовой, винодельческой, консервной, чайной, табачной — должны удовлетворять всем специфическим требованиям конкретных производств.

Специальные средства измерений и автоматизации по назначению можно подразделить на три группы: устройства, приборно-аналитические комплексы и автоматизированные системы экспресс-анализа качества (АСЭАК) растительного сырья при приемке его на предприятиях отрасли; устройства автоматического и автоматизированного пробоотбора, пробоподготовки и контроля качественных показателей полупродуктов и готовой продукции в процессе производства; устройства автоматического контроля режимных параметров технологических процессов пищевых производств.

Устройства и приборно-аналитические комплексы в АСЭАК. К этой группе относятся пробоотборники и различные анализаторы.

Пробоотборник для измерения крахмалистости картофеля представляет собой устройство конвейерного

типа. Из потока сырья в контейнер отбираются разовые пробы картофеля по 3—8 кг для получения представительной пробы массой 40—50 кг. Затем проба поступает в бункер на взвешивающее устройство, а из него — в моечную машину. В моечной машине картофель проходит в течение 270 с камеру отмочки, моечный барабан и камеру ополаскивания.

Затем проба поступает на инспекционный транспортер, откуда перегружается в связанную со взвешивающим устройством емкость, расположенную в водяной ванне с постоянным уровнем воды.

После взвешивания проба в течение 180 с просушивается при температуре 60—70 °С в сушилке, а затем поступает в устройство калибровки для удаления и последующего взвешивания клубней, размеры которых не превышают 30 мм.

Все весовые устройства имеют выход для ввода информации в вычислительное устройство АСЭАК.

Крахмалистость картофеля определяется путем соответствующего пересчета по показаниям весов при взвешивании пробы в воде с учетом температурной поправки и по массе пробы после сушки. Погрешность определения крахмалистости этим способом не превышает $\pm 0,56\%$ (абсолютных). Все операции осуществляются по программе. Обеспечивается проведение до 30 анализов час.

В анализаторе АМВ-1002 для определения маслячности и влажности семян подсолнечника использовано явление ядерного магнитного резонанса. В качестве резонирующих выбраны ядра водорода (H), входящие в состав молекул воды и жирных кислот.

Анализатор обладает высокой экспрессностью измерения — 1 мин. Диапазон измерения маслячности 35—65 %; диапазон измерения влажности 4—20 %. Погрешность измерений $\pm 0,5\%$ (абсолютных), среднее квадратическое отклонение при 10-кратном измерении одного и того же образца — не более $\pm 0,25\%$. Объем измеряемой пробы 25 ± 3 см³.

В состав анализатора входят мини-ЭВМ и цифropечатающее устройство.

АМВ-1002 является приборно-аналитическим комплексом и может использоваться в составе автоматизированной системы экспресс-анализа качества при приемке маслячного сырья.

Устройства контроля качественных показателей полупродуктов и готовой продукции в процессе производства. В эту группу входят анализаторы различных показателей качества.

Анализатор автоматический колориметрический сбраживаемых углеводов периодического действия АГК (анализатор гексоз колориметрический) предназначен для автоматического циклического измерения концентрации растворимых сбраживаемых углеводов (гексоз) в фильтрах зрелых зерно-картофельных бражек в бродильных

отделениях спиртовых заводов, перерабатывающих крахмалистое сырье (зерно, картофель).

АГК может быть применен для оперативного или автоматического контроля хода брожения по содержанию сбраживаемых углеводов в бражке при автоматизации технологических процессов.

АГК может быть также применен в качестве экспресс-анализатора при приготовлении проб фильтрата бражки вручную (фильтрованием) или как датчик автоматического контроля содержания сбраживаемых углеводов в зрелых бражках бродильных батарей при совместной работе с автоматическим фильтром-пробоотборником бражки типа ФПА, осуществляющим циклически в заданном темпе автоматический отбор пробы бражки из бродильной батареи, ее фильтрацию и подачу в анализатор.

В основу принципа действия АГК положен колориметрический антроновый метод, заключающийся в том, что антрон в присутствии серной кислоты вступает в реакцию с углеводами бражки, сбраживаемыми (гексозами) и несбраживаемыми (пентозами), окрашивая раствор в голубовато-зеленый цвет. Интенсивность окраски раствора (реакционной смеси) пропорциональна содержанию углеводов в растворе.

Анализатор по конструктивному исполнению представляет собой единую систему, включающую в себя ряд функциональных узлов (блоков), связанных общей функциональной схемой.

Анализатор устанавливается в бродильном отделении спирт-завода у щита автоматики или в другом хорошо освещенном месте.

Диапазон измерения концентрации растворимых сбраживаемых углеводов от 0,10 до 0,60 г на 100 мл.

Класс точности прибора 10. Время установления показаний в каждом цикле измерения (без учета времени приготовления пробы реакционной смеси) не более 180 с. Выходной сигнал аналоговый постоянного тока 0—5 мА. Длительность цикла не более 20 мин.

Основным достоинством АГК является возможность измерения концентрации сбраживаемых углеводов (гексоз) в фильтрах бражек в присутствии сходных с ними по физико-химическим свойствам несбраживаемых углеводов с исключением влияния последних на результат определения сбраживаемых углеводов.

Преобразователь влажности измерительный (инфракрасный) сорбционный ПВИС предназначен для непрерывного контроля влажности продуктов переработки семян подсолнечника (мятки, жмыха, шрота) и автоматического управления технологическими процессами масло-жирового производства.

Преобразователь влажности ПВИС может быть использован при автоматизации технологических процессов на предприятиях масло-жировой промышленности для непрерывного контроля влажности продуктов переработки семян при производстве растительных масел и в других подотраслях пищевой промышленности. Преобразователь выполнен в пылезащитном исполнении в литом корпусе из сплава алюминия. На основании корпуса размещены осветитель с модулирующим устройством, объектив со сферическим зеркалом и фотоприемником, электронный блок усилителя сигналов.

Принцип работы преобразователя заключается в преобразовании двух отраженных от контролируемой среды квазимонохроматических потоков излучения, длины волн которых выбраны так, что одна из них попадает в полосу поглощения воды, а другая расположена за ее пределами.

Основные преимущества преобразователя влажности ПВИС состоят в бесконтактности (с измеряемой средой) и непрерывности измерения. Исполнение, защищенное от воздействия пыли, дает возможность использовать преобразователь в пожаро- и взрывоопасных помещениях. ПВИС мало чувствителен к воздействию фоновых возмущающих факторов. Выходной сигнал, поступающий от первичного преобразователя на регистрирующий прибор, — унифицированный постоянного тока от 0 до 5 мА.

Диапазон измерения влажности по массе 2—15 %. Предел абсолютной основной допускаемой погрешности ± 1 %.

Влагомер маргариновой эмульсии ВМЭ-1 предназначен для автоматического измерения и регистрации содержания влаги в эмульсии, поступающей на производство маргариновой продукции. ВМЭ-1 состоит из преобразователя и измерительного блока.

Преобразователь представляет собой цилиндрический конденсатор. Внутренний электрод и корпус преобразователя изготовлены из нержавеющей стали.

Измерительный блок представляет собой уравновешенный индуктивно-емкостный мост.

Принцип действия прибора основан на регистрации изменения электрической емкости преобразователя (конденсатора), между электродами которого протекает контролируемая среда.

Величина емкости преобразователя зависит от диэлектрической проницаемости маргариновой эмульсии. В свою очередь диэлектрическая проницаемость является функцией влажности контролируемой среды.

Пределы измерения влажности 14—19 % по массе; основная допустимая абсолютная погрешность не более $\pm 0,5$ %. Расход контролируемой среды через преобразователь не менее 2 т/ч.

Преобразователь влагомера устанавливается на байпасе после насоса высокого давления линии фасовки маргариновой продукции.

предназначен клапан, управляемый поплавком. При понижении уровня воды клапан открывается и в термостат подается вода из водопроводной сети.

Принцип действия устройства состоит в следующем (рис. 7—18). Анализируемое масло из пробоотборника поступает в узел сатурации 3, расположенный внутри термостата 2, заполняет его объем до уровня, определяемого отверстием, через которое масло сливается в дренаж.

Через фильтр Φ_1 и редуктор РД, установленные в газоанализаторе 5, воздух поступает в узел сатурации аналитического блока 1. Воздух, проходя через слой масла, насыщается бен-

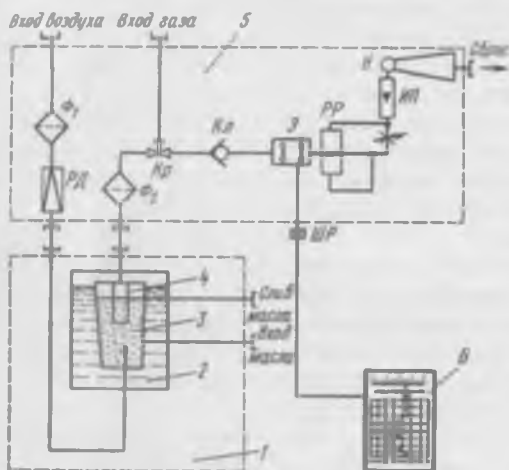


Рис. 7-18. Блок-схема анализатора содержания растворителя в экстракционном масле АРМ

зином и попадает в воздухоотборник 4. Из воздухоотборника бензовоздушная смесь поступает через фильтр Φ_2 и обратный клапан КЛ на измерительные элементы Э, что приводит к появлению на выходе газоанализатора электрического сигнала, пропорционального концентрации паров бензина. Далее через стабилизатор РР и ротаметр ИП проанализированная бензовоздушная смесь выводится воздушным эжектором Н в атмосферу. Электрический сигнал через ШР подается на потенциометр 6.

При изменении концентрации растворителя в анализируемом масле изменяется концентрация паров бензина в бензовоздушной смеси, что приводит к изменению электрического сигнала на выходе газоанализатора и изменению показаний потенциометра.

Пределы измерения содержания растворителя в экстракционном подсолнечном масле 0—0,05 %; выходной сигнал анализатора непрерывный электрический на нагрузке 2 кОм — 0...1 В. Предел допускаемой основной абсолютной погрешности $\pm 0,005$ %. Время прогрева анализатора не более 3 ч.

Устройство пробоотбора и подготовки шрота (УППШ) предназначено для автоматического дискретного отбора проб шрота из технологической линии, обработки пробы шрота по заданной программе с целью формирования на выходе блока подготовки дискретных бензовоздушных проб с содержанием бензина, пропорциональным содержанию его в исследуемом шроте, возврата пробы в технологическую линию.

Устройство является стационарным восстанавливаемым объектом, входящим в состав автоматического сигнализатора содержания бензина в шроте.

Устройство циклически по жестко заданной программе производит отбор пробы шрота, герметизацию ее в зоне пробоподготовки, продувку полученной бензовоздушной смеси через газоанализатор для определения содержания бензина в исследуемом шроте.

В исходном состоянии дозатор находится в узле пробоподготовки. В заданный момент времени по команде программного блока дозатор при помощи пневмопривода перемещается в зону пробоотбора и после отбора пробы возвращается в узел пробоподготовки. По следующей команде от программного блока в зону продувки подается сжатый воздух на предварительную продувку и, пройдя через слой шрота, насыщается парами бензина, захваченными из технологической линии вместе с пробой. Предварительная продувка проводится для исключения влияния концентрации захваченных паров бензина на результат измерения газоанализатором.

По очередной команде при помощи пневмопривода проба герметизируется в зоне продувки. Выдержка длится 5 мин, в течение которых бензин из жидкого состояния в анализируемом шроте переходит в газообразное.

По следующей команде начинается рабочая продувка пробы воздухом и подача полученной бензовоздушной смеси в газоанализатор для определения содержания бензина по пику записи выходного сигнала. По истечении заданного времени продувки проанализированная проба возвращается в технологическую линию.

В период выгрузки проанализированной пробы и набора новой осуществляется продувка тракта и газоанализатора сжатым воздухом для исключения влияния предыдущего измерения на результат последующего и контроля нулевого уровня сигнала на выходе газоанализатора.

Общая продолжительность цикла работы устройства не более 12 мин. Расход воздуха, проходящего через узел подготовки, 30 ± 1 л/ч. Давление питания пневмоприводов блока пробоотбора и пробоподготовки $0,25 \pm 0,015$ МПа. Давление питания пневматической схемы блока управления $0,14 \pm 0,014$ МПа.

Устройство пробоотбора и подготовки сточных вод УПСВ-УХЛ. 4 предназначено для автоматического

отбора и подготовки проб по заданной программе для анализа содержания бензина в сточной воде маслоэкстракционных производств.

Принцип действия УПСВ-УХЛ. 4 основан на получении бензовоздушной смеси методом барботирования воздуха через фиксированный слой пробы сточной воды.

УПСВ-УХЛ. 4 является стационарным, одноканальным, однофункциональным восстанавливаемым изделием и рассчитано для применения в комплекте с газоаналитическими приборами, предназначенными для автоматической сигнализации наличия горючих газов, паров и их смесей (например, с сигнализаторами СВК-3М1, СТХ-1У4, газоанализатором ГПБ-1У4.2).

Конструктивно УПСВ-УХЛ. 4 состоит из блока программы и блока пробоотбора и управления.

Блок программы УПСВ-УХЛ.4 формирует пневматические команды определенной длительности, соответствующие фазам цикла работы блока пробоотбора и управления.

Блок пробоотбора и управления УПСВ-УХЛ.4 осуществляет автоматический отбор пробы сточной воды, ее обработку и подачу газовой смеси, полученной в результате обработки сточной воды, на вход газоаналитического прибора. При установке блока программы вне взрывоопасного помещения УПСВ-УХЛ.4 может эксплуатироваться во взрывоопасных помещениях всех классов, в которых могут образовываться взрывоопасные смеси паров и газов с воздухом 1-й и 2-й категории групп Т1, Т2 и Т3 согласно классификации ПИВРЭ.

Объем дискретной пробы сточной воды 150 ± 5 мл. Период одного цикла отбора и подготовки пробы сточной воды не более 940 с. Время установления рабочего режима устройства после включения источника питания 15 мин. Давление воздуха питания $0,6 \pm 0,04$ МПа.

Установка для автоматического контроля твердости жиров ТВЖ-2 предназначена для автоматического дискретного контроля и регулирования в потоке твердости фильтрованного и нефилтрованного гидрированного жира — саломаса, маргарина и др. Может быть использована также в качестве экспресс-анализатора твердости жиров в условиях заводских лабораторий.

Основными элементами установки ТВЖ-2 (рис. 7—19) являются пробоотборник 9, измерительная трубка 11, индентор 10, вдавливаемый при измерении в затвердевший жир, полупроводниковое охлаждающее устройство 4 с реле давления 3, нож 8 для срезания мениска затвердевшего жира с пневмоприводом 7, заслонка 5, перемещаемая пневмоприводом 6, пневмодатчик 1 перемещения индентора и вторичный пневматический регистрирующий прибор 2.

Принцип действия установки основан на измерении глубины вдавливания конического индентора в затвердевший жир при

постоянной нагрузке. Глубина вдавливания, обратно пропорциональная твердости жира, фиксируется с помощью пневмодатчика перемещения на ленточной диаграмме вторичного прибора. Время одного цикла работы установки (дискретность) составляет 25 мин. Твердость жиров определяется в условных единицах — граммах нагрузки, приходящихся на один линейный сантиметр сечения разрезаемого образца (методика ВНИИЖа).

Пределы измерений установки 100—300 г/см. Среднее квадратическое отклонение показаний не более 30 г/см. Коэффициент сходимости между показаниями установки ТВЖ-2 и показаниями контрольного прибора Каминского (метод ВНИИЖа) не менее 0,8.

Применение установки позволяет уменьшить разброс твердости готового продукта — саломаса в процессе гидрогенизации жиров, значительно улучшить его качество. Стабилизация твердости саломаса создала предпосылки для увеличения выпуска высших сортов маргарина на маргариновых заводах.

Устройство распознавания цвета листьев табака УРЦТ предназначено для определения принадлежности каждого листа, попавшего в поле зрения устройства, к одной из двух цветковых групп с заданными цветовыми характеристиками, и формирования сигнала, управляющего исполнительными механизмами, разделяющими поток на указанные группы.

Область применения устройства — автоматизированные линии сортировки табака на предприятиях табачной промышленности.

Принцип работы устройства основан на фотоэлектрическом методе распознавания цветов. Наиболее информативными по отношению к цвету табачных листьев являются компоненты излучения на длинах волн 670 нм (красный цвет) и 540 нм (зеленый цвет); наименее информативным является компонент излучения на длине 900 нм (инфракрасный), который используется в качестве нормирующего. Задача распознавания цвета листьев табака, решаемая устройством, сводится к вопросу о том, принадлежит осматриваемый лист к заданной области или нет.

Устройство программируется таким образом, что для листьев, цвет которых принадлежит к определенной области, будут вырабатываться сигналы, включающие исполнительные

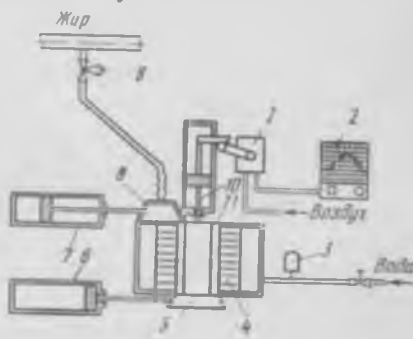


Рис. 7-19. Блок-схема установки для контроля твердости гидрированных жиров ТВЖ-2

механизмы отбрасывания (прямая сортировка), либо сигналы, выключающие механизмы отбрасывания (обратная сортировка).

Устройство распознавания цвета листьев табака содержит шесть независимых параллельных каналов распознавания, работающих по общей программе сортировки. Каждый канал распознавания включает в себя преобразователь цветовых компонентов (оптическую головку) и блок принятия решений. Программа сортировки задается при помощи программного блока.

Конструктивно устройство распознавания выполнено в виде металлического корпуса, в котором размещены преобразователи цветовых компонентов, электронный блок, программный блок и осветители.

Устройство распознавания на выходах управления исполнительными механизмами сортировки формирует сигналы «Включено» и «Выключено» в зависимости от принадлежности цвета каждого листа табака к одной из цветовых групп.

Совокупность цветовых характеристик каждой группы для конкретных условий сортировки задается программой, вводимой в устройство при помощи программных переключателей.

Устройство распознавания при работе в составе автоматизированной линии сортировки табака обеспечивает рассортировку партий табака, содержащих не менее 2000 листьев, из которых не менее 70 % относится к одной цветовой группе, допуская при этом не более 5 % ошибок при скорости движения листьев от 1,5 до 2,5 м/с.

Специальные приборы и устройства контроля режимных параметров. К этой группе относятся следующие уровнемеры и тахометры.

Акустический уровнемер ЭХО-3 предназначен для бесконтактного автоматического дистанционного измерения уровня жидких сред, в том числе вязких, налипающих, неоднородных, перемешиваемых, имеющих осадок и взрывоопасных, а также сыпучих и кусковых материалов с диаметром гранул от 2 до 200 мм. Уровнемер ЭХО-3 находит применение в винодельческой, пивоваренной, свеклосахарной, кондитерской, хлебопекарной, масло-жировой и других отраслях пищевой промышленности при управлении технологическими процессами.

Принцип действия акустического уровнемера ЭХО-3 основан на локации уровня звуковыми импульсами, проходящими через газовую среду, находящуюся над контролируемой жидкостью или сыпучим материалом, и отражении этих импульсов от границы раздела газ — контролируемая среда.

Мерой уровня является время распространения звуковых колебаний от источника излучения до контролируемой границы раздела сред и обратно до приемника.

Акустический уровнемер ЭХО-3 состоит из акустического преобразователя типа АП-3 (АП-6В, АП-7) и передающего из-

мерительного преобразователя ППП-3, соединенных между собой кабелем связи. Акустический преобразователь имеет три модификации: АП-3 — для резервуаров без избыточного давления; АП-6В — для резервуаров с взрывоопасными средами; АП-7 — для резервуаров с сильно пенящимися жидкостями.

В зависимости от количества точек измерения уровнемеры бывают одноточечными (ЭХО-3) и многоточечными (ЭХО-3М). Уровнемеры выпускаются в обыкновенном и взрывозащищенном исполнении. Для уменьшения влияния изменения температуры газа (воздуха) на показания приборов в них предусмотрен блок температурной компенсации. Приборы ЭХО-3 помехоустойчивы; диапазоны измерения 0—1,6; 0—2,5; 0—4; 0—6; 0—10; 0—16; 0—20; 0—30 м.

Класс точности прибора 1,5; выходной сигнал 0—5; 0—20; 4—20 мА.

Уровнемер сыпучего материала специально разработан для контроля уровня заполнения верхнего чана жаровен маслопрессовых агрегатов, применяемых при получении растительных масел. Макет уровнемера был использован в системе регулирования форпрессовых агрегатов.

На рис. 7—20 приведена схема уровнемера. Уровнемер содержит поплавковый датчик уровня 3, связанный с преобразователем 4, соединенным со вторичным прибором 5, с которым также электрически соединен синхронизатор 2, кинематически связанный с валом 1 мешалки 6.

Уровнемер сыпучего материала работает следующим образом. Вращение мешалки 6 приводит к волнообразному изменению контролируемого уровня материала в жаровне. Во время прохода мешалки под датчиком 3 последний измеряет величину уровня материала, соответствующую верхней точке волны. При помощи преобразователя 4 величина верхнего уровня преобразуется в электрический сигнал, поступающий на вторичный прибор 5. В этот же момент синхронизатор 2 выдает разрешающий сигнал на вторичный прибор 5 для фиксирования величины уровня. При уходе лопасти мешалки 6 волна начинает спадать и синхронизатор 2 запирает вторичный прибор, который запоминает информацию о верхнем уровне до следующего прохода лопасти мешалки под датчиком 3.

Тахометр фотоэлектрический дистанционный взрывозащищенный ТФД-В предназначен для непрерыв-

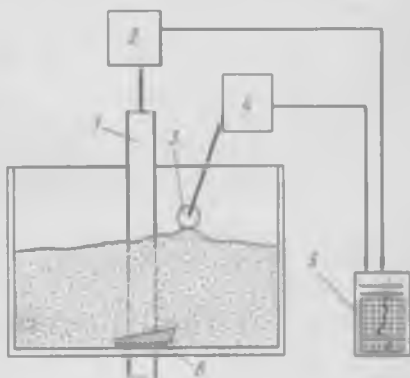


Рис. 7-20. Схема работы уровнемера заполнения жаровни форпрессового агрегата

ного дистанционного измерения частоты вращения вала загрузочной колонны экстрактора ИД-1250 и формирования стандартного электрического сигнала, пропорционального измеряемой частоте вращения. Прибор используется при автоматизации масло-экстракционных линий масло-жировых предприятий.

Тахометр состоит из первичного и вторичного преобразователей, соединенных линией связи из электрических проводов или кабелем длиной до 100 м.

Первичный преобразователь тахометра, выполненный во взрывозащищенном исполнении, представляет собой фотоэлектрический преобразователь частоты вращения в частоту электрических импульсов. На валу его закреплен модулирующий диск из оргстекла с непрозрачными секторами. С одной стороны диска находится светонизлучающий диод, с другой — плата с фотодиодом и усилителем.

При вращении модулирующего диска происходит периодическое прерывание светового потока, падающего на фотодиод. Изменение напряжения на фотодиоде усиливается усилителем. Последний работает в режиме ограничения, что позволяет получить на выходе усилителя импульсы прямоугольной формы, которые поступают по линии связи во вторичный преобразователь тахометра.

Вторичный преобразователь тахометра преобразует поступающую последовательность импульсов в аналоговый сигнал 0—10 мВ. Он относится к электрооборудованию, не имеющему средств взрывозащиты, и должен устанавливаться вне взрывоопасного помещения.

Тахометр может работать в комплекте с показывающим, записывающим и регулирующим приборами, рассчитанными на входной сигнал с пределами (измерения, записи, регулирования) 0—10 мВ и входным сопротивлением 500 ± 10 Ом.

Рабочий диапазон измеряемых частот вращения вала может быть сдвинут как влево, так и вправо путем подключения тахометра к объекту через редуктор. В этом случае диапазон измеряемых частот вращения будет равен 10—60 об/мин, деленному на коэффициент передачи K .

Тахометр выполнен на базе унифицированных типовых конструкций (ГСП УТК), интегральных схем и стандартных навесных радиокомпонентов.

Пределы измерения частоты вращения вала 10—60 об/мин. Выходное напряжение при сопротивлении нагрузки 500 Ом 0—10 мВ.

Контрольные вопросы

1. Как подразделяются влагомеры в зависимости от методов измерения влажности?
2. Как устроены электрические психрометры?
3. Каковы принцип действия и устройство гигрометра?

4. В чем заключается принцип действия диэлькометрических влагомеров? Каковы области их применения?

5. В чем состоит принцип действия влагомеров ядерно-магнитного резонанса? Каковы перспективы использования их для контроля влажности пищевых сред?

6. Что такое «величина рН» и как она используется для контроля технологических процессов?

7. Как устроены рН-метры?

8. Принцип действия автоматических рефрактометров и области их применения.

9. На чем основан принцип действия автоматических поляриметров и каковы области их применения?

10. Как устроен автоматический титрометр и в чем его преимущества?

11. Что понимается под динамической и кинематической вязкостью?

12. Какими методами и приборами пользуются для измерения вязкости жидкостей?

13. Как подразделяются газоанализаторы в зависимости от метода анализа?

14. Как устроены кондуктометрические газоанализаторы? Каковы области их применения?

15. Расскажите о принципе действия и области применения сигнализаторов содержания горючих газов в воздухе закрытых помещений.

16. Каковы принцип действия, устройство и области применения кондуктометрического концентрометра?

17. Какие специальные приборы и устройства применяются в отдельных отраслях пищевой промышленности для контроля технологических процессов?

РАЗДЕЛ II

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Глава 8 ОБЩИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

8.1. Основные понятия

Для обеспечения нормального хода технологических процессов пищевой промышленности применяются автоматические системы различных видов. Однако одними средствами автоматического контроля, даже самыми совершенными, обеспечить нормальное протекание этих процессов невозможно. Для этого необходимы еще сложные автоматические устройства — системы автоматического регулирования, которые бы справились с задачей без участия человека.

Для изучения вопросов, связанных с теорией автоматического регулирования, необходимо знать некоторые основные термины и понятия, которые приведены ниже.

Алгоритм — система правил, следуя которой можно разрешить определенную математическую задачу, производя необходимые операции в строго установленной последовательности.

Различают алгоритмы функционирования и управления. **Алгоритм функционирования** — совокупность предписаний, ведущих к правильному выполнению технологического процесса. **Алгоритм управления** — совокупность предписаний, определяющих характер воздействия на управляемый объект при выполнении им алгоритма функционирования.

Управление — процесс осуществления воздействий, соответствующих алгоритму управления.

Автоматическое регулирование можно рассматривать как разновидность автоматического управления.

Регулируемый параметр — физическая величина, которую требуется поддерживать постоянной или изменять по определенному закону (температура, давление).

Значение регулируемого параметра, которое необходимо поддерживать в процессе регулирования, называют заданным значением, значение его в каждый момент времени — текущим значением, а разность между заданным и текущим значением регулируемого параметра — рассогласованием, или ошибкой.

Автоматическое устройство управления — устройство, воздействующее на объект без непосредственного участия человека в соответствии с алгоритмом управления.

Большая группа таких устройств называется автоматическими регуляторами. Существует много разнообразных типов регуляторов, однако все они представляют собой совокупность элементов, выполняющих определенные функции.

Автоматическая система регулирования (АСР)—совокупность объекта регулирования и автоматического регулятора.

Возмущения—различные факторы, случайные по своей природе, которые нельзя заранее предусмотреть, вызывающие изменения технологического режима. К ним относятся, например, случайные изменения состава сырья, притока и расхода вещества, температуры теплоносителя, характеристик технологического оборудования.

Всякая автоматическая система регулирования может быть представлена как совокупность элементарных звеньев, связанных в определенную структурную схему. Структурные схемы позволяют наглядно представить взаимодействие элементов и распространение сигналов в цепи автоматической системы регулирования.

Элементы, входящие в схему типовой АСР, выполняют определенные функции в зависимости от назначения и места включения в цепь регулирования (рис. 8—1).

Измерительный преобразователь 1 производит непрерывное измерение текущего значения регулируемой величины φ в объекте 1, который испытывает возмущающие воздействия λ , и преобразует эту величину в сигнал ε . Задающее устройство 3 выдает сигнал ρ , соответствующий заданному значению регулируемого параметра. Устройство 2 сравнивает сигналы от измерительного преобразователя и задающего устройства и в случае их различия (если текущее значение регулируемого параметра не равно заданному) выдает сигнал рассогласования δ на управляющее устройство 4. Это устройство преобразует (в случае необходимости усиливает) сигнал рассогласования и с помощью исполнительного механизма 5 и регулирующего органа 6 осуществляет управляющее воздействие на управляемый объект 1. В конкретных случаях отдельные

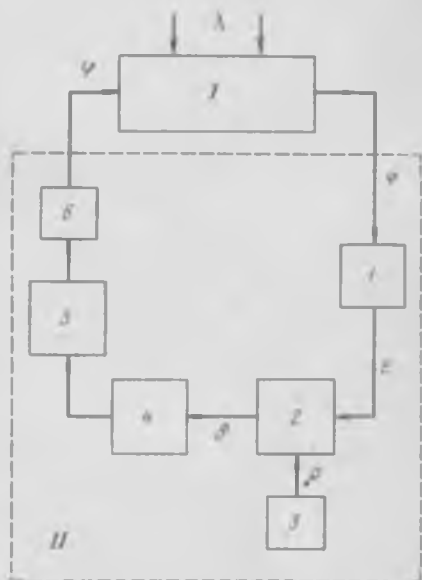


Рис. 8-1. Схема автоматической системы регулирования

элементы регулятора // могут быть объединены в одном блоке или вовсе отсутствовать. Все элементы этой автоматической системы образуют последовательно замкнутую цепь: выходная величина предшествующего элемента служит входной величиной последующего. Подачу сигнала с выхода системы на ее вход называют обратной связью. Если сигнал обратной связи суммируется с входным сигналом звена или системы, то обратная связь называется положительной. Если сигнал обратной связи вводится на вход звена или системы со знаком, противоположным входному сигналу, то обратная связь называется отрицательной.

Отрицательные обратные связи играют большую роль в системах регулирования. Они улучшают переходный процесс (уменьшается инерционность), снижают погрешность звена, повышают устойчивость. Жесткие обратные связи передают сигналы с выхода звена на его вход, не изменяя их характера. Гибкие обратные связи передают с выхода звена на его вход производные (первую, вторую и т. д.) выходных величин по времени.

В автоматических системах регулирования регулятор относительно объекта включен в обратную связь, которая называется главной, или внешней обратной связью. Могут быть также внутренние обратные связи, соединяющие выход отдельных звеньев с их входом, — это так называемые местные обратные связи.

8.2. Виды автоматических систем регулирования и их основные свойства

Автоматические системы по характеру алгоритма управления подразделяются на разомкнутые и замкнутые.

В разомкнутых системах входные возмущающие воздействия поступают только извне. Примером такой системы может служить система, позволяющая путем регулирования вручную поддерживать заданное значение температуры в автоклавах гидрогенизации.

Оператор, наблюдая за стрелкой логометра, чувствительный элемент которого (термопреобразователь сопротивления) установлен в автоклаве, увеличивает или уменьшает подачу греющего пара или холодного масла в змеевики автоклавов. В данном случае величина температуры в автоклавах (выход) не вызывает открытия или закрытия вентилей на паро- и маслопроводе (вход) без участия человека.

Состояние входа системы приводится в соответствие с состоянием выхода действиями человека. Только благодаря работе оператора система регулирования замыкается. Чтобы автоматизировать процесс регулирования, вместо оператора нужно поставить автоматическое управляющее устройство.

Если в нашем примере вместо логометра установить автоматический регулирующий мост, то возникшее нежелательное отклонение температуры продукта будет автоматически устраняться перемещением клапанов паро- и маслопроводов. Автоматическая система регулирования будет замкнута. Входные воздействия приходят не только извне, но и из самой автоматической системы.

По характеру алгоритма функционирования автоматические системы делятся на стабилизирующие, программные и следящие.

Стабилизирующими называются автоматические системы, алгоритм функционирования которых содержит предписание поддерживать постоянное значение регулируемой величины.

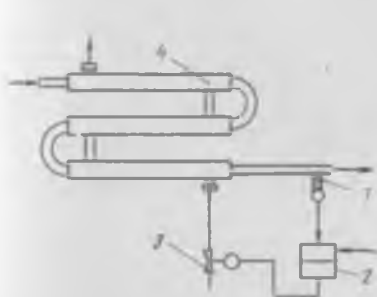


Рис. 8-2. Стабилизирующая автоматическая система регулирования

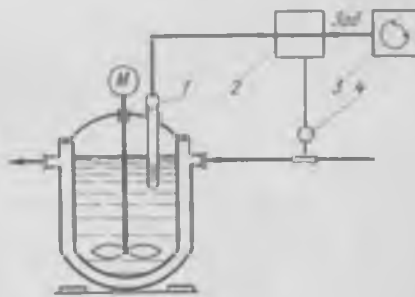


Рис. 8-3. Система программного регулирования температуры

В большинстве таких систем, применяемых в настоящее время, заданное значение регулируемой величины устанавливается оператором и сохраняется постоянным длительное время. Примером может служить автоматическая система регулирования температуры кожухотрубного противоточного теплообменника (рис. 8-2).

Температура продукта на выходе регулируется путем изменения расхода теплоагента. Система состоит из чувствительного элемента 1, термометра для отходящего продукта, регулятора 2, регулирующего клапана 3 на линии подачи теплоагента и объекта 4. Сигнал от чувствительного элемента, пропорциональный текущему значению регулируемой температуры, подается на вход автоматического регулятора, где сравнивается с сигналом, пропорциональным заданному значению регулируемой температуры на выходе. Сигнал регулирующего воздействия формируется в зависимости от величины и знака отклонения текущего значения регулируемой температуры от заданного значения и подается на регулирующий клапан, который изменяет подачу теплоагента, приводя температуру к заданному значению.

Программными называются автоматические системы, алгоритм функционирования которых содержит предписание изменять регулируемую величину в соответствии с заранее заданной последовательностью изменений во времени. Эти системы находят применение в тех случаях, когда в ходе технологического процесса регулируемую величину необходимо изменять по заданному закону (программе).

Многие процессы в аппаратах периодического действия протекают следующим образом: в аппарат загружают необходимые компоненты, включают мешалку. После этого масса охлаждается (нагревается) до заданной температуры и выдерживается в течение заданного времени. Затем готовый продукт выгружают. Зависимость изменения температуры массы от времени является программой изменения регулируемого параметра. Устройство, которое изменяет заданное значение регулируемого параметра в соответствии с программой, называется программным задатчиком.

Автоматическая система регулирования температуры (рис. 8-3) состоит из чувствительного элемента 1, регулятора 2 с программным задатчиком 3, регулирующего клапана 4 на линии подачи хладагента (теплоагента) в рубашку аппарата. Входным сигналом для регулятора служит разность между текущим значением температуры продукта и ее заданным значением в данный момент времени, вырабатываемым программным задатчиком.

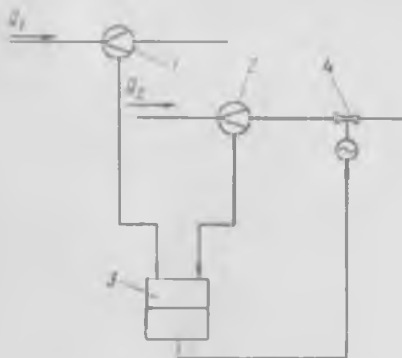


Рис. 8-4. Схема автоматического регулирования соотношения расходов двух потоков

Если эта разность равна нулю, то количество холода (тепла), вводимое в рубашку за единицу времени, обеспечивает уменьшение (увеличение) температуры продукта с заданной скоростью. В противном случае регулятор подает сигнал клапану на увеличение или уменьшение расхода хладоносителя (теплоносителя).

Следящими называют автоматические системы, алгоритм функционирования которых содержит предписание изменять регулируемую величину в зависимости от значения заранее неизвестной переменной величины на входе автоматической системы.

В схемах автоматизации производства следящие системы применяются в виде схем регулирования соотношения расходов различных веществ. В качестве примера рассмотрим автоматическую систему регулирования соотношения расходов сред, поступающих в реакционный аппарат (рис. 8-4).

Один из потоков — ведущий (Q_1) — представляет собой количество основного продукта, поступающего в реакционный аппарат, т. е. его расход является независимой величиной для системы регулирования соотношения. Другой поток — ведомый (Q_2) — количество другого продукта, поступающего в реакционный аппарат. Задача системы регулирования — поддержать расход второго потока в определенном соотношении с расходом первого.

Автоматическая система регулирования соотношения расходов сред состоит из двух чувствительных элементов 1 и 2, регулятора соотношения 3 и регулирующего клапана 4 на линии подачи второго потока. Сигнал от чувствительного элемента 1, пропорциональный расходу ведущего потока, служит заданием для регулятора соотношения. Сигнал от чувствительного элемента 2, пропорциональный расходу ведомого потока, поступает в регулятор как регулируемая переменная. Регулятор соотношения вырабатывает сигнал, по которому регулирующий орган (клапан 4) изменяет расход второго потока так, чтобы его отношение к расходу первого потока оказалось равным заданной величине.

Стабилизирующая, программная и следящая системы относятся к группе автоматических систем регулирования, у которых текущее значение регулируемого параметра сравнива-

ется с его заданным значением, и в случае рассогласования этих величин управляющее устройство вырабатывает сигнал, который воздействует на регулирующий орган и приводит систему в установившееся состояние.

В последние годы получили большое развитие более сложные системы, в частности **системы автоматического поиска**. Одной из таких систем является система **экстремального (оптимального) регулирования**. Она осуществляет автоматический поиск оптимального значения управляющего воздействия, обеспечивающего экстремум некоторого показателя эффективности процесса.

Работа объекта может считаться оптимальной при максимальном КПД либо при минимальной себестоимости единицы продукции, минимальной затрате энергии на выработку единицы продукции и т. д.

На производстве в качестве теплоносителя часто используются горячие газы, получаемые в результате сжигания того или иного вида топлива. Зависимость между расходом воздуха, необходимого для горения, и температурой топочных газов носит экстремальный характер.

На рис. 8-5 изображена система экстремального регулирования температуры. Топливо через вентиль 1 поступает в форсунку 2. Температура в топке 3 измеряется малоинерционным термопреобразователем 4. Сигнал от термопреобразователя усиливается и дифференцируется. Напряжение, пропорциональное производной от температуры (входное напряжение), поступает на одну из обмоток (А или Б) знакового реле В, которое включает обмотку I или II электродвигателя исполнительного механизма 6. При включении обмотки I исполнительный механизм уменьшает подачу воздуха, а при включении обмотки II — увеличивает. На оси электродвигателя установлен тахогенератор 5, подающий напряжение, пропорциональное производной по времени перемещения регулирующего органа 7, в обмотку знакового реле В. Обмотки знакового реле включены так, что при изменении подачи воздуха в сторону увеличения температуры переключений в нем не происходит. Если же расход воздуха изменяется в сторону уменьшения температуры, то знаковое реле производит реверсирование исполнительного механизма в сторону приближения к максимуму.

В случае, указанном на рис. 8-5, включена обмотка А. Знак напряжения на этой обмотке позволяет включить обмотку I исполнительного механизма. Напряжение тахогенератора имеет такой знак, при котором обмотка знакового реле удерживает включенной обмотку А. По мере приближения к максимуму напряжение на выходе дифференциатора уменьшается, доходит до нуля и затем меняет свой знак. Обмотка А перебрасывает контакт, замыкая обмотку II электродвигателя исполнительного механизма. Напряжение на выходе тахогенератора меняет знак. Реле В

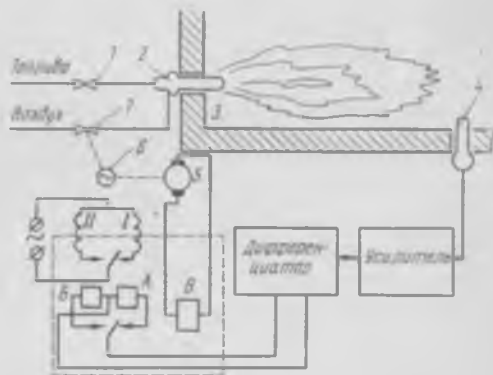


Рис. 8-5. Схема экстремального регулирования

перебрасывает контакт, включая обмотку *Б*. Однако переключения исполнительного механизма не происходит, поскольку напряжение на выходе дифференциатора удерживает контакт, управляющий исполнительным механизмом, в прежнем положении. Затем процесс повторяется. Система совершает колебательные движения (поиск) около максимума.

8.3. Системы управления технологическими процессами с применением ЭВМ

Достижения в области технологии полупроводниковых больших интегральных схем (БИС) обеспечили повышение уровня интеграции на кристалле. Это способствовало появлению недорогих и надежных ЭВМ, позволивших не только создавать на их основе АСУ технологическими процессами производства



Рис. 8-6. Блок-схема основных устройств микро-ЭВМ:

УУ — устройство управления; АУ — арифметическое устройство; ЗУ — запоминающее устройство; УВВ — устройство ввода-вывода; ПРО — приказ результата операции; К — команды; КОЛ — код оператора; А — адреса; ПУ — периферийное устройство; УВ — устройство вывода; СО — сигналы оператору; ВО — ввод оператору

в целом с централизованным управлением на верхнем уровне иерархии, но и перейти к децентрализованным (распределенным) АСУ с заменой традиционных аналоговых регуляторов микроконтроллерами и микропроцессорами. Для понимания принципа работы и сущности происходящих процессов в распределенных системах управления с использованием ЭВМ необходимо знать основные понятия и определения устройств вычислительной техники.

Микропроцессор — устройство, в котором при помощи набора команд осуществляются логическая обработка информации и обращение к устройствам запоминающим (ЗУ), ввода-вывода (УВВ) и другим периферийным устройствам. Микропроцессор (МП) представляет собой автономный полупроводниковый прибор, состоящий из одной или нескольких программно управляемых БИС, включающих в себя все средства, необходимые для обработки информации и управления.

Микро-ЭВМ представляет собой конструктивно завершенное вычислительное устройство, реализованное на базе микропроцессорного набора БИС и оформленное в виде автономного прибора со своим источником питания и комплексом программного обеспечения.

Цифровая ЭВМ включает четыре основных устройства: управления, арифметическое устройство, запоминающее и устройство ввода-вывода (рис. 8—6).

Микроконтроллер — устройство логического управления, выполненное на основе одной или нескольких микропроцессорных БИС. Микроконтроллер может быть как программируемым, так и непрограммируемым. Иногда такое устройство называют контроллером.

Связь между устройствами ЭВМ осуществляется на основе интерфейсов. Под **интерфейсом** понимается совокупность унифицированных технических программных и конструктивных средств, необходимых для реализации взаимодействия различных функциональных устройств ЭВМ при условиях, предписанных стандартом.

Бит — единица информации, представленной в двоичном (0 или 1) коде ЭВМ. Во всех ЭВМ для кодирования одного знака алфавитно-цифровой информации достаточной является разрядность, равная 8 бит, расположенная в двух тетрадах по 4 бит в каждой. Такая строка из восьми двоичных символов называется **байтом**.

Развитие технологии БИС и увеличение степени интеграции в полупроводниковом кристалле до 10—30 тыс. компонентов сделало возможным реализовать в одном кристалле не только микропроцессор, но и всю схему микро-ЭВМ, выполняющую несложные функции и требующую небольших объемов памяти (до 2 кбайт) и несложных схем каналов ввода-вывода (32 канала).

Микроконтроллеры по своей функциональной и алгоритмической возможности могут заменить группу из 10—50 обычных аналоговых регуляторов, используемых в системах регулирования технологических процессов.

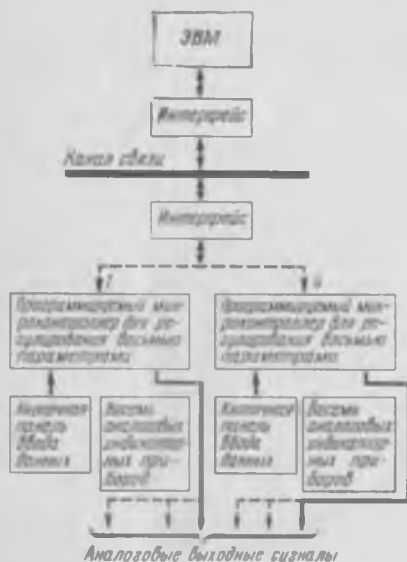
В современных системах управления, где на нижних уровнях иерархии для управления технологическими процессами используются аналоговые электрические или пневматические регуляторы, отказ одного регулятора не приводит к прекращению работы всей системы. При переходе на микроконтроллеры для обеспечения надежности сохраняется одноконтурный принцип управления. Однако экономически нецелесообразно в каждом контуре ставить свой микроконтроллер. Поэтому вместо одноконтурного микропроцессорного управления применяют многоконтурное микропроцессорное управление, обеспечивающее управление несколькими (10—50) контурами.

Но для того чтобы не снизить надежность управления, предусматривается резервный микроконтроллер либо переход на резервное ручное управление. Итак, система регулирования с применением ЭВМ называется распределенной в том случае, когда регулирование параметров технологического процесса осуществляется не централизованно от этой ЭВМ, а с помощью микропроцессорных устройств (микроконтроллеров), устанавливаемых на нижнем уровне иерархии управления в непосредственной близости от объектов регулирования.

В качестве примера можно привести распределенную систему регулирования с применением ЭВМ, состоящую из четырех микроконтроллеров (рис. 8—7), каждый из которых регулирует восемь параметров технологического процесса (всего 32 управляемых параметра), меняя уставки регуляторов в любом из восьми контуров и осуществляя тем самым локальное управление контурами, организуя одновременно связь с ЭВМ верхнего уровня управления.

В программу микропроцессора (постоянного запоминающего устройства — ПЗУ контроллера емкостью 120 кбит) заложено 28 алгоритмов регулирования контурами (например, ПИД с упреждением или запаздыванием), которые в различных комбинациях образуют сложные схемы управления. Выбор требуемого алгоритма управления контурами осуществляется оператором с выносного кнопочного пульта ввода данных или с ЭВМ верхнего уровня иерархии управления технологическим процессом.

Для исключения возможности одновременного отказа



Для исключения возможности одновременного отказа

Рис. 8-7. Структурная схема распределенной системы автоматического управления с применением ЭВМ

больше одного контура управления для каждого из восьми выходов к исполнительным механизмам предусмотрен отдельный регистр памяти и цифро-аналоговый преобразователь.

Цепи, обеспечивающие ручное управление, функционируют независимо от цепей контроллера и только устанавливают цепи контроллера в исходное состояние.

Таким образом, с широким освоением микроконтроллеров, микро-ЭВМ и других микропроцессорных систем в стратегии управления осуществляется переход от централизованных принципов управления, когда управление зависит от одной центральной ЭВМ, к распределенным, когда небольшие микропроцессорные блоки (микроконтроллеры, микро-ЭВМ) территориально располагаются вблизи от технологических объектов управления, осуществляют обработку информации каждого объекта в отдельности и решают задачу локального управления данным объектом.

Контрольные вопросы

1. Что называют алгоритмом?
2. Какие различают алгоритмы?
3. Что представляет собой автоматическая система регулирования?
4. Приведите пример разомкнутой и замкнутой системы автоматического регулирования.
5. Какие бывают системы автоматического регулирования по характеру алгоритма функционирования?
6. Какие автоматические системы называют стабилизирующими?
7. Какие автоматические системы называют программными?
8. Какие автоматические системы называют системами экстремального регулирования?
9. Какие системы управления с применением ЭВМ называют распределенными?
10. Что называют микропроцессором?
11. Что представляет собой микро-ЭВМ?
12. Какие устройства называют микроконтроллерами?
13. Какую аппаратуру называют интерфейсом?
14. Дайте определение единиц информации бит и байт.

Глава 9. ОБЪЕКТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

9.1. Основные понятия и особенности объектов регулирования и управления

Объект регулирования является главным звеном системы; его свойства (статические и динамические характеристики) влияют на характер регулирования.

В пищевой промышленности объектами регулирования являются автоклавы для стерилизации продукта, вакуум-сушильные установки, хлебопекарные печи, бродильные резервуары для шампанского, шестичанная жаровня экстракционной установки и т. д.

Объекты регулирования подразделяются на объекты с сосредоточенными и распределенными параметрами.

Объектами с **сосредоточенными параметрами** называются такие, в которых регулируемая величина в состоянии равновесия объекта имеет везде одинаковые значения. Примерами таких объектов в пищевой промышленности могут служить автоклавы и колонны для гидрогенизации, где регулируемым параметром служит температура, шнековая камера, где регулируемой величиной является давление теста в камере.

Динамические свойства объектов регулирования с сосредоточенными параметрами описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами.

Объектами с **распределенными параметрами** называются такие, в которых регулируемая величина в равновесном и переходном режимах имеет неодинаковые значения в различных точках объекта.

Примерами таких объектов могут служить трубопроводы, по которым перекачивают жидкость или подают различные

сыпучие материалы при помощи воздуха (пневматическая транспортировка муки на хлебозаводах). Динамические свойства таких объектов описываются дифференциальными уравнениями в частных производных.

В технологических процессах пищевой промышленности большое число объектов регулирования представляют собой сложные объекты, которые нельзя описать дифференциальными уравнениями первого или второго порядка. Динамические свойства таких объектов описываются дифференциальными уравнениями выше второго порядка. Кроме того, при работе большинства объектов приходится регулировать не один, а несколько технологических параметров. Например, автоклав гидрогенизации является объектом регулирования одновременно температуры продукта и давления в аппарате; в сушильных установках пищевых производств регулируются температура и относительная влажность; при производстве шампанского необходимо изменять давление в резервуаре по заданной программе и регулировать температуру вина.

Часто объекты регулирования могут иметь различное число входных и выходных величин. Так, объект регулирования «топка хлебопекарной печи» имеет три входные величины: количество топлива, подаваемого в нее за единицу времени, количество газов рециркуляции, поступающих в тонку за единицу времени, температура газов рециркуляции, и одну выходную величину — температуру дымовых газов.

Большинство промышленных автоматических систем регулирования являются **системами стабилизации**, т. е. основаны на принципе отклонения, поэтому на их работу не влияет число входных воздействий, так как все они компенсируются одним регулирующим воздействием. В тех объектах, в которых регулированию подлежат не одна, а несколько выходных величин, возможно построение автоматических систем регулирования отдельно для каждого из регулируемых параметров. Высокое качество регулирования будет обеспечиваться в случае, если между регулируемыми параметрами объекта отсутствуют внутренние связи. Примером такого объекта может служить аппарат, в котором регулируются уровень жидкости и давление.

Если в объекте имеются связи между отдельными регулируемыми параметрами, например концентрацией раствора и его температурой, количеством вещества и его плотностью и др., а регуляторы будут управлять отдельно каждым из взаимосвязанных параметров, то такая система приведет к ухудшению качества регулирования. В этих случаях необходимо применять **системы связанного регулирования**, которые позволяют поддерживать на заданном уровне связанные между собой параметры путем воздействия на один из регулируемых параметров.

9.2. Характеристики и свойства объектов регулирования

Объект регулирования является основной составной частью автоматической системы, определяющей ее характер. Некоторые свойства объектов благоприятствуют качественному процессу регулирования, другие вредят, поэтому определение характеристик и свойств объектов регулирования является одной из важнейших задач.

Статической характеристикой объекта называется зависимость его выходной величины от входной в установившемся режиме. В общем виде статическая характеристика линейного звена описывается уравнением $x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}$, где k — коэффициент усиления (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: $\operatorname{tg} \alpha = x_{\text{вых}}/x_{\text{вх}} = k$.

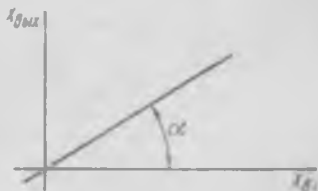


Рис. 9-1. График статической характеристики линейного звена

Статические характеристики часто представляют графически. На рис. 9—1 приведен график статической характеристики линейного звена. По оси абсцисс откладывается значение входной величины, а по оси ординат — выходной.

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 скачкообраз-

ном 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.

Например, в качестве объекта регулирования можно взять жаровню экстракционной установки, работающую с двумя форпрессами и состоящую из шести чанов, расположенных один над другим. В каждом чане находится мешалка. Из нижнего чана мезга по течке поступает в приемные воронки форпрессов. Жаровня обогревается паром, который вводится в днище каждого чана. Внутрь чанов вводится острый пар.

При анализе технологического процесса выяснилось, что в процессе сгорания необходимо поддерживать определенную температуру на выходе из жаровни. Этот параметр является основным.

Возмущение процесса по расходу пара на стороне потребления наблюдается на шестом чане. Шестой чан наиболее чувствителен к возмущениям по общему пару. В соответствии с этим динамические характеристики нужно снимать для шестого чана по каналу «расход общего пара — температура в чане». Кривая разгона, полученная при единичном ступенчатом воздействии A (повышение давления пара на коллекторе) в момент времени t_0 , показана на рис. 9-2. До этого момента система находилась в равновесном состоянии.

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 T — отрезок времени от момента пересечения касательной с линией начального установившегося значения 1 до момента ее пересечения с линией 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 ($k_{об}$) вычисляется по формуле $k_{об} = (x_k - x_0) / \Delta u$, где x_0 и x_k — значения выходной величины соответственно в начальном и новом установившемся состоянии; Δu — значение вносимого возмущения, % хода регулирующего органа.

Зная коэффициент передачи $k_{об}$ (усиления), постоянную времени разгона T , время запаздывания τ , отношение времени запаздывания к постоянной времени разгона τ/T , входную величину $x_{вх}$, а также начальное x_0 и установившееся x_k значения выходной величины, можно подобрать тип регулятора, приближенно определить его настройку, не прибегая к моделированию для 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.

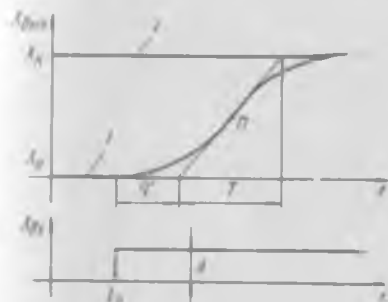


Рис. 9-2. Кривая разгона

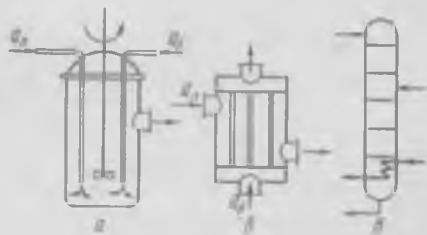


Рис. 9-3. Схемы объектов, обладающих емкостью:

а — одноемкостный; б — двухъемкостный; в — многоемкостный

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. 9—3.

Одноемкостный объект (рис. 9-3, а) — это теплообменник смешения, в котором температура потока воды Q_w регулируется изменением подачи водяного пара Q_n . Здесь емкостью является общая теплоемкость жидкости, а сопротивлением — гидравлическое сопротивление трубы на выходе. Двухъемкостный объект (рис. 9-3, б) — трубчатый теплообменник, где по трубам

протекает вода, а в межтрубном пространстве — пар. Здесь тепловыми емкостями являются пар в межтрубном пространстве и жидкость в трубах. Сопротивлением является термическое сопротивление металла труб и трубных решеток. Многоемкостный объект (рис. 9-3, а) — ректификационная колонна; число емкостей определяется числом тарелок. В многоемкостных объектах различают емкости на входе и выходе (или на стороне подачи и потребления).

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 теп-

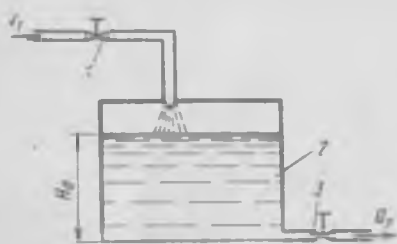


Рис. 9-4. Объект регулирования уровня с самовыравниванием

ла, которое необходимо ввести в объект, чтобы температура регулируемой среды повысилась на 1°C .

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

екты, имеющие большой коэффициент емкости.

Коэффициент емкости определяется по формуле $C = \Delta Q : (d\varphi/dt)$, где ΔQ — разность между притоком и расходом вещества или энергии; φ — регулируемый параметр; t — время.

Самовыравнивание — способность объекта регулирования после нарушения равновесного состояния без вмешательства автоматического управляющего устройства придти в новое установившееся состояние.

Равновесное состояние при постоянной нагрузке может быть нарушено изменением притока или расхода вещества или энергии, т. е. нанесением возмущающих воздействий.

Объекты, обладающие свойством самовыравнивания, называются устойчивыми, или статическими, а не обладающие — нейтральными, или астатическими.

Рассмотрим объект с самовыравниванием (рис. 9-4). В бак 2 через вентиль 1 поступает вода в количестве Q_1 ; из бака вода вытекает через вентиль 3. Если вентили открыты в определенном положении, то приток остается постоянным, а расход будет переменным, зависящим от уровня воды в баке. Это объясняется тем, что при повышении уровня воды в баке нижний слой воды будет находиться под увеличивающимся напором, поэтому будет увеличиваться и расход Q_2 . Предположим, что имеется баланс (равенство) расхода и притока, тогда уровень H_0 остается неизменным. Если увеличить степень от-

крытия вентиля I , то приток Q_1 увеличится, баланс нарушится, и уровень воды начнет повышаться. Однако с увеличением гидростатического напора (уровня) H будет увеличиваться и расход Q_2 . Поскольку приток Q_1 теперь будет неизменным, а расход Q_2 будет возрастать, разность $Q_1 - Q_2$ начнет постепенно уменьшаться, а уровень воды в баке будет стремиться к новому установившемуся значению.

Таким образом, при увеличении притока Q_1 расход Q_2 (зависит от напора) будет принимать такое значение, которое будет соответствовать новому установившемуся состоянию, т. е. рассмотренный объект обладает самовыравниванием.

Если вместо вентиля 3 в рассмотренном примере установить насос, который будет работать с постоянной скоростью, т. е. с постоянным расходом ($Q_2 = \text{const}$), то в этом случае объект не будет обладать самовыравниванием.

Действительно, если приток увеличить, то увеличится регулируемая величина (напор H), а расход Q_2 останется неизменным и объект сам не увеличит расход. Чтобы между новым притоком и новым расходом было соответствие, нужно увеличить скорость подачи (притока) воды насосом, что можно сделать только при помощи автоматического управляющего устройства или вручную; объект же сам этого сделать не может, так как производительность насоса не зависит от уровня воды (напора). Следовательно, такой объект является объектом без самовыравнивания — астатическим объектом.

В автоматических системах регулирования между моментом нарушения равновесия и началом изменения регулируемого параметра проходит некоторое время, затрудняющее управление процессом. Это запаздывание объясняется инерционностью системы и наличием сопротивлений. Различают запаздывания переходное, или емкостное, и чистое, или транспортное.

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 (τ_c) 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 возмущаю-

шего воздействия до места, в котором измеряется значение регулируемого параметра, т. е. $\tau_ч = l/v$.

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 $\tau_{об}$ в объекте регулирования равно сумме емкостного (τ) и чистого ($\tau_ч$) запаздывания: $\tau_{об} = \tau + \tau_ч$.

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.

9.3. Общие понятия о математическом моделировании объектов регулирования и управления

В настоящее время в технике широко используются многочисленные методы и приемы моделирования. Различают физическое и математическое моделирование.

При **физическом моделировании** модель воспроизводит изучаемый процесс (оригинал) с сохранением его физической природы. Оценка свойств объектов, аппаратов, приборов производится на моделях, выполненных в определенном масштабе с сохранением некоторых соотношений подобия. Однако физическое моделирование имеет ограниченную сферу применения.

Более широкими возможностями обладает **математическое моделирование**. Под математическим моделированием понимают способ рассмотрения различных процессов путем изучения явлений, имеющих различное физическое содержание, но описываемых одинаковыми математическими соотношениями. В простейших случаях для этой цели используются аналоги между механическими, электрическими, тепловыми и другими явлениями. Примером такой аналогии могут служить гармонические колебания пружинного маятника и электрического колебательного контура. Действительно, уравнение колебаний пружинного маятника имеет вид $m d^2\xi(t)/dt^2 = -\psi\xi(t)$, где m — масса маятника; $\xi(t)$ — отклонение центра массы от положения равновесия в момент времени t ; ψ — жесткость пружины.

Обозначив $\psi/m = \omega_0^2$ и $\xi(t) = Z$, можно уравнение записать в общей форме уравнения свободных колебаний: $d^2Z/dt^2 + \omega_0^2 Z = 0$.

Уравнение свободных колебаний в электрическом контуре имеет вид $L d^2q(t)/dt^2 + q(t)/C = 0$, где L — индуктивность контура; $q(t)$ — заряд в момент времени t ; C — емкость конденсатора.

Сделав преобразования и обозначив $1/LC = \omega_0^2$ и $q(t) = Z$, получим уравнение свободных колебаний в общей форме.

Из приведенных соотношений вытекает, что закономерности, свойственные колебательному контуру (например, зависимость амплитуды и частоты колебаний от его параметров L и C), можно изучать на модели, представляющей собой пружинный маятник, и наоборот.

В простейших случаях математическая модель позволяет для данного процесса (оригинала) подобрать на основании известных аналогий удобные физические процессы (модели), а также установить соотношения подобия, связывающие их параметры. В более сложных случаях для моделирования создают специальные моделирующие установки с использованием ЭВМ.

Математическая модель реальной системы является тем абстрактным, формально описанным объектом, изучение которого возможно осуществлять математическими методами, в том числе и с помощью математического моделирования. Математическое моделирование позволяет решать задачи поиска оптимальных технологических режимов при минимальных удельных затратах для производства продукта заданного качества, а также осуществлять поиск управляющих воздействий, обеспечивающих устойчивость процесса в заданных или оптимальных режимах.

Математическое моделирование развилось сравнительно недавно, в связи с появившимися возможностями использования современных ЭВМ и наличием математических описаний, отражающих основные процессы в объекте управления.

Метод математического моделирования состоит из четырех этапов: разработки математического описания основных процессов в управляемом объекте; разработки алгоритма расчета модели объекта на ЭВМ; установления адекватности (совпадения данных) модели реальному объекту в рабочей области, а в случае необходимости корректировки модели вплоть до достижения требуемой адекватности; расчета на ЭВМ статических характеристик управляемого объекта и их интерпретации.

Современные методы получения математических описаний достаточно разнообразны. Несмотря на это, их разделяют на два основных метода — аналитический и экспериментальный. Обычно эти методы взаимосвязаны, так как

аналитические выводы требуют экспериментального подтверждения, а экспериментальные методы не могут быть осуществлены без соответствующих теоретических расчетов при постановке опыта и обработке его результатов.

При аналитическом методе получения математического описания объекта используют известные уравнения, описывающие

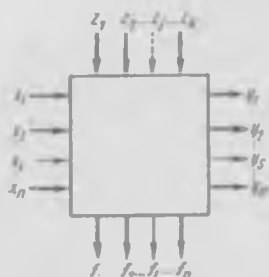


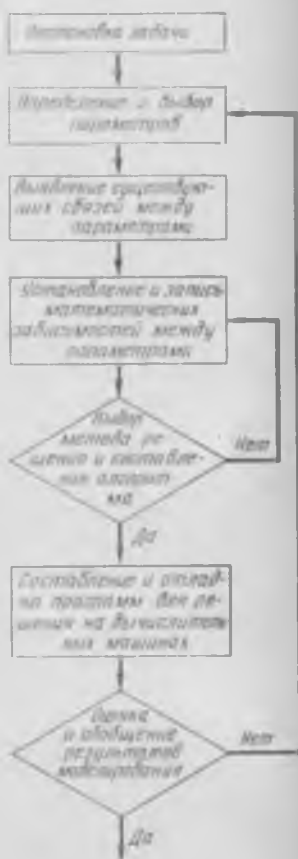
Рис. 9-5. Параметрическая схема моделируемого объекта

Рис. 9-6. Блок-схема алгоритма составления математической модели

физические явления и процессы, протекающие в объекте, выводят уравнения, связывающие входные и выходные параметры в стационарных условиях, которые называют уравнениями статики. Также выводят уравнения, связывающие приращения входных параметров с изменениями во времени выходных параметров, которые называют уравнениями динамики.

Аналитические методы возможны для относительно небольшого числа технологических процессов пищевых производств. Поэтому, несмотря на значительные трудности, чаще применяют экспериментальные методы, связанные с необходимостью оперировать большим числом взаимосвязанных и нередко неконтролируемых параметров, с трудоемкостью эксперимента и обработки его результатов. Эти трудности в определенной мере устраняются применением специальных приемов активного и пассивного эксперимента.

Эксперимент называют активным, если при его осуществлении производят активное вмешательство в ход процесса: изменяют в определенном порядке входные параметры. Эксперимент называют пассивным, если осуществляется простая регистрация входных и выходных переменных объектов.



Использование ЭВМ расширяет возможности эффективного сочетания аналитического и экспериментального методов, при этом общий вид уравнений (структура модели объекта) определяется аналитически, а численные значения параметров, соответствующие конкретному объекту, определяются экспериментально.

Объект управления характеризуется достаточно полно с помощью параметрической схемы (рис. 9—5), на которой изображают параметры контролируемые, управляемые и управляющие, а также возмущающие.

Параметры контроля $f_1 — f_p$ и управляемые параметры $y_1 — y_m$ называют выходными, а возмущающие $z_1 — z_k$ и управляющие $x_1 — x_n$ — входными параметрами. Входные параметры являются независимыми и могут принимать произвольные значения на технологически возможных интервалах. Выходные параметры зависят от свойств процесса и изменения независимых параметров.

Если выходная величина y_i зависит от входной x_i таким образом, что каждому значению x_i соответствует определенное значение y_i , то такую зависимость называют функциональной. Если каждому значению x_i соответствует некоторая совокупность значений y_i , а изменение величины x_i приводит к изменению распределения y_i , то такая зависимость называется статистической. Частным случаем статистической зависимости является корреляционная зависимость, когда изменение x_i обуславливает изменение распределения y_i и его среднего значения $\bar{y}_i$.

Под случайным процессом понимают функцию $F(\tau)$ от независимого параметра τ , которая при некотором числе сходных опытов может принимать (в зависимости от условий каждого i -го опыта) конкретный, но заранее не известный вид $f_u(\tau)$. Случайный процесс является функцией двух переменных: независимого аргумента τ и параметра u , зависящего от условий эксперимента (случая). Математическим отображением случайного процесса является случайная функция. Если в качестве независимой переменной случайной функции выступает время, то случайную функцию называют стохастической.

На втором этапе математического моделирования разрабатывают алгоритм, блок-схема которого приведена на рис. 9—6.

Для описания процессов, происходящих в машинах и аппаратах пищевых производств, осуществляющих изменение физических свойств (механическое перемещение потоков, перенос массы и энергии), а также химические и биохимические превращения, применяют типовые унифицированные и стандартные формы. Типовые математические модели имеют одинаковые стандартные характеристики, а все многообразие потоков,

возникающих в различных аппаратах, представляют несколькими типовыми моделями.

Типовые модели применимы к детерминированным процессам, т. е. к таким процессам, значения параметров которых определяются однозначно в любые моменты времени.

Для случайных процессов наряду с типовыми моделями применяют статистические, основанные на теории случайных процессов. При этом для части случайных величин применяют вероятностный подход.

Третий и четвертый этапы моделирования обычно осуществляют на ЭВМ. При этом корректировка модели с целью достижения адекватности реальному объекту в рабочей области — сводится к определению соответствующих значений частных коэффициентов, используемых в качестве основных инструментов коррекции модели на основе различных методов.

Контрольные вопросы

1. Как подразделяются объекты регулирования по виду переходного процесса?
2. Укажите свойства объектов регулирования с сосредоточенными и распределенными параметрами.
3. В каких случаях необходимо применять системы связанного регулирования?
4. Что называется статической характеристикой объекта регулирования и как она оценивается?
5. Какие бывают статические характеристики?
6. Что называется динамической характеристикой объекта регулирования?
7. Охарактеризуйте временные (кривые разгона) и частотные динамические характеристики.
8. Какими методами можно получить статические и динамические характеристики?
9. Как экспериментально получают статические и динамические характеристики?
10. Что называется емкостью объекта и какая существует при этом классификация объектов регулирования?
11. Что служит мерой емкости объекта регулирования?
12. Какие объекты регулирования относятся к объектам с самовыравниванием и какие — к астатическим?
13. Какие бывают виды запаздывания в объектах регулирования?
14. Что называют математическим моделированием объекта регулирования?
15. Из каких этапов состоит метод математического моделирования?

Глава 10. ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

10.1. Понятие о законах регулирования

Закон регулирования — это вид зависимости между величиной регулирующего воздействия (выходная величина регулятора) и отклонением регулируемого параметра от заданного значения (входная величина регулятора). Закон регулирования может быть выражен аналитически в виде определенного уравнения. Различают три основных закона регулирования: пропор-

циональный, интегральный, дифференциальный и три комбинационных закона регулирования: пропорционально-интегральный, пропорционально-дифференциальный, пропорционально-интегрально-дифференциальный.

Величина и знак отклонения регулируемого параметра от заданного значения $\pm \Delta\phi$, интеграл отклонения по времени $\int \Delta\phi dt$, скорость отклонения регулируемого параметра $d\phi/dt$ учитываются в целях формирования регулирующего воздействия регуляторов, реализующих соответствующие законы регулирования.

Закон регулирования П-регулятора выражается уравнением $\mu = k_p \Delta\phi$, где μ — регулирующее воздействие (относительное перемещение регулирующего органа); k_p — коэффициент усиления, настроечный параметр, значение которого определяется в процессе расчета промышленной АСР; $\Delta\phi$ — отклонение регулируемого параметра от заданного значения.

Закон регулирования И-регулятора можно выразить формулой $T_r d\mu/dt = \pm \Delta\phi$, где T_r — коэффициент пропорциональности, настроечный параметр регулятора, подлежащий определению в процессе расчета АСР, т. е. время, за которое регулируемый орган переместится из одного крайнего положения в другое при максимальном значении $\Delta\phi$.

Если уравнение для И-регулятора проинтегрировать, то получим $\mu = 1/T_r \int \Delta\phi dt + \mu_0$, где μ_0 — положение регулирующего органа до начала возмущения.

Закон регулирования Д-регулятора можно записать в виде уравнения $\mu = k_d d\phi/dt$, где k_d — коэффициент усиления Д-регулятора.

Особенность Д-регулятора заключается в том, что он реагирует не на величину отклонения регулируемого параметра, а только на скорость отклонения его. Поэтому нет промышленных регуляторов, реализующих в чистом виде дифференциальный закон регулирования.

Комбинированный закон регулирования ПИ-регулятора выражается формулой $\mu = k_p (\Delta\phi + 1/T_n \int \Delta\phi dt)$, где T_n — время изодрома, настроечный параметр ПИ-регулятора. Эта величина характеризует степень ввода в закон регулирования интеграла. Коэффициент усиления k_p также является параметром настройки ПИ-регулятора.

При отклонении регулируемого параметра от заданного значения ПИ-регулятор в начальный момент времени действует так же, как и П-регулятор, т. е. перемещает регулируемый орган на величину, пропорциональную отклонению. Если при этом регулируемый параметр не достигнет заданного значения, то ПИ-регулятор будет продолжать перемещать регулируемый орган до тех пор, пока он не достигнет заданного значения. ПИ-регуляторы обладают хорошими динамическими свойствами за счет пропорциональной составляющей ($k_p \Delta\phi$) и хорошими

статическими свойствами за счет интегральной составляющей ($k_p/T_n \int \Delta\varphi dt$), благодаря чему они широко применяются.

Закон регулирования ПД-регулятора имеет вид $\mu = k_p(\Delta\varphi \pm T_d d\varphi/dt)$, где T_d — время дифференцирования, или время предварения.

Введение в закон регулирования дополнительного воздействия $T_d d\varphi/dt$, учитывающего скорость отклонения регулируемого параметра, положительно влияет на процесс регулирования. Так как в начальный момент возмущения скорость отклонения регулируемого параметра проявляется более значительно, чем само отклонение, то регулятор, реагируя на скорость изменения регулируемого параметра, оказывает на объект предваряющее воздействие, не допуская появления значительного отклонения.

Закон регулирования ПИД-регулятора имеет вид $\mu = k_p(\Delta\varphi + 1/T_n \int \Delta\varphi dt \pm T_d d\varphi/dt)$, где k_p — коэффициент передачи; T_n — время изодрома; T_d — время предварения.

10.2. Классификация регуляторов по законам регулирования

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).

Позиционные регуляторы осуществляют ступенчатое регулирующее воздействие. Они относятся к регуляторам прерывного действия. Широкое распространение получили двухпозиционные регуляторы, у которых регулирующий орган может принимать одно из двух предельных положений — «Открыто» или «Закрыто». Регулятор оказывает максимально возможное регулирующее воздействие, и регулируемый объект работает в колебательном режиме. Из-за этого недостатка двухпозиционные регуляторы используются только в случаях, когда допускаются отклонения регулируемого параметра и колебательный режим.

Рассмотрим принцип действия позиционного регулятора на примере регулирования уровня (рис. 10—1). По трубе 2 в бак 1 — объект регулирования — подается жидкость, которая затем удаляется по трубе 10. Поплавок 9, являющийся чувствительным элементом регулятора, измеряет уровень в баке. Через шток 8 он соединен с контактом 6. Kontakтами 5 и 7 вручную устанавливаются заданные значения верхнего и нижнего уровня. Если уровень в баке достигнет верхнего предельного

значения, то контакт 6 замкнется на контакт 5 и обмотка электромагнита *Б* окажется под напряжением. При этом якорь 4 переместится вниз и регулирующий орган (клапан) 3 закроется. Если уровень уменьшится до нижнего предельного значения, то контакт 6 замкнется на контакт 7. Под напряжением окажется обмотка *А* электромагнита, якорь 4 переместится вверх и регулирующий орган откроется.

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

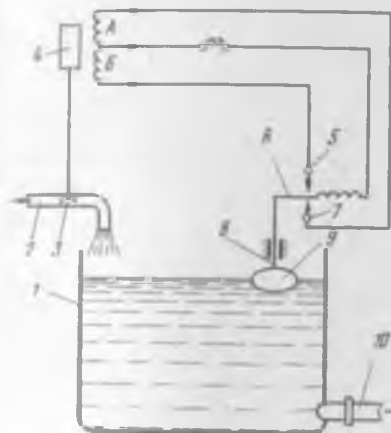
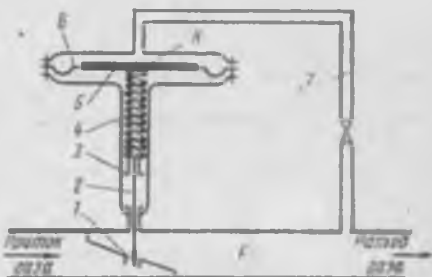


Рис. 10-1. Принципиальная схема позиционного регулятора

Рис. 10-2. Схема пропорционального регулятора



Рассмотрим устройство и работу пропорционального регулятора прямого действия (рис. 10—2). Регулируемое давление P подается в камеру K 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 давления осуществляется вращающейся гайкой 3, изменяющей натяжение пружины.

Сверху на мембрану регулятора действует давление P , которое подводится по трубке 7 в камеру K . 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, вызывающее в уменьшении расхода при неизменном притоке, регулируемое давление P 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 быстроедействие, 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

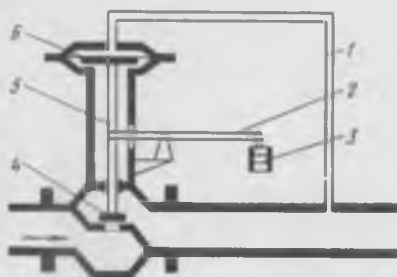
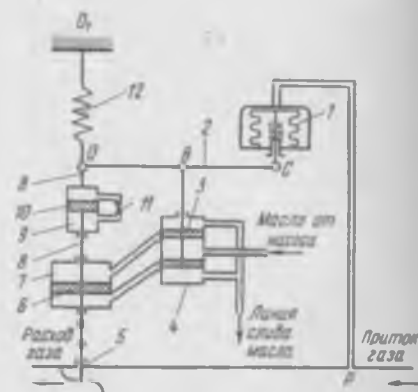


Рис. 10-3. Схема интегрального регулятора

Рис. 10-4. Схема пропорционально-интегрального регулятора



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_p .

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. 10—3). 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 штока и регулирующий орган будут перемещаться соответственно вниз или вверх до тех пор, пока регулируемое давление вновь не станет равно заданному значению и 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.

Дифференциальными называются регуляторы, у которых перемещение регулирующего органа пропорционально скорости отклонения регулируемого параметра от заданного значения. Д-регулятор используют как дополнение в схемах регуляторов, действующих по линейным законам.

Каждый из рассмотренных выше регуляторов, действующих по линейным законам регулирования, имеет свои преимущества и недостатки.

Желание устранить недостатки и объединить преимущества привело к появлению регуляторов, действующих по комбинированным законам регулирования.

Пропорционально-интегральными называются регуляторы, у которых для формирования регулирующего воздействия используется как отклонение регулируемого параметра от заданного значения, так и интеграл отклонения.

Пропорционально-интегральные регуляторы совмещают достоинства П- и И-регуляторов. Однако во избежание ухудшения статических свойств в ПИ-регуляторе обратная связь осуществляется не по положению регулирующего органа, как у П-регулятора (жесткая отрицательная обратная связь), а по скорости его перемещения, т. е. используется гибкая, или упругая, обратная связь. В этом случае действие обратной связи полностью проявляется в переходном процессе регулирования и затем

в установившемся режиме исчезает (снимается). Обычно ПИ-регуляторы являются регуляторами косвенного действия.

На рис. 10—4 приведена схема пропорционально-интегрального регулятора давления гидравлического типа. Регулятор имеет дополнительный гидроцилиндр 9, помещенный в рассечку штока 8, перепускной регулируемый дроссель 11 и пружину 12. Эти элементы и рычаг 2 *ОВС* составляют устройство гибкой обратной связи, которое передает перемещение регулирующего органа золотнику.

При скачкообразном отклонении (увеличении) регулируемого параметра прогиб сильфона 1 передается рычагом *ОВС* поршню 3 золотника 4. Масло от насоса поступает под поршень 6 исполнительного механизма 7, который начинает с большой скоростью перемещать регулирующий орган 5 вверх, уменьшая отклонение регулируемого параметра. Шток исполнительного механизма соединен с поршнем 10 дополнительного гидроцилиндра 9, который также начнет быстро перемещаться вверх.

Поскольку масло практически несжимаемо, а дроссель 11 препятствует быстрому перетеканию масла из верхней полости гидроцилиндра 9 в его нижнюю часть, цилиндр будет перемещаться с поршнем 10 как одно целое. В результате перемещение регулирующего органа передается точке *O*, вызывая поворот рычага *ОВС* и прогиб пружины 12. Это приводит к возврату поршня 3 золотника 4 в среднее положение и прекращению перемещения регулирующего органа. Регулируемое давление будет иметь другое значение, отличное от первоначального. До этого момента времени регулятор работал как пропорциональный. Далее начинает разжиматься пружина 12, ее усилие действует на гидроцилиндр 9 сверху вниз, создавая в его верхней полости повышенное давление. Под действием этого давления масло перетекает из верхней полости в нижнюю через дроссель 11, сопротивление которого определяет скорость перетока. При этом гидроцилиндр 9 опускается (поскольку поршни 6 и 10 остаются неподвижными), поворачивая рычаг *ОВС* относительно точки *C*. Точка *B* опустится вниз и это приведет к дополнительному перемещению регулирующего органа вверх. Действие регулятора может окончиться только после того, как исчезнет деформация пружины 12 и рычаг вернется в исходное положение, т. е. регулируемая величина достигнет заданного значения.

ПИ-регуляторы могут применяться в тех случаях, когда необходима высокая точность регулирования, для объектов любой емкости как при наличии, так и при отсутствии самовыравнивания, при больших, но плавных изменениях нагрузки. При резких и частых изменениях нагрузки замедленное действие И-составляющей привело бы к большим динамическим ошибкам.

ПИ-регулятор действует быстрее, чем И-регуляторы, но медленнее, чем П-регуляторы.

Пропорционально-дифференциальными называются регуляторы, у которых для формирования закона регулирования используют не только отклонения регулируемого параметра от заданного значения, но и скорость, с которой это отклонение происходит.

ПД-регуляторы имеют хорошие динамические свойства, поэтому их можно применять для работы с объектами, обладающими большим запаздыванием.

Недостатком ПД-регуляторов является статическое отклонение, поэтому их используют только с объектами, допускающими это статическое отклонение.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы представляют собой пропорциональные регуляторы, в которые введены воздействия по интегралу и скорости отклонения регулируемого параметра. Перемещение регулирующего органа в них пропорционально отклонению, интегралу и скорости отклонения регулируемого параметра. ПИД-регуляторы обладают хорошими динамическими и статическими свойствами. Недостатком ПИД-регуляторов является сложность их настройки.

10.3. Структурные схемы автоматических регуляторов

При проектировании и расчете автоматической системы регулирования необходимо знать характер переходных процессов в ней, для чего нужно определить математические зависимости, которыми описывается процесс регулирования. Для этого автоматическую систему регулирования разбивают на отдельные типовые элементарные звенья, переходные процессы в которых описываются достаточно простыми дифференциальными уравнениями. Различают следующие основные типы элементарных динамических звеньев: усилительные, апериодические, колебательные, интегрирующие, дифференцирующие, чистого запаздывания.

Усилительным (безынерционным) называют звено, у которого выходная величина в любой момент времени пропорциональна входной величине. Усилительное звено иногда называют пропорциональным. Оно передает изменение входной величины мгновенно, без динамических переходных процессов и искажений, изменяя только его величину. Примерами такого звена могут служить зубчатая пара, рычажное соединение, электронный усилитель, редукторы и т. п.

Апериодическим (инерционным первого порядка) называют звено, у которого при подаче на вход единичного скачкообразного воздействия выходная величина изменяется по апериодическому закону (по экспоненте), стремясь к новому установившемуся значению.

Выходная величина достигает установившегося значения не сразу, а с некоторой инерционностью. Это звено называют также

статическим. Примерами такого звена могут служить магнитный усилитель, пассивные четырехполюсники, термоэлектрический преобразователь, термопреобразователь сопротивления, электродвигатель, многие теплообменники и т. п.

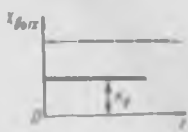
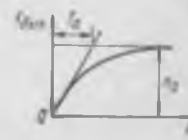
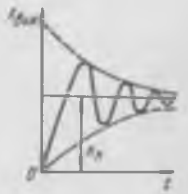
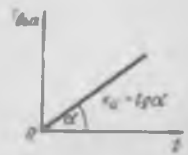
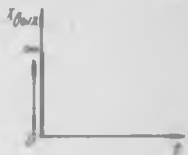
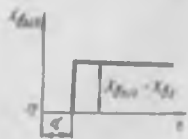
Колебательным называют звено, у которого при единичном воздействии на входе выходная величина стремится к новому установившемуся значению, совершая относительно него колебания. Если в результате колебаний запас энергии уменьшается, то колебания затухают и звено является устойчиво-колебательным, если запас энергии увеличивается, то колебания усиливаются и звено оказывается неустойчивым. Это звено называют также инерционным второго порядка. Примерами такого звена могут служить электрическая цепь LRC, мембранный исполнительный механизм, демпфер, поплавковый дифманометр, т. е. устройства, состоящие из двух элементов, в которых происходит передача энергии от одного элемента к другому.

Интегрирующим называют звено, у которого скорость изменения выходной величины пропорциональна входной величине, т. е. выходная величина пропорциональна по времени входной. Это звено называют также астатическим звеном первого порядка. Примерами такого звена могут служить электродвигательный исполнительный механизм, электрический индукционный счетчик, гидравлический исполнительный механизм.

Дифференцирующим называют звено, у которого выходная величина пропорциональна скорости изменения входной величины, т. е. выходная величина пропорциональна производной по времени входной. Скачкообразное изменение входной величины вызывает мгновенное изменение выходной величины от 0 до ∞ и немедленный спад ее от ∞ до 0. Однако создать такое идеальное звено практически не представляется возможным. Поэтому применяются звенья, дифференцирующее действие которых является приближенным, т. е. реальные дифференцирующие звенья. Примерами такого звена могут служить успокоитель с пружиной в механических цепях, электрические цепи RC, RL, входящие в электронную часть регуляторов.

Звеном чистого запаздывания называют звено, у которого выходная величина точно воспроизводит изменение входной величины, но с некоторым запаздыванием во времени. Примерами такого звена могут служить длинный трубопровод, длинная электрическая линия передачи без потерь, ленточный транспортер, у которого входной величиной является поступление материала на начальном участке его, а выходной величиной — съём материала в конце транспортера.

Уравнения, передаточные функции и кривые разгона для элементарных динамических звеньев приведены в следующей таблице.

Тип звена	Уравнение звена	Передаточная функция	Кривая разгона
Усилительное, безинерционное, пропорциональное	$x_{\text{вых}} = k_y x_{\text{вх}}$ $(k_y \text{ — передаточный коэффициент})$	$W_y(P) = k_y$	
Апериодическое, инерционное первого порядка	$T_a \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = k_a x_{\text{вх}}$ $= k_a x_{\text{вх}}$ $(T_a \text{ — постоянная времени; } k_a \text{ — коэффициент усиления})$	$W_a(P) = \frac{k_a}{T_a P + 1}$	
Колебательное, инерционное второго порядка	$T_{\kappa_2}^2 \frac{d^2 x_{\text{вых}}}{dt^2} + T_{\kappa_1} \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = k_{\kappa} x_{\text{вх}}$ $= k_{\kappa} x_{\text{вх}}$ $(T_{\kappa_2} \text{ — постоянная времени звена; } T_{\kappa_1} \text{ — постоянная времени затухания; } k_{\kappa} \text{ — коэффициент передачи})$	$W_{\kappa}(P) = \frac{k_{\kappa}}{T_{\kappa_2}^2 P^2 + T_{\kappa_1} P + 1}$	
Интегрирующее, астатическое	$x_{\text{вых}} = k_n \int_0^t x_{\text{вх}} dt$ $(k_n \text{ — коэффициент передачи})$	$W_n(P) = \frac{k_n}{P}$	
Дифференцирующее идеальное	$x_{\text{вых}} = k_d \frac{dx_{\text{вх}}}{dt}$ $(k_d \text{ — коэффициент передачи})$	$W_d(P) = k_d(P)$	
Чистого запаздывания	$x_{\text{вых}}(t) = x_{\text{вх}}(t - \tau)$ $(\tau \text{ — постоянная запаздывания})$	$W_s(P) = e^{-P\tau}$	

Из перечисленных типовых звеньев составляют структурную схему. Ее разрабатывают на основании функциональной схемы. Каждый элемент функциональной схемы заменяют одним или несколькими типовыми динамическими звеньями, соединенными определенным образом. Графически типовые звенья обозначают прямоугольниками, внутри которых обычно записывается передаточная функция звена. Связь между звеньями показывают стрелками, направление которых соответствует направлению передачи сигнала. Звенья в структурной схеме могут

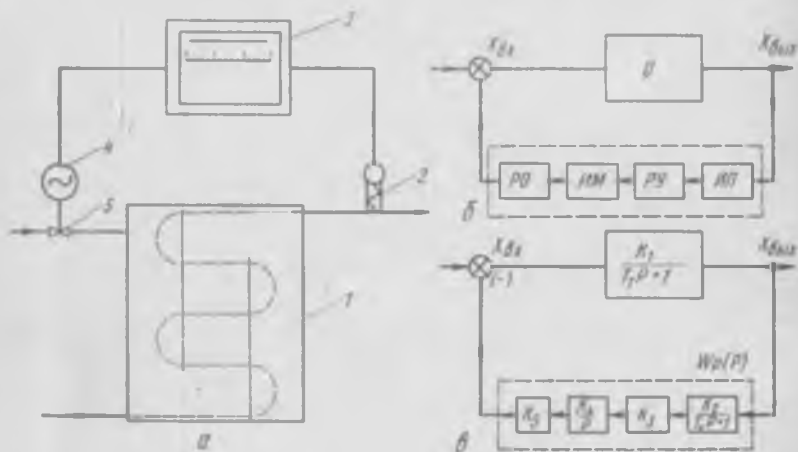


Рис. 10-5. Объект регулирования (а), его функциональная (б) и структурная (в) схемы

соединяться последовательно, параллельно, с охватом звена обратной связью, а также смешанным образом.

При последовательном соединении выход предыдущего звена действует на вход последующего. Передаточная функция такой цепи равна произведению передаточных функций составляющих звеньев: $W(P) = W_1(P)W_2(P) \dots W_n(P)$. Коэффициент усиления разомкнутой цепи равен произведению коэффициентов усиления отдельных звеньев: $k = k_1 k_2 \dots k_n$.

При параллельном соединении общий входной сигнал является одинаковым входным сигналом для каждого звена, а выходной сигнал равен сумме сигналов всех n включенных параллельно звеньев. Передаточная функция такой цепи $W(P) = W_1(P) + W_2(P) + \dots + W_n(P)$.

Систему из n параллельных звеньев можно заменить одним сложным звеном. Коэффициент передачи участка $k = k_1 + k_2 + \dots + k_n$.

Устройством обратной связи в автоматическом регулировании называют совокупность звеньев, передающих воз-

действие с выхода одного звена на его вход или вход одного из предшествующих звеньев этой же системы. (Определение положительной, отрицательной, гибкой и жесткой обратных связей рассмотрено в § 8.1).

Структурные схемы отражают состав звеньев (их число и вид), характер связей между ними и динамические свойства автоматических регуляторов.

Рассмотрим пример составления структурной схемы. В теплообменнике 1 (рис. 10—5, а) температура выходящего продукта поддерживается подачей пара на заданном значении с помощью АСР, состоящей из термопреобразователя сопротивления 2, логометра 3 с сигнальным устройством, исполнительного механизма 4 и регулирующего клапана 5. Функциональная схема показана на рис. 10—5, б, структурная — на рис. 10—5, в. В структурной схеме системы регулятор находится в цепи обратной связи и включает четыре звена. Передаточная функция регулятора будет иметь вид $W_p(P) = k_2/(T_2P + 1) k_3 (k_4/P) k_5 = = k_p/[(T_2P + 1)P]$, где $k_p = k_2 k_3 k_4 k_5$ — коэффициент передачи регулятора.

Общая передаточная функция рассматриваемой автоматической системы регулирования $\Phi(P) = k_1/(T_1P + 1)/[1 + \{k_1/(T_1P + 1)\} k_p/(T_2P + 1)P]$.

10.4. Динамическая настройка регуляторов и устойчивость систем регулирования

Технологические процессы, осуществляемые в объектах регулирования, подвержены действию различного рода **возмущений**. Возмущения нарушают нормальное течение технологического процесса, поэтому основным назначением АСР является или поддержание заданного постоянного значения регулируемого параметра, или изменение его по определенному закону.

На автоматическую систему регулирования могут действовать два **вида возмущений** — по нагрузке и по заданию. Возмущения по нагрузке приложены к объекту регулирования. Это изменение количества вещества или энергии, расходуемых в ходе технологического процесса, т. е. изменение нагрузки объекта. Возмущения по заданию — это изменения заданного значения регулируемого параметра. Они приложены к автоматическому регулятору. Оба вида возмущения приводят к возникновению **переходного процесса** — процесса перехода системы из одного равновесного состояния в другое.

Способность автоматической системы регулирования восстанавливать состояние равновесия, из которого она была выведена под влиянием тех или иных воздействий, называется **устойчивостью**.

Устойчивость — важнейшее условие работоспособности автоматической системы регулирования. Если система не обладает

устойчивостью, то для практического использования она непригодна.

Чтобы определить, устойчива или неустойчива система, необходимо изучить ее поведение при малых отклонениях от равновесного состояния. Наблюдая за изменением регулируемой величины, т. е. за переходным процессом, можно определить, устойчива ли данная АСР. Если система регулирования возвращается к заданному состоянию равновесия с точностью, соответствующей статической погрешности, то такая АСР называется устойчивой, переходный процесс в ней носит затухающий характер.

Если система регулирования не может вернуться к состоянию равновесия и с течением времени удаляется от него все дальше, то такая АСР называется неустойчивой, а переходный процесс в ней — расходящимся.

Если система регулирования после нарушения равновесия, вызванного возмущением, совершает незатухающие периодические колебания относительно состояния равновесия, то такая АСР находится на границе устойчивости.

Переходные процессы, протекающие в автоматических системах регулирования, описываются дифференциальными уравнениями. Но решение дифференциальных уравнений высокого порядка чрезвычайно сложно. Поэтому существуют специальные правила — критерии, с помощью которых можно определить устойчивость системы и влияние параметров автоматической системы регулирования на устойчивость, не прибегая к вычислению корней характеристического уравнения. Большинство реальных промышленных АСР могут быть описаны линеаризованными уравнениями, поэтому основные инженерные способы определения устойчивости и синтеза АСР основаны на использовании линеаризованных моделей.

Устойчивость автоматической системы регулирования является основным, но недостаточным условием, определяющим ее работоспособность.

Для достижения требуемого качества регулирования промышленные АСР обычно нуждаются в **настройке**. С этой целью в серийных регуляторах предусмотрены органы регулировки, позволяющие изменять в широком диапазоне параметры настройки типовых законов регулирования: коэффициент передачи k , время интегрирования T_i и время предварения T_d . Обычно для определения параметров настройки регулятора в автоматической системе регулирования создают стандартные воздействия и наблюдают типовые переходные процессы, так как по виду переходного процесса можно судить о качестве регулирования.

На рис. 10—6 показаны кривые типовых переходных процессов в автоматических системах регулирования, полученные в результате единичного скачкообразного положительного возмущающего воздействия. По оси абсцисс отложено

время t , по оси ординат — значение регулируемого параметра $x_{вых}$ (заданное значение регулируемого параметра соответствует оси абсцисс).

На графике (рис. 10-6, а) представлен аperiodический (неколебательный) переходный процесс. Если переходный процесс в автоматической системе протекает относительно медленно, истинное значение регулируемой величины может значительно отклоняться от заданной, а это ведет к ухудшению качества регулирования. Такой переходный процесс в большинстве случаев нежелателен.

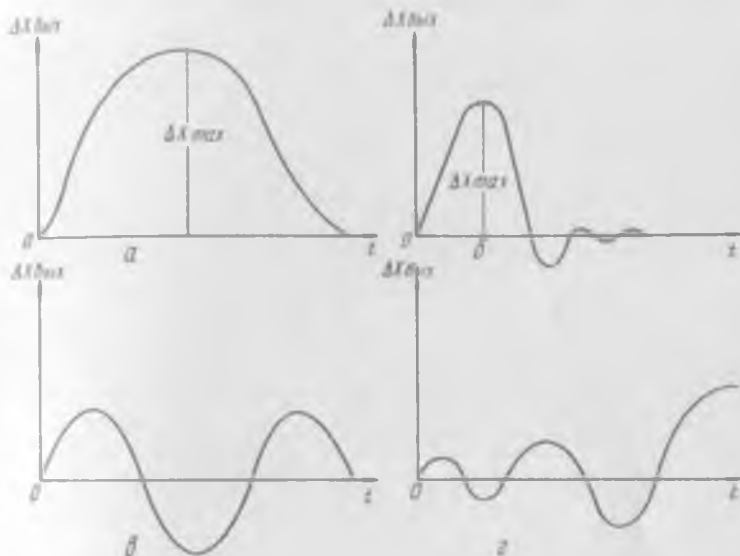


Рис. 10-6. Графики переходных процессов АСР:

а — аperiodического; б — затухающего колебательного; в — незатухающего колебательного; г — расходящегося колебательного

На рис. 10-6, б показан устойчивый затухающий колебательный переходный процесс. Амплитуда колебаний регулируемой величины постепенно уменьшается до нуля. Такой процесс наиболее желателен, так как истинное значение регулируемой величины быстро и без больших отклонений достигает заданного значения.

На рис. 10-6, в изображен незатухающий колебательный процесс с постоянной амплитудой. Такой процесс в большинстве случаев нежелателен, но допустим при незначительной амплитуде колебаний. Система в этом случае не приходит в равновесное состояние, а регулируемая величина все время колеблется в известных пределах относительно заданного значения.

На рис. 10-6, г представлен расходящийся колебательный процесс. Такой процесс в автоматических системах недопустим, так как амплитуда колебаний регулируемой величины с течением времени возрастает. Это может явиться результатом неправильного сочетания динамических характеристик отдельных звеньев.

Переходный процесс в автоматических системах регулирования может возникать не только в результате возмущающих воздействий, но и при изменении задания, т. е. при перенастройке

на новое значение регулируемого параметра. В этом случае отклонение регулируемого параметра стремится не к нулю, а к новому установившемуся значению.

Зная передаточную функцию, можно найти переходный процесс $x_{вых}(t)$ при любом воздействии и при определенных начальных условиях.

10.5. Требования, предъявляемые к качеству регулирования технологическими процессами пищевых производств

Задачей промышленной АСР является поддержание оптимального технологического режима в объекте управления, поэтому большинство промышленных систем регулирования можно отнести к классу стабилизирующих. Совокупность стабилизирующих АСР составляет систему автоматического управления технологическим процессом, т. е. обеспечивает оптимальный режим работы в соответствии с принятым технико-экономическим критерием эффективности. Заданные значения стабилизируемых технологических величин могут изменяться при изменении оптимальных режимов.

В промышленных АСР возмущающими воздействиями могут быть изменение режимов работы предыдущих агрегатов, изменение характеристик материальных и энергетических потоков и т. п. Время действия и функциональные закономерности возмущений заранее предсказать в ряде случаев невозможно. Следовательно, при проектировании и расчете АСР необходимо учитывать оба вида внешних воздействий, как регулирующих, так и возмущающих.

Синтез АСР ставит целью обеспечить заданные показатели качества регулирования при возмущениях заданного вида или возмущениях, заданных статическими характеристиками. Такой подход позволяет получить оптимальную АСР по отношению к характерным для конкретных условий возмущениям. Показателями качества функционирования АСР являются величины, характеризующие поведение системы в переходном процессе при поступлении на ее вход единичного ступенчатого возмущения. Основными величинами, характеризующими качество регулирования, являются максимальное динамическое отклонение регулируемого параметра от заданного значения, перерегулирование, время регулирования, остаточное отклонение регулируемого параметра от заданного значения и обобщенная оценка качества переходного процесса.

Максимальным динамическим отклонением регулируемого параметра (динамической ошибкой) в устойчивом (затухающем) процессе регулирования будет первая амплитуда A_1 . Это отклонение важно в тех случаях, когда по условиям технологического процесса недопустимо значительное отклонение регулируемого параметра от заданного значения, даже если оно крат-

ковременно. Максимальное динамическое отклонение зависит от динамических свойств объектов, возмущения, свойств и настройки регулятора.

Перерегулированием называется отношение (в процентах) амплитуды колебания A_2 второго полупериода к амплитуде A_1 первого полупериода. Перерегулирование характеризует степень колебательного переходного процесса. Чем больше перерегулирование в переходном процессе, тем он продолжительнее, но в то же время тем меньше амплитуда колебаний A_1 . Иногда дополнительно к величине перерегулирования задается допустимое число колебаний (1—2), которое может наблюдаться в течение времени переходного процесса. В некоторых системах колебания могут вообще не допускаться, а иногда их число может достигать 3—4. Различное перерегулирование можно получить, изменяя параметры настройки регулятора.

Временем регулирования называется время, в течение которого, начиная с момента приложения возмущения на систему, отклонение регулируемого параметра от его установившегося значения будет больше наперед заданной величины Δ . Обычно считают, что по истечении времени регулирования отклонение регулируемого параметра от установившегося значения должно быть не более 5 %. Время регулирования определяет продолжительность (быстродействие) переходного процесса. Самые короткие время регулирования имеют аperiodические переходные процессы.

Остаточное отклонение регулируемого параметра от заданного значения после окончания процесса регулирования называется **статической ошибкой**. Она характеризует качество регулирования в установившемся режиме и точность, с которой поддерживается постоянство регулируемого параметра. Статическая ошибка характерна для статических регуляторов. Для многих технологических процессов статическое отклонение недопустимо. Статическая ошибка зависит от нагрузки объекта и коэффициента передачи регулятора.

Обобщенная оценка переходного процесса учитывает одновременно максимальное отклонение регулируемого параметра и время регулирования.

Таким образом, к промышленным АСР предъявляют следующие требования: система должна быть устойчивой и обладать заданным запасом устойчивости; динамическая ошибка, величина перерегулирования и статическая ошибка не должны быть больше заданных; время регулирования должно быть минимальным.

10.6. Принципы логического управления

При решении задач управления и оптимизации пищевых производств оптимальное использование оборудования приходится сочетать с рядом операций его переключения. Управление

производственными процессами переключательного типа называют логическим управлением. Оно осуществляется в соответствии с некоторой оптимальной стратегией переключения, выраженной в виде логического алгоритма управления, обусловленного дискретным характером решаемых задач.

Алгоритм управления должен предусматривать выполнение ряда условий, связанных с применением оборудования в различных технологических режимах (режимы пуска и останова аппаратов, режимы нормальной эксплуатации, аварийные режимы).

Применение средств логического управления обусловлено невозможностью для оператора осуществлять вручную сложные переключения оборудования. Например, при ведении технологических процессов варки пива или рафинадных утфелей необходимо по жесткой программе переключать варочные котлы или выпарные аппараты. Нарушение циклов переключения приводит к экономическим потерям и ухудшению качества продукции. Поэтому дальнейшее развитие промышленного производства требует использования новых принципов и средств управления.

Существует три характерных класса производственных задач, решение которых требует выполнения определенной последовательности логических переключательных операций.

1. Совместная работа однотипного оборудования (например, согласование циклов работы отдельных аппаратов, работающих параллельно на один коллектор в различных пищевых производствах, в частности задача замены оборудования при выводе аппаратов на регенерацию и в резерв).

2. Осуществление оптимальных в смысле экономии времени и эксплуатационных затрат пуска и останова оборудования (например, осуществление пуска агрегатов рушально-весечного отделения маслоэкстракционного завода).

3. Защита агрегатов в случае возникновения аварийных ситуаций в ходе эксплуатации (например, обеспечение прогнозавалов при останове какого-либо механизма элеватора или других поточно-транспортных систем).

Сложность и большой объем информации, которым нужно располагать при решении задач алгоритмизации процесса переключения, обусловили необходимость применения для их решения аппарата дискретной математики.

В качестве информации о процессе применяют сигналы двух уровней, условно обозначаемых символами 0 и 1. Два уровня сигнала соответствуют двум возможным состояниям параметра. Такая форма представления информации о процессе отвечает специфике задач автоматического пуска и защиты оборудования, поскольку отработка управляющих воздействий в системах переключения производится при условии перехода объекта в новое состояние. Например, при пуске аппарата из холодного состояния необходимо достигнуть заданной степени нагрева. Пер-

вому состоянию, обозначенному символом 0, будет соответствовать текущее значение температуры $t_{\text{тк}}^0 < t_{\text{зад}}^0$; для второго состояния, обозначенного символом 1, выполняется условие $t_{\text{тк}}^0 > t_{\text{зад}}^0$.

Как правило, алгоритмы процессов переключения разрабатываются в терминах дискретной математики на основе анализа логических взаимосвязей параметров и выбранной стратегии управления.

Идея получения алгоритма переключения может быть показана на примере управления контактными аппаратами и адсорберами. Постановка задачи и ее решение сводятся к следующему.

Найти оптимальную стратегию переключения контактных аппаратов, когда все агрегаты работают в периодическом режиме (контактирование — регенерация — контактирование) и в любой момент времени в режиме контактирования находится только вполне определенное число агрегатов.

Основные количественные показатели работы аппаратов — время контактирования, время регенерации, производительность агрегата, затраты на регенерацию и прибыль на единицу продукции.

Задача оптимального переключения контактных аппаратов состоит в нахождении такой стратегии переключений, при которой достигается экстремум некоторого критерия управления, определяемого через количественные показатели работы указанных аппаратов.

В качестве критерия используют среднюю прибыль R на единицу продукции, получаемой за некоторый интервал времени τ :

$$R(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} |\Phi \gamma C_1 - Q C_2 - F C_3 - C_4| d\tau - P}{\tau + \Delta \tau_{\text{рег}}}$$

где Φ — количество расходуемого сырья; γ — степень превращения; C_1 , C_2 — стоимость соответствующих продуктов; C_3 — удельные затраты на транспортировку сырья; C_4 — фиксированные издержки; Q — расход тепла на поддержание реакции; F — количество транспортируемого сырья; P — затраты на регенерацию; $\Delta \tau_{\text{рег}}$ — время остановки на регенерацию.

Приведенная интегральная зависимость соответствует функции экстремального вида (рис. 10—7), в которой средняя прибыль R достигает экстремального значения в некоторый момент времени $\tau_{\text{опт}}$.

Интервал времени $\tau_{\text{опт}}$, отсчитываемый от момента очередного пуска аппарата в работу при режиме контактирования до момента выхода параметра на экстремум, можно рассматривать как оптимальное время контактирования при заданных условиях использования аппарата.

Постепенное старение агрегата, стохастический характер изменения свойств перерабатываемого сырья и колебания тепловых нагрузок приводят к постоянному дрейфу точки экстремума функции средней прибыли по отношению к оси времени (рис. 10—8). Соответственно меняется время контактирования для каждого аппарата и для каждого цикла контактирования.

Следовательно, оптимальную стратегию переключений необходимо строить, исходя из того, что для каждого i -го агрегата существует оптимальная (в смысле максимума средней прибыли за операцию) продолжительность процесса контактирования.

При условии оптимального использования аппаратов стратегия переключений формируется следующим образом:

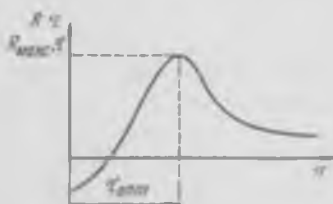


Рис. 10-7. Зависимость средней прибыли от времени

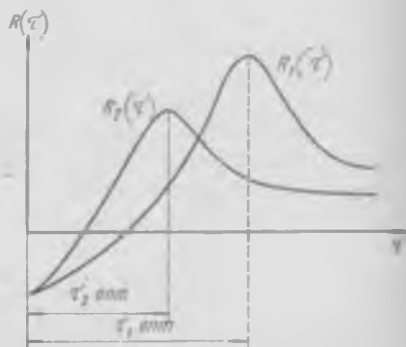


Рис. 10-8. Дрейф экстремума функции средней прибыли

1) переключение необходимо производить так, чтобы обеспечить постоянное число аппаратов, работающих в режиме контактирования в любой момент времени;

2) при выходе очередного агрегата из режима регенерации включается на регенерацию тот аппарат, который раньше других достиг своего оптимального времени контактирования $\tau_{\text{опт}}$.

Последнее требование служит критерием переключения.

Выбор оптимальной стратегии переключений, основанный на анализе возможных ситуаций, возникающих в ходе использования оборудования в разных режимах, первоначально формулируется в виде словесного предписания (т. е. в виде технических условий — технологического регламента). Однако существование такого предписания является необходимым, но не достаточным для разработки средств логического управления, так как нужна и математическая модель управляемого процесса. Таким образом, первоначально решается задача алгоритмизации объектов логического управления и только после решения этой задачи приступают к разработке средств логического управления.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные законы регулирования. В чем их сущность?
2. Как подразделяют типы регуляторов в зависимости от реализуемых законов регулирования?

3. На какие основные звенья подразделяется структура регулятора?
4. Приведите уравнения, передаточные функции и кривые разгона для типовых динамических звеньев регулятора.
5. Какой вид принимают передаточные функции при последовательном соединении звеньев и какой при параллельном соединении?
6. Что понимают под устойчивостью АСР?
7. Как аналитически определяют устойчивость АСР?
8. Назовите основные величины, характеризующие качество системы регулирования.
9. Приведите определения основных величин, характеризующих качество системы регулирования.
10. Охарактеризуйте принцип систем логического управления и назовите три характерных класса производственных задач, требующих такого управления.
11. На каких принципах решаются задачи логического управления (оптимального переключения) и какие используются критерии?

Глава 11. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

11.1. Классификация регуляторов

Автоматические регуляторы классифицируются по способу действия, виду регулирующего воздействия, виду регулируемого параметра, цели и закону регулирования.

По способу действия различают регуляторы прямого и непрямого (косвенного) действия.

В регуляторах прямого действия для перемещения регулирующего органа используется энергия самого объекта регулирования. Они применяются в тех случаях, когда для приведения в действие регулирующего органа не нужно больших усилий, а чувствительный элемент обладает необходимой для этого мощностью.

В регуляторах непрямого действия энергия для перемещения регулирующего органа подводится от внешнего источника. По виду подводимой энергии регуляторы косвенного действия подразделяются на пневматические, электрические, гидравлические и комбинированные.

По виду регулирующего воздействия различают регуляторы непрерывного и прерывного (дискретного) действия.

Регуляторами непрерывного действия называются такие, регулирующий орган которых при непрерывном изменении регулируемого параметра перемещается непрерывно.

Регуляторами прерывного действия называются такие, у которых регулирующий орган перемещается только при достижении непрерывно изменяющимся регулируемым параметром определенных заданных значений. К ним относятся релейные и импульсные регуляторы.

По виду регулируемого параметра различают регуляторы температуры, давления, расхода, уровня и др. Конструкция этих регуляторов может быть самой разнообразной, но часто одна и та же конструкция применяется для регулирования различных

параметров. Основное различие их заключается в конструкции чувствительного элемента.

По цели регулирования различают регуляторы стабилизирующие, программные, следящие и оптимизирующие. Они различаются конструкцией задающего устройства.

Стабилизирующие регуляторы имеют настройку на постоянную заданную величину, перенастройка на другой режим осуществляется вручную. Стабилизирующие регуляторы нашли широкое применение в пищевой промышленности.

В программных регуляторах настройка меняется по заданной программе, определяемой ходом технологического процесса, при помощи специальных программных задатчиков.

В следящих регуляторах настройка изменяется произвольно по неизвестному заранее закону.

Оптимизирующие регуляторы имеют специальное кибернетическое устройство, которое в зависимости от изменения внешних факторов вычисляет оптимальное значение регулируемого параметра и затем автоматически изменяет настройку на это оптимальное значение.

По закону регулирования различают регуляторы позиционные (Пз-регуляторы); пропорциональные, статические (П-регуляторы), интегральные, астатические (И-регуляторы); пропорционально-интегральные, издромные (ПИ-регуляторы); пропорционально-дифференциальные (ПД-регуляторы); пропорционально-интегрально-дифференциальные, издромные с предварением (ПИД-регуляторы).

В зависимости от вида подводимой энергии регуляторы могут быть электрическими, пневматическими, гидравлическими и комбинированными.

11.2. Регуляторы прямого действия

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 давления «после себя» служат для регулирования давления среды за регулирующим клапаном. В регуляторах «до себя» импульс давления берется до клапана регулятора, где поддерживается постоянное давление.

Регулятор типа 25ч12иж изображен на рис. 11—1. Регулируемое давление по импульсной трубке через штуцер 2 передается 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.

11.3. Электронные регуляторы

Электрические и электронные регуляторы обладают высокой надежностью, бесконтактностью элементов, значительным быстродействием, дальностью действия, универсальностью, что позволяет принимать сигналы от различных преобразователей с унифицированным выходом. Их недостаток заключается в том, что их нельзя применять во взрыво- и пожароопасных, агрессивных окружающих средах.

Промышленностью выпускаются регуляторы систем МЗТА и ГСП «Каскад».

Электронные регуляторы Московского завода тепловой автоматики (МЗТА) предназначены для регулирования отдельных параметров различных технологических объектов. Регуляторы состоят из ряда унифицированных узлов и управляют электрическими и электрогидравлическими исполнительными механизмами. Для регулирования давления, уровня, расхода, температуры и других параметров, измеряемых первичными приборами (датчиками), применяют регуляторы Р25.1, Р25.2, Р25.3, которые заменили ранее выпускавшиеся приборы РПИБ.

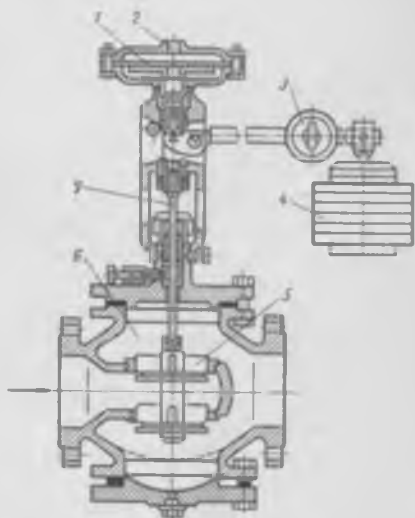


Рис. 11-1. Регулятор давления прямого действия

Приборы регулирующие типа Р25 выполняют следующие функции: суммирование сигналов, поступающих от измерительных преобразователей с естественными электрическими выходными сигналами; введение информации о заданном значении регулируемой величины; формирование и усиление сигнала рассогласования; формирование на выходе электрических импульсов постоянного и переменного тока для управления исполнительными механизмами с постоянной скоростью перемещения; формирование совместно с исполнительными механизмами постоянной скорости ПИ- и ПИД-законов регулирования при подключении дифференциатора; преобразование сигнала от дифференциально-трансформаторного преобразователя положения исполнительного механизма в сигнал постоянного тока.

Принцип действия регулирующих приборов типа Р25 заключается в том, что сигнал, поступающий на электронный усилитель от датчика или соответствующего преобразователя, сравнивается с заданным сигналом от задатчика. В зависимости от величины рассогласования на выходе получается (отрабатывается) сигнал, изменяющийся по установленному закону регулирования. Сигнал подается на исполнительный механизм, заставляя его перемещаться. В зависимости от вида и номинального диапазона изменения входных сигналов регуляторы типа Р25 выпускаются в трех модификациях.

Регуляторы системы МЗТА применяются, например, при регулировании уровня жмыха в загрузочной колонне экстрактора и в автоматической системе регулирования температуры мыльной стружки, поступающей в пелотезы; при автоматическом регулировании подачи сухих добавок в готовый порошок применяется система соотношения расход готового порошка — расход добавок, воздействующая на производительность питателя добавок; в системе автоматического управления комплексом топка — сушильная башня установки для производства синтетических моющих порошков при регулировании температуры изменением расхода (давления) композиции применена каскадная схема регулирования.

Система ГСП «Каскад» может быть использована в автоматических системах регулирования, обеспечивающих поддержание режима технологического процесса. Основной особенностью аппаратуры этой системы является использование в информационных цепях унифицированного сигнала постоянного тока 0—5 мА.

Благодаря взаимозаменяемости однотипных приборов и применению тарированных органов настройки улучшаются эксплуатационные качества системы и упрощаются наладочные операции. Все элементы системы выполнены на унифицированной конструктивной основе. Система «Каскад» состоит из отдельных функциональных блоков: логических, дифференцирующих и интегрирующих, оперативного управления, измерительных, ал-

алгебраических, преобразовательных, регулирующих и др. Рассмотрим некоторые из них.

Алгебраические блоки системы «Каскад» выполняют операции алгебраического суммирования четырех токовых сигналов, умножения и деления токовых сигналов, извлечения квадратного корня токового сигнала.

Блок И-04 обеспечивает алгебраическое суммирование с независимым масштабированием четырех сигналов постоянного тока, преобразование этих токовых сигналов в сигналы напря-

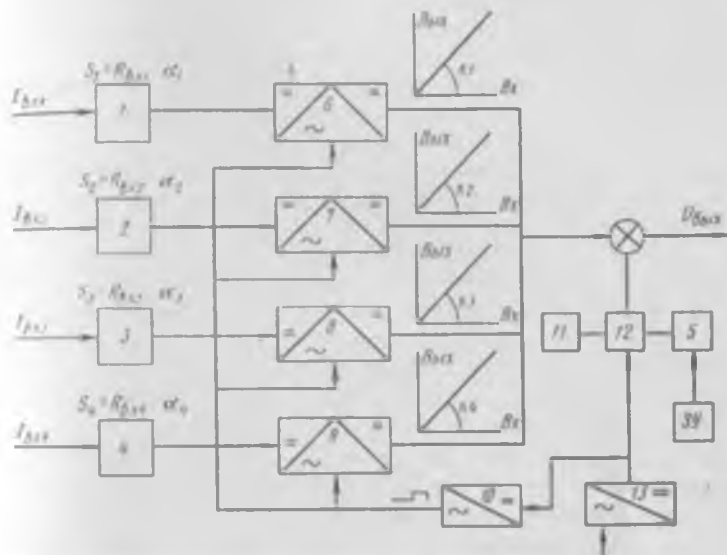


Рис. 11-2. Структурная схема измерительного блока И-04

жения, компенсацию полученной суммы сигналов корректора и внешнего задающего устройства и гальваническое разделение входных цепей друг от друга и от выходных цепей. Его основное назначение — формирование сигнала рассогласования, характеризующего отклонение суммы $I_{вх1} - I_{вх4}$ от заданного значения.

Структурная схема блока И-04 изображена на рис. 11-2. Входные сигналы постоянного тока $I_{вх1} - I_{вх4}$ поступают на узлы масштабирования 1—4, в которых они преобразуются в сигналы напряжения. Крутизна преобразования $S_i = R_{вхi} \alpha_i$ (при $i = 1 \div 4$), где $R_{вхi}$ — входное сопротивление узла масштабирования; α_i — масштабный коэффициент, устанавливаемый независимо по каждому каналу.

Выходной сигнал узла масштабирования (напряжение постоянного тока) поступает в соответствующий модуль преобра-

зования 6—9, в котором преобразуется с коэффициентом k_1 в пропорциональный ему сигнал напряжения постоянного тока. Модуль преобразования обеспечивает при этом гальваническое разделение входного и выходного сигналов.

Коммутирующее напряжение поступает на преобразователь от генератора 10. Выходные сигналы преобразователей суммируются друг с другом, а также с сигналом узла компенсаций 12 и поступают на выход измерительного блока. Узел компенсации 12 представляет собой регулируемый источник напряжения, выходной сигнал которого устанавливается корректором 11 и внешним потенциометрическим задающим устройством ЗУ с узлом масштабирования 5, работающим в комплекте с блоком И-04. Питание узла компенсации 12 и генератора коммутирующего напряжения 10 осуществляется от источника питания 13.

Блок алгебраического суммирования А-04 предназначен для применения в системах автоматического регулирования, использующих информацию в виде унифицированного токового сигнала 0—5 мА, в качестве устройства, формирующего на выходе сигнал, равный алгебраической сумме входных сигналов. В блок суммирования может быть введено до четырех токовых сигналов 0—5 мА, каждый с независимым масштабированием. Блок обеспечивает гальваническую изоляцию сигналов друг от друга и от выходных цепей. Диапазон изменения выходного тока $I_{\text{вых}} = 0 \div 5$ мА; диапазон изменения масштабного коэффициента $\alpha_i = 0 \div 1$ при $i = 1 \div 4$.

Блок суммирования обеспечивает, кроме алгебраического суммирования, дискретное смещение выходного сигнала на половину номинального диапазона его изменения (2,5 мА).

Блок умножения А-31 предназначен для умножения двух токовых сигналов, изменяющихся от 0 до 5 мА каждый. Он имеет на выходе сигнал $I_{\text{вых}} = 0 \div 5$ мА, пропорциональный с коэффициентом 0,2 произведению двух входных сигналов: $I_{\text{вых}} = 0,2 I_1 I_2$.

Входные цепи этого блока гальванически изолированы друг от друга, а выходные кондуктивно связаны с первым входом. В основу работы блока умножения положен принцип время-импульсной модуляции.

Блок деления А-32 формирует на выходе токовый сигнал $I_{\text{вых}} = 0 \div 5$ мА, равный отношению двух гальванически изолированных входных сигналов 0—5 мА ($I_{\text{вых}} = I_{\text{вх1}} : I_{\text{вх2}}$). У блока А-32 $I_{\text{вых}}$ кондуктивно связан с $I_{\text{вх}}$.

Блок извлечения квадратного корня А-33 обеспечивает на выходе токовый сигнал $I_{\text{вых}} = 0 \div 5$ мА, отвечающий формуле преобразования $I_{\text{вых}} = \sqrt{5 I_{\text{вх}}}$. В этом блоке $I_{\text{вых}}$ кондуктивно связан с $I_{\text{вх}}$.

Нелинейные преобразователи системы «Каскад» представлены двумя блоками: ограничения Н-02 и нелинейного преобразования Н-04.

Блок ограничения Н-02 воспроизводит на выходе входной токовый сигнал с двусторонним ограничением (сверху и снизу) пределов изменения выходного тока. Нижний уровень ограничения может быть установлен на всем диапазоне изменения сигнала от 0 до 100 %. Верхний уровень ограничения устанавливается независимо от нижнего в пределах 25—100 %. Входные и выходные цепи блока гальванически изолированы.

Блок нелинейного преобразования Н-04 формирует на выходе токовый сигнал 0—5 мА, связанный с входным сигналом неубывающей функциональной зависимостью, аппроксимируемой четырьмя линейными участками. Коэффициенты передачи на отдельных участках устанавливаются независимо в пределах 0,1—10. Входные и выходные цепи этого блока кондуктивно связаны между собой. Этот блок может найти применение как для линеаризации нелинейных характеристик, так и для воспроизведения различных зависимостей, например при формировании сложных заданий, изменении параметров настройки и др.

Регулирующие блоки системы «Каскад» несут основную функциональную нагрузку в составе аппаратуры ГСП. Эта группа образована регулирующими блоками двух разновидностей — релейными и аналоговыми. Выпускаются эти блоки в двух исполнениях: со встроенными и вынесенными элементами оперативного управления. Кроме того, каждая из этих модификаций имеет в своем составе блоки, допускающие дистанционное (трехступенчатое) изменение таких параметров настройки, как «скорость связи» и «время интегрирования».

Релейный регулирующий блок Р-21 с вынесенными элементами управления и без дистанционного изменения параметров настройки предназначен для применения в составе автоматических регуляторов с исполнительными механизмами постоянной скорости, в совокупности с которыми он обеспечивает формирование ПИ-закона регулирования. На выходе этих регулирующих блоков в процессе работы появляются импульсы напряжения постоянного тока с амплитудой 0 или 24 В, воздействующие на пусковые устройства исполнительных механизмов. Скважность этих импульсов, определяющая в соответствии с импульсной характеристикой исполнительного механизма его среднюю скорость перемещения в процессе регулирования, связана ПД-зависимостью с величиной сигнала рассогласования на входе регулирующего блока (между суммарным входным сигналом и сигналом обратной связи).

Структурная схема блока Р-21 представлена на рис. 11-3. Входные сигналы постоянного тока 0—5 мА, 0—20 мА и $-1,25 \div +1,25$ В суммируются на входе демпфирующего устройства 1. Постоянная времени $T_{дф}$ устанавливается изменением активного сопротивления аperiodического R_1C_1 звена. Выходной сигнал демпфирующего устройства вместе с сигналами

лом постоянного тока $0-5$ мА и $-24 \div +24$ В, а также с сигналом обратных связей, формирующих закон регулирования, поступает на вход высокоомного двухполярного усилителя $У1$ постоянного тока (типа УВ-41). Выходной сигнал усилителя $У1$ управляет трехпозиционным магнито-тиристорным усилителем $У2$ (типа УР-2), имеющим зону возврата. Усилитель $У2$ коммутирует пусковое устройство исполнительного механизма регулятора.

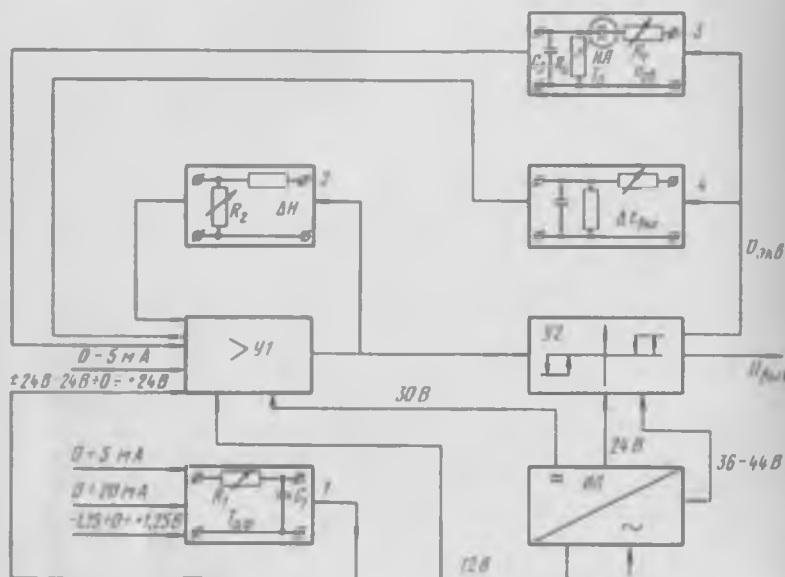


Рис. 11-3. Структурная схема релейного регулирующего блока Р-21

Усилители $У1$ и $У2$ питаются от источника питания ИП (типа ИП-13), который подключен к сети. Зона нечувствительности блока $ДН$ регулируется путем изменения коэффициента передачи звена 2 в цепи отрицательной обратной связи усилителя $У1$.

Закон регулирования формируется цепью главной отрицательной обратной связи 3, выполненной в виде нелинейного инерционного звена первого порядка. Постоянные времени этого звена при включении и отключении блока различны, так как включенная в контур последовательно неоновая лампа (НЛ) разделяет цепи заряда и разряда конденсатора обратной связи C_3 . При включении усилителя $У2$ конденсатор C_3 заряжается. Максимальное напряжение, до которого может зарядиться конденсатор, определяет границы пульсирующего режима работы регулятора. Скорость нарастания напряжения

обратной связи зависит от сопротивления R_v , включенного последовательно с емкостью C_3 .

Помимо цепи главной отрицательной обратной связи 3 прямой канал блока охвачен дополнительной цепью обратной связи 4, выполненной в виде линейного инерционного звена, которое формирует длительность отдельных включений $t_{вкл}$ в пульсирующем режиме.

Передаточная функция блока Р-21 в пульсирующем режиме при сигнале, намного превышающем зону нечувствительности, вместе с исполнительным механизмом с постоянной скоростью и его пусковым устройством может быть представлена в виде передаточной функции линейного ПИ-регулятора. Параметры его динамической настройки можно изменять сопротивлениями R_v и R_n .

Аналоговый регулирующий блок Р-12 с вынесенными элементами оперативного управления и без дистанционного изменения параметров настройки формирует на выходе, гальванически изолированном от входа, унифицированный токовый сигнал 0—5 мА, связанный П-, ПИ- или ПИД-законом преобразования с алгебраической суммой входных сигналов. Блок Р-12 применяется как для непосредственного управления соответствующим исполнительным механизмом, так и в каскадных схемах регулирования в качестве ведущего регулятора.

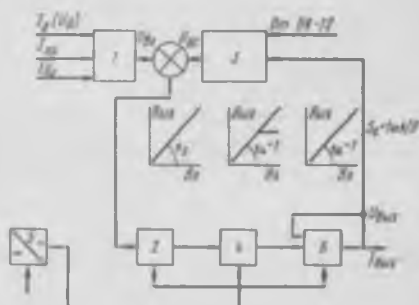


Рис. 11-4. Структурная схема аналогового регулирующего блока Р-12

Структурная схема блока Р-12 показана на рис. 11-4. Блок состоит из узла входных цепей 1, усилителя постоянного тока (УПТ-УГ) с высокоомным входом 2, модуля динамики 3, модуля ограничения 4, источника питания 5 и усилителя 6 с высокоомным входом (УПГ-УГ) и двумя выходами: основным токовым и дополнительным, гальванически изолированным по напряжению. Узел входных цепей 1 воспринимает сигнал токовых преобразователей I_d или преобразователей напряжения U_d и компенсирует их сигналом задающего устройства с токовым выходом $I_{a.у}$, формируя сигнал рассогласования $U_{вх}$. Кроме того, при ручном управлении исполнительным устройством на узел 1 подается сигнал от блока управления $I_{6.у}$. Все токовые сигналы преобразуются в напряжение. Усилитель постоянного тока 2 воспринимает разность между сигналом рассогласования $U_{вх}$ и сигналом обратной связи $U_{o.с}$ и усиливает ее с коэффициентом k_2 . Модуль динамики 3 содержит цепи функциональной обратной связи RC и цепи, обеспечивающие

стоимость, надежность при работе в тяжелых промышленных условиях, простота обслуживания, возможность создания из них сложных автоматических систем регулирования.

К недостаткам пневматических регуляторов относятся сравнительно низкое быстродействие, ограниченное расстояние до исполнительного механизма из-за значительного запаздывания в передаче сигнала, необходимость в специальных источниках питания (очищенный сжатый воздух).

В настоящее время на предприятиях пищевой промышленности используются средства пневмоавтоматики приборного, агрегатного (блочного) и элементного типов.

Пневматические регуляторы приборного типа встраиваются в корпуса различных измерительных приборов (МТ-711Р, МВТ-711Р, ВТ-712Р, ТГ-711Р, а также в электронные мосты КСМ-4 и потенциометры КСП-3П) и применяются для контроля и регулирования давления (разрежения), температуры и других параметров. Они одновременно выполняют функции измерительных приборов и автоматических регуляторов. В корпусе размещаются измерительная и регулирующая системы с показывающими и записывающими механическим и ручным задатчиками. Пневматические регуляторы отработывают ПИ-закон регулирования. Эти регуляторы действуют по принципу компенсации перемещений, стабилизируя отдельные параметры (давление, расход, температуру). Однако их узкие функциональные возможности не позволяют эффективно применять такие приборы в сложных взаимосвязанных системах управления и регулирования. ✓

По агрегатному (блочному) принципу была построена выпускавшаяся ранее пневматическая агрегатная унифицированная система (АУС). Она состояла из сравнительно небольшого числа унифицированных малогабаритных взаимосочетаемых блоков, каждый из которых выполнял одну или несколько функций. Такие приборы позволяли решать задачи взаимосвязанного регулирования и создавать сложные многоконтурные системы.

Требования к современным системам автоматического регулирования и управления значительно возросли, и уровень современной автоматизации требует наличия довольно сложной системы управления.

В пищевой промышленности необходимо решать задачи и по автоматической оптимизации. В таких условиях нецелесообразно было автоматизировать объекты управления только путем расширения номенклатуры приборов АУС. Поэтому естественным оказалось построение пневматических приборов по элементному принципу, реализуемому в унифицированной системе элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА). Система представляет собой набор элементов, каждый из которых предназначен для выполнения определенных элементар-

ных функций. Из этих элементов в различном сочетании можно компоновать сложные устройства.

Конструктивно элементы выполнены из квадратных секций и снабжены латунными ножками, которые имеют унифицированные размеры и шаг. Элементы крепятся с помощью ножек в платах из органического стекла. Связь между элементами осуществляется через отверстия в ножках и каналы в платах, а платы соединены между собой трубками. В качестве входных и выходных сигналов элементов УСЭППА используются унифицированные пневматические сигналы 19,6—98 кПа. Давление питания 137 кПа.

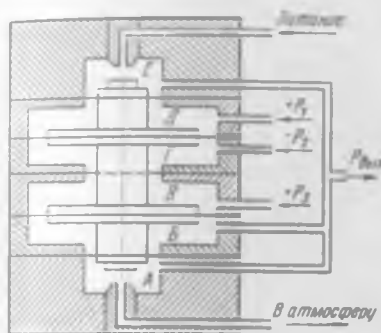


Рис. 11-5. Схема устройства элемента сравнения

Рис. 11-6. Схема устройства усилителя мощности



Элементы и приборы УСЭППА делятся на две группы: дискретного и непрерывного действия, что позволяет выполнять схемы управления практически любой сложности.

Рассмотрим устройство и принцип действия нескольких элементов УСЭППА непрерывного действия, которые широко применяются в устройствах пневмоавтоматики, в регуляторах системы «Старт».

Элемент сравнения П2ЭС-3 (П-1062), показанный на рис. 11-5, служит для сравнения, а также суммирования пневматических сигналов, поступающих от измерительных приборов или других устройств. Он состоит из шести камер А, Б, В, Г, Д и Е, которые разделены мембранами из прорезиненной ткани, скрепленными в центре металлическим штоком. Положение мембранного блока, который имеет возможность перемещаться в вертикальном направлении, зависит от соотношения сил, создаваемых действием давлений в разных камерах элемента на площади соответствующих мембран. Торцы металлического стержня выполняют роль заслонок по отношению к верхнему соплу, через которое сжатый воздух из магистрали питания поступает в камеру Е, и к нижнему соплу, через которое избыток воздуха сбрасывается в атмосферу. Если при нарушении равновесия сил мембранный блок перемещается вверх, то поступление воздуха из линии питания уменьшается,

а сброс его в атмосферу увеличивается. В результате давление воздуха на выходе элемента уменьшается, и наоборот.

Элемент П2ЭС-3 имеет несколько вариантов включения в схемы пневмоавтоматики. Так, если он используется как элемент сравнения, то при нарушении равновесия сравниваемых давлений мембранный блок занимает либо крайнее верхнее положение, при котором выходной сигнал элемента равен нулю, либо крайнее нижнее положение, при котором он равен 98 кПа. При этом элемент П2ЭС-3 обладает свойствами двухпозиционного реле.

Если же элемент используется для суммирования, умножения на 2 или повторения сигнала, то мембранный блок может занимать не только крайнее, но и любое промежуточное положение, которому будет соответствовать и определенное выходное давление. В этих случаях суммарное усилие от входных сигналов, поступающих в камеры В, Г и Д, уравнивается усилием, возникающим от подачи выходного сигнала элемента в камеру Б отрицательной обратной связи.

Усилитель мощности П2П.7 (П-1100), показанный на рис. 11-6, служит для усиления пневматического сигнала по мощности. Входной сигнал подается в глухую камеру Г и действует на мембранный блок вниз. Сжатый воздух из магистрали питания подается в камеру А, из которой он через большой шариковый клапан попадает в проточную камеру Б и далее на выход элемента ($P_{вых}$). Избыток воздуха сбрасывается через второй шариковый клапан в пространство между мембранами, соединенное с атмосферой.

Если давления на входе и выходе элемента равны, то мембранный блок находится в равновесии. При нарушении равновесия он перемещается вверх (если $P_{вых} > P_{вх}$) или вниз (если $P_{вых} < P_{вх}$). В первом случае большой шариковый клапан открывает поступление воздуха из линии питания в камеру Б, а малый клапан, наоборот, открывается, увеличивая сброс воздуха в атмосферу. В результате давление на выходе элемента уменьшается. Во втором случае (при $P_{вых} < P_{вх}$) происходят обратные процессы.

Элемент П2П.7 обеспечивает усиление пневматического сигнала по мощности до величины, необходимой для передачи его на расстояние до 300 м при внутреннем диаметре линии связи 6 мм.

Выключающее реле П-1086 (рис. 11-7) служит для отключения или переключения линий связи в системах пневмоавтоматики. Реле состоит из четырех камер, которые разделены мембранами из прорезиненной ткани, соединенными общим металлическим штоком. Торцы штока выполняют функции заслонок по отношению к соплам, через которые пневматические сигналы поступают в проточные камеры А и Г.

В камеру Б подается постоянное давление «подпора», которое благодаря разности площадей верхней и нижней мембран, ограничивающих эту камеру, перемещает мембранный блок в крайнее верхнее положение. При этом верхнее сопло закрыто, а нижнее открыто, так что сигнал, поступающий по ка-

наду a в камеру A , беспрепятственно проходит на выход элемента.

Если в камеру B подать по каналу $в$ командный сигнал P_k , больший по величине, чем давление «подпора», подаваемое по каналу $б$, мембранный блок переместится в крайнее нижнее положение и закроет сопло в камере A , открыв одновременно сопло в камере $Г$. При этом сигнал, поступающий по каналу a в камеру A , будет отключен, а сигнал, поступающий по каналу $г$ в камеру $Г$, пройдет на выход элемента (в канал $г_1$).

Прходные сечения каналов a и a_1 больше, чем у остальных, что обеспечивает прохождение через них пневматических сигналов, усиленных по мощности.

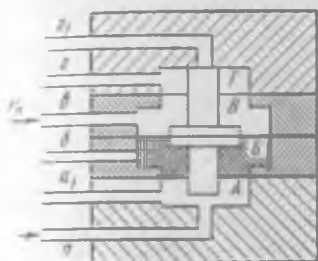


Рис. 11-7. Схема устройства выключающего реле

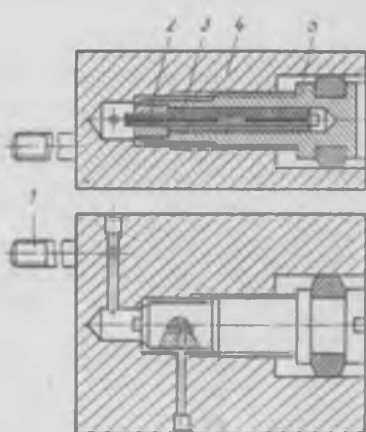


Рис. 11-8. Схема устройства постоянного дросселя

Элемент П-1086 аналогичен по своим свойствам электромагнитному реле с двумя парами контактов, нормально замкнутых (клапан в камере A) и нормально разомкнутых (клапан в камере $Г$).

По аналогии с электрическими системами при разработке систем пневмоавтоматики требуется применение пневматических емкостей и сопротивлений, которые также входят в комплект элементов УСЭПА. Например, элемент ПОЕ.50 (П-1035) представляет собой емкость объемом 50 см^3 , а ПОЕ.25— 25 см^3 . Установка и крепление пневмоемкости на плате регулятора производится с помощью входной и выходной ножек.

Постоянный дроссель П2Д.7 (П-1017), показанный на рис. 11-8, представляет собой винт 5, ввернутый в корпус 4 с двумя перпендикулярными сообщающимися отверстиями. В отверстии, расположенном на продольной оси винта, помещен капилляр 2 диаметром $0,3 \text{ мм}$ с навитым на него фильтром 3 из шерстяной пряжи.

Воздух питания подводится в дроссель через входную ножку, проходит через второе отверстие винта 5, расположен-

ное на его боковой поверхности, затем через пряжу в капилляр и далее на выход через ножку 1. Дроссель П2Д.7 сохраняет в процессе эксплуатации постоянное гидравлическое сопротивление, установленное при его настройке.

Регулируемый дроссель П2Д.1 (П-1016), показанный на рис. 11-9, состоит из корпуса 2, в который помещена втулка 4 с иглой 6 и мембраной 7. Пружина 5 удерживает иглу 6 в крайнем верхнем положении. Ось 13, на которой вращается диск 11 с прикрепленной к нему шкалой 12, запрессо-

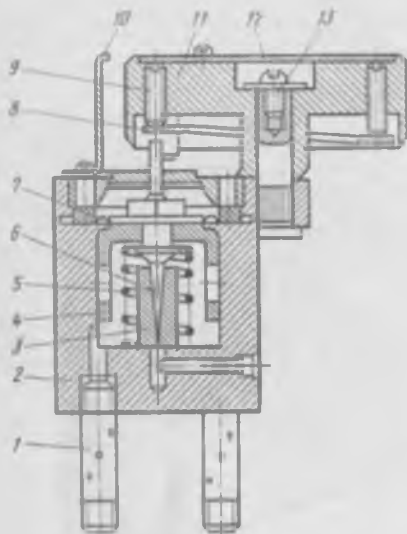


Рис. 11-9. Схема устройства регулируемого дросселя

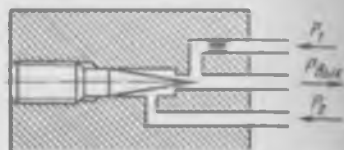


Рис. 11-10. Схема устройства суммирующего элемента

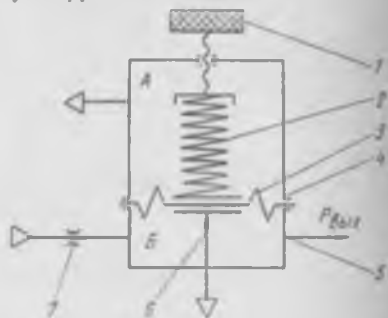


Рис. 11-11. Схема устройства задатчика

вана в корпус 2. При вращении диска винт 9, опирающийся на пружинную фасонную шайбу 8, давит на иглу, заставляя ее перемещаться в оловянной втулке 3. Отверстие под иглу в этой втулке для каждого дросселя обжимается по профилю иглы. При вращении диска изменяется степень открытия дросселя, и следовательно, его гидравлическое сопротивление. Стрелка 10 служит для отсчета по шкале 12 установленной степени открытия дросселя. Вход и выход сжатого воздуха осуществляются через отверстия в ножках 1.

Суммирующий элемент П2С.2 (П-1015 и П-1087), показанный на рис. 11-10, служит для суммирования двух пневматических сигналов, один из которых (P_1) проходит через постоянный дроссель, а второй (P_2) — через регулируемый дроссель. Выходное давление $P_{\text{вых}}$ зависит от степени открытия регулируемого дросселя.

В отличие от элемента П-1015 сумматор П-1087 имеет диск для перемещения иглы, снабженный указателем единицы измерения регулируемой величины.

Задатчик П23Д (П-1083), показанный на рис. 11-11, служит для создания постоянного по величине пневматического сигнала, подаваемого в непроточные камеры различных элементов пневмоавтоматики, и используется в качестве задатчика пневматических автоматических систем регулирования.

Элемент состоит из корпуса 4, разделенного мембраной 3 на две камеры — А и Б. Камера А соединена с атмосферой; в ней находится пружина 2, натяжение которой можно регулировать с помощью винта 1. Проточная камера Б имеет один вход от линии питания через постоянный дроссель 7 и два выхода: через сопло 6 избыток воздуха сбрасывается в атмосферу, а через отверстие 5 проходит выходной сигнал $P_{\text{вых}}$.

Работа элемента П23Д основана на взаимном уравновешивании сил, действующих на мембрану 3: давления в камере Б и усилия пружины 2. Если равенство этих сил нарушается, то мембрана перемещается, изменяя выход воздуха в атмосферу через сопло 6. Например, при увеличении давления мембрана прогибается вверх и увеличивает сброс воздуха, благодаря чему его давление в камере Б уменьшается, возвращаясь к первоначальному.

Таким образом, давление воздуха в камере Б поддерживается постоянным и является выходным сигналом элемента П23Д.

Установка заданной величины давления осуществляется изменением натяжения пружины 2 с помощью регулировочного винта 1.

Система автоматических регуляторов «Старт», разработанная на основе элементов УСЭППА, выпускается заводом «Тиз-прибор». В состав системы «Старт» входят: пропорциональный регулятор ПР2.8; пропорционально-интегральный регулятор ПР3.21; пропорционально-интегральный регулятор соотношения ПР3-33 и другие регуляторы и функциональные блоки, а также вторичные приборы модели ПВ нескольких модификаций. Конструкция регуляторов позволяет устанавливать их на вторичных приборах системы «Старт», а также отдельно.

Пропорциональный регулятор ПР2.8 (рис. 11-12) состоит из двух элементов I и II типа П2ЭС.3 (П-1062), элемента III типа П23Д (П-1083), элемента IV типа П2ЭС.2, усилителя мощности выходного сигнала V и выключающего реле VI. Он работает следующим образом. Давление P_n от измерительного преобразователя автоматической системы регулирования, пропорциональное текущему значению регулируемого параметра, подается в камеру Г элемента I, а давление P_z от задатчика, пропорциональное заданному значению регулируемого параметра, в камеру В того же элемента. Кроме того, на

управление. При этом открывается сопло C_2 выключающего реле и давление из его камеры B , равное давлению в линии исполнительного механизма при ручном управлении, подается в камеру B элемента I и в камеры D элементов III и V . Благодаря этому в перечисленных камерах поддерживается то же давление, что и в линии исполнительного механизма, и при обратном переключении с ручного управления на автоматическое регулятор начинает работать более плавно. ПИ-регулятор ПРЗ.31 применяется при регулировании температуры бензина, подаваемого из подогревателя бензина в экстракторы; при регулировании давления пара на цеховом коллекторе; расхода

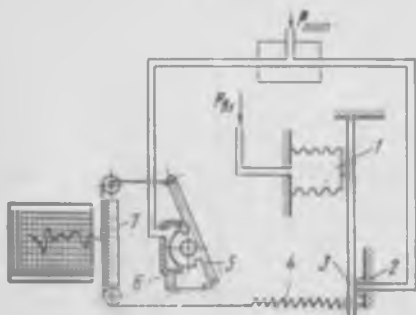


Рис. 11-14. Принципиальная схема измерительного устройства вторичного прибора системы «Старт»

мисцеллы на дистилляционную установку; температуры мыльной основы на входе в камеру ВСУ и др.

Вторичные приборы системы «Старт» выпускаются в трех модификациях: РПВ4.2 — прибор для непрерывной записи и показания величины одного параметра; РПВ4.3Э — прибор для непрерывной записи на одной диаграмме величин двух параметров и показания их на двух шкалах; ПВ10.1Э — прибор для непрерывной записи и по-

казания величины регулируемого параметра, указания положения контрольной точки и величины давления на исполнительном механизме. В прибор ПВ10.1Э встроена станция управления, обеспечивающая возможность управления исполнительным механизмом вручную и плавного перехода на автоматическое регулирование. Станция управления включает задатчик и переключатель.

Измерительные схемы всех этих приборов основаны на принципе компенсации сил, что обеспечивает их высокую чувствительность и точность измерений.

Схема измерительного устройства для записи и показания одного параметра показана на рис. 11—14.

В разных модификациях приборов «Старт» измерительная часть состоит из одного (РПВ4.2), двух (РПВ4.3Э) и трех (ПВ10.1Э) таких устройств.

Приемный элемент — сильфон I — воспринимает давление $P_{вх}$, пропорциональное текущему значению измеряемой величины; сжатый воздух от источника питания поступает в линию сопла 2 и в линию силового элемента 6 узла обратной связи.

Изменение $P_{вх}$ вызывает изменение зазора между соплом и заслонкой, укрепленной на конце рычага 3 приемного эле-

мента, а это ведет к изменению давления в линии сопла и в силовом элементе 6. При этом перемещается чашечная мембрана силового элемента и упирающийся в нее рычаг 5, который связан с рычагом 3 заслонки пружиной 4. Таким образом, силовой элемент 6 оказывает на заслонку действие, уравнивающее воздействие приемного элемента 1. Перемещение рычага 5 силового элемента передается показывающей стрелке 7 и записывающему перу прибора. Привод диаграммы осуществляется от синхронного двигателя через редуктор со скоростью 20 мм/ч.

Новой отраслью пневмоавтоматики, которая в последнее время интенсивно развивается, является **струйная техника**.

Принципы построения приборов струйной техники коренным образом отличаются от всех ранее известных принципов построения пневматических приборов. В приборах струйной техники полностью отсутствуют какие-либо подвижные механические детали, а управление осуществляется за счет взаимодействия струй воздуха.

Приборы струйной техники миниатюрны и допускают применение технологии печатных схем. Используются как постоянные, так и переменные пневматические токи. Последнее обеспечивает получение высокой точности при создании вычислительных приборов.

Приборы струйной техники имеют ряд достоинств: быстродействие, малая масса и малые габариты, высокая эксплуатационная надежность, устойчивость к воздействию вибрации и радиации, способность работать (при соответствующем выборе материала) при любых температурах, простота изготовления и эксплуатации, дешевизна.

Для питания приборов струйной техники применяют вентилаторы.

11.5. Гидравлические регуляторы

Принцип действия гидравлических регуляторов основан на использовании энергии давления жидкости, подводимой от специальной насосной установки, входящей в комплект регулятора.

В качестве рабочих жидкостей служат минеральные масла (турбинное, трансформаторное), специальные смеси и вода с добавлением веществ, ослабляющих коррозию.

Гидравлические регуляторы предназначены для поддержания давления, разрежения, перепада давления, расхода, уровня, а также соотношения двух давлений или расходов веществ. Эти регуляторы имеют ряд достоинств: простота конструкции, надежность в работе, несложность обслуживания. Однако им свойственны недостатки: громоздкость, необходимость герметизации гидрокommunikаций, ограниченность радиуса действия и др.

Гидравлические регуляторы наиболее часто применяются для автоматизации теплосиловых установок предприятий. Регуляторы со струйными усилителями работают на трансформаторном масле. Они реализуют И- и ПИ-законы регулирования.

На рис. 11—15 показана схема И-регулятора расхода. Полая струйная трубка 1 с сопловой насадкой может поворачиваться относительно оси 0 в вертикальной плоскости до упоров 4 или 4'. Во внутреннюю полость струйной трубки под давлением $7,84 \cdot 10^5$ — $9,8 \cdot 10^5$ Па подается масло, вытекающее из сопла со скоростью 25—30 м/с. Для подачи масла используется шестеренчатый насос 9 с электроприводом, он забирает масло из специального резервуара 8.

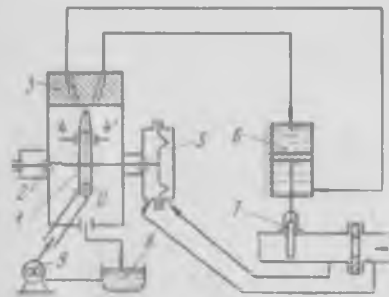


Рис. 11-15. Принципиальная схема гидравлического И-регулятора

На струйную трубку действуют встречные усилия: от чувствительного элемента — дифманометра, расходомера 5 (это усилие тем больше, чем больше расход в трубопроводе) и от задатчика 2, натяжение пружины которого изменяется с помощью специального винта и устанавливается

вручную пропорционально заданному значению расхода. Если заданное и текущее значения регулируемой величины равны, то равны усилия, действующие на струйную трубку, которая будет находиться в среднем положении. При этом масло, вытекающее из сопла сильной струей, будет бить в плоскость сопловой плитки 3, затем через слив попадет в резервуар 8, откуда вновь закачивается насосом 9 в трубку 1.

Предположим, что расход в трубопроводе превысил заданный. В этом случае усилие от чувствительного элемента дифманометра возрастет и струйная трубка повернется до упора 4', а сопло установится против правого канала сопловой плитки 3.

Через этот канал масло начнет поступать по трубопроводу на поршень исполнительного механизма 6, а задвижка 7 (регулирующий орган) будет перемещаться вниз, уменьшая расход. Как только усилия от задатчика и дифманометра уравниваются, струйная трубка вернется в исходное положение и действие регулятора прекратится.

Если расход в трубопроводе станет меньше заданного, то струйная трубка переместится до упора 4 и масло начнет поступать в нижнюю полость цилиндра исполнительного механизма 6, что приведет к перемещению задвижки 7 вверх и увеличению расхода.

Система элементов гидравлической регулирующей автоматики позволяет создавать развернутые системы управления и формировать сложные законы регулирующего воздействия. Основным звеном системы является гидравлический операционный усилитель. Здесь применен принцип компенсации сил на мембранах в сочетании с компенсацией расходов на дросселях.

11.6. Комбинированные регуляторы

Наряду с пневматическими и гидравлическими системами регулирования в промышленности применяются и **комбинированные системы**. Так, электронно-гидравлическая система автоматического регулирования «Кристалл» включает в себя измерительные преобразователи, транзисторные усилители, гидравлические исполнительные механизмы с электрогидравлическим преобразователем и устройством обратной связи. Основной особенностью системы «Кристалл» является сочетание электрических методов измерения с надежным гидравлическим исполнительным механизмом, работающим на водопроводной воде. Система «Кристалл» используется для автоматизации теплотехнических процессов в котельных малой и средней мощности, а также, например, при автоматическом регулировании процесса горения в топке хлебопекарной печи при применении двухпроводных горелок с принудительной подачей воздуха и соответствующем регулировании соотношения топливо — воздух. Система «Кристалл» позволяет создать регуляторы, вырабатывающие П-, И- и ПИ-законы регулирования.

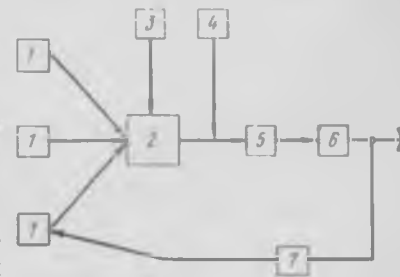


Рис. 11-16. Структурная схема электронно-гидравлического регулятора

Структурная схема электронно-гидравлического регулятора приведена на рис. 11—16. Сигналы от первичных преобразователей 1 в виде импульсов переменного тока поступают в транзисторный усилитель 2, где суммируются с сигналом от задатчика 3, усиливаются и подаются на обмотки электронно-гидравлического реле 5. Реле управляет гидравлическим исполнительным механизмом 6. Устройство обратной связи 7 преобразует перемещение вала исполнительного механизма в электрический сигнал, который поступает на вход усилителя. Кнопка 4 служит для дистанционного управления.

В комплекте с этими регуляторами могут работать первичные приборы; термометры сопротивления; манометры электрические, дистанционные типа МЭД и др.; электронные бесконтактные транзисторные усилители УТ, УТ-ТС и гидравлические исполнительные механизмы типа ГИМ, ГИМ-Д, ГИМ-И.

11.7. Исполнительные механизмы

Исполнительный механизм (ИМ) — это механизм, являющийся функциональным блоком, предназначенным для управления исполнительным органом в соответствии с командой.

В автоматических системах регулирования исполнительный механизм предназначен для перемещения затвора регулирующего органа. Исполнительные механизмы являются составной частью любой автоматической системы регулирования. От свойств исполнительного механизма зависит качество переходного процесса. Как правило, мощности управляющего сигнала недостаточно для непосредственного перемещения регулирующего органа, поэтому исполнительный механизм можно рассматривать как усилитель мощности, с помощью которого слабый входной сигнал, усиливаясь во много раз за счет энергии источника питания, передается на регулирующий орган.

Основными показателями качества и сравнительной оценки исполнительных механизмов разных типов являются быстродействие и точность.

Быстродействием называется величина, обратная времени перехода исполнительного механизма из одного установившегося состояния в другое под воздействием управляющего сигнала. При этом за одно установившееся состояние можно принять среднее положение исполнительного механизма (или одно из крайних), а за другое — максимальное отклонение (или другое крайнее положение).

Точностью называется величина, обратная максимально возможной ошибке установления исполнительного механизма в новое состояние равновесия.

Конструкция и принцип действия разнообразных исполнительных механизмов зависят от характера работы, которую они должны выполнять, и от рода используемой энергии.

Кроме указанных основных показателей характеристика исполнительных механизмов зависит от следующих параметров: номинальной нагрузки (момент или усилие, при котором исполнительный механизм работает с максимальной отдачей полезной мощности); максимальной нагрузки (наибольший момент или максимальное усилие, которое может передать исполнительный механизм); коэффициента полезного действия (отношение максимальной полезной мощности, получаемой на выходе исполнительного механизма, к мощности, получаемой от источника энергии при оптимальном режиме работы); зоны нечувствительности (область, в пределах которой изменение величины управляющего сигнала не приводит исполнительный механизм в движение).

Исполнительный механизм, работающий в автоматической системе регулирования, должен не только перемещать регулирующий орган, но и обеспечить это перемещение с возможно меньшими искажениями законов регулирования, формируемых регулятором.

В зависимости от **рода энергии**, которую потребляют исполнительные механизмы, они подразделяются на электрические,

гидравлические и пневматические. Наиболее широкое применение в пищевой промышленности получили пневматические и электрические исполнительные механизмы.

Пневматический ИМ работает за счет подвода к нему сжатого воздуха.

Электрический ИМ использует электрическую энергию. Электрические исполнительные механизмы работают в комплекте с электрическими и электронными регуляторами и делятся на электромагнитные (соленоидные) и электродвигательные.

Особенность электромагнитных механизмов заключается в том, что усилие, необходимое для перестановки регулирующего органа, создается за счет электромагнита. Электромагнитные механизмы применяются в основном в схемах двухпозиционного регулирования («Открыто» и «Закрыто»).

По принципу действия соленоидного привода электромагнитные исполнительные механизмы делятся на 2 группы.

1. С приводом, рассчитанным на длительное обтекание его катушки током. Недостатком их является постоянное потребление электроэнергии, а в случае аварийного падения энергии — произвольное срабатывание регулирующего органа.

2. С приводом, не рассчитанным на длительное обтекание его катушек током. Такой привод имеет две катушки: главный электромагнит — для открытия вентиля, и электромагнит, управляющий специальной защелкой, — для его закрытия.

На рис. 11—17, а показан общий вид фланцевого салникового вентиля СВ с электромагнитом ЭГ (электромагнит главный) и электромагнитной защелкой ЭЗ, на рис. 11—17, б — схема включения обмоток главного электромагнита и электромагнита защелки.

При подаче от регулятора импульса на открытие вентиля СВ (закрывается контакт «Больше») включается обмотка ЭГ, якорь втягивается в катушку соленоида и полностью открывает вентиль. Одновременно специальная защелка фиксирует якорь в этом положении, блокировочный контакт КГ размыкается и обмотка главного электромагнита обесточивается.

Когда регулятор дает команду на закрытие вентиля (закрывается контакт «Меньше»), по обмотке электромагнита ЭЗ начинает течь ток. Электромагнит освобождает защелку, и тарельчатый плунжер вентиля под действием собственной массы или возвратной пружины закрывается, разрывает блокировочный контакт КЗ и замыкает блокировочный контакт КГ. На случай отсутствия электроэнергии вентиль снабжен устройством ручного управления.

Благодаря высокому быстродействию электромагнитные исполнительные механизмы часто применяются в автоматических системах блокировки. Недостатком их является возможность возникновения гидравлических ударов в трубопроводах с жид-

костями, на которых установлены регулирующие органы с такими исполнительными механизмами.

Более рациональным, чем электромагнитный, является электродвигательный исполнительный механизм, состоящий из электродвигателя и редуктора.

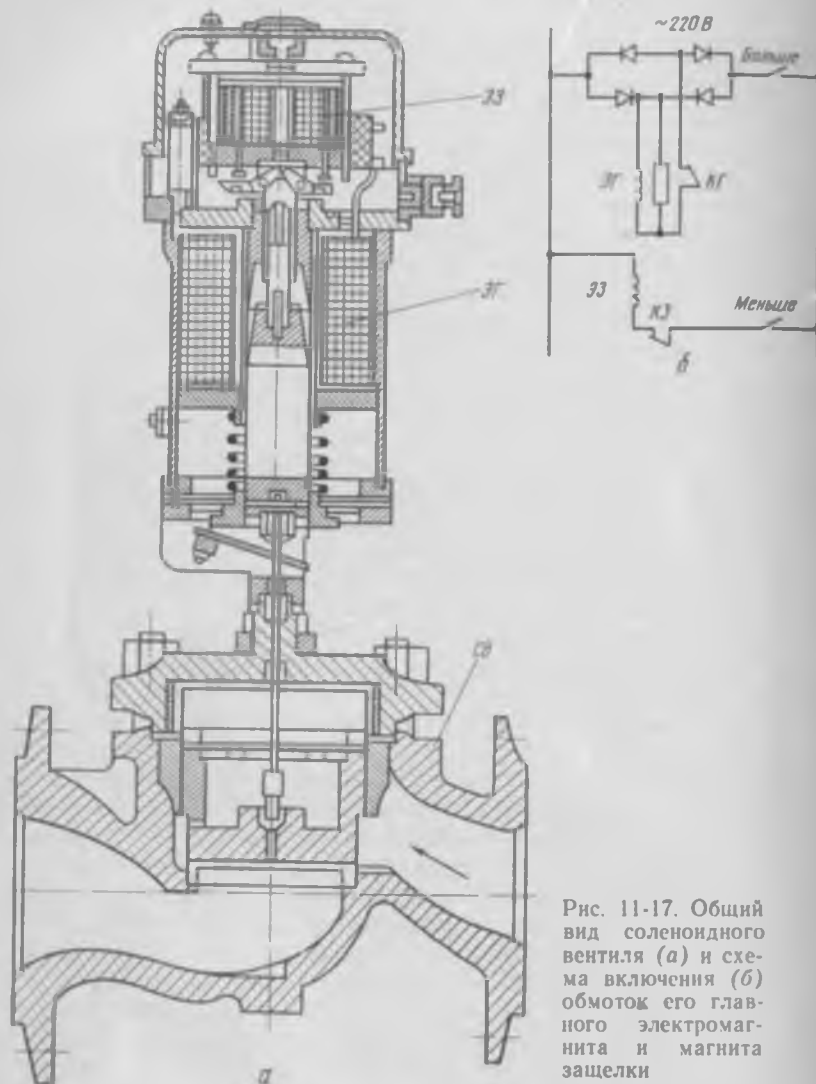


Рис. 11-17. Общий вид соленоидного вентиля (а) и схема включения (б) обмоток его главного электромагнита и магнита защелки

По характеру движения выходного звена электродвигательные исполнительные механизмы делятся на следующие виды: поворотные (однооборотные) ИМ, выходной элемент которых поворачивается по дуге (до 360°). Используются для при-

вода таких регулирующих органов, как заслонки, краны и т. п.

многооборотные ИМ, выходной элемент которых вращается (более 360°). Применяются для управления запорными регулирующими органами (вентильми, задвижками);

прямоходные ИМ, выходной элемент которых перемещается поступательно.

Общий вид и электрическая схема включения позиционного электродвигательного исполнительного механизма показаны на рис. 11—18.

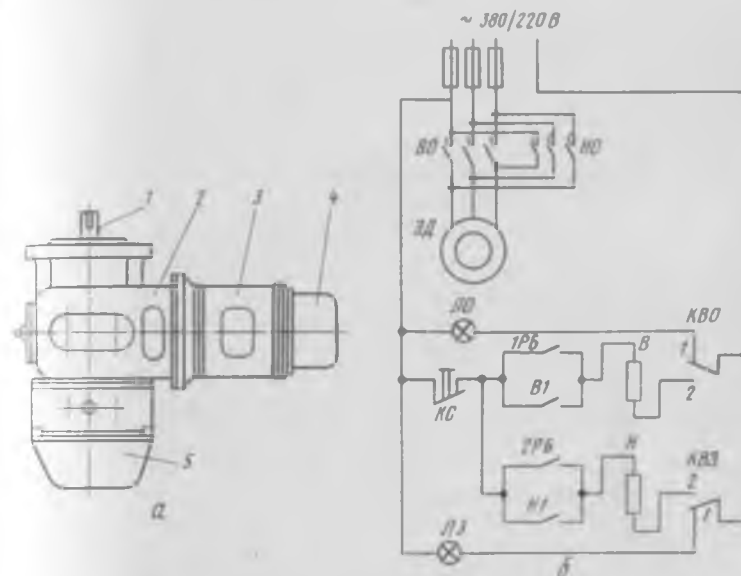


Рис. 11-18. Электродвигательный исполнительный механизм: а — общий вид; б — электрическая схема включения

Исполнительный механизм состоит из фланцевого электродвигателя 3, червячного редуктора 2, электромагнитного тормоза 4, корпуса с конечными выключателями 5, выходного вала редуктора для сочленения с регулирующим органом 1.

Открытие или закрытие регулирующего органа обеспечивается пуском электродвигателя при помощи контактов $1РБ$ и $2РБ$ реле регулятора, причем длительность подачи команды может быть очень мала. Если, например, замкнулся контакт $1РБ$, то по обмотке $В$ реверсивного магнитного пускателя потечет ток. В результате главные контакты $ВО$ пускателя включают в сеть электродвигатель ЭД. Блок-контакт $В1$ пускателя шунтирует контакт $1РБ$ регулятора, который может тут же разомкнуться, но цепь останется под током. Электродвигатель

перемещает регулирующий орган в сторону открытия. Как только регулирующий орган достигнет крайнего положения, путевой микропереключатель *КВО* переключит контакт из положения *1* в положение *2*, в результате чего по обмотке магнитного пускателя ток идти перестанет. При этом главные контакты *ВО* разомкнутся, двигатель остановится, а сигнальная лампа *ЛО* загорится, сигнализируя о полном открытии регулирующего органа.

При замыкании контакта *2РБ* регулятора по обмотке *Н* реверсивного магнитного пускателя потечет ток, замкнутся его главные контакты *НО* и блокировочный контакт *Н1*, ротор реверсивного двигателя *ЭД* начнет вращаться в другую сторону, регулирующий орган начнет закрываться. Когда он полностью закроется, путевой микропереключатель *КВЗ* переключит контакт из положения *1* в положение *2*, разомкнется цепь обмотки *Н* магнитного пускателя, двигатель остановится, а лампа *ЛЗ* загорится, сигнализируя о полном закрытии регулирующего органа.

Путевые микропереключатели *КВО* и *КВЗ* смонтированы внутри корпуса редуктора. Кнопка *КС* служит для аварийного останова электродвигателя *ЭД*.

В автоматических системах пропорционального регулирования электродвигательные исполнительные механизмы работают в комплекте с балансным реле.

Кроме электродвигательных исполнительных механизмов типов ДР, ПР, ИМ в пищевой промышленности применяются и другие одно- и многооборотные исполнительные механизмы. Однооборотный исполнительный механизм предназначен для работы в бесконтактных автоматических системах регулирования, многооборотный механизм — для привода запорных и регулирующих элементов в системах регулирования и управления. В последних используются трехфазные асинхронные двигатели, имеющие постоянную частоту вращения.

Бесконтактные исполнительные механизмы переменной частоты вращения предназначены для перемещения однооборотных регулирующих органов. При бесконтактном управлении электродвигателями используются магнитные, электронные и полупроводниковые усилители. Такое управление дает возможность легко получать постоянную и переменную частоту вращения электродвигателя, обеспечивает надежную работу механизмов.

Пневматические исполнительные механизмы работают с пневматическими регуляторами и выпускаются в двух модификациях — мембранные и поршневые.

Мембранный исполнительный механизм — исполнительный механизм, в котором перестановочное усилие хотя бы в одном направлении создается давлением рабочей среды в мембранной полости.

В мембранных исполнительных механизмах регулирующие дроссельные клапаны управляются поступательным перемещением штока или угловым перемещением рычага, шарнирно-связанного со штоком.

Схема мембранно-пружинного исполнительного механизма прямого действия приведена на рис. 11—19. Механизм состоит из эластичной мембраны 4, которая зажата между верхней 2 и нижней 6 крышками. Под мембраной находится металлический диск 3, являющийся жестким цен-

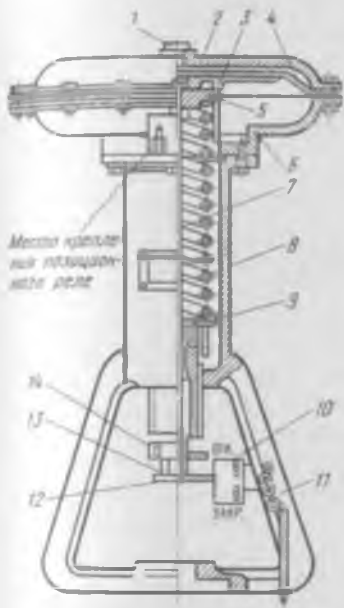
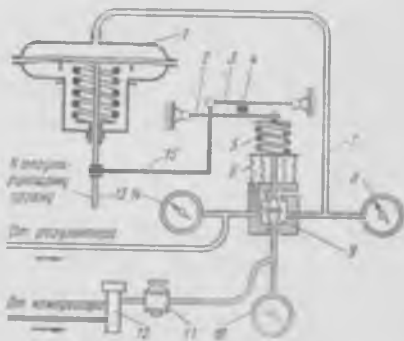


Рис. 11-19. Мембранно-пружинный исполнительный механизм

Рис. 11-20. Принципиальная схема позиционера



тром мембраны. Диск 3 закреплен со стаканом 5, в который упирается цилиндрическая пружина 8. Нижний конец пружины действует на опору 9 с шариковым подшипником, который предназначен для облегчения регулировки степени предварительного сжатия пружины гайкой 14 и предотвращения скручивания мембраны. К центру стакана 5 прикреплен шток 7.

Для крепления механизма к корпусу регулирующего органа предусмотрен кронштейн 11. Для определения перемещения штока 7 служат диск 12 и шкала 10. Шток 7 при помощи гайки 13 соединяется со штоком регулирующего органа. В крышке 2 имеется отверстие 1, через которое в камеру над мембраной поступает сжатый воздух от управляющего устройства или усилителя регулятора. Камера под мембраной сообщена с атмосферой. В исполнительном механизме происходит преобразование давления воздуха, поступающего в камеру над

мембраной, в усилие, сжимающее пружину 8, и в линейное перемещение штока 7.

При отсутствии давления воздуха в камере над мембраной пружина 8 прижимает мембрану 4 к выступам верхней крышки 2. Шток 7 в этом случае занимает крайнее верхнее положение. Если давление воздуха в камере будет выше атмосферного, то на мембрану 4 и ее жесткий центр будет действовать сила, которая сжимает пружину и перемещает подвижную систему механизма до тех пор, пока упругое противодействие пружины не станет равным ей по величине. При давлении воздуха около 98 кПа сжатие пружины будет максимальным и шток займет крайнее нижнее положение. При снижении давления воздуха в камере сила противодействия сжатой пружины окажется больше силы давления воздуха на мембрану. Пружина будет разжиматься и своим верхним концом передвигать подвижную систему механизма вверх до тех пор, пока не установится новое равновесие сил.

Рассмотренный мембранно-пружинный исполнительный механизм предназначен для работы с регулирующим органом клапанного типа. Конструкции современных мембранных исполнительных механизмов обеспечивают достаточную прямолинейность хода, т. е. их статические характеристики близки к линейным. Допустимая разница значения между прямым и обратным ходами не должна превышать 2 % полного хода штока.

Если силы трения на штоке мембранного исполнительного механизма велики, то качество его работы значительно ухудшается. В этом случае в систему регулирования вводится позиционер — дополнительный блок для уменьшения рассогласования путем введения обратной связи по положению выходного элемента исполнительного механизма.

На рис. 11—20 показана схема позиционера (позиционного реле), который работает следующим образом. Воздух от регулятора поступает в полость между сильфонами 6, давление его уравнивается пружиной 5. Дно сильфонов жестко связано с клапаном 9 пневматического усилителя. Воздух от компрессора через фильтр 12 и редуктор 11 поступает в камеру пневматического усилителя, которая соединена трубкой 7 с головкой 1 мембранного пневматического исполнительного механизма. Если давление воздуха от регулятора повышается, то сильфон пропорционально перемещает клапан 9 вверх. При этом увеличивается приток воздуха в камеру усилителя и уменьшается выход воздуха в атмосферу. Давление воздуха над мембраной в головке 1 исполнительного механизма возрастает, мембрана прогибается и шток 13 исполнительного механизма перемещает плунжер регулирующего органа.

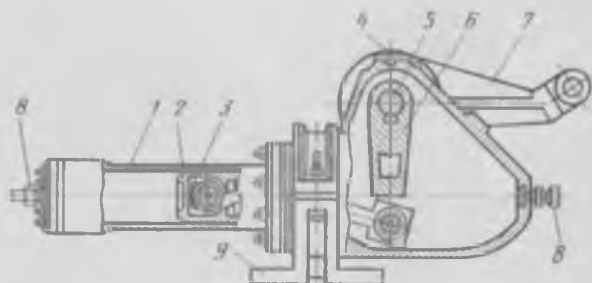
Жесткая обратная связь, состоящая из рычага 15, укрепленного на штоке 13 исполнительного механизма, и рычагов

2 и 3, увеличивает сжатие пружины 5 и восстанавливает равновесие в позиционном реле, перемещая клапан 9 в направлении, обратном первоначальному. Манометры 14, 10 и 8 служат для контроля за давлением воздуха в соответствующих линиях. Требуемый коэффициент обратной связи устанавливается подвижным шарниром 4.

Поршневой исполнительный механизм — исполнительный механизм, в котором перестановочное усилие создается давлением рабочей среды в поршневых полостях.

Поршневые ИМ отличаются от мембранных большей величиной перемещения рабочего органа и большим развиваемым усилием. Конструктивно поршневые исполнительные механизмы выполняются с цилиндром одно- и двустороннего действия.

Рис. 11-21. Гидравлический кривошипный исполнительный механизм



Гидравлический исполнительный механизм использует энергию жидкости, находящейся под давлением. Эти механизмы служат для преобразования сигнала (разности давлений масла), поступающего от гидравлического регулятора, в перемещение регулирующего органа. Они выпускаются двух типов: прямого хода с поступательным движением штока и кривошипные с поворотным валом.

Гидравлический исполнительный механизм прямого хода представляет собой цилиндр с поршнем. Конструкция кривошипного гидравлического исполнительного механизма представлена на рис. 11—21.

В цилиндре 1, который крепится к картеру, перемещается поршень 2. Поступательное движение поршня с помощью шатуна 3 и кривошипа 6 преобразуется во вращательное движение вала 5. Соединение шатуна с поршнем и кривошипом выполнено на шариковых подшипниках, что уменьшает трение и исключает возможность заеданий. На конце вала 5 укреплен диск, к которому болтами крепится приводной рычаг 7. В диске имеется несколько отверстий, благодаря которым приводной рычаг можно установить в любое положение, удобное для сочленения с регулирующим органом, не изменяя положения механизма.

Масло к полостям исполнительного механизма подводится через штуцер 8. Пробка 4 служит для удаления воздуха из полости картера. Механизм крепится с помощью плиты 9.

При разности давлений по обеим сторонам поршня возникает усилие, которое создает перестановочное усилие, вызывающее движение поршня, что в конечном счете приводит к вращению рычага 7 и перемещению регулирующего органа.

11.8. Регулирующие органы

Регулирующий орган — исполнительный орган, воздействующий на процесс путем изменения пропускной способности, — один из функциональных блоков исполнительного устройства, который состоит

из двух основных частей: затвор — подвижная часть регулирующего органа, перемещением которого достигается изменение проходного сечения и соответственно пропускной способности;

седло — неподвижная часть регулирующего органа, образующая вместе с затвором проходное сечение.

Для непрерывного и позиционного регулирования применяются регулирующие органы следующих типов:

заслоночные, односедельные и двухседельные клапаны, трехходовые клапаны, шланговые, диафрагмовые и др.

Односедельный регулирующий орган (рис. 11—22, а) — регулирующий орган, в котором изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением затвора вдоль оси прохода седла корпуса.

Односедельные клапаны в закрытом положении обеспечивают герметичное перекрытие потока. Однако затворы (плунжеры) односедельных клапанов испытывают большое выталкивающее усилие со стороны регулируемой среды и поэтому требуют более мощных исполнительных механизмов.

Двухседельный регулирующий орган (рис. 11—22, б) — регулирующий орган, в котором изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением затвора вдоль оси проходов двух седел корпуса. Преимуществом двухседельных регулирующих клапанов является наличие разгруженного затвора (плунжера).

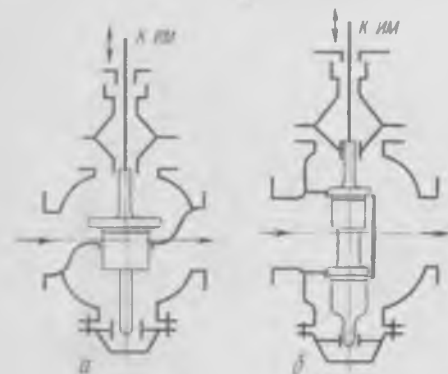


Рис. 11-22. Схемы односедельного (а) и двухседельного (б) регулирующих органов

Усилие, развиваемое регулируемой средой, благодаря перепаду давления на клапане действует одновременно (но в противоположных направлениях) на оба жестко связанных затвора.

При сравнительно небольших объемах потока и средних давлениях может устанавливаться односедельный клапан.

Размер клапана определяется диаметром присоединительных штуцеров корпуса. По конструкции присоединительных штуцеров корпуса клапанов делятся на резьбовые и фланцевые.

Резьбовое присоединение имеют клапаны размером до 50 мм, а фланцевое — свыше 50 мм. Корпусы кла-

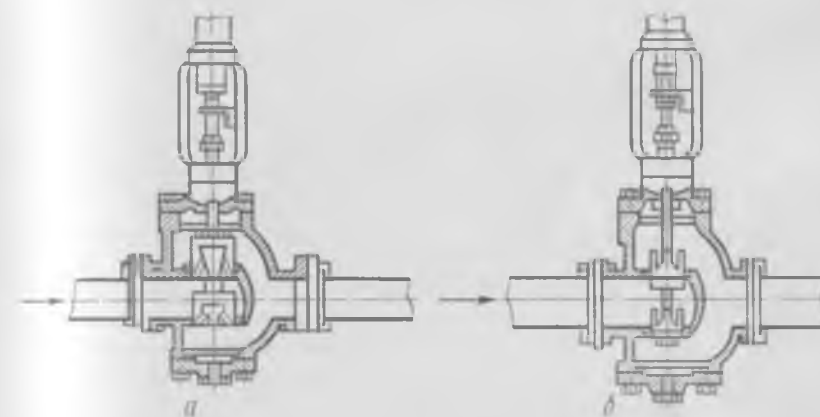


Рис 11-23. Клапаны прямого (а) и обратного (б) действия

панов изготавливаются из чугуна, углеродистой и легированной стали, седла и затвора — преимущественно из нержавеющей стали. Затворы клапанов имеют различную форму (тарельчатую, золотниковую и др.), определяемую его характеристикой и условиями работы.

Различают клапаны прямого и обратного действия. У клапанов прямого действия (рис. 11—23, а) при движении штока вниз проходное сечение уменьшается (клапан типа ВЗ), у клапана обратного действия (рис. 11—23, б) — увеличивается (клапан типа ВО). Привод клапанов прямого и обратного действия может быть одинаковым.

Клапаны применяются для регулирования средних расходов (4—1600 м³/ч) при условных проходах 25—30 мм, малых расходов (0,1—4 м³/ч) при условных проходах 6—25 мм и микрорасходов (менее 0,1 м³/ч) при условных проходах 10 мм и менее.

По значению условного давления выпускаемые одно- и двухседельные клапаны подразделяются на три модификации:

для низких давлений (до 1568 кПа), средних (от $2,4 \cdot 10^3$ до $15 \cdot 10^3$ кПа) и высоких (от $1,96 \cdot 10^4$ до $1,47 \cdot 10^5$ кПа).

Регулирующие клапаны устанавливаются на прямолинейных участках трубопровода. При их монтаже следует предусматривать обводные линии (рис. 11—24). Это необходимо для того, чтобы в случае неисправности клапана его можно было

Рис. 11-24. Схема установки регулирующего клапана на трубопроводе



выключить и пустить поток мимо него, регулируя вручную. В этом случае вентили с ручным управлением 2 и 2' закрывают, а вентиль 3 открывают, регулирующий клапан 1 оказывается отключенным. Подачу вещества к потребителю можно регулировать, изменяя вручную степень открытия вентилей 3.



Рис. 11-25. Схема трехходового регулирующего органа

Трехходовой регулирующий орган (смесительный, разделительный) — двухседельный регулирующий орган (рис. 11—25), в котором происходит изменение соотношения пропускных способностей, имеющий три присоединительных прохода, через которые один поток разделяется на два (разделительный) или два потока смешиваются в один (смесительный). При перемещении исполнительным механизмом штока с затворами в вертикальном направлении зазоры между затворами и седлами изменяются (один зазор увеличивается, другой уменьшается), что ведет к изменению расходов через эти клапаны.

Трехходовые клапаны применяются с пневматическими мембранными и электродвигательными исполнительными механизмами.

Шланговые регулирующие органы (рис. 11—26) отличаются тем, что регулируемое вещество проходит в них через эластичный патрубок (шланг), который, деформируясь, изменяет площадь проходного сечения, а следовательно, и расход. Применяются они для регулирования потоков самых разнообразных сред. В зависимости от вида среды эластичные патрубки изготавливаются из резиноканевой основы с внутренней съемной оболочкой из фторопласта-4 или полиэтилена.

Шланговые клапаны исключают застой продукта, обеспечивают быструю и удобную замену шланга. Однако их можно использовать при температурах регулируемых сред до 100 °С.

при невысоком давлении среды (до 980 кПа). В качестве привода используется мембранный пневматический исполнительный механизм.

Диафрагмовые регулирующие органы (рис. 11-27) изменяют свое гидравлическое сопротивление благодаря поступательному перемещению центра диафрагмы относительно седла, представляющего собой перегородку в корпусе. Применяются для регулирования потоков агрессивных жидкостей. Преимущество диафрагмовых регулирующих клапанов — возможность применения дешевых антикоррозионных материалов и отсутствие сальниковой конструкции. Корпус диафрагмового клапана

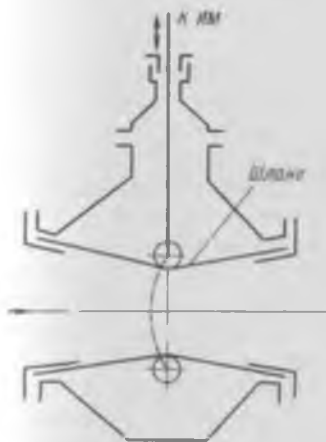


Рис. 11-26. Схема шлангового регулирующего органа

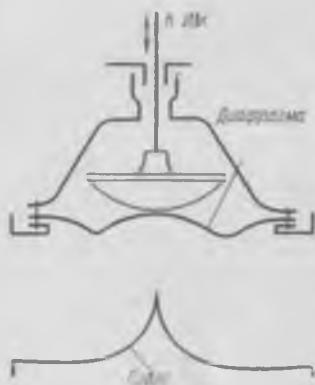


Рис. 11-27. Схема диафрагмового регулирующего органа

изготавливают из чугуна, а внутреннюю поверхность покрывают кислотостойкими материалами, диафрагма изготавливается из резины, полиэтилена или фторопласта.

Заслоночный регулирующий орган — регулирующий орган, в котором изменение пропускной способности достигается поворотом затвора (заслонки).

Заслонки в сравнении с другими регулирующими органами имеют небольшие габариты и массу, в открытом положении они создают небольшие гидравлические сопротивления (потери давления меньше), не создают застойных зон, где могут скапливаться пыль и грязь, меньше подвержены износу.

Основным элементом заслонки (рис. 11—28) является круглый диск 1, укрепленный на оси 2 и помещенный в корпус 3. Поворотом диска достигается изменение площади проходного сечения между заслонкой и трубопроводом. При положении диска в плоскости, перпендикулярной к оси трубопровода (угол поворота $\alpha=0$), проходное сечение равно нулю. По мере по-

ворота диска проходное сечение увеличивается. При $\alpha=90^\circ$ площадь проходного сечения достигает максимума.

Заслоночные регулирующие органы широко применяются для регулирования в среде газа и пара, но могут работать также в среде газов, содержащих твердые частицы, и в среде сыпучих гранулированных твердых материалов. Заслонки работают при условной пропускной способности $20\text{--}20\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ (условный проход $50\text{--}1000\text{ мм}$). Регулирующая заслонка не может служить запорным органом, так как при ее изготовлении предусматриваются увеличенные зазоры между корпусом и подвижной частью для уменьшения сил трения при перестановке.

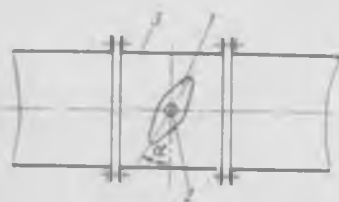


Рис. 11-28 Схема заслоночного регулирующего органа

Поворотные заслонки в промежуточном положении неуравновешены.

Шиберы (задвижки) применяются на круглых и других трубопроводах, несущих жидкости или газы. Для установки на трубопроводах с жидкостями применяются сложные конструкции задвижек, имеющих сальниковые уплотнения и притертую подвижную часть.

Клапаны выбираются в соответствии с характером их действия и особенностями технологического процесса, для регулирования которого они предназначены.

При установке регулирующих клапанов рекомендуют перед ними поддерживать постоянное давление и минимальный перепад давлений в трубопроводе. Регулирующий клапан не используется как запорный.

При выборе исполнительных устройств по пропускной способности определяют условную пропускную способность, диаметр условного прохода, вид пропускной характеристики (для плунжерных клапанов), рабочее давление, диапазон перепада давления на клапане или заслонке.

Условная пропускная способность κ_{vy} представляет собой номинальный расход жидкости (в $\text{м}^3/\text{ч}$) плотностью $1000\text{ кг}/\text{м}^3$, пропускаемой полностью открытым регулирующим органом при перепаде давления на нем 98 кПа ($1\text{ кгс}/\text{см}^2$).

Максимальное значение пропускной способности, достигаемое при 100% -ном перемещении затвора κ_{v100} , может отличаться от условного на $\pm 10\%$.

Условная пропускная способность κ_{vy} зависит от диаметра условного прохода регулирующего органа D_v и коэффициента α , зависящего от вида регулирующего органа: $\kappa_{vy} = \alpha D_v^2$.

Коэффициент α имеет следующие значения:

Для односедельных, трехходовых и диафрагмовых клапанов	0,012
Для двухседельных клапанов	0,016

Для заслонок
Для шланговых клапанов

0,02
0,05

Пропускной характеристикой называется зависимость пропускной способности от перемещения затвора: $\kappa_v = f(S)$, где S — ход затвора, мм.

Наиболее распространенные пропускные характеристики — линейная и равнопроцентная. Линейная характеристика — характеристика, при которой приращение пропускной способности пропорционально перемещению затвора (рис. 11—29, а).

Равнопроцентная пропускная характеристика — характеристика, при которой приращение пропускной способности по ходу пропорционально текущему значению пропускной способности (рис. 11—29, б).

Необходимая форма характеристики обеспечивается профилем затвора клапана. Клапаны одно-, двухседельные и трехходовые имеют линейную или равнопроцентную пропускную характеристику.

Рабочее давление P_p , т. е. допустимое при заданной рабочей температуре, устанавливается по условному допустимому давлению P_y , так как с повышением температуры прочность металлов понижается; для исполнительных устройств рабочие давления меньше условных.

Перепад давления ΔP на регулирующем органе определяет усилия, на которые рассчитываются все подвижные детали исполнительного устройства, а также износ дроссельных поверхностей.

Правильный расчет и выбор размера регулирующего органа определяется по значению условной пропускной способности. Для определения пропускной способности, выбора условного прохода и пропускной характеристики пользуются ГОСТ 16443—70.

Кроме пропускной характеристики, регулирующие органы имеют конструктивную характеристику и рабочую расходную характеристику.

Конструктивная характеристика — зависимость площади прохода между затворами и седлом регулирующего органа от перемещения затвора. Конструктивная характеристика клапана определяется только размером и геометрической формой затвора и не зависит ни от места его установки, ни от параметров рабочей среды.

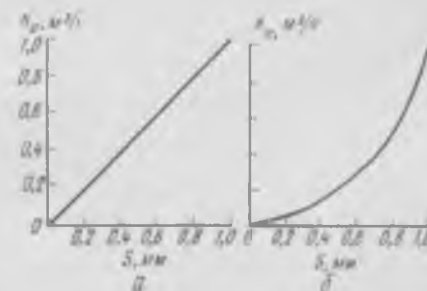


Рис. 11-29. Пропускные характеристики регулирующих органов:
а — линейная; б — равнопроцентная

Рабочая расходная характеристика — зависимость расхода в рабочих условиях от перемещения затвора. От формы расходных характеристик в значительной степени зависит качество регулирования.

Для нормальной работы автоматической системы регулирования необходимо, чтобы расходная характеристика регулирующего органа была возможно ближе к линейной.

Контрольные вопросы

1. В чем различие регуляторов прямого и косвенного, прерывного и непрерывного действия?
2. Объясните принцип работы регулятора прямого действия.
3. Охарактеризуйте систему ГСП «Каскад».
4. Каковы преимущества и недостатки пневматических регуляторов? Охарактеризуйте систему УСЭППА.
5. Объясните, на основе какой системы созданы и как работают регуляторы «Старт».
6. Когда применяют гидравлические и электронно-гидравлические регуляторы?
7. Чем характеризуются исполнительные механизмы?
8. Перечислите электрические исполнительные механизмы.
9. Что собой представляет позиционер и для чего он применяется?
10. Какие функции выполняет в АСР регулирующий орган и из чего он состоит?
11. В чем различие одно- и двухседельных регулирующих органов?
12. Каковы преимущества шланговых регулирующих органов?
13. Как выбираются и устанавливаются регулирующие органы?

РАЗДЕЛ III

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Глава 12. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОЕКТЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

12.1. Стадии проектирования и состав проекта

Проектная документация по разделу автоматизации технологических процессов в проектах строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий выполняется согласно Инструкции о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектов и смет на строительство предприятий, зданий и сооружений (СН 202—81, Госстрой СССР).

В соответствии с СН 202—81 проектирование можно вести в одну и две стадии.

Проектирование в две стадии — проект и рабочая документация — выполняется для крупных промышленных комплексов, а также в случаях применения новой неосвоенной технологии производства.

В одну стадию — рабочий проект — ведется проектирование для технически несложных объектов и для объектов, имеющих прототипы.

Проект представляет собой техническую документацию, состоящую из следующих разделов, в которых отражены принципиальные технические решения, затраты и экономическая эффективность автоматизации.

А. Текстовые материалы:

общая пояснительная записка, содержащая исходные данные для проектирования, краткую характеристику объекта, для которого проектируется автоматизация, обоснование принятых проектных решений в части автоматического регулирования, управления и сигнализации, обоснование применения несерийной аппаратуры, щитов и пультов и указания соответствия проекта действующим в стране нормам и правилам строительного проектирования, в том числе нормам по взрыво- и пожаробезопасности;

заказные спецификации, необходимые для размещения заказов на оборудование, и ведомости на приборы, арматуру, кабельные и другие изделия массового и серийного производства;

сводный сметный расчет стоимости приобретения и монтажа технических средств автоматизации;

технико-экономическая часть, включающая обоснование основных технико-экономических показателей и расчеты эффективности использованных в проекте новейших достижений науки и техники.

Б. Графические материалы:

схемы автоматизации производственных процессов, для которых выполняется проект автоматизации;

общие виды и планы расположения щитов и пультов (для новостроек и сложных производств);

принципиальная схема информационной увязки подсистем, структурная схема комплекса технических средств (для сложных систем);

принципиальные электрические схемы, организация связи (в необходимых случаях).

После утверждения проекта разрабатывается рабочая документация в соответствии с техническими решениями, принятыми в проекте.

В состав рабочей документации должны входить:

пояснительная записка;

заказные спецификации на приборы и средства автоматизации, электроаппаратуру, кабели и провода, трубопроводную арматуру, монтажные материалы, щиты и пульты, нестандартизованное оборудование, средства вычислительной техники;

объектные и локальные сметы;

структурные схемы контроля и управления комплекса технических средств (КТС);

схемы автоматизации технологических процессов;

принципиальные электрические (пневматические, гидравлические) схемы управления, сигнализации, измерения, регулирования и питания;

общие виды щитов и пультов;

монтажно-коммутационные схемы щитов и пультов;

схемы внешних электрических и трубных проводок;

направление трасс электрических и трубных проводок;

планы размещения средств автоматизации и вычислительной техники;

перечень типовых чертежей на установку средств автоматизации;

общие виды нестандартизованного оборудования.

При одностадийном проектировании в рабочий проект входят техническая документация, разрабатываемая в составе рабочей документации, а также сводный сметный расчет стоимости приобретения и монтажа технических средств систем автоматизации и технико-экономическая часть.

12.2. Основные принципы и правила построения схем автоматизации

Схема автоматизации является документом, определяющим структуру и характер автоматизации технологического объекта и оснащение его устройствами контроля и управления.

При выполнении схем автоматизации принята система построения буквенных обозначений контролируемых величин и функциональных признаков средств контроля и управления.

На схеме автоматизации условными изображениями показывают входящие в состав технологического объекта (процесса) оборудование и коммуникации, устройства контроля и управления, условные линии связи между технологическим оборудованием и устройствами контроля и управления.

При наличии однотипных объектов, не связанных между собой и оснащаемых одинаковыми приборами и средствами автоматизации, схему автоматизации выполняют для одного из них, при этом на чертеже дают пояснение, например: «Схема составлена для агрегата 1; для агрегатов 2—6 схемы аналогичны», с указанием особенностей в позиционных обозначениях (маркировке) и в перечне приборов и средств автоматизации, приведенном на схеме. Например: «В перечне указана аппаратура для шести агрегатов. Маркировка приборов и средств автоматизации для агрегатов 2—6 аналогична приведенной для агрегата 1 с изменением цифрового индекса соответственно номеру агрегата».

Технологическое оборудование и коммуникации автоматизируемого объекта изображают на схеме автоматизации упрощенно, но в такой степени, которая позволяет показать их взаимное расположение, взаимодействие между собой и связи средств автоматизации с объектом управления.

Допускается изображение отдельных узлов технологических объектов в виде прямоугольников с соответствующими наименованиями.

На технологических коммуникациях показывают клапаны, задвижки, вентили и прочие запорные и регулирующие органы, которые используются в системе контроля и управления процессами.

Технологическое оборудование и коммуникации изображаются в верхней части схемы. Внутри изображений технологических аппаратов или вне их приводят наименования в соответствии с технологической схемой.

На линиях трубопроводов должны сохраняться стрелки, указывающие направление потока вещества в соответствии с технологической схемой.

Для трубопроводов, на которых предусматривается установка отборных устройств и регулирующих органов, должны быть указаны диаметры условных проходов.

Приборы и средства автоматизации на схеме автоматизации показывают условными изображениями (см. приложение 1).

Обозначения электроаппаратов заимствуют из соответствующих стандартов ЕСКД. Измеряемые величины и функциональные признаки приборов обозначаются прописными буквами латинского алфавита (см. приложение 2). При отсутствии необходимых буквенных обозначений для этой цели используются резервные буквы с соответствующими пояснениями на каждой схеме автоматизации.

Приборы и средства автоматизации и их элементы, встраиваемые в технологическое оборудование и коммуникации или механически связанные с ними, изображают на схеме в непосредственной близости от технологического оборудования. Приборы и средства автоматизации, расположенные на щитах и пультах, показывают в прямоугольниках, изображающих щиты и пульты. В каждом прямоугольнике с левой стороны приводят его наименование: «Приборы местные», «Щит управления». Располагают их в нижней части поля чертежа в одном или нескольких горизонтальных рядах в соответствии с иерархией управления.

Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов и конструктивно не связаны непосредственно с технологическим оборудованием, показывают в прямоугольнике «Приборы местные».

Устройства телемеханики показывают на схемах в виде прямоугольников, которые располагают внутри прямоугольников щитов и местных приборов или вне их. При использовании в проекте нескольких устройств телемеханики каждому устройству присваивается свой отличительный номер. Связь приборов и средств автоматизации с устройствами телемеханики показывают линиями связи.

Вспомогательную аппаратуру и устройства, не влияющие на функциональную структуру автоматической системы, на схеме автоматизации не показывают.

Линии связи между приборами и средствами автоматизации на схеме изображаются однолинейно сплошными линиями независимо от характера и количества используемых каналов передачи информации.

Для сложных объектов, когда изображение непрерывных линий связи затрудняет чтение схемы, допускается их разрывать. При этом оба конца линий связи в местах разрыва нумеруются одной и той же арабской цифрой.

Линии связи должны четко отображать функциональные связи приборов и каналов передачи информации от начала прохождения сигнала до конца. У линий связи в нижней части чертежа указывают предельные возможные при эксплуатации значения измеряемых и регулируемых величин. Эти величины

указывают в Международной системе единиц (СИ) в соответствии со стандартом СЭВ 1052—78 «Метрология. Единицы физических величин».

Всем приборам и средствам автоматизации, изображенным на схеме автоматизации, присваиваются позиционные обозначения. Они однозначно определяют тип устройства и место его установки. Позиционные обозначения приборов и средств автоматизации состоят из двух частей: цифрового обозначения, присваиваемого комплекту, и буквенного обозначения, присваиваемого отдельным элементам, входящим в комплект.

На чертежах схем автоматизации на первых листах приводят перечень приборов и средств автоматизации, которым на схеме присвоены позиционные обозначения, таблицу условных обозначений и примечания. Перечень располагают на поле схемы в правом верхнем углу, он заполняется сверху вниз. Если схемой предусматривается использование нового технологического оборудования, то перечень этого оборудования помещается перед перечнем приборов по той же форме.

Пример оформления чертежа схемы автоматизации приведен на рис. 12—1 без таблицы условных обозначений и примечаний.

12.3. Основные принципы и правила построения схем управления и сигнализации

Принципиальные электрические схемы отражают принципы действия систем управления, сигнализации, измерения, регулирования и взаимодействие между отдельными элементами системы, а также способ электропитания приборов и средств автоматизации.

Исходными материалами для разработки принципиальных электрических схем являются схемы автоматизации и дополни-

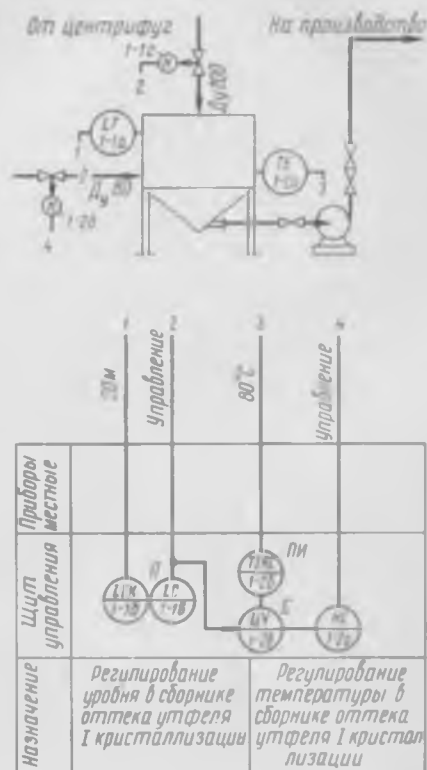


Рис. 12-1. Пример оформления чертежа схемы автоматизации

тельные требования, изложенные в задании на разработку принципиальных электрических схем.

На чертежах принципиальных электрических схем все элементы аппаратов располагают в соответствии с логикой действия схемы и последовательностью действия отдельных ее элементов.

Принципиальные электрические схемы служат для составления заказных спецификаций электроаппаратуры, уточнения общих видов щитов и пультов, схем подключения.

Принципиальные электрические схемы состояются обычно для участков автоматизируемой системы и содержат поясняющую технологическую схему, циклограмму работы либо схему блокировочных зависимостей; схемы силовых цепей; схемы общих цепей управления и цепей сигнализации; индивидуальные схемы управления электроприводами механизмов технологического процесса, входящих в систему автоматического управления и регулирования; необходимые пояснения и примечания.

Таблицы применимости следует располагать над теми схемами, к которым они относятся.

Все остальные элементы схемы располагают на свободном поле чертежа.

Перечень элементов помещают на первом листе чертежа принципиальной схемы, оформляя его в виде таблицы; если перечень элементов не умещается на первом листе, его выполняют на формате 11 в виде последующих листов чертежа принципиальной схемы (рис. 12—2).

Принципиальные электрические схемы питания рекомендуются выполнять отдельно для питающей и распределительной сети.

На чертежах принципиальных электрических схем следует применять условные графические обозначения по ГОСТам (перечень ГОСТов см. в приложении 3).

На чертежах принципиальных электрических схем коммутирующие устройства должны изображаться в отключенном положении, т. е. при отсутствии тока во всех цепях схемы и внешних принудительных сил, воздействующих на подвижные контакты.

Всем электрическим аппаратам и приборам присваиваются буквенно-цифровые обозначения. При этом если эти аппараты и приборы показаны на схеме автоматизации, то их обозначения должны совпадать. Если они не совпадают, тогда рядом с обозначениями аппаратов, приведенными на электрической схеме, в скобках приводят соответствующие обозначения по схеме автоматизации.

Контакты аппаратов, основной элемент которых изображен на другом чертеже, обводятся контуром, выполненным штриховой линией, контакты датчиков и приборов—окружностью, контакты реле, контакторов и других электрических аппаратов—

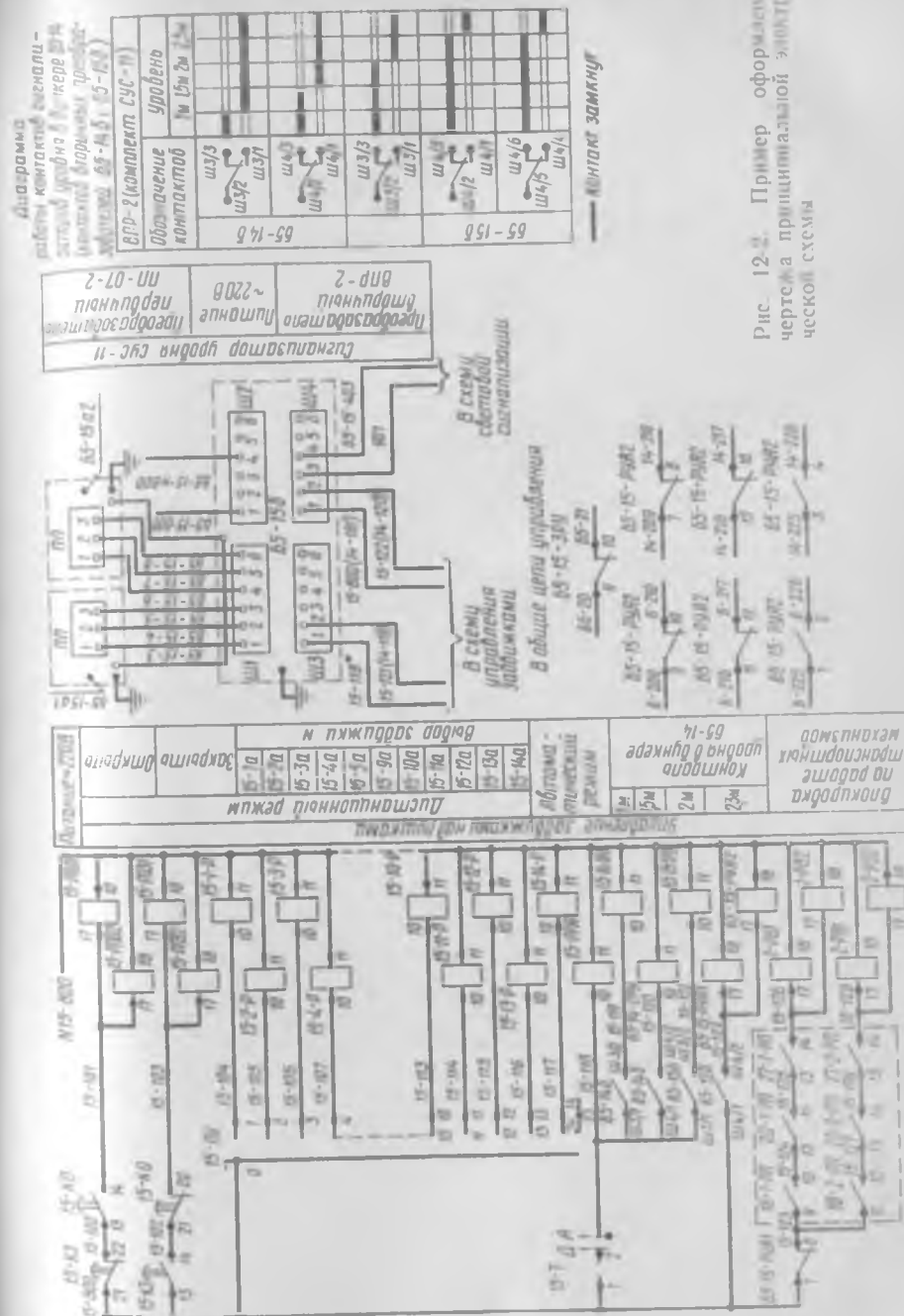


Рис. 12-2. Пример оформления чертежа принципиальной электрической схемы

прямоугольником со ссылкой на номер чертежа, на котором изображена катушка этого аппарата.

Если при проектировании системы управления и сигнализации используются комплектные устройства или приборы с относительно сложной схемой внутренних электрических соединений, то такие устройства и приборы показываются в виде прямоугольника с указанием входных и выходных клемм. При необходимости принципиальная электрическая схема такого узла изображается отдельно.

Все цепи, приведенные на электрических схемах, должны иметь маркировку. Основным требованием при маркировке электрических цепей является условие неповторяемости марок. Цепи управления, регулирования, измерения, сигнализации, питания маркируют последовательными числами в пределах функциональной цепи.

Принципиальная пневматическая схема питания разрабатывается на основе схемы автоматизации и дополнительных требований, изложенных в задании на обеспечение систем автоматизации сжатым воздухом. На основании принципиальных пневматических схем питания составляются заказные спецификации средств автоматизации и трубопроводной арматуры (не учтенной на схеме автоматизации), разрабатываются схемы трубных проводок и монтажные схемы щитов и пультов.

При проектировании систем пневмопитания выбирается источник питания сжатым воздухом, определяется расход воздуха для питания пневмоприемников (приборов, регуляторов, исполнительных механизмов), выбирается схема пневмопитания и проводится расчет воздухопроводной сети, выбираются необходимая аппаратура и трубопроводная арматура.

Источником сжатого воздуха для пневмоприемников являются компрессорные установки, в которых степень очистки и осушки сжатого воздуха должна соответствовать ГОСТ 13630—68. Источник сжатого воздуха должен обеспечить конечное давление сжатия, равное $10,8 + 0,051$ МПа.

На принципиальных пневматических схемах питания изображают: питающую сеть (линии связи от главного до распределительных коллекторов); индивидуальную сеть (линии связи от распределительных коллекторов до пневмоприемников); фильтры, редукторы, блоки питания воздуха; контрольные манометры, запорную арматуру, резервные и продувочные штуцера. На всех коллекторах и воздухопроводах от источника питания до запорного органа указывается давление условное P_y сжатого воздуха и диаметр условный D_y прохода труб. Сети пневмопитания рекомендуется выполнять из стальных оцинкованных водогазопроводных труб.

В соответствии со схемой автоматизации на принципиальной пневматической схеме питания приводятся тип, позиционное обозначение и наименование пневмоприемников.

В правом нижнем углу чертежа над штампом дается перечень средств автоматизации и трубопроводной арматуры, приведенной на чертеже принципиальной пневматической схемы питания и не учтенной на схеме автоматизации, с разбивкой на группы «по месту», «на щите».

12.4. Щиты и пульты контроля и управления

Средства контроля и управления технологическим процессом и вспомогательные устройства размещаются на щитах и пультах систем автоматизации, устанавливаемых вблизи технологического оборудования либо в специальных помещениях — диспетчерских, операторских.

Исходным материалом для выбора щитов и пультов и размещения на них средств контроля и управления являются: схемы автоматизации, принципиальные схемы регулирования, управления, сигнализации и питания; планы помещений, в которых предполагается установка щитов и пультов; монтажно-эксплуатационные инструкции на устанавливаемые приборы и аппаратуру.

Щиты и пульты должны соответствовать стандарту, предусматривающему следующую их номенклатуру:

- щиты шкафные полногабаритные типа ЩШ с задней дверью, двух- и трехсекционные, открытые с двух сторон, с правой или левой стороны, с передней и задней дверьми;

- щит шкафной малогабаритный типа ЩШМ;

- щиты панельные с каркасом типа ЩПК двух- и трехсекционные, закрытые с правой или левой стороны; вспомогательные элементы к ним;

- стативы двух- и трехсекционные, плоские;

- пульта типа П правые, левые, средние, с наклонной приборной приставкой; вспомогательные элементы для пультов.

Конструктивной основой для щитов, пультов и стативов является каркас. Он представляет собой металлический остов, на котором устанавливаются панели, стенки, двери, крышки, поворотные или стационарные рамы.

Щиты шкафные обычно размещают в производственных помещениях. В этих щитах устанавливают приборы и аппаратуру с открытыми токоведущими частями. Щиты шкафные с передней и задней дверьми применяются в качестве релейных щитов двустороннего обслуживания.

Щиты панельные и стативы устанавливаются в помещениях операторских и диспетчерских пунктов. При этом на стативах располагают вспомогательную аппаратуру (реле, преобразователи). Устанавливают стативы за щитом.

Стативы могут быть установлены и в производственных помещениях в качестве конструкций для установки на них датчиков.

Пульты применяются в качестве устройств для установки на них аппаратуры управления и сигнализации.

Ширина в свету проходов перед щитами и сзади щитов должна быть не менее 800 мм.

Приборы и средства автоматизации, устанавливаемые на фасадах щитов, рекомендуется размещать на следующих расстояниях (в мм) по высоте (от основания щита):

Показывающие приборы и сигнальная арматура	1000—1650
Регистрирующие приборы на оперативных щитах с приставными пультами	1100—1700
Аппаратура управления (переключатели, ключи и кнопки управления)	700—1500
Регистрирующие приборы на оперативных щитах без приставных пультов	900—1900

Взаимное расположение приборов и аппаратуры на щитах должно соответствовать определенным требованиям компоновки.

Приборы на щитах располагают с учетом технологического процесса. Поясняющие и функциональные надписи под приборами выполняются в рамках на чертежной бумаге или фотопленке.

Для облегчения работы оператора по управлению сложным технологическим процессом, удобства и наглядности часто на щиты наносят **мнемоническую схему** технологического процесса при помощи условных символов. Мнемосхемы выполняются на фасадной стороне щита, в верхней его части, либо на специальных панелях. Часто в символы мнемосхемы встраиваются приборы контроля и управления. Такие панели называются графопанелями. Символы мнемосхемы выполняются накладными из пластмассы, «светопроводниковых» стеклянных элементов или наносятся на щит краской.

При компоновке электро- и пневмоаппаратуры внутри щитов надо обеспечить удобство монтажа и эксплуатации.

Установку аппаратуры внутри щитов рекомендуется выполнять на следующих расстояниях (в мм) от основания щита:

Источники питания, пускатели, реуны	1700—1975
Выключатели, предохранители, автоматы, розетки	700—1700
Реле	600—1900
Аппаратура пневмопитания	300—700
Функциональные блоки, регуляторы, преобразователи	600—1900
Переборочные соединения	500—1975
Сборки коммутационных зажимов	350—800

Электрические проводки внутри щита выполняются обычно проводом марки ПВ открыто жгутами или в пластмассовых коробах. Электрические проводки должны располагаться в левой части монтажной стороны щита. Трубные проводки выполняются пластмассовыми или металлическими трубами размером 6×1 мм и 8×1,6 мм и размещаются в правой части монтажной стороны щита.

Щиты полногабаритные, стативы и пульты устанавливаются на твердом основании на анкерных болтах или закладной металлической раме. Малогабаритные щиты в зависимости от исполнения имеют настенный монтаж на закладных конструкциях или напольный монтаж на стойках.

Контрольные вопросы

1. Перечислите стадии проектирования и основные материалы, входящие в состав проекта автоматизации технологических процессов.
2. Приведите условные обозначения на схемах автоматизации чувствительных элементов температуры, давления, расхода, установленных по месту, и показывающих приборов, установленных на щите.
3. Назовите принцип присвоения позиционных обозначений приборам и средствам автоматизации.
4. В каком порядке располагаются основные схемы и пояснения, приводимые на принципиальных электрических схемах?
5. В каком положении изображаются коммутирующие устройства, приведенные на принципиальных электрических схемах?
6. Каков принцип разработки принципиальных пневматических схем питания?

Глава 13. СРЕДСТВА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ И ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

13.1. Основные понятия

Все средства вычислительной техники можно подразделить на четыре вида: машины централизованного контроля, вычислительные машины общего назначения, специализированные вычислительные машины, управляющие вычислительные машины.

Машины централизованного контроля представляют собой быстродействующие многоточечные цифровые измерительные системы, обеспечивающие контроль технологических параметров и сигнализацию выхода их за установленные пределы.

Регистрация и вычисления выполняются над величинами, представленными в цифровой форме. Поэтому в машине централизованного контроля всегда имеется цифровой преобразователь, который преобразует аналоговый сигнал в цифровой код.

Вычислительные машины общего назначения и специализированные вычислительные машины не применяются для управления технологическими процессами и здесь не рассматриваются.

Управляющие вычислительные машины используются в качестве центрального звена автоматизированной системы управления технологическим процессом. Они обеспечивают автоматический прием и обработку информации, поступающей в процессе управления, и выдачу управляющей информации непосредственно на исполнительные органы или человеку-оператору.

Наряду с термином «управляющая вычислительная машина» также применяют термин «управляющий вычислительный комплекс» (УВК).

В последние годы вместо отдельных управляющих вычислительных машин создаются **агрегатные средства вычислительной техники (АСВТ)**, позволяющие компоновать УВК для систем управления технологическими процессами. УВК представляют собой агрегатную систему технических и программных средств, нормативного, методического, эксплуатационного обеспечения и стандартов.

Базу УВК составляют технические и программные средства, которые в комплексе позволяют решать требуемые задачи.

Основной номенклатурной и структурной единицей технических средств АСВТ является агрегатный модуль. Агрегатный модуль — это изделие, которое имеет унифицированные внешние связи, выполняет какие-либо функции по обработке или хранению информации, преобразованию физических сигналов и т. п. и является элементарной единицей при компоновке проектным путем информационной системы.

Полный набор технических средств УВК делится на следующие основные группы: вычислительные и системные периферийные устройства; устройства связи с объектом (УСО); устройства связи оператора с техническими средствами УВК; устройства передачи данных (УПД), мультисистемные средства.

Вычислительные устройства обеспечивают вычислительный процесс и связь с программистом. Сюда относятся процессор, все виды запоминающих устройств, как внутренних, так и внешних.

Системные периферийные устройства включают перфоленточные устройства ввода-вывода, печатающие устройства, графические и алфавитно-цифровые устройства ввода-вывода, таймеры с широким диапазоном отсчета времени.

Устройства связи с объектом объединяют агрегатные модули, с помощью которых обеспечивается обмен информацией вычислительного комплекса с датчиками, исполнительными механизмами, индикаторами и другими устройствами.

Группа устройств связи оператора с техническими средствами УВК состоит в общем случае из набора различного вида демонстрационных экранов, регистраторов, клавиатур, пультов ручного ввода информации, обеспечивающих организацию рабочего места оператора.

Устройства передачи данных обеспечивают в основной связи УВК различных уровней иерархии. Обмен информацией осуществляется обычно по выделенным физическим параметрам и стандартным телефонным каналам.

Мультисистемные средства УВК объединяют устройства сопряжения и коммутации, которые позволяют создавать многомашинные и многопроцессорные УВК различной сложности для достижения высокой производительности и надежности. Они обеспечивают должным образом локальные сое-

динения между собой процессоров или машин одного или различных типов.

Важной частью УВК являются программные средства. Совокупность программных средств, обеспечивающих пользователю при наличном оборудовании эксплуатацию машины (УВК, системы машин) и всех ее устройств, называют программным обеспечением (ПО), ПО подразделяется на внутреннее и внешнее. Внутреннее программное обеспечение включает систему автоматизации программирования, операционные системы (ОС), систему функционального контроля. Внешнее программное обеспечение образуют пакеты прикладных программ, содержащие библиотеку прикладных программ, и специализированные программные системы.

Операционные системы (ОС) УВК ориентируются на использование как оперативной памяти (ОП), так и внешней памяти различного типа.

По составу оборудования УВК подразделяются на базовые, типовые и специфицированные.

Базовый комплекс — стандартный минимальный комплекс для поставки потребителю. Он используется в основном при компоновке типовых и специфицированных комплексов. В его состав входит программное обеспечение УВК.

Типовой комплекс является наиболее используемым в настоящее время УВК общего назначения и рассчитан на решение типовых задач.

Специфицированные комплексы предназначены для конкретного применения и komponуются по спецификации заказчика.

С созданием УВК для систем автоматизации появились новые технические средства, позволяющие с высокой эффективностью одновременно управлять десятками и сотнями объектов.

Универсальность, высокое быстродействие, гибкость логики, значительный объем памяти и широкая номенклатура технических средств для связи с объектом (УСО), сопряжения с человеком, организации межмашинных связей позволяют УВК обрабатывать огромные объемы информации и реализовывать весьма сложные алгоритмы контроля и управления технологическими процессами, которые при отсутствии управляющих вычислительных комплексов реализовать было бы практически невозможно.

Первые работы по использованию УВК для управления производством относятся к началу 60-х годов. Однако несовершенство элементной базы, на которой создавались УВК, делали эти устройства громоздкими, энергоемкими, мало надежными и дорогими. Эти обстоятельства сдерживали распространение УВК. В начале 70-х годов были созданы первые УВК так называемого третьего поколения, построенные на интегральных микросхемах. Указанные УВК были лишены большинства упомяну-

тых недостатков, что в сочетании с достигнутыми успехами в области организации вычислительного процесса способствовало интенсивному созданию АСУ ТП пищевых производств.

Наиболее массовым представителем УВК третьего поколения из агрегатированных средств вычислительной техники (АСВТ. М) является УВК М-6000, который изготавливается на интегральных схемах малой степени интеграции. К следующему поколению УВК относятся системы малых ЭВМ (СМ ЭВМ), наиболее массовыми представителями которых являются УВК СМ-1, СМ-2, СМ-3 и СМ-4. Совершенствование этой группы УВК привело к созданию второй очереди СМ ЭВМ (СМ-2М, СМ-1210, СМ-1410, СМ-1420) на базе больших интегральных схем (БИС) и микропроцессорных наборов. Расширение функциональных возможностей элементной базы и одновременное ее удешевление позволили создать микро-ЭВМ (СМ-1800, СМ-1, КТС ЛИУС-2, серия «Электроника»), которые эффективно используются в АСУ ТП на нижнем уровне управления.

Исторически сложились две архитектурные линии мини-ЭВМ, в основе которых лежит различная идеология построения вычислительных систем. Наиболее массовая в настоящее время группа мини-ЭВМ начала свое существование с 1972 г. Первым представителем этой группы являлся УВК М-6000, на базе которого создавались АСУ ТП в сахарорафинадном, маслоэкстракционном, маргариновом и спиртовом производствах. Впоследствии этот УВК морально устарел и был заменен УВК СМ-1 и СМ-2 и их модификациями. Внутри этой группы УВК обеспечивается техническая и программная совместимость по принципу «снизу вверх». Дальнейшее развитие этой архитектурной линии привело к разработке УВК следующих поколений (СМ-1210 и т. п.).

Вторая группа УВК, в которой используется интерфейс «общая шина», начала свое существование с 1975 г. Первым представителем этой группы является УВК М-400, который ориентировался в основном на применение при управлении научным экспериментом. Этот УВК также морально устарел и снят с производства. Архитектурную линию «общей шины» продолжили УВК СМ-3 и СМ-4, которые обеспечивают техническую и программную совместимость с УВК М-400. Результатом развития УВК М-400, СМ-3 и СМ-4 являются комплексы СМ-1410 и СМ-1420, которые, как и УВК СМ-1210, аккумулируют все последние достижения в области конструирования УВК и организации вычислительного процесса.

13.2. Управляющие вычислительные комплексы, построенные на интегральных микросхемах

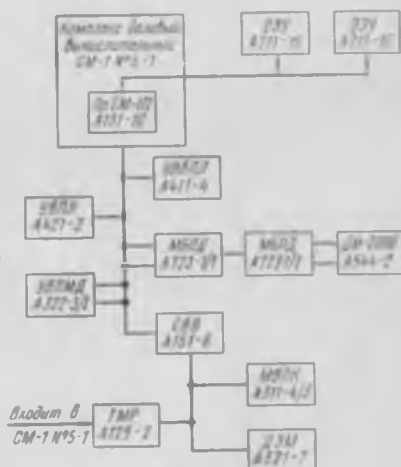
Управляющий вычислительный комплекс СМ-1 предназначен для использования на нижнем уровне сложных иерархических систем управления. Производительность — до 400 тыс. ариф-

метических операций в секунду. Максимальный объем оперативной памяти — 32 кслова. Имеет развитую архитектуру, ориентированную на различные области применения. Наибольшее распространение комплексы получили в АСУ ТП.

Структурная схема ядра вычислительных комплексов СМ-1 приведена на рис. 13-1. Процессор СМ-1П выполнен в виде автономного комплексного блока, в котором размещаются собственно процессор, включая микропрограммную память процессора, канал прямого доступа в память и инженерную панель; блок управления оперативной памятью, обеспечивающий подключение до 16 кслов памяти; до четырех ОЗУ общей ем-

Рис. 13-1. Структурная схема УВК СМ-1.

ПрСМ-1П — процессор; ОЗУ — устройство оперативной запоминающей; УВПП — устройство ввода с перфокарты; УВПП — устройство вывода на перфокарту; МБПД — модуль быстрой передачи данных; ДМ-2000 — дисплейный модуль; УВПМД — устройство внешней памяти на магнитных дисках; СВВ — согласователь ввода-вывода; МВПК — модуль внешней памяти кассетный; ТМР — таймер; ДЗМ — устройство последовательной печати



костью 16 кслов; до 10 интерфейсных блоков периферийных устройств, выходящих на интерфейс 2К; источник питания, вентиляторы.

Устройство оперативной памяти (УОП) позволяет расширить объем оперативной памяти до 32 кслов. Устройство постоянной памяти (УПП) обеспечивает возможность хранения в ней постоянных программ и констант и расширяет объем памяти до 32 кслов. Конструктивно УОП и УПП выполнены в виде автономных блоков. Интерфейсный блок устанавливается в процессоре.

Для увеличения числа подключаемых к процессору СМ-1П периферийных устройств можно использовать до трех согласователей ввода-вывода (СВВ), в каждом из которых имеется 16 выходов на интерфейс 2 К.

Имеется семь типовых комплексов, на базе которых могут создаваться управляющие вычислительные комплексы по индивидуальному проекту.

Управляющий вычислительный комплекс СМ-2 предназначен для использования на верхнем уровне в сложных иерархических

системах управления. Производительность — до 450 тыс. арифметических операций в секунду. Производительность УВК может быть значительно повышена за счет применения двухпроцессорных комплексов и использования аппаратных каналов прямого доступа в память (КПДП). Максимальный объем оперативной памяти — 128 кслов. Имеет развитую архитектуру, ориентированную на различные области применения.

Основные преимущества СМ-2 (при выборе между СМ-1 и СМ-2): более высокая производительность, большой объем опе-

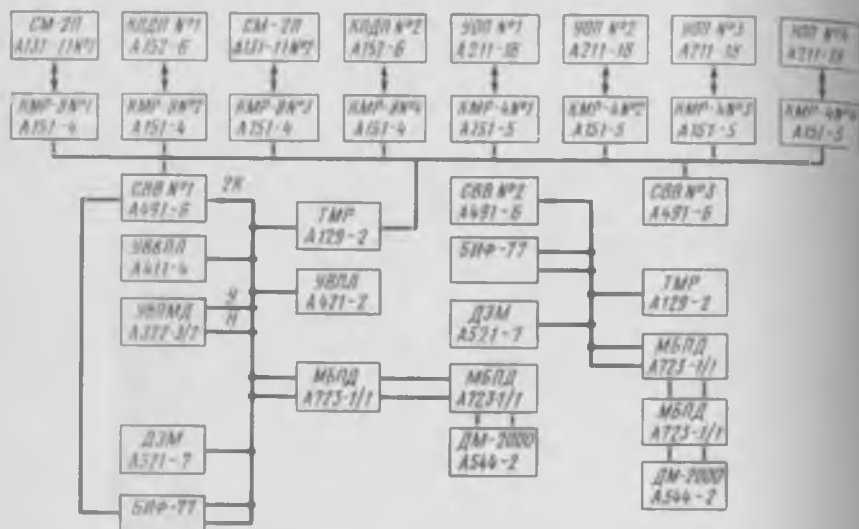


Рис. 13-2. Структурная схема УВК СМ-2:

СМ-2П — процессор; КПДП — канал прямого доступа в память; УОП — устройство оперативной памяти; КМР-8 — коммутатор восьмиканальный; КМР-4 — коммутатор четырехканальный; БИФ-77 — блок интерфейсный; остальные обозначения те же, что на рис. 13-1

ративной памяти, очень высокая живучесть, достигаемая в двухпроцессорном комплексе.

Структура комплекса СМ-2 komponуется в соответствии с рис. 13-2.

Процессор СМ-2П выполнен в виде автономного блока с инженерной панелью, в котором размещаются собственно процессор, оперативная память, источники питания и вентиляторы, а также коммутатор восьмиканальный, с помощью которого осуществляется связь процессора с устройством оперативной памяти (УОП) и согласователями ввода-вывода (СВВ).

В комплект поставки процессора входит блок контроля, предназначенный для связи с другим процессором, в комплексе с таймером с целью взаимоконтроля процессоров.

Для конкретного применения СМ-1, СМ-2 определяется логическая компоновка комплекса, под которой понимается выбор агрегатных модулей и определение информационных связей между ними.

В зависимости от назначения СМ-1 и СМ-2 поставляются заводом-изготовителем как базовые, типовые и специфицированные. Общий вид базового комплекса УВК СМ-2 приведен на рис. 13—3. Номенклатурой предусмотрен выпуск семи комплексов, состав которых выбран таким образом, чтобы при компо-

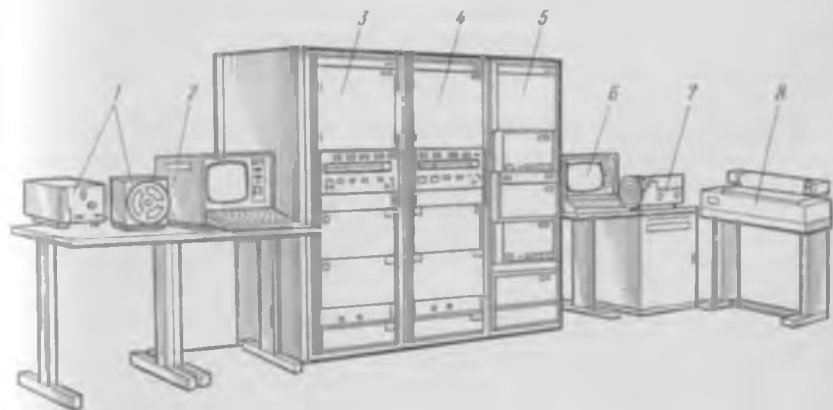


Рис. 13-3. Общий вид базового комплекса УВК СМ-2:

1 — устройство ввода с перфокарт; 2 и 6 — модуль дисплейный; 3 — шкаф процессора; 4 — шкаф процессора; 5 — шкаф с устройством внешней памяти на магнитных дисках; 7 — устройство вывода на перфокарт; 8 — устройство последовательной печати

новке специфицированных комплексов отсутствовала избыточность в поставляемых средствах, а объем дополнительно подключаемых модулей был по возможности минимальным.

Управляющий вычислительный комплекс СМ-2М представляет собой модернизированный УВК СМ-2. Предназначен для использования на верхнем уровне в сложных иерархических системах управления. Производительность его на 13 % выше, чем СМ-2.

Модернизация УВК СМ-2 производилась с целью создания более технологичной конструкции и улучшения его эксплуатационных характеристик при сохранении полной программной совместимости с СМ-2. В результате модернизации процессор и КПП объединены в один модуль и размещаются в одном автономном комплектном блоке. Оперативная и постоянная память выполнены на микросхемах. Это позволило сократить число разъемов и системных жгутов в базовой части комплекса, сократить его габариты и повысить живучесть.

Производительность УВК может быть повышена за счет использования двух процессоров и двух КППД. Производительность последних повышена при работе в мультиплексном режиме (через согласователь ввода-вывода) в 1,75 раза по сравнению с СМ-2. Максимальный объем оперативной памяти — 128 кслов. Расширена номенклатура типовых и базовых комплексов, что позволяет в некоторых случаях (при одном процессоре и оперативном запоминающем устройстве на 32 кслова) заменять этими комплексами УВК СМ-1 без большой разницы в стоимости.

Управляющий вычислительный комплекс СМ-2М имеет развитую архитектуру, ориентированную на различные области применения, может использоваться вместо СМ-2 в проектах без их переработки.

Управляющий вычислительный комплекс СМ-4 первоначально ориентировался на использование при управлении научным экспериментом, а с 1981 г. начаты работы по развитию возможностей его использования в АСУ ТП. Производительность — до 800 тыс. операций в секунду. Планируется освоение в серийном производстве двухпроцессорных УВК. Максимальный объем оперативной памяти — 124 кслова. В настоящее время интенсивно ведутся работы по расширению функциональных возможностей УВК СМ-4 путем создания новых устройств и программных средств. Для расширения области применения этого УВК освоено производство согласователя «Общая шина — 2К» (А71117), с помощью которого можно подключать к УВК СМ-4 устройства связи с объектом (УСО) УВК СМ-1 и СМ-2. Предполагается, что УВК СМ-4 станет в ближайшее время самым массовым в стране. Однако в настоящее время использование его в АСУ ТП ограничивается отсутствием необходимого программного обеспечения, хотя бы равноценного имеющемуся у СМ-1 и СМ-2.

В качестве устройств связи с объектом планируется также использовать терминалы связи с объектом (ТСО) шести модификаций (ТСО-1 — ТСО-6). ТСО-1 обеспечивает ввод информации от 64 до 256 аналоговых и дискретных датчиков и связь с УВК на расстоянии до 500 м; ТСО-2 расширяет возможности ТСО-1 до 600 каналов ввода аналоговой и дискретной информации и имеет возможность выноса терминалов на десятки километров; ТСО-3 предназначен для сбора, обработки и выдачи управляющих воздействий в территориально-распределенных системах управления; ТСО-4 — для непосредственного цифрового управления в АСУ ТП; ТСО-5 — для автоматизированных систем управления дискретными производствами; ТСО-6 — для использования в АСУ ТП и имеет пылевлагозащищенное исполнение. В основе конструкции всех ТСО лежит микро-ЭВМ СМ-1800. Объем ОЗУ и быстродействие соответствуют техническим возможностям этой ЭВМ.

13.3. Управляющие вычислительные комплексы, построенные на микропроцессорных наборах

Появление больших интегральных схем (БИС) и микропроцессорных наборов привело к созданию микро-ЭВМ, имеющих технико-экономические показатели, при которых стало возможным их массовое использование в системах управления технологическими процессами.

Все микро-ЭВМ разделяются на многоплатные, одноплатные и однокристальные. В настоящее время промышленность освоила производство первых двух групп микро-ЭВМ.

Микро-ЭВМ «Электроника С-5». Эта группа содержит несколько микро-ЭВМ (С5-11, С5-12, С5-21, С5-01, С5-02), выполненных в виде многоплатных и одноплатных конструкций. Соответственно различаются технические характеристики: производительность от 10 до 180 тыс. операций в секунду, объем ОЗУ от 128 слов до 10 кслов. Имеется ограниченная номенклатура УСО и периферийного оборудования.

В настоящее время продолжается развитие этого ряда микро-ЭВМ и разработана одноплатная микро-ЭВМ С5-41, имеющая производительность 10^6 операций в секунду и максимальный объем ОЗУ до 4 кслов.

Микро-ЭВМ «Электроника-НЦ». Предназначена для построения информационно-управляющих систем. Имеется несколько модификаций (НЦ-М, НЦ-2, НЦ-ОЗД, НЦ-ОЗТ и т. п.). Быстродействие — от 100 тыс. до 1,1 млн. операций в секунду. Объем ОЗУ до 64 кслов. В НЦ-ОЗД и НЦ-ОЗТ используется программируемый интерфейс ЕС, ОШ или 2К.

Микро-ЭВМ имеют высокие технические характеристики, но отсутствуют опыт их широкого использования в АСУ технологическими процессами.

Микро-ЭВМ «Электроника-60». Предназначена для использования в АСУ ТП. Имеет несколько исполнений (15ВМ-16-002, 15ВМ-16-004, 15ВМ-16-005). Быстродействие — 250 тыс. операций в секунду. Объем ОЗУ от 4 до 25 кслов. Обеспечивается программная совместимость с мини-ЭВМ СМ-4.

Микро-ЭВМ СМ-1800. Предназначена для управления производственными процессами и агрегатами и для подготовки данных. Варианты конструктивной реализации модели ориентированы на использование в производственных помещениях, лабораториях и конторах, а также на встраивание в агрегаты. Может использоваться в качестве активного УСО УВК СМ-4. Номенклатура УСО для СМ-1800 пока ограничена, но планируется значительное ее расширение. Компонуется по спецификации заказчика.

Функционально микро-ЭВМ состоит из набора модулей и устройств, подключенных к системному интерфейсу. Набор блоков и устройств позволяет реализовать различные конструктив-

ные компоновки, ориентированные на конкретные области применения.

Для автоматизации производственных установок и технологических процессов применяется вариант, содержащий одну или несколько стоек, в которых установлены базовая ЭВМ СМ-1803, необходимое количество блоков расширения и кросс во встраиваемом исполнении.

Основными конструктивными единицами модели являются блок элементов (БЭ) — печатная плата с размещенными на ней электрорадиокомпонентами; блок монтажный, предназначенный для установки 10 БЭ; блок автономный комплектный (АКБ) с размещенными в нем двумя блоками монтажными, источниками электропитания и вентиляцией.

Базовая ЭВМ СМ-1803 состоит из АКБ; модуля центрального процессора, содержащего 2 кслова постоянной и 1 кслов оперативной памяти; модуля системного контроля, выполняющего контроль запросов прямого доступа к памяти и устройствам ввода-вывода. Может содержать также алфавитно-цифровой видеотерминал, алфавитно-цифровое печатающее устройство и др. Быстродействие микро-ЭВМ — до 500 тыс. операций в секунду. Объем ОЗУ до 32 кслов. Стоимость комплексов определяется его функциональными возможностями и составляет от 25 до 35 тыс. руб. Данная микро-ЭВМ должна стать самой массовой в стране.

КТС ЛИУС-2 (комплекс технических средств локальных информационно-управляющих систем). Предназначен для построения локальных автоматизированных систем управления отдельными установками, агрегатами (группами агрегатов) и технологическими процессами с малым и средним числом контролируемых и управляемых параметров. Может использоваться в качестве активного УСО УВК СМ-1 и СМ-2. Имеет самую развитую в настоящее время номенклатуру устройств связи с объектом.

Идеология построения КТС ЛИУС-2 опирается на применение новейшей элементной базы — больших интегральных схем (БИС) и микропроцессоров. Агрегатирование изделий применительно к КТС ЛИУС-2 предусматривает построение открытого множества разнообразных объектно-ориентированных блоков, приборов, устройств и комплексов (характеристики которых в наибольшей степени соответствуют индивидуальным требованиям конкретных объектов и систем) из ограниченной номенклатуры составных частей, образующих техническую базу комплекса. Техническая база образована в основном изделиями первого порядка (по ГОСТ 12997—76), что является характерной особенностью четвертого поколения агрегатных комплексов ГСП. Это обеспечивает минимальную избыточность при компоновке объектно-ориентированных изделий КТС ЛИУС-2.

КТС ЛИУС-2 выполняет широкий спектр функций, что позволяет синтезировать различные по сложности контуры управления и подсистемы АСУ ТП, включая каскадные и многосвязные системы регулирования.

13.4. Оперативно-диспетчерское оборудование

К оперативно-диспетчерскому оборудованию относятся технические средства, с которыми оператор непосредственно контактирует: пульт оператора, информационный щит, щиты регуляторов, печатающие устройства. Значительно расширяет функциональные возможности УВК применение субкомплексов: ра-

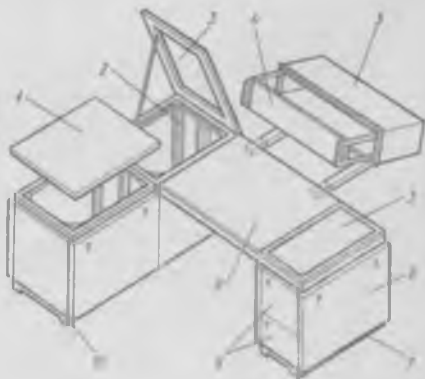


Рис. 13-4. Стол диспетчера:

1, 3 — подъемная панель; 2, 7 — тумба;
4 — лицевая панель; 5 — приборный корпус;
6 — съемная боковая крышка; 8 —
ящики для документов; 9 — столешница;
10 — приставная тумба

бочее место оператора-технолога, рабочее место оператора, субкомплексы связи с объектом.

Выпуск промышленностью серийных взаимозаменяющих унифицированных типовых конструкций обусловил возможность создания типовых решений по оперативно-диспетчерскому оборудованию для цеховых АСУ ТП.

Пульт оператора. В качестве конструктивной базы пульта управления широкое применение получил стол диспетчера типа КЗСП1. Стол (рис. 13—4) предназначен для организации рабочего места в диспетчерских и операторских пунктах.

Столешница пульта предназначена для размещения рабочей документации (журнала, ведомостей). На лицевой панели приборного корпуса размещаются малогабаритные показывающие приборы, световые табло, индикаторы, блоки цифрового воспроизведения, лампы сигнализации.

Лицевые панели крышек предназначены для размещения элементов коммутации, индикации (кнопок, клавишей, ключей).

Внутри тумб размещаются выводные устройства, щитовые зажимы (клеммники), реле, платы с резисторами, диодами и выдвижные ящики для рабочей документации.

На лицевой панели одной из тумб может быть установлена станция индикации данных (СИД-1000). Приставная тумба используется для установки коммутатора и устройств громкоговорящей связи.

При замене конструкции столешницы (с приспособлением для размещения органов управления) стол диспетчера может быть применен как пульт оператора цеховых АСУ ТП.

Информационный щит. В качестве конструктивной базы информационного щита применяется секционный мозаичный щит

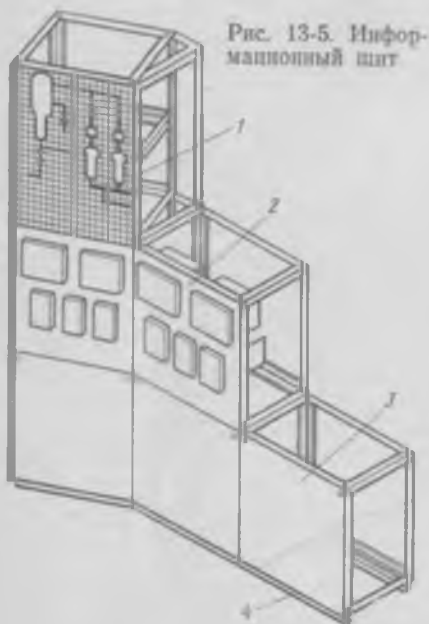


Рис. 13-5. Информационный щит

типа ЩДСМ-1. На щите производится технологическая схема в виде наборной мнемосхемы с дискретно-световой аппаратурой и контрольно-измерительными приборами.

Конструкция щитов типа ЩДСМ-1 (рис. 13—5) позволяет компоновать щиты различной длины и высоты в зависимости от размеров мнемосхемы, количества и типа приборов контроля.

Если мнемосхема занимает одну мозаичную секцию 1 по высоте, то последующие нижние секции 2, 3 могут быть использованы для установки регистрирующих приборов. Если мнемосхема занимает несколько секций по высоте, то последующие нижние секции нельзя использовать для установки

приборов. В этом случае их размещают на отдельно расположенных панельных щитах с каркасом 4 типа ЩПК.

Мозаичная секция, на которой размещаются мнемосхема и показывающие приборы, имеет решетку, образующую ячейки, в которые встраиваются мозаичные элементы. Поле щита набирается из унифицированных мозаичных элементов. Мозаичные элементы легкоъемные, при необходимости могут быть заменены новыми, что очень удобно при изменении мнемосхемы (вводе нового технологического оборудования и новых сигнализируемых параметров).

Рабочее место оператора-технолога — видеотерминальный субкомплекс для компоновки рабочих мест операторов-технологов. Предназначен для отображения алфавитно-цифровой и цветной графической информации (мнемосхем, графиков и т. п.), обмена информацией с УВК, загрузки фрагментов изображения с накопителя на гибком магнитном диске, контроля хода техно-

логического процесса, ввода запросов и команд оператора в систему. Используется в качестве пульта оператора-технолога в АСУ ГП, построенных на базе СМ-1—СМ-2.

Субкомплекс комплектуется микроконтроллером А135-1, ОЗУ объемом до 32 кслов, ПЗУ объемом до 2 кслов, модулем индикации (дисплеем), терминалом графическим цветным (2 шт.), алфавитно-цифровой и технологической клавиатурами, накопителем на гибких магнитных дисках и устройством печати. Допускает удаление от УВК на 3 км.

Рабочее место оператора — терминал для компоновки рабочего места оператора. Предназначен для хранения, отображения, регистрации и редактирования алфавитно-цифровой и псевдографической информации в составе рабочих мест операторов АСУ, построенных на УВК СМ-1—СМ-2. Выпускается в четырех модификациях, различающихся выходными модулями, с помощью которых обеспечивается подключение к интерфейсу.

Терминал комплектуется микроконтроллером СМ-4401, ПЗУ объемом до 2 кслов, ОЗУ емкостью до 24 кслов, дисплеем, клавиатурой алфавитно-цифровой комбинированной, накопителем на кассетной магнитной ленте, устройством печати.

Субкомплексы связи с объектом (ССО). Предназначены для создания территориально-рассредоточенных систем управления. Имеются два варианта исполнения: ССО-1 и ССО-2. ССО-1 предназначен для программного ввода информации с предварительной обработкой и вывода аналоговых и дискретных сигналов по командам СМ-1 или СМ-2. Состав субкомплекса переменный и изготавливается с большим разнообразием функциональных возможностей. Содержит модули аналого-цифрового преобразования, коммутации и нормализации сигналов низкого уровня, коммутации и преобразования частотных сигналов, ввода инициативных дискретных сигналов, вывода дискретных сигналов, внутрисистемной связи, согласования интерфейсов. Допускается подключение максимального числа датчиков: аналоговых — до 660, дискретных — до 208, частотных — до 160; максимального числа каналов управления: аналоговых — до 12, дискретных — до 416.

ССО-2 предназначен для сбора и первичной циклической обработки аналоговых и дискретных сигналов с передачей результатов в УВК СМ-1—СМ-2. Состав модулей УСО тот же, что и в ССО-1. Число каналов для подключения аналоговых датчиков среднего уровня — до 720, аналоговых датчиков низкого уровня — до 192; частотных датчиков — до 192; дискретных датчиков — до 384; число каналов управления дискретных — до 136.

В основе конструкции ССО лежит микропрограммируемый контроллер МПК А135-1 с объемом ОЗУ 16 кслов и ПЗУ — 2 кслова. Комплектуется съемной инженерной панелью для отладки субкомплекса в автономном режиме.

Контрольные вопросы

1. На какие виды подразделяются все средства вычислительной техники?
2. Что представляют собой машины централизованного контроля?
3. Что представляют собой УВК и АСВТ?
4. Какие функции выполняет агрегатный модуль?
5. На какие группы делится полный набор технических средств УВК?
6. Какие бывают виды внутреннего и внешнего программного обеспечения?
7. Что понимается под интерфейсом?
8. Какой состав оборудования включают в себя базовые, типовые и унифицированные УВК?
9. Что представляет собой система малых ЭВМ (СМ ЭВМ)?
10. Каково назначение комплекса КТС ЛНУС?
11. Что относится к оперативно-диспетчерскому оборудованию?
12. Какие типы щитов применяются в центральных диспетчерских пунктах?

Глава 14. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

14.1. Основные определения и требования

К автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП) относятся человеко-машинные системы управления, обеспечивающие автоматизированный сбор и обработку информации, необходимой для оптимизации управления технологическим объектом в соответствии с принятым критерием.

Совместно функционирующие технологический объект управления (ТОУ) и управляющая им АСУ ТП образуют автоматизированный технологический комплекс (АТК).

В АСУ ТП в общем случае реализуются управляющие, информационные и вспомогательные функции.

Критерий управления АСУ ТП — это соотношение, характеризующее качество функционирования ТОУ в целом и принимающее определенные числовые значения в зависимости от используемых управляющих воздействий. Критерий обычно является технико-экономическим показателем (например, себестоимость выходного продукта при заданном его качестве, производительность ТОУ при заданном качестве выходного продукта) или техническим показателем (параметры процесса, характеристики выходного продукта).

Система управления относится к АСУ ТП в том случае, если она управляет ТОУ в целом, осуществляет управление в темпе протекания технологического процесса, средства вычислительной техники и другие технические средства, а также оператор участвуют в выработке решений по управлению.

При создании АСУ ТП определяют конкретные цели функционирования системы и ее назначение в общей структуре управления предприятием. Примерами таких целей могут слу-

жить экономия топливно-энергетических ресурсов и материальных ресурсов, обеспечение безопасности функционирования объекта, повышение качества выходного продукта или обеспечение заданных значений параметров выходных продуктов, снижение затрат живого труда.

По уровню, занимаемому АСУ ТП в организационно-производственной иерархии предприятия, различают три класса АСУ ТП: низового уровня, верхнего уровня, многоуровневые.

АСУ ТП низового уровня управляют технологическими агрегатами, установками, участками; АСУ ТП верхнего уровня — группами установок, цехами, производствами и не включают в себя АСУ ТП низового уровня; многоуровневые АСУ ТП управляют теми же ТОУ, что и АСУ ТП верхнего уровня, но включают в себя и АСУ ТП низового уровня.

Выполнение возложенных на АСУ ТП функций обеспечивается взаимодействием ее следующих **составных частей**: технического обеспечения, программного обеспечения, математического обеспечения, информационного обеспечения, организационного обеспечения, оперативного персонала.

Техническое обеспечение АСУ — комплекс технических средств, предназначенных для обеспечения работы автоматизированной системы управления.

Программное обеспечение АСУ — совокупность программ для реализации целей и задач автоматизированной системы управления, обеспечивающих функционирование комплекса технических средств АСУ.

Математическое обеспечение АСУ — совокупность математических методов, моделей и алгоритмов для решения задач и обработки информации с применением вычислительной техники в АСУ.

Информационное обеспечение АСУ — совокупность единой системы классификации и кодирования технико-экономической информации, унифицированных систем документации и массивов информации, используемых в автоматизированных системах управления.

Подробнее см. с. 362—370.

Разработка проектов АСУ ТП может осуществляться для вновь строящихся, реконструируемых и действующих технологических объектов.

До начала работ по проектированию и созданию АСУ ТП разрабатывается технико-экономическое обоснование (ТЭО), целью которого является формирование обоснованного с позиций заказчика предложения о создании АСУ ТП с определенными функциями и техническими характеристиками.

На стадии ТЭО проводится анализ известных случаев применения АСУ ТП для аналогичных объектов и технико-экономическое обоснование существующего объекта и его системы управления (в случае действующего объекта).

Различают несколько видов структур АСУ ТП: функциональную, алгоритмическую, программную, техническую, информационную, организационную.

Функциональная и алгоритмическая структуры АСУ ТП, элементами которых являются соответственно функции АСУ ТП и алгоритмы, реализующие эти функции, характеризуют систему в целом и в решающей степени определяют все виды обеспечения. В то же время техническая, программная, информационная и организационная структуры характеризуют соответствующие виды обеспечений.

Схема функциональной структуры описывает состав функций, выполняемых АСУ ТП, и связи между ними. На рис. 14-1 показана схема функциональной структуры АСУ ТП. Схема дает общее представление о функционировании АСУ ТП, о средствах, реализующих отдельные функции, о роли оперативного персонала в АСУ ТП.

В прямоугольниках, соответствующих функциям, связанным непосредственно с ТОУ, кроме наименований, приводят также их условные обозначения (например, ЦК — централизованный контроль, ЛР — локальное регулирование технологических параметров).

Степень детализации или укрупнения отдельных элементов схемы в части выполняемых функций определяется сложностью и значимостью этих функций. В частности, управляющие функции АСУ ТП представляют совокупностью элементов, соответствующих отдельным подфункциям (частям функций). При необходимости структурные элементы схемы дополнительно раскрывают на отдельных схемах.

Прямоугольники, соответствующие функциям, связывают между собой линиями со стрелками, отображающими порядок реализации этих функций.

Информационные, управляющие, вспомогательные группы функций обводят пунктирными линиями и сверху приводят соответствующие надписи. Внутри этих прямоугольников горизонтальными пунктирными линиями выделяют функции, реализованные средствами локальной автоматики, оперативным персоналом (для управляющих функций) и средствами вычислительной техники (сбоку также приводят соответствующие надписи).

Схемы функциональной структуры выполняют на листах форматов А1 или А2 (но не более формата А1). При выполнении схемы на нескольких листах примечания и таблицу условных обозначений помещают на первом листе.

В функциональную часть проекта включается, как правило, один документ «Описание постановки задач», в котором раскрывается общая постановка задачи АСУ ТП, указывается единый критерий управления, осуществляется его декомпози-

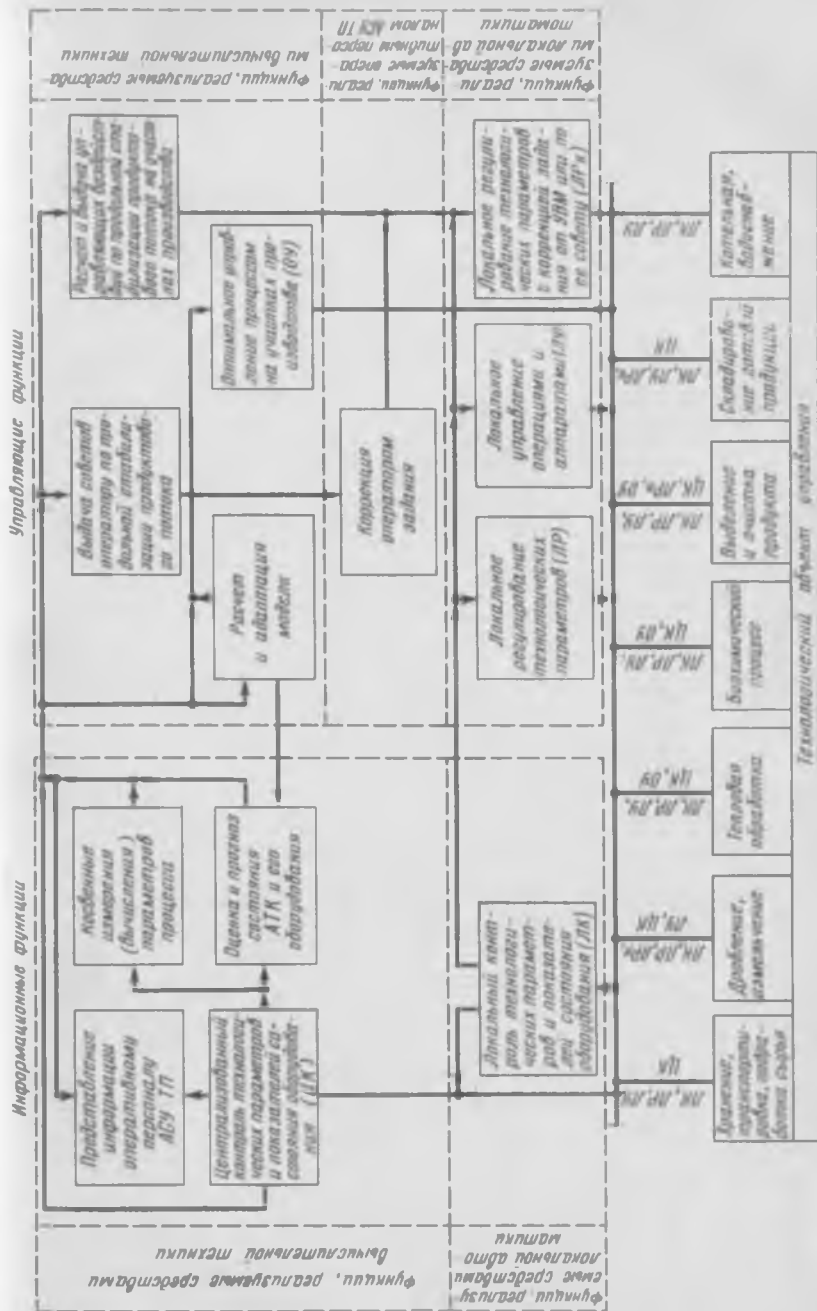


Рис. 14-1. Схема функциональной структуры АСУ ТП

ция (разделение на элементы) и приводится описание постановок частных задач, выделенных в результате декомпозиции.

Для отдельных сложных функций (подфункций) АСУ ТП допускается составление отдельных документов «Описание постановки задачи». Допускается объединение постановки задачи с алгоритмом ее решения. В этом случае алгоритм решения задачи приводится в укрупненном виде, что не исключает представления алгоритмов в разделе математического обеспечения.

14.4. Проектная документация математического обеспечения

Форма математического обеспечения АСУ ТП основана на применении прогрессивного принципа модульности, в соответствии с которым математическое обеспечение можно разложить на совокупность (или синтезировать из совокупности) автономных частей — алгоритмических модулей.

Алгоритмический модуль представляет собой законченное решение частной задачи алгоритмизации, возникающей при исследовании объектов автоматизации, синтезе систем контроля и управления. Совокупность алгоритмических модулей в целом образует упорядоченную иерархическую структуру. Модули более высокого уровня могут включать модули более низкого уровня, образуя составной модуль (макромодуль). В условиях конкретной системы макромодуль выступает в качестве самостоятельного алгоритма.

Описание алгоритмического модуля является основной частью задания на программирование и содержит следующие разделы: наименование модуля, назначение и область применения модуля, содержательное описание задачи, математическое описание задачи, алгоритм решения задачи, порядок использования модуля, сведения об опыте применения, литературные источники, сведения о разработчиках.

Наименование модуля делают кратким, оно отражает суть задачи, для решения которой предназначен модуль.

В разделе «Назначение и область применения модуля» указывается цель, для которой предназначен модуль, и функции, которые он выполняет; указываются технологические процессы, при решении задач автоматизации которых используется модуль, общие ограничения на применение модуля.

Раздел «Содержательное описание задачи» включает сведения о сущности процесса обработки информации, физической природе технологического объекта. Описание определяет основные допущения, принятые при построении модели данного процесса, состав основных входных и выходных величин с обеспечением их физического смысла, содержит четкое изложение

идеи принятого метода решения задачи. Допускается применение наглядных схем и таблиц.

Раздел «Математическое описание задачи» включает перечень входных, выходных и промежуточных переменных, параметров состояния и использованных констант с указанием их типа, размерности и диапазона измерений (эти сведения оформляются в виде таблиц). Приводят также математическую формулировку задачи, решаемой данным модулем на заданной системе отношений.

В разделе «Математическое описание задачи» не приводятся выводы используемых формул, уравнений и т. п. Эти сведения в необходимых случаях могут быть приведены в разделе «Дополнительные сведения».

Раздел «Алгоритм решения задачи» включает в себя описание вычислительного метода решения задачи и преобразование математического описания к виду, допускающему применение выбранного метода, а также блок-схему алгоритма.

Если сформулированная математическая задача может быть решена применением известного вычислительного алгоритма или если в процессе описания алгоритма встречаются стандартные вычислительные процедуры (операции численного интегрирования, решение системы алгебраических или дифференциальных уравнений и т. п.), входящие в стандартное математическое обеспечение вычислительных комплексов или приведенные в справочных изданиях, то дается соответствующая ссылка и указываются необходимые параметры алгоритма (например, шаг интегрирования, требуемая точность результатов счета).

Блок-схема должна дать наглядное представление о процессе решения задачи, разделения его на отдельные взаимосвязанные части для облегчения программы. Условные графические обозначения символов и их наименования должны соответствовать стандарту.

Степень подробности описания алгоритма должна обеспечивать соответствие программы решению задачи. Сложные оригинальные алгоритмы дополняют описанием на алгоритмическом языке (рекомендуемый язык ФОРТРАН-IV).

В описании алгоритмических модулей, предназначенных для решения сравнительно простых задач (первичная обработка данных, задачи моделирования простых статических объектов), допускается объединение разделов «Математическое описание задачи» и «Алгоритмы решения задачи».

В разделе «Порядок использования модуля» приводят данные, которыми необходимо располагать для использования модуля, и рекомендации по выбору варианта алгоритма. Если подготовка исходных данных сложная, приводят блок-схему подготовительных работ.

Особое внимание обращают на способы определения констант и параметров алгоритмов. Должны быть приведены все

формулы, графики или номограммы, необходимые для определения констант и параметров алгоритмов, или даны соответствующие ссылки на источники.

В разделе «Сведения об опыте применения» указывают, в каких АСУ ТП использовался описанный алгоритм, имеется ли программа и если да, то на какой ЭВМ она реализована (с указанием алгоритмического языка и типа транслятора), а также длительность эксплуатации, оценки качества алгоритма в период эксплуатации и замеченные недостатки. Этот раздел описания отвечает на вопрос, достаточно ли апробирован алгоритм или он требует дополнительной экспериментальной проверки.

Описание модуля в проектной документации по своей полноте удовлетворяет условию возможности его практического применения без использования дополнительных источников информации, за исключением общедоступных материалов. Поэтому в этих разделах допускаются ссылки только на ГОСТы, ОСТы, межведомственные и отраслевые нормы, библиотеку стандартных программ и общесоюзные справочные издания.

14.5. Проектная документация информационного обеспечения

Информационное обеспечение АСУ ТП включает: сигналы, характеризующие состояние автоматизированного технологического комплекса; системы классификации и кодирования технологической и технико-экономической информации; массивы данных и документов, необходимых для выполнения всех функций АСУ ТП, в том числе нормативно-справочную информацию.

Сигналы, характеризующие состояние ТОУ, получают от аналоговых дискретных, число-импульсных датчиков и от датчиков ручного ввода.

Каждый вводимый в управляющий вычислительный комплекс сигнал кодируется определенным образом. Например, может быть принята **структура кода аналоговых сигналов**, приведенная на рис. 14—2.

В общем случае в коде должен присутствовать признак параметра, процесса (участка), аппарата. Кроме того, для число-импульсных сигналов вводится код периодичности опроса датчиков. Дискретные сигналы, как правило, выводятся непосредственно на устройство печати, поэтому для них целесообразно использовать мнемонические коды, позволяющие быстро расшифровывать выводимый показатель.

Кроме сигналов, характеризующих состояние ТОУ, в УВК вводится **нормативно-справочная информация**, которая также кодируется определенным образом.

Вся информация, используемая в АСУ ТП, по отношению к процессу ее обработки УВК делится на входную и выходную.

Входная информация вводится от датчиков (как было сказано выше) и вручную через устройства ввода-вывода УВК.

Выходную информацию в зависимости от ее назначения представляют на дисплее, на устройствах печати, на мнемосхеме.

Соответственно делению информации на входную и выходную создаются формы входных и выходных документов, представленных в виде кадров дисплея и форм цифропечатающего устройства.

Выбор форм документов определяется существующей на предприятии системой отчетности за выбранный период работы ТОО (оперативная, среднесменная, среднесуточная), а также другими факторами, в частности действующей формой качественного удостоверения на поступающее сырье.

При организации массивов учитываются особенности ТОО и выбранные технические средства, дающие возможность реализовать необходимую структуру программного обеспечения.

На схеме сбора, обработки и использования информации в АСУ ТП показывают пакеты программных модулей (ППМ), решающие определенные задачи, соответствующие файлы (файл — совокупность записей, объединенных по определенному признаку) данных и связи между ними.

Документацию информационного обеспечения рекомендуется объединять в единый раздел с документацией математического обеспечения.

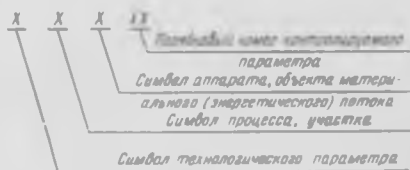


Рис. 14-2. Пример структуры кода аналоговых сигналов

14.6. Проектная документация технического обеспечения

На стадии разработки технического проекта при выполнении этапа «Аппаратурно-технический синтез АСУ ТП» разрабатываются основные решения технического обеспечения по системе в целом и такие проектные документы, как схемы автоматизации, структурные схемы КТС и УВК, проводится оценка метрологических характеристик информационно-измерительных каналов. На основании проведенных работ составляют ведомости оборудования и материалов.

Схема автоматизации является основным документом, определяющим структуру и характер автоматизации технологического процесса и оснащение его приборами и средствами автоматизации, с учетом одновременного проектирования системы локальной автоматики и информационно-управляющего комплекса как неделимого целого.

к источникам питания, а также для определения номенклатуры требуемых жгутов и источников питания. Поэтому на ней показывают все функциональные модули, блоки питания и управления, блоки интерфейсные, разъемы, марки используемых жгутов, электрические связи между модулями и др.

Кроссовые ведомости содержат четкие указания о том, какие кабели и жилы приходят от объекта, на какую сторону кросса, к каким калибровочным сопротивлениям или блокам нормализации подключены линии связи и каким образом они переадресовываются на машинную сторону кросса. В кроссовых ведомостях показывают тип модуля, на который направляется информация, его адрес и номер разъема, тип используемого жгута, адрес панели кроссовой, маркировку жил в жгуте, адрес клемм на панели кроссовой, назначение и адресацию жил кабеля, пришедшего от объекта.

Монтажный чертеж размещения средств вычислительной техники разрабатывается на все устройства УВК независимо от места их размещения (в машинном зале или вне его) с учетом допустимых длин линий связи и расстояний до другого оборудования и строительных конструкций. На монтажном чертеже размещения средств вычислительной техники показывают план помещения, в котором размещаются устройства управляющего вычислительного комплекса, размещение устройств с указанием основных размеров между устройствами и способов крепления (установки) устройств.

На чертеже плана расположения средств автоматизации и электрических и трубных проводов показывают контуры здания или промплощадки, техническое оборудование и основные технологические трубопроводы, все средства автоматизации (отборные устройства, первичные приборы и регулирующие органы, приборы, регуляторы, исполнительные механизмы, электроаппаратуру), устанавливаемые вне щитов и пультов.

Проектная документация на щиты и пульты контроля и управления разрабатывается в соответствии с требованиями, изложенными в § 12.4. Эта документация комплектуется в отдельных томах проекта, представляющих задание заводу-изготовителю щитов.

14.7. Проектная документация организационного обеспечения

Организационное обеспечение АСУ ТП представляет собой совокупность описаний функциональной, технической и организационной структур, инструкций и регламентов для оперативного персонала системы, обеспечивающую заданное функционирование оперативного персонала в составе АТК.

Разработка организационного обеспечения АСУ ТП включает в себя:

Организационная структура АСУ ТП описывается соответствующей схемой, на которой условно показывают подразделения (должностные лица), обеспечивающие функционирование АСУ ТП либо использующие при принятии решений информацию, полученную от АСУ ТП, а также взаимосвязи между подразделениями и отдельными должностными лицами и их соподчиненность.

Схема организационной структуры АСУ ТП приведена на рис. 14—5. Из схемы видно, что АСУ ТП построена по двухуровневому иерархическому принципу управления. На верхнем уровне находится оперативный персонал центрального пункта управления (ЦПУ), на нижнем — оперативный персонал операторских пунктов и персонал, обслуживающий местные щиты технологических отделений и участков.

В оперативный персонал рассматриваемой АСУ ТП входят: диспетчер центрального пункта управления (ЦПУ) — начальник смены, оператор ЦПУ, операторы операторских пунктов, аппаратчики технологических цехов и участков (местных щитов контроля и управления), эксплуатационный персонал, обеспечивающий правильность функционирования комплекса технических средств и технологического оборудования, в том числе группа обслуживания управляющего вычислительного комплекса, старший сменный инженер-электронщик, дежурный лаборант.

Между оперативным персоналом, участвующим непосредственно в управлении технологическим процессом, функции распределены следующим образом.

Диспетчер ЦПУ (начальник смены) руководит работой подчиненного ему персонала, ведет технологический процесс в строгом соответствии с технологическими инструкциями и распоряжениями вышестоящих лиц, руководит пуском и остановом оборудования, координирует работу отдельных участков производства по производительности, материальным и энергетическим потокам, обеспечивает контроль хода технологического процесса, проводит оценку работы оперативного персонала смены, участвует в приеме-сдаче смены.

Оператор ЦПУ по распоряжению диспетчера управляет оборудованием и транспортными механизмами в дистанционно-сблокированном режиме, ведет анализ текущих значений технологических параметров и технико-экономических показателей.

Для реализации конкретных работ на всех стадиях создания АСУ ТП и ее эксплуатации на предприятии создают в рамках структуры предприятия производственное подразделение АСУ ТП в виде специальной службы. Это подразделение выполняет работы по созданию, внедрению, ремонту и эксплуатации АСУ ТП во взаимодействии с основными и вспомогательными службами предприятия.

14.8. Проектная документация программного обеспечения

Программное обеспечение АСУ ТП представляет собой совокупность общего (ОПО) и специального (СПО) программного обеспечения.

Общее программное обеспечение АСУ ТП поставляется комплектно со средствами вычислительной техники. Поэтому в части ОПО в проекты АСУ ТП включают только элементы, дополняющие или заменяющие по функциональному назначению программы, поставляемые комплектно с вычислительной техникой.

ОПО АСУ ТП включает в себя программы, предназначенные для использования самостоятельно или в составе других программ (ранее разработанных и находящихся в отраслевом фонде для повторного применения), для решения на средствах вычислительной техники задач АСУ ТП.

Специальное программное обеспечение АСУ ТП оформляется как программные модули (ПМ), пакеты программных модулей (ППМ) и пакеты прикладных программ (ППП).

Программный модуль (ПМ) представляет собой совокупность программ на машинных носителях, чтение с которых возможно непосредственно аппаратурой вычислительных машин, и программной документации, необходимой для изготовления, сопровождения и эксплуатации программы. ПМ в отдельности или в сочетании с другими ПМ реализует применительно к конкретным вычислительным средствам одно или несколько взаимосвязанных типовых решений (или решений одноразового применения) задач функционирования АСУ ТП, оформленных в виде алгоритмических модулей (см. § 14.4). Минимальным ПМ является программа, дальнейшее деление которой приводит к потере функционального смысла.

ПМ рассматривается как основная форма разработки, организации и оформления СПО, обеспечивающая возможность повторного применения ранее разработанных ПМ в новых разработках, снижения трудоемкости создания программного обеспечения путем компоновки единой исходной или исполнительной программы из готовых ПМ, унификации и повышения эффективности разработки программной документации, автоматизации проектирования ПО АСУ ТП.

Пакет программных модулей представляет собой комплекс программных модулей, обеспечивающий реализацию функционально законченного алгоритма. ППМ могут обладать собственной базой данных, подсистемой управления ею и специализированным входным языком для настройки и общения с пользователем.

Пакет прикладных программ АСУ ТП — это часть программного обеспечения АСУ ТП, представляющая собой совокупность программ, реализующих группу однородных под-

функций АСУ ТП, и программу их настройки для конкретного технологического объекта управления.

Пакет программных модулей и пакет прикладных программ АСУ ТП разрабатываются в виде совокупности программ на машинных носителях и программной документации, необходимой для изготовления, сопровождения и эксплуатации пакетов.

Программы, определяющие работу АСУ ТП в целом (например, программы запуска системы), оформляются, как и другие элементы специального программного обеспечения, в виде ПМ, ППМ или ППП АСУ ТП.

Программная документация на элементы СПО АСУ ТП должна включать в себя документы, предусмотренные стандартом.

По системе в целом разрабатывается **пояснительная записка**. Каждый программный документ состоит из следующих частей: титульной, информационной, содержательной, регистрации изменений.

Информационная часть включает в себя аннотацию и содержание. Аннотация составляется для документов СПО, передаваемых в фонды алгоритмов и программ.

В проектной документации аннотации в состав документов элементов СПО не включаются, а информация о назначении каждого комплекта документов и его кратком содержании приводится в пояснительной записке.

Содержание документа состоит из записей, каждая из которых включает номер раздела, наименование раздела и номер листа.

Спецификация — основной текстовой документ, содержащий состав программы и документации на нее. Спецификация включает перечень составных частей, непосредственно входящих в данную программу, и перечень программных документов на нее.

Текст программы — документ, представляющий собой символическую запись программы с необходимыми комментариями. Символические записи текста программы выполняются с помощью ЭВМ в форме представления, определяемой разработчиком.

Текст программы должен сопровождаться комментариями, позволяющими понять структуру программы, функциональное назначение программы и отдельных элементов.

Описание программы — документ сопровождения, содержащий сведения о логической структуре и функциях программы, которые вместе с текстом программы на исходном языке достаточны для обнаружения ошибки, анализа функционирования и дальнейшего развития программы.

Документ «Описание программы» состоит из разделов, которые с соответствующими наименованиями должны распола-

гаться в следующей последовательности: наименование, назначение и область применения, основные технические характеристики, описание данных, описание работы программы.

Руководство программиста — основной объединенный эксплуатационный документ, содержащий сведения, необходимые для обеспечения функционирования, полного использования возможностей программы, а также для проверки.

Документ состоит из следующих разделов: общее описание, руководство системного программиста, руководство программиста, руководство оператора, контрольный пример, описание языка.

На машинных носителях представляют программы на исходном языке, предназначенные для работы с используемой операционной системой; объектные программы, полученные в результате работы транслятора, указанного в программной документации; контрольный пример, включающий необходимые для него управляющие операторы, операторы вызова программы и данных, а в оговоренных случаях также результаты и операторы для их вывода на печать.

Программы на машинных носителях изготавливаются в четырех экземплярах: два экземпляра (оригинал и дубликат) сдаются в архив разработчика, два экземпляра (дубликат и копия) передаются заказчику.

Контрольные вопросы

1. Какие системы относят к АСУ ТП? Назовите основные функции, выполняемые АСУ ТП, и виды обеспечения.
2. Назовите стадии проектирования АСУ ТП и состав проекта.
3. Перечислите состав документации общесистемной части проектов АСУ ТП.
4. Что определяет схема функциональной структуры и каковы основные требования к ее оформлению?
5. Назовите основные части документов математического обеспечения.
6. Что представляет собой алгоритмический модуль? Какие разделы содержит описание алгоритмического модуля?
7. Перечислите состав документации математического обеспечения на различных стадиях проектирования.
8. Назовите основные принципы построения документов информационного обеспечения.
9. Что включает в себя информационная база АСУ ТП и какая принимается структура кодирования сигналов, вводимых в УВК?
10. Перечислите состав проектных материалов технического обеспечения АСУ ТП на различных стадиях проектирования.
11. Что представляет собой организационное обеспечение АСУ ТП и какие проектные документы оно содержит?
12. Какие программы включает в себя общее программное обеспечение и какие — специальное программное обеспечение?
13. Дайте определение: программного модуля и пакета программных модулей.
14. Как оформляется каждый программный документ? Из каких основных частей он состоит?

15.1. Автоматизация транспортировки и хранения

В пищевой промышленности для транспортировки продуктов широко применяются поточно-транспортные системы (ПТС) с конвейерами, норями и другими механизмами. Наряду с ПТС находят применение системы пневмо- и гидротранспорта.

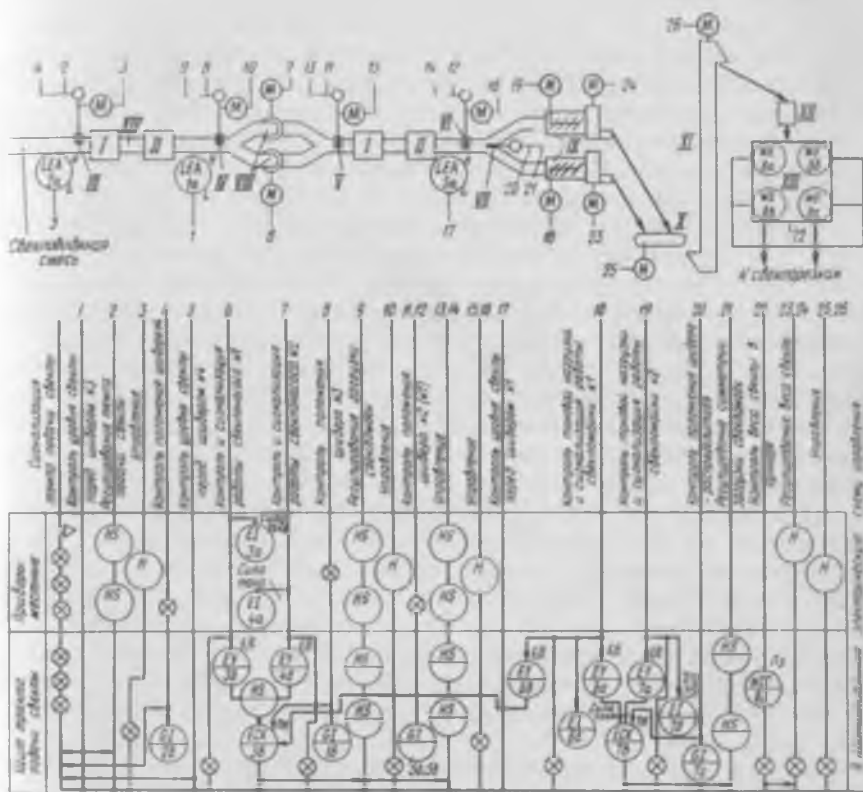
Автоматизация тракта подачи сахарной свеклы. Для равномерного ведения технологических процессов свеклосахарного завода необходимо в первую очередь обеспечить равномерную бесперебойную подачу свеклы в количестве, соответствующем производительности последующего свеклоперерабатывающего отделения. Свекла на завод поступает с кагатного поля (или из железнодорожных вагонов, автомашин) по гидротранспортеру, который оснащен свеклонасосами, камне- и соломоловушками, свекломойками. Для согласования работы тракта подачи свеклы и свеклоперерабатывающего отделения служит бункер свеклы, располагающийся над свеклорезками. Для стабильной бесперебойной работы сахарного завода запас свеклы в бункере должен быть рассчитан на 20—30 мин работы завода. На рис. 15—1 приведена схема автоматического управления трактом подачи свеклы.

В качестве регулирующих органов применяются пульсирующие шиберы III—VI. Количество их меняется в зависимости от протяженности тракта подачи свеклы. Они располагаются по тракту от кагатного поля до свекломоек примерно на одинаковых расстояниях.

Управление электроприводом выбрасывающих лап свекломоек осуществляется позиционно в зависимости от массы свеклы в бункере перед свеклорезками. При максимальной массе свеклы в бункере электропривод выбрасывающих лап мойки отключается, а при массе меньше максимальной включается. В качестве датчиков массы свеклы используются в основном устройства электронно-тензометрические весодозирующие ЭТВУ-4Б 8а—8д, которые позволяют не только регулировать подачу свеклы, но и осуществлять контроль и сигнализацию массы свеклы в бункере. На некоторых заводах подачу свеклы в бункер регулируют по уровню с помощью устройства контроля сопротивлений ИКС-2Н.

Если на заводе установлены две параллельно работающие свекломойки, то с помощью шибер-распределителя VII обеспечивается равномерная загрузка свеклой моющих частей свекломоек IX в зависимости от токовой нагрузки электродвигателей кулаковых валов свекломоек. Для контроля токовой нагрузки в одну из фаз электродвигателей включаются трансформаторы тока ТК-20 (6а, 7а), сигналы от которых через преобразователи

Постоянство загрузки моющей части свекломойки поддерживается путем воздействия на пульсирующие шиберы гидро-



I — камнеловушка; *II* — соломоловушка; *III* — пульсирующий шибер № 4; *IV* — пульсирующий шибер № 3; *V* — пульсирующий шибер № 2; *VI* — пульсирующий шибер № 1; *VII* — шибер распределительный; *VIII* — свеклонасосы; *IX* — свекломойки; *X* — транспортер; *XI* — элеватор свеклы; *XII* — весы; *XIII* — бункер свеклы; *XIV* — гидротранспортер

263

ропривода работающего свеклонасоса *VIII*. Данный сигнал вводится для повышения устойчивости процесса подачи свеклы на свекломойку. Регулирующий прибор *P25.1.1 3в* управляет пульсирующим шибером *VI* до тех пор, пока загрузка свекломойки не будет равной заданной. Задатчиком, встроенным в регулирующий прибор, можно менять задание регулятору на заполнение мойки свеклой. Схемой предусмотрено прикрытие шиберов *V*, *IV* при уменьшении загрузки свекломойки. Полное прикрытие шиберов *V*, *IV* осуществляется при максимальном уровне свекловодяной смеси перед шибером *VI*. Контроль уровня свекловодяной смеси осуществляется с помощью устройства *5а*, состоящего из рычага, помещенного в гидротранспортер. При увеличении или уменьшении уровня рычаг отклоняется и воздействует на два конечных выключателя, фиксирующих нижний и верхний уровень свекловодяной смеси в гидротранспортере.

Схемой предусматривается сигнализация темпа подачи свеклы в гидротранспортер. В автоматическом режиме при отсутствии верхнего и нижнего уровня свекловодяной смеси перед пульсирующим шибером *IV* устройством контроля уровня *1а* обеспечивает подачу сигнала «Нормальная подача», при снижении уровня — «Увеличить подачу», при верхнем уровне перед шиберами *III*, *IV* (от устройств уровня *1а*, *2а*) — «Прекратить подачу». Темп подачи свеклы в гидротранспортер сигнализируется сигнальными лампами на пульте управления, а также светфорами, установленными на кагатном поле и в бурачной.

Приборы и аппаратура автоматического управления размещаются на пульте, который находится возле свекломойки. С помощью этих приборов автоматически контролируется положение пульсирующих шиберов (используются индикаторы положения ИПУ) *1б*, *2б*, *3в*, *5б*, *5в*, *7г*; сигнализируются накопление свеклы перед шиберами, масса свеклы в бункере, работа механизмов. На пульте расположены ключи дистанционного управления шиберами и ключ выбора режима (автоматический или дистанционный).

Электроприводы механизмов и транспортных устройств, связанных единым потоком, электрически блокируются.

Автоматизация элеваторов. Схемы автоматизации ПТС, применяемые в пищевой промышленности, очень сложны, особенно схемы автоматизации элеваторов. Элеватор представляет собой хранилище, состоящее из значительного количества емкостей и оснащенное системой транспортных механизмов (конвейеров, лент, норий), а также запорных и направляющих механизмов (задвижек, разгрузочных тележек, шиберов).

Элеватор предназначен для приема, очистки, хранения, а также отпуска зерна (либо семян) потребителю или на производство. Элеватор оснащен системой аспирационных сетей. Каждая технологическая операция элеватора представляет собой перемещение зерна или отходов из одной емкости в другую,

в процессе которого производится их подработка. Машины и механизмы, участвующие в перемещении зерна в данном направлении, называются **маршрутом**. На рис. 15-2 представлена схема автоматизации элеватора, предусматривающая диспетчерское автоматизированное управление всеми производственными операциями. Все функции управления и контроля сосредоточены у диспетчера. Диспетчером задаются начальные и конечные точки маршрутов.

Схема автоматизации позволяет осуществить выбор и пуск транспортных и аспирационных механизмов, участвующих

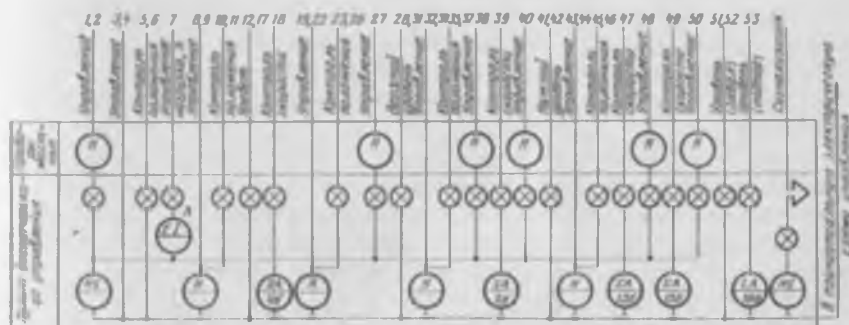
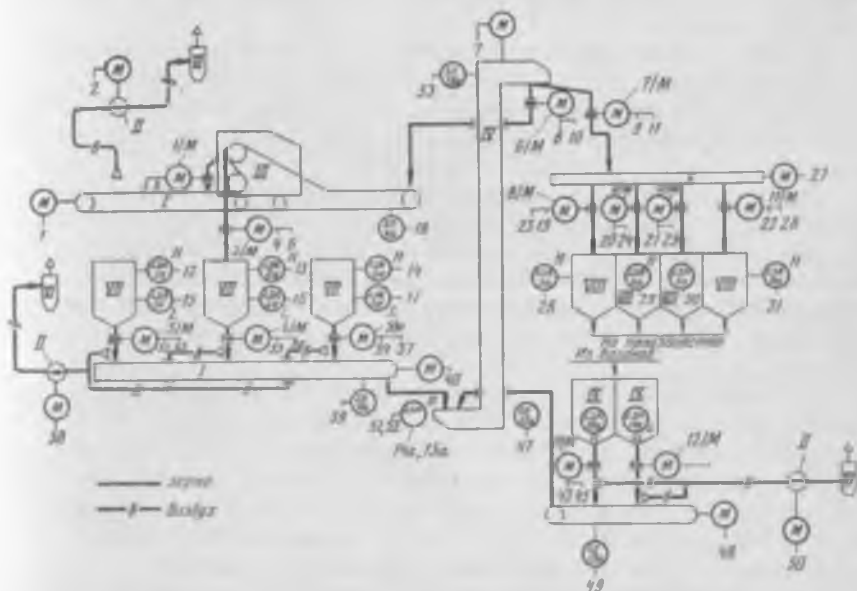


Рис. 15-2. Схема автоматизации поточно-транспортной системы элеватора:
I — ленточный конвейер; II — вентилятор аспирации; III — разгрузочная тележка; IV — нория; V — цепной ковшер; VI — циклон; VII — силос; VIII — производственный бункер; IX — бункер

в маршруте, а также сблокированное включение механизмов в направлении, противоположном движению продукта; останов любого автоматически работающего маршрута с пульта диспетчера; останов механизмов аспирационных сетей с выдержкой времени после останова транспортных маршрутов; останов любого транспортного механизма при возникновении аварийной ситуации; дистанционное управление запорными механизмами; автоматический контроль заполнения и опорожнения емкостей элеватора, загрузки транспортных механизмов, проскальзывания и обрыва лент; включение звуковой предупредительной сигнализации; сигнализацию работы либо аварии всех транспортных механизмов.

Работа транспортных, положение запорных и направляющих механизмов сигнализируется только при участии их в работающих маршрутах. Аварийное отключение названных механизмов сопровождается переходом ламп на мигающую сигнализацию.

Выбор механизмов маршрута осуществляется переключателями, установленными на центральном диспетчерском пульте, на котором нанесена мнемоническая схема элеватора со встроенными в нее сигнальными лампами, амперметрами, контролирующими нагрузку норий, и цифровыми индикаторами, указывающими номера силосов, над которыми останавливаются тележки.

В схемах используется аппаратура, серийно выпускаемая отечественной промышленностью, а также унифицированная блочная система, разработанная институтом «Пищепромавтоматика». Блочная система состоит из релейных блоков, предназначенных для выдержки времени, управления разгрузочными тележками, управления запорными механизмами, выбора направлений работы механизмов, управления нориями, конвейерами, вентиляторами. Все блоки оснащены промежуточными реле типа РПУ-2 и реле времени типа ВЛ-38.

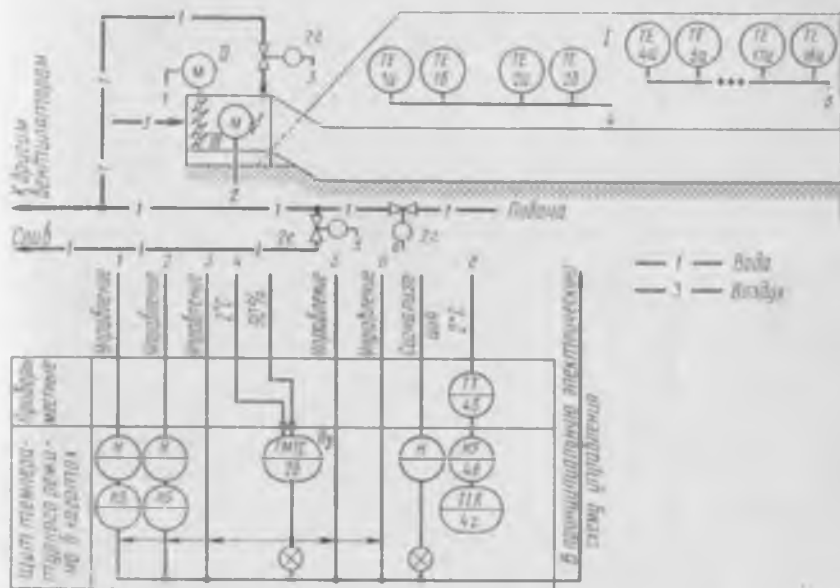
После нажатия пусковой кнопки подается звуковой предупредительный сигнал и включаются механизмы ПТС; одновременно включаются вентиляторы аспирационных сетей.

Оборудование оснащается следующими средствами автоматизации:

нории и конвейеры — реле скорости РС-67 (46, 96, 126, 136) с магнитоиндуктивными датчиками ДМ-2 (4а, 9а, 12а, 13а), контролирующими включение и отключение норий, а также проскальзывание и обрыв их лент. Одной из наиболее серьезных аварий нории является завал ее зерном, контролируемый с помощью двух мембранных датчиков типа СУМ-1 (14а, 15а), установленных в башмаке, и одного — типа СУС-11 (16а), установленного в головке;

направляющие шиберы, задвижки — электроприводами типа РИМЗ (1/М—12/М). Встроенный в электропривод реостат об-

Для оперативного контроля температуры свеклы в кагатах (рис. 15—4) применяется устройство централизованного дистанционного контроля температуры ЦДУ-КТК-15-120М, выполненное по блочному принципу с использованием конструктивной и элементной базы системы ГСП.



I — кагат свеклы; II — вентилятор воздуха; III — вентилятор для увлажнения воздуха

В качестве датчиков температуры использованы высокоомные полупроводниковые терморезисторы, которые устанавливаются в кагатах по однорядной схеме (для кагатов шириной до 20 м) и в шахматном порядке (для кагатов шириной более 20 м). Датчики устанавливаются примерно на $\frac{2}{3}$ высоты кагата. Устройство ПДУ-1М (4г) предназначено для индикации

номера точки измерения и номера кагата, в котором в данный момент контролируется температура, и для отсчета результата измерения по показывающему прибору, установленному на индикаторной части ПДУ-1М (4г). Устройство ПИУ-1М (4б) предназначено для коммутации точек измерения (датчиков) и передачи результатов измерения на ПДУ-1М.

Канал связи КС обеспечивает синхронизацию работы приемо-передающих устройств и контроль исправности работы установок, а также питание передающих устройств со стороны диспетчерского устройства.

Для поддержания оптимальных температурно-влажностных показателей ($t=0-2^{\circ}\text{C}$; $W=90\%$) предназначена система автоматического управления термовлажностной обработкой свеклы в кагатах АУС-АВК-1М.

Следует отметить, что при активном вентилировании свеклы, являющимся эффективным способом воздействия на процесс хранения, в кагаты зачастую нагнетается воздух недостаточной влажности, что ведет к высушиванию свекловичных корней, а это оказывает отрицательное влияние на протекание биохимических процессов. В связи с этим возникает необходимость увлажнять воздух подачей в него определенного количества воды. Распыление воды лопастями вентилятора и хорошее взаимное перемешивание капель воды с воздухом ведут не только к увлажнению воздуха, но и к понижению температуры, так как этот процесс, связанный с испарением воды, сопровождается отдачей большого количества тепла со стороны воздуха.

Система АУС-АВК-1М выполняет следующие функции: автоматическое включение вентиляторов при понижении температуры наружного воздуха на $2-3^{\circ}\text{C}$ по сравнению с температурой в кагате, автоматическое прекращение вентилирования и увлажнения при равенстве вышеуказанных температур, автоматическое отключение системы вентилирования и увлажнения при понижении температуры наружного воздуха до 0°C и ниже.

Данная система обеспечивает локальную оптимизацию по критерию суточных потерь сахара при хранении свеклы за счет постоянного приближения температуры и влажности среды в кагатах к оптимальным значениям, надежно предохраняя свеклу от подмораживания в зимнее время и подвяливания в осенний период хранения.

Система АУС-АВК-1М состоит из датчиков температуры наружного воздуха 1а, 1б и датчиков температуры в кагате 2а, 2б. Чувствительными элементами датчиков температуры являются терморезисторы КМТ. От датчиков температуры сигналы поступают в управляющую часть устройства АУС-АВК-1М (2а), состоящую из узлов сравнения температур, преобразователей, реле влажности, релейного исполнительного блока. Выходные сигналы АУС-АВК-1М управляют электродвигателями вентиляторов и вентилями СВМ15к4888р (2г—2е) подачи воды на увлажнение воздуха.

Вышеуказанные устройства могут быть использованы при хранении других корнеплодов в кагатах.

15.2. Автоматизация измельчения

В двух случаях измельчения — дробления и резания — процесс деления материала осуществляется механическим воздействием. При дроблении измельченный материал не имеет определенной формы, при резании измельченному материалу придается определенная форма.

Процесс измельчения широко применяется в пищевой промышленности, так как он позволяет улучшить тепловую обработку и ускорить экстрагирование вещества, тем самым значительно снизить расход условного топлива и потери веществ.

Особенно широко применяется данный процесс в свекло-сахарном, крахмало-паточном, мукомольном, спиртовом, пивоваренном производствах.

Для процесса измельчения используются различные виды измельчающих машин: вальцовые и дисковые дробилки, на которых производится крупное, среднее и мелкое измельчение материала (зерна, плодов и овощей, масличных семян, шоколадной массы, соли и др.); мельницы для тонкого и коллоидного измельчения; резательные и терочные машины для измельчения плодов и овощей, сахарной свеклы, картофеля.

Автоматизация резания сахарной свеклы. Для измельчения сахарной свеклы применяются центробежные свеклорезки. Автоматическое регулирование частоты вращения электродвигателя свеклорезки является одним из основных контуров в схеме автоматизации свеклоперерабатывающего отделения сахарного завода.

Для изменения частоты вращения улитки свеклорезки используются регулируемые электроприводы. Обычно свеклорезки комплектуются системой генератор—двигатель, включающей привод улитки свеклорезки — электродвигатель постоянного тока, генератор постоянного тока и привод генератора, или тиристорным электроприводом, включающим тиристорный преобразователь с системой управления и приводной электродвигатель.

При использовании системы генератор—двигатель плавное регулирование числа оборотов свеклорезки достигается путем изменения тока возбуждения генератора с помощью шунтового реостата, ползунок которого перемещается вручную или электроприводом (вместо электропривода можно применять следящий пневмопривод ПСП). Для изменения тока возбуждения генератора применяются также электромашинные усилители; отрицательная обратная связь по выходному напряжению электромашинного усилителя уменьшает раскачивание системы регулирования в переходных процессах.

Для улучшения технико-экономических показателей системы управления производительностью свеклорезок используется тиристорный электропривод.

На рис. 15—5 приведена система автоматического управления числом оборотов свеклорезок. Свекловичная стружка после свеклорезок поступает на ленточный конвейер, на котором устанавливаются ленточные весы ЛТМ III для непрерывного взвешивания стружки. Для дистанционного показания количества стружки ленточные весы комплектуются вторичным прибором КСД-3 (1а). Сигнал, пропорциональный изменению расхода

стружки, от вторичного прибора 1а поступает на вторичный пневматический прибор со станцией управления ПВ10.1Э (1б) и изодромный регулятор ПР3.31 (1в). После сравнения параметра с заданием регулирующее воздействие регулятора изменяет ток возбуждения генератора (в системе генератор — двигатель) или через пневмоэлектропреобразователь ПЭ-55М (1г) и тиристорный преобразователь ПТО (1д) управляет приводом улитки свеклорезки. Число оборотов свеклорезки контролируется тахометром.

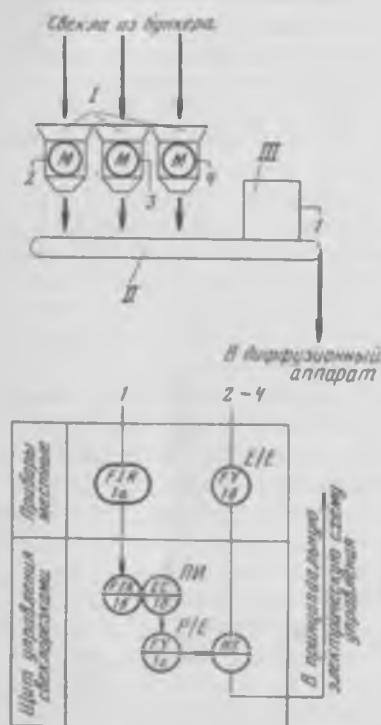


Рис. 15-5. Схема автоматического регулирования числа оборотов свеклорезки:

1 — свеклорезка; II — конвейер свекловичной стружки; III — ленточные весы

Автоматизация станции первого дробления кукурузного зерна. Станция состоит из трех

дисковых дробилок типа ЗДД и питающего бункера и предназначена для грубого измельчения зерна с последующим удалением зародыша и получением крахмала. Процесс дробления зависит от качества замоченного зерна, поступающего на станцию, и стабильности подачи зерна на дробилки при наличии сопровождающей жидкости (крахмальное молоко). Отсутствие сопровождающей жидкости может привести к забиванию дробилок и их поломке. Соблюдение вышеперечисленных условий позволяет вести первое дробление в оптимальном режиме.

На рис. 15—6,а приведена система автоматического управления станцией первого дробления. Эта система позволяет осуществить стабилизацию загрузки дробилок по мощности электропривода воздействием на подачу зерна из бункера, отсечку подачи зерна при прекращении подачи крахмального молока и

сигнализацию уровня зерна в бункере (на рис. 15-6,а последнее не показано).

Электрические сигналы, пропорциональные силе и напряжению тока двигателя дробилки, от трансформаторов тока ТК-20 (1а) и ТБС (1б) поступают на пневматический датчик ДМП-1 (1б), который преобразует электрический сигнал в пневмати-

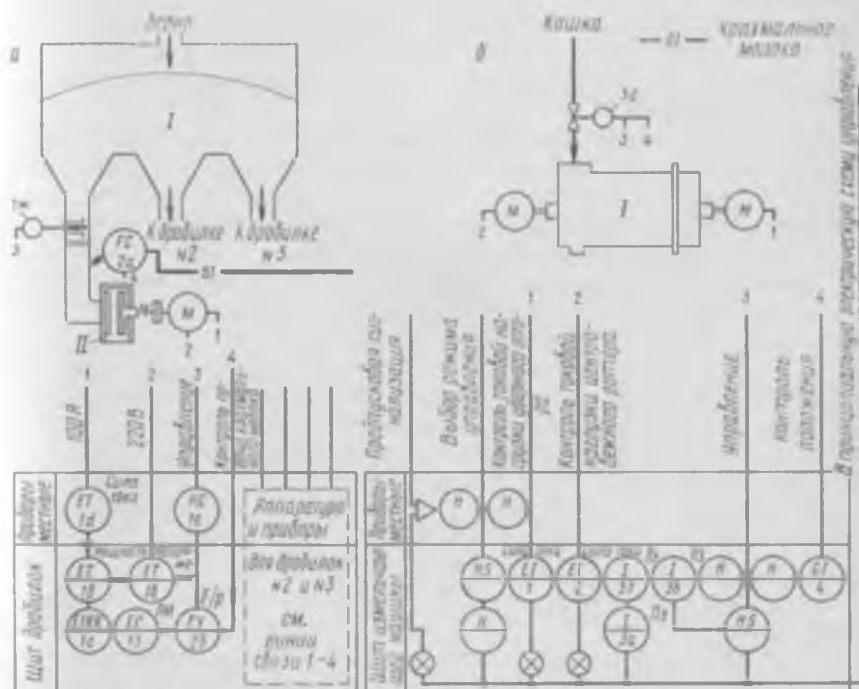


Рис. 15-6. Схема автоматизации измельчения кукурузного зерна:

а — станция первого дробления (I — бункер зерна; II — дробилка № 1); б — тонкого измельчения (I — измельчающая машина РЗ-ПМ2-К-150)

ческий и подает его на вторичный прибор ПВ10.1Э (1г) и изодромный регулятор ПРЗ.31 (1д), где потребляемая мощность двигателя сравнивается с заданной. При отклонении от заданного управляющий сигнал поступает на исполнительный механизм типа МПП (1ж), соединенный с шибером, изменяющим подачу зерна на дробилки.

Наличие крахмального молока контролируется кондуктометрическим датчиком потока 2а, сигнал от которого поступает на электропневматический клапан ЭПК 1/4" (2б). На этот же клапан поступает сигнал и от регулятора 1д. При отсутствии сопровождающей жидкости электрический импульс от датчика

потока 2а через клапан ЭПК 1/4" (2б) отсекает сигнал от регулятора 1д и шибер подачи зерна на дробилку закрывается.

Автоматизация тонкого измельчения кукурузного зерна. Тонкое измельчение кукурузного зерна после дробления (кашки) осуществляется для окончательного отделения крахмала от некрахмальной части. Система автоматизации процесса измельчения каши на измельчающих машинах РЗ-ПМ2-К-150 позволяет регулировать подачу каши в измельчающую машину в зависимости от тока нагрузки центробежного ротора. На рис. 15—6,б представлена схема автоматизации процесса измельчения каши.

Пуск двигателей машины осуществляется нажатием кнопки при установке выключателя в положение «Работа». При этом звучит предупредительный сигнал и получает питание реле времени, которое по программе производит пуск двигателей: вначале происходит разгон ударного ротора, через некоторый промежуток времени двигатель ударного ротора переводится на непосредственное питание от сети и подготавливается к пуску двигатель центробежного ротора.

После полного разгона двигателей автоматически подается каша на измельчение. Стабилизация загрузки измельчающей машины осуществляется с помощью реле максимального и минимального тока типа РТ-40 и ступенчатого импульсного прерывателя СИП-01.

В процессе работы измельчающей машины при увеличении (реле 3а) или уменьшении (реле 3б) тока нагрузки центробежного ротора через импульсный прерыватель 3в изменяется положение заслонки 3г подачи каши в измельчающую машину.

При ручном режиме работы выключатель устанавливается в положение «Ручной» и управление исполнительным механизмом заслонки осуществляется с помощью кнопок.

Работа двигателей контролируется амперметрами 1, 2 и сигнализируется, а положение заслонки подачи каши в измельчающую машину контролируется дистанционным указателем положения 4.

15.3. Автоматизация прессования

Процесс обработки материалов воздействием внешнего давления, создаваемого в прессах, называется прессованием. Он применяется при отжати жидкости, формовании и уплотнении материалов.

Отжатие жидкости из материалов прессованием используется при получении соков из ягод, жомопрессовой воды из свекловичного жома, масла из масличных семян и т. д.

Для отжатия жидкости применяются механические и пневматические прессы непрерывного и периодического действия.

потока 2а через клапан ЭПК 1/4" (26) отсекает сигнал от регулятора 1д и шибер подачи зерна на дробилку закрывается.

Автоматизация тонкого измельчения кукурузного зерна. Тонкое измельчение кукурузного зерна после дробления (кашки) осуществляется для окончательного отделения крахмала от некрахмальной части. Система автоматизации процесса измельчения каши на измельчающих машинах РЗ-ПМ2-К-150 позволяет регулировать подачу каши в измельчающую машину в зависимости от тока нагрузки центробежного ротора. На рис. 15—6,б представлена схема автоматизации процесса измельчения каши.

Пуск двигателей машины осуществляется нажатием кнопки при установке выключателя в положение «Работа». При этом звучит предупредительный сигнал и получает питание реле времени, которое по программе производит пуск двигателей: вначале происходит разгон ударного ротора, через некоторый промежуток времени двигатель ударного ротора переводится на непосредственное питание от сети и подготавливается к пуску двигатель центробежного ротора.

После полного разгона двигателей автоматически подается кашка на измельчение. Стабилизация загрузки измельчающей машины осуществляется с помощью реле максимального и минимального тока типа РТ-40 и ступенчатого импульсного прерывателя СИП-01.

В процессе работы измельчающей машины при увеличении (реле 3а) или уменьшении (реле 3б) тока нагрузки центробежного ротора через импульсный прерыватель 3в изменяется положение заслонки 3г подачи каши в измельчающую машину.

При ручном режиме работы выключатель устанавливается в положение «Ручной» и управление исполнительным механизмом заслонки осуществляется с помощью кнопок.

Работа двигателей контролируется амперметрами 1, 2 и сигнализируется, а положение заслонки подачи каши в измельчающую машину контролируется дистанционным указателем положения 4.

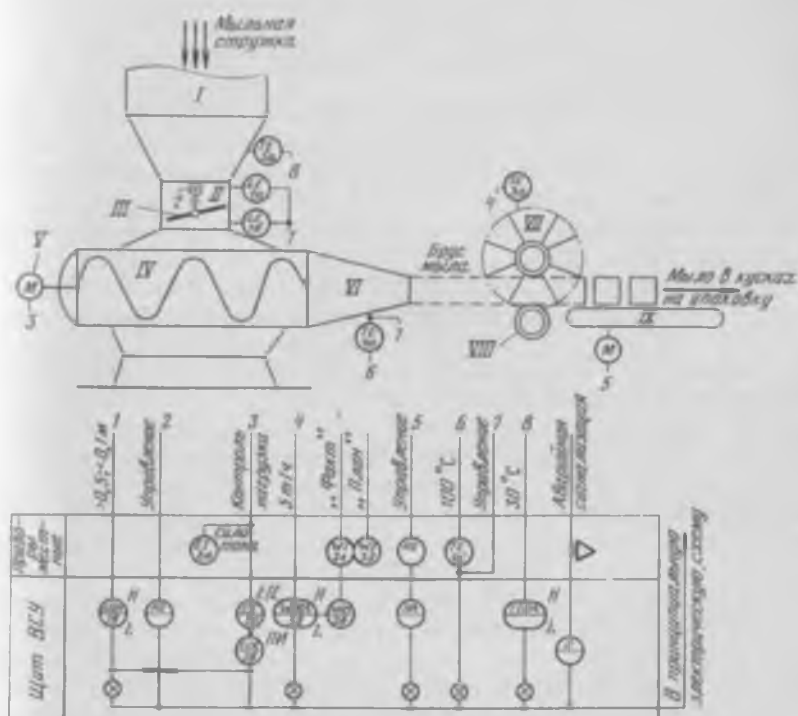
15.3. Автоматизация прессования

Процесс обработки материалов воздействием внешнего давления, создаваемого в прессах, называется прессованием. Он применяется при отжати жидкости, формовании и уплотнении материалов.

Отжатие жидкости из материалов прессованием используется при получении соков из ягод, жомопрессовой воды из свекловичного жома, масла из масличных семян и т. д.

Для отжатия жидкости применяются механические и пневматические прессы непрерывного и периодического действия.

Способом формовки пользуются для придания материалу необходимой формы. Он применяется при приготовлении из



I — вакуум-сушильная установка (ВСУ); *II* — рукав ВСУ; *III* — распределительный шибер; *IV* — пеллетеза; *V* — электропривод пеллетезы; *VI* — обогреваемый конус; *VII* — устройство резки; *VIII* — устройство штамповки; *IX* — конвейер мыла

На рис. 15—7 приведена схема автоматизации процесса прессования мыла.

Хозяйственное мыло производится из мыльной основы путем ее распыливания и сушки под вакуумом в вакуум-сушильных установках ВСУ и последующего перемешивания и прессования образовавшейся в ВСУ мыльной стружки в шнековых прессах (пелотезах).

Из ВСУ I мыльная стружка попадает в рукав II и далее в зависимости от положения распределительного шибера III поступает в пелотезу IV. Электропривод V приводит во вращение вал пелотезы, который выполнен в виде винтового конвейера. При вращении мыльная стружка механически обрабатывается, интенсивно перемешивается и через квадратное отверстие в обогреваемом конусе VI в виде сформованного бруса мыла выходит из пелотезы. Далее брус мыла проходит через устройства резки VII и штамповки VIII и по конвейеру IX поступает на укладку.

Для обеспечения необходимого качества мыла (содержания в нем определенного количества влаги и жирных кислот) в ВСУ поддерживаются заданные разрежение и температура.

Схема автоматизации процесса прессования предусматривает стабилизацию производительности пелотезы и основных режимных параметров.

При нормальной загрузке пелотезы нагрузка электропривода V находится в заданных пределах, уровень мыльной стружки в рукаве II достигает среднего значения, шибер III находится в среднем положении, что соответствует 50 % подачи стружки от производительности ВСУ.

При повышении уровня сигнал от сигнализатора уровня СБК (1а, 1в) с определенной выдержкой времени (до 150 с) через релейный блок управления поступает на исполнительный механизм шибера III и вызывает его перемещение в положение, соответствующее ограничению подачи стружки до 25 % от общего значения. В релейный блок поступает также сигнал о значении нагрузки электропривода V пелотезы. Для получения сигнала изменения токовой нагрузки в силовые цепи электродвигателя включен трансформатор тока, вторичная обмотка которого подключена к датчику трансформатора тока ДТТ-58 26, преобразующему сигналы изменения токовой нагрузки в напряжение, подаваемое на вход регулятора Р25 2в.

Если нагрузка электродвигателя резко возросла и превышает заданное значение, происходит полное перекрытие шибером III рукава II и приток стружки прекращается. Одновременно подается сигнал оператору в виде световой и звуковой сигнализации. Далее с выдержкой времени происходит аварийный останов электропривода, если нагрузка последнего не снизилась после полного прекращения притока мыльной стружки.

В случае снижения уровня сигнал от СБК (1б, 1в) через релейный блок управления вызывает перемещение шибера III в положение, соответствующее 75 % подачи стружки от общего значения. Если нижний уровень не восстанавливается, то с определенной выдержкой времени подаются световой и звуковой сигналы оператору для принятия необходимых мер с последующим остановом пелотезы.

Для обеспечения гладкой поверхности мыльного бруса конус VI пелотезы подогревается до определенной температуры с помощью спирали электронагревателя. Регулирование температуры обеспечивает система, состоящая из термопреобразователя 4а, контролирующего температуру, регулятора 4б — реластата, изменяющего автоматически напряжение питания электронагревателя для поддержания заданной температуры конуса пелотезы.

Устройство штамповки и резки бруска на куски оснащено системой учета количества выпущенного мыла. Система учета состоит из датчика скорости ИСК-ЭМ (3а), вторичного самопишущего прибора 3б, преобразователя с интегратором 3в, а также табло «План-факт».

Электропривод конвейера IX управляется по месту и дистанционно со щита по сигналу о прекращении работы пелотезы.

15.4. Автоматизация счета штучной продукции

На предприятиях пищевой промышленности для оценки эффективности производственного процесса применяются системы счета тары, сырья и готовой продукции. На некоторых предприятиях эта ответственная работа выполняется визуально учетчиками, при этом не исключено наличие субъективных ошибок. Системы автоматического счета позволяют объективно учитывать сырье и готовую продукцию, уменьшить потери тары, сырья, повысить производительность, контролировать ритмичность работы оборудования.

Эффективность работы предприятий масло-жировой, винодельческой, ниво-безалкогольной и других отраслей промышленности, продукция которых фасуется в бутылки и банки, во многом зависит от нормальной работы на операциях с тарой: выемки, мойки и выбраковки вымытых бутылок, розлива, укупорки, бракеража, наклейки этикеток, укладки заполненных бутылок в ящики, транспортировании ящиков на склад.

Устройство счета бутылок и банок УСБ1 предназначено для оперативного счета бутылок, перемещаемых конвейером, с индикацией показаний и с дистанционной передачей информации в системы контроля ритмичности работы цеха, линии.

По принципу действия устройство является фотоэлектрическим прибором, состоящим из датчика фотоэлектрического (ДФ) и блока индикации показаний местного (БИМ) либо блока индикации показаний шкафного (БИШ).

Датчик ДФ состоит из источника излучения, фотоприемника и электронного блока.

Блок индикации показаний состоит из электронного блока, электромеханического счетчика, узла сброса показаний и ламп подсветки. Работа блока индикации заключается в согласо-

нии высокого выходного сопротивления датчика ДФ с низким входным сопротивлением электромеханического счетчика.

На рис. 15—8 представлена схема автоматизации сбора информации для счета тары и готовой продукции на линии розлива в бутылки (банки) с использованием УСБ1.

Система осуществляет сбор информации о количестве ящиков, поступающих с возвратной тарой с помощью датчика ДФ (1а) и блока индикации БИМ (1б); сбор информации о коли-

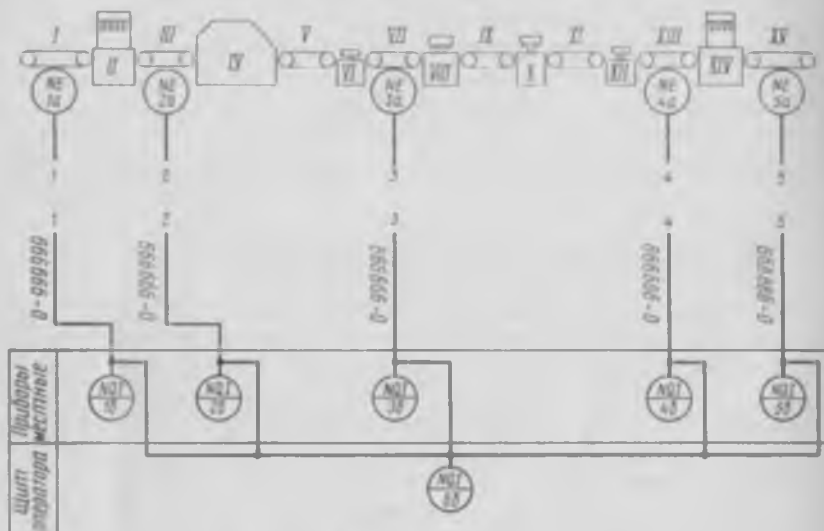


Рис. 15-8. Схема автоматизации сбора информации для учета тары и готовой продукции на линии розлива в бутылки:

I, III, V, VII, IX, XI, XIII, XV — конвейеры; II — автомат для выемки бутылок из ящиков; IV — бутылочная машина; VI — экран; VIII — разливочный автомат; X — укупорочный автомат; XII — бракеражный автомат; XIV — автомат для укладки бутылок в ящики

честве пустых бутылок, поступающих на бутылочную машину, с помощью датчиков типа ДИП (2а) в комплекте с блоком индикации БИМ (2б); сбор информации о количестве бутылок, поступающих к разливочному автомату, с помощью датчиков ДИП (3а) и блока БИМ (3б); сбор информации о количестве полных бутылок, поступающих на укладку в ящики; сбор информации о количестве ящиков с готовой продукцией, поступающих на склад, с помощью датчика ДФ (5а) и блока БИМ (5б).

Для централизованного контроля вместо блоков БИМ 1б—5б может быть использован блок индикации показаний типа БИШ (6б), в котором устанавливаются шесть электромеханических счетчиков.

По показаниям блоков индикации рассчитываются потери тары на бутыломоечных машинах и потери готовой продукции на различных участках линии розлива.

При применении вычислительных машин устройство УСБ1 может быть использовано для выполнения задач по расчету количества готовой продукции в единице объема, по расчету ритмичности работы оборудования, по представлению информации о готовой продукции по наименованиям, сортам и др.

На табачных фабриках применяется **автоматизированная информационная система учета производства курительных изделий**. Данная система предназначена для непрерывного контроля и оперативного управления процессом изготовления и упаковки папирос и сигарет. Система состоит из датчиков штучной продукции, устройства обработки и регистрации данных, печатающего устройства, пульта диспетчера и коммутатора диспетчерской и селекторной связи.

Датчик штучной продукции представляет собой преобразователь, который вырабатывает электрический импульс в момент прохождения папиросы (пачки, блока) через зону, где устанавливается датчик. Сигнал от датчика поступает на устройство обработки и регистрации данных, которое обеспечивает прием, обработку и хранение полученной информации. С помощью печатающего устройства информация от датчиков регистрируется на бумажной ленте.

На пульте диспетчера представлена текущая информация о количестве продукции, выработанной каждой единицей оборудования. При помощи коммутатора диспетчерской и селекторной связи диспетчер осуществляет связь с администрацией, с рабочими местами и техническими службами предприятия.

Для технологического учета продуктов, находящихся в различных емкостях, применяется **электронная цифровая тензометрическая система (ЦТС)**, которая работает совместно с силовыми измерительными тензорезисторными датчиками автоматического измерения массы продуктов.

В комплект системы ЦТС входят блок цифровых преобразований БЦП, блок сравнения БС (по числу контролируемых объектов), табло цифровое ТЦ (по числу контролируемых объектов), цифropечатающее устройство ЭУМ-23.

Принцип действия системы заключается в следующем. Электрический сигнал от силовых измерительных тензорезисторных датчиков, пропорциональный массе продукта, преобразуется в цифровой код. Система ЦТС обеспечивает автоматический контроль массы продукта в различных емкостях; индикацию результатов измерения на информационном табло; визуальную сигнализацию контролируемого объекта, на котором производится измерение; хранение и регистрацию результатов измерения на цифropечатающем устройстве с одновременной регистрацией индекса контролируемого объекта; выдачу в схемы автомати-

зации сигналов о достижении заданных значений массы. Данная система обеспечивает также ввод результатов измерения и индекса контролируемого объекта в управляющую цифровую машину.

На ряде производств эффективно используется **информационная система контроля ритмичности производства «Искра»**, позволяющая контролировать ритмичность работы цеха, отделения, линий путем суммирования, запоминания и визуальной индикации дискретной информации о плановых и фактических производственных показателях. Система применяется на предприятиях с поточным характером производства, которые оснащены датчиками учета, вырабатывающими электрические импульсы.

Система «Искра» может обеспечить передачу информации из блока управления в вычислительный комплекс.

15.5. Автоматизация дозирования

Процесс дозирования широко распространен в отраслях пищевой промышленности: при производстве хлеба дозируются мука, вода, соль и другие добавки; при производстве овощных и закусочных консервов дозируются вкусовые добавки; при производстве синтетических моющих средств осуществляется дозирование различных ингредиентов, входящих в их состав.

Для получения смесей повышенного качества процесс дозирования происходит обычно непрерывно. При автоматизации процессов дозирования основное внимание уделяется регулированию соотношения расходов заданных рецептурой компонентов, при этом предъявляются повышенные требования к точности дозирования.

Дозирование может осуществляться по объему, например с помощью многокомпонентного насоса-дозатора, либо по массе с помощью весовых устройств.

Рассмотрим автоматизацию процесса дозирования по массе жидких компонентов при производстве маргариновой эмульсии.

При производстве маргариновой продукции предварительно готовится маргариновая эмульсия, в состав которой входят жировые и водно-молочные компоненты. Набор этих компонентов проводится в дозировочном отделении, куда они поступают соответственно из жирохранилища и молочного отделения. В жирохранилище каждый вид жировых компонентов находится в баках-емкостях, в которых поддерживается определенная температура, для того чтобы жиры находились в расплавленном виде и хорошо транспортировались по трубопроводам.

В молочном отделении приготавливается сквашенное молоко и пастеризуется поступающее свежее молоко, готовится раствор соли, кипяченая вода и т. п.

Дозирование — набор жировых и водно-молочных компонентов — осуществляется по определенной рецептуре по массе в баки, установленные на автоматических весах. После набора жировой и водно-молочной смеси одновременно проводится их слив в один из смесителей, откуда приготовленная маргариновая эмульсия поступает на дальнейшую обработку.

На рис. 15—9 приведена схема автоматического управления участком дозирования при производстве маргарина. Из емко-

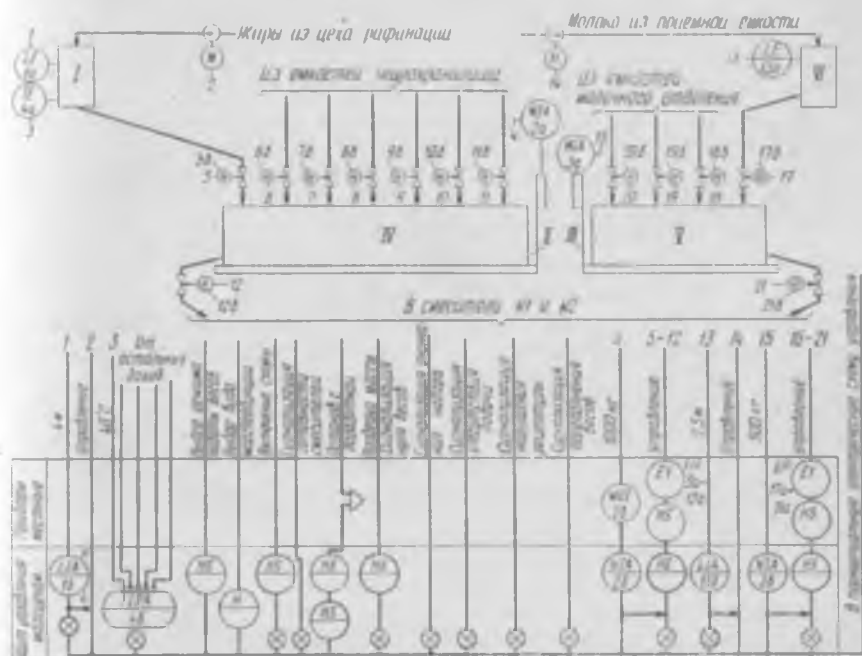


Рис. 15-9. Схема автоматизации процесса дозирования при производстве маргарина:

I — емкость жирохранилища; II — весы жирового набора; III — весы водно-молочной смеси; IV — бак жирового набора; V — бак водно-молочной смеси; VI — емкость молочного отделения

стей I жирохранилища и VI молочного отделения (для упрощения на схеме показано по одной емкости) последовательно в баки IV и V, установленные соответственно на весах II и III, набирается по массе каждый входящий в рецептуру вид жиров и компонент водно-молочной смеси.

Автоматизация участка выполнена с использованием комплектной системы автоматизированного дозирования жидких сред (САДЖС-2). В состав этой системы входят рычажно-механические весы II типа РС-2Ц13 с пределом взвешивания 2000 кг, с указателем циферблатным типа УЦК-400-3 ВД6

(2а, 2б) с 6 задающими стрелками и сельсином-датчиком и с дистанционным циферблатным указателем типа УЦД-400-ЗВП6 (2в) с 6 задающими стрелками и сельсином-датчиком, а также весы III типа РП-1Ц13 с пределом взвешивания 1000 кг и соответственно двумя указателями УЦК-400-ЗВД6 (3а) и УЦД-400-ЗВП6 (3б) со шкалами 0—500 кг.

В качестве запорной арматуры на линиях подачи компонентов на весы и слива с весов в смесители применены отсечные клапаны с поршневым пневмоприводом КОПП1 (56 — 116; 176 — 206) и КОПП2 (126, 216). Управление клапанами осуществляется сжатым воздухом с помощью электропневматических вентилей типа ВВ-32Ш (5а — 12а, 17а — 21а).

Кроме весовых дозаторов жировых и водно-молочных компонентов, в состав системы входят два пульта управления, два шкафа, в которых расположены вентили ВВ-32Ш, и два местных щитка.

Пульты управления и дистанционные циферблатные указатели устанавливаются в помещении операторского (диспетчерского) пункта управления маргариновым цехом.

Система обеспечивает местный, дистанционный и автоматический режимы управления. В местном режиме управление производится переключателями с местных щитков, в дистанционном — переключателями с пультов управления. На пультах расположена световая сигнализация работы клапанов набора и слива компонентов, установки стрелки весов на «0» шкалы, окончания набора компонентов, готовности смесителя принять с весов набранные компоненты.

Системой предусмотрена аварийная световая и звуковая сигнализация перегрузки весов, нарушения рецептуры из-за незакрытия клапана подачи компонента, отсутствия подачи компонентов на весы и слива набранной порции с весов после поступления команды.

Система позволяет провести проверку массы отдельных компонентов, остановить дозирование с доработкой всего цикла набора. Обеспечена также защита весов от перегрузки.

Перед началом работы системы в автоматическом режиме выбирают программу для данного вида маргарина штекерами на программной плате пультов управления. Установка штекера обеспечивает соединение датчиков массы циферблатного указателя с определенными вентилями ВВ-32Ш, управляющий сигнал от которых поступает на определенные клапаны подачи компонентов.

Если набор в баки на весах окончен и один из смесителей готов принять очередную порцию, то открываются клапаны слива и компоненты поступают в смеситель.

Системой автоматизированного управления дозированием предусматривается также автоматический контроль уровня и

температуры в емкостях жирохранилища и молочного отделения. В качестве датчиков уровня используются гидростатические уровнемеры ПИГ-2 (1а, 13а). Сигналы от уровнемеров поступают на вторичные приборы ППВ1.3И (16, 136) с сигнальными устройствами. По достижении верхнего уровня в емкости электрический сигнал от ППВ-1.3И используется для блокировки соответствующих насосов; при нижних значениях уровня блокируется работа дозирующих устройств.

Контроль температуры продукта в емкостях осуществляется с помощью термопреобразователей сопротивления ТСП (4а), сигналы от которых поступают на многоточечный электронный мост КСМ-2 (4б).

Вторичные приборы и сигнальные лампочки установлены на щитах жирохранилища и молочного отделения.

В емкости, в которой происходит сквашивание молока, с помощью погружных датчиков ДПг и преобразователя П201 контролируется рН.

15.6. Автоматизация смешивания

Смешивание (перемешивание) широко применяется в различных отраслях пищевой промышленности для равномерного распределения составных частей в смесях жидких, твердых и сыпучих компонентов. Так, например, в хлебопекарном производстве перемешивают различные виды теста, на маргариновых заводах смешивают различные компоненты маргариновой эмульсии, в консервном производстве — мясные и овощные фарши и т. д. Полученные однородные смеси должны обладать вполне определенными физико-химическими свойствами.

Для получения смесей используются смесители, где перемешивание происходит механическим, пневматическим, циркуляционным и поточным методами.

При автоматизации процессов смешивания наиболее простыми являются системы стабилизации расходов подаваемых в смеситель компонентов. Иногда при постоянстве расходов компонентов состав смеси будет отличаться от заданного, тогда вводятся корректирующие сигналы в систему управления по тем параметрам, которые определяют качество смеси.

Смешивание (перемешивание) применяется также для интенсификации массообменных, тепловых и химических процессов.

Автоматизация приготовления замеса. На спиртовых заводах, перерабатывающих крахмалистое сырье, большое значение отводится процессу приготовления замеса (рис. 15—10) с требуемой концентрацией крахмалистых веществ.

Измельченное зерно поступает в смеситель замеса, где смешивается с водой, после чего замес направляется в отделение разваривания.

Схема автоматизации приготовления замеса включает в себя систему стабилизации продуктового потока и контуры стабилизации основных режимных параметров.

Система стабилизации продуктового потока обеспечивает заданный расход муки в чан замеса с коррекцией по содержа-

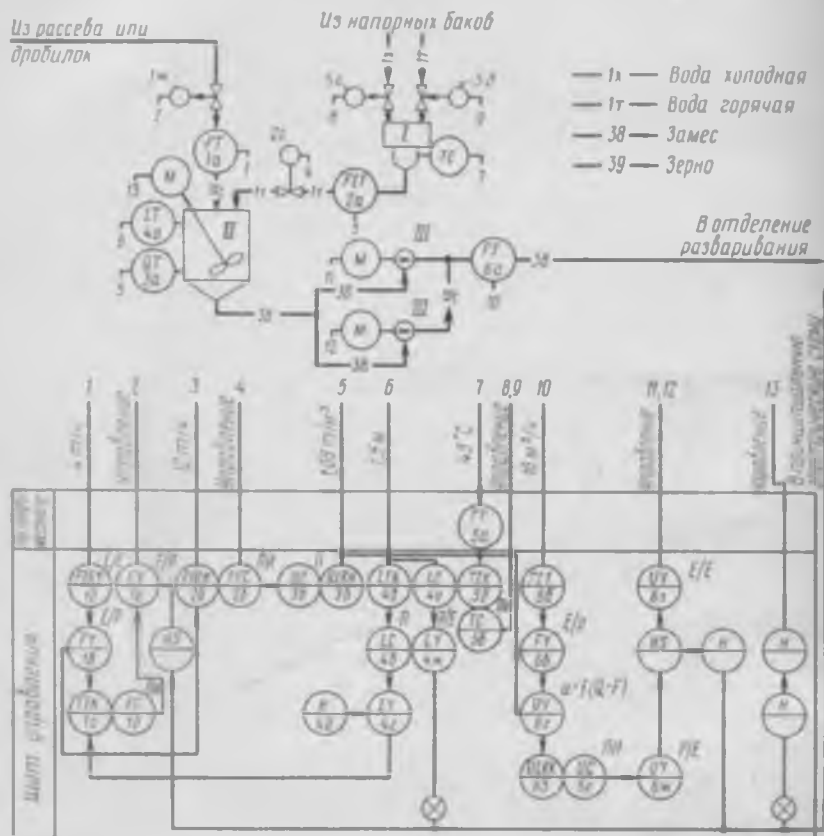


Рис. 15-10. Схема автоматизации приготовления замеса:

I — смеситель воды; II — смеситель замеса; III — плунжерный насос

нию вводимого крахмала, подачу воды для замеса в определенном соотношении с расходом муки, стабильный расход замеса на производство с коррекцией по плотности замеса.

Расход муки, поступающей в чан замеса, измеряется расходомером типа РЦ-71 (1а) в комплекте со вторичным дифтрансформаторным прибором типа КСД-3 (1б). Сигнал, пропорциональный расходу муки, от вторичного прибора КСД-3 (1б) поступает на электропневмопреобразователь ЭПП (1в), пнев-

матический сигнал от которого поступает в камеру «переменная» вторичного прибора со станцией управления типа ПВ3.2 (1г) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (1д). В камеру «программа» прибора ПВ3.2 (1г) поступает сигнал от функционального блока ПФ1.1 (4г), в котором формируется задание на расход муки по уровню массы в смесителе с ручной коррекцией по количеству вводимого крахмала. В блоке ПФ1.1 (4г) происходит алгебраическое суммирование сигналов, поступающих от пропорционального регулятора ПР2.8 (4в) и от задатчика вторичного прибора ПВ2.3 (4д). После сравнения параметра с заданием сигнал от регулятора ПР3.31 (1д) поступает на исполнительный механизм МИМ-К (1ж), сочлененный с шибером.

Вода для приготовления замеса подается в определенном соотношении с расходом сырья. Для измерения расхода воды используется ротаметр типа РПЖ (2а), сигнал от которого поступает в камеру «переменная» вторичного прибора со станцией управления ПВ10.1Э (2б) и пропорционально-интегральный регулятор соотношения с коррекцией ПР3.34 (2в). На этот же регулятор поступает сигнал, пропорциональный расходу сырья, от ЭПП (1в), а в камеру «коррекция» — корректирующий сигнал по концентрации сухих веществ (плотности) замеса от пропорционального регулятора ПР2.8 (3в). Выход регулятора ПР3.34 (2в) изменяет положение регулирующего клапана 25ч30нж (2г), установленного на трубопроводе воды.

Для измерения плотности замеса используется устройство 3а с пневмовыходом, разработанное ВНИИ продуктов брожения.

В качестве датчика для измерения расхода замеса применяется индукционный расходомер типа ИР-51 (6а, 6б), сигнал от которого поступает на электропневмопреобразователь ЭПП (6в) и затем на функциональный блок ПФ1.1 (6г). На этот же блок поступает корректирующий сигнал по плотности замеса от плотномера 3а. От ПФ1.1 (6г) сигнал поступает на вторичный прибор со станцией управления ПВ10.1Э (6д) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (6е). Выходной сигнал регулятора ПР3.31 (6е) поступает на пневмоэлектропреобразователь ПЭ-55М (6ж) и на регулируемый тиристорный электропривод, сочлененный с плунжерным насосом замеса.

Системой автоматизации приготовления замеса предусмотрена также стабилизация температуры воды, поступающей в смеситель. Для измерения температуры в смесителе воды используется датчик температуры типа 13ТД (5а), сигнал от которого поступает на вторичный прибор типа ПВ3.2 (5б) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (5в), который управляет клапанами 25ч30нж (5г) и 25ч32нж (5д), установленными на трубопроводах подачи холодной и теплой воды.

15.7. Автоматизация фильтрации

Фильтрацией называется процесс разделения неоднородных веществ (суспензий, аэрозолей) при помощи пористых перегородок, которые задерживают взвешенные частицы и пропускают фильтрат или очищенный газ.

Процесс разделения суспензий и аэрозолей широко применяется в пищевой промышленности. Освобождение жидкости, газа или воздуха от взвешенных частиц производится при помощи фильтров. Применяемые в промышленности фильтры различны по назначению и принципу действия. Их подразделяют по технологическому назначению — фильтры для очистки жидкости и аэрозолей, по характеру работы — периодического действия и непрерывнодействующие. Среди фильтров периодического действия широкое распространение нашли дисковые фильтры (ДФ), фильтры с центробежной выгрузкой осадка (ФЦВО), фильтр-прессы (ФПАК), листовые саморазгружающиеся фильтры (ФилС).

Из фильтров непрерывного действия широко применяются вакуум-фильтры и дисковые грязесгустители.

Схема автоматизации фильтров ФилС. Листовые саморазгружающиеся фильтры (ФилС) применяются для основной фильтрации сока I сатурации в свеклосахарном производстве. Фильтры имеют следующие циклы работы: активное фильтрование, частичный выпуск фильтрата, активное фильтрование, выгрузка грязевой суспензии.

Процесс фильтрования ведется под давлением; при опорожнении фильтра в нем создается разрежение.

Фильтр оснащен запорной арматурой подачи сока, спуска сока и слива грязевой суспензии. Работа фильтра начинается с набора сока в фильтр, при этом запорная заслонка на трубопроводе сока открывается, две другие закрыты, фильтрат проходит в коллектор и на производство. По истечении 20—25 мин закрывается запорный орган подачи сока в фильтр и открывается запорный орган на коммуникации возврата сока в сборник перед фильтрами. Осадок, образовавшийся на внешней поверхности фильтровальных перегородок, смывается жидкостью, которая поступает в направлении, обратном движению сока, и отводится в нижнюю часть фильтра.

Заводом «Сахавтомат» разработана схема автоматизации батарей (4—8 аппаратов) фильтров ФилС. Данная система автоматизации позволяет по заданной программе управлять работой фильтра, обеспечивая последовательность циклов и исключая одновременное выключение из работы более одного фильтра. Время активной фильтрации может меняться в зависимости от качества нефильтрованного сока и плотности суспензии, а время регенерации задается жестко по программе.

На рис. 15—11 представлена схема автоматизации работы

фильтров ФилС (на схеме условно показан один аппарат).

Управление батареей фильтров осуществляется с помощью релейного блока, состоящего из программноносителя, построенного на шаговом искателе ШИ-25/4, промежуточных реле, реле времени, реле счета импульсов.

В зависимости от заданной временной программы осуществляется управление исполнительными механизмами заслонок

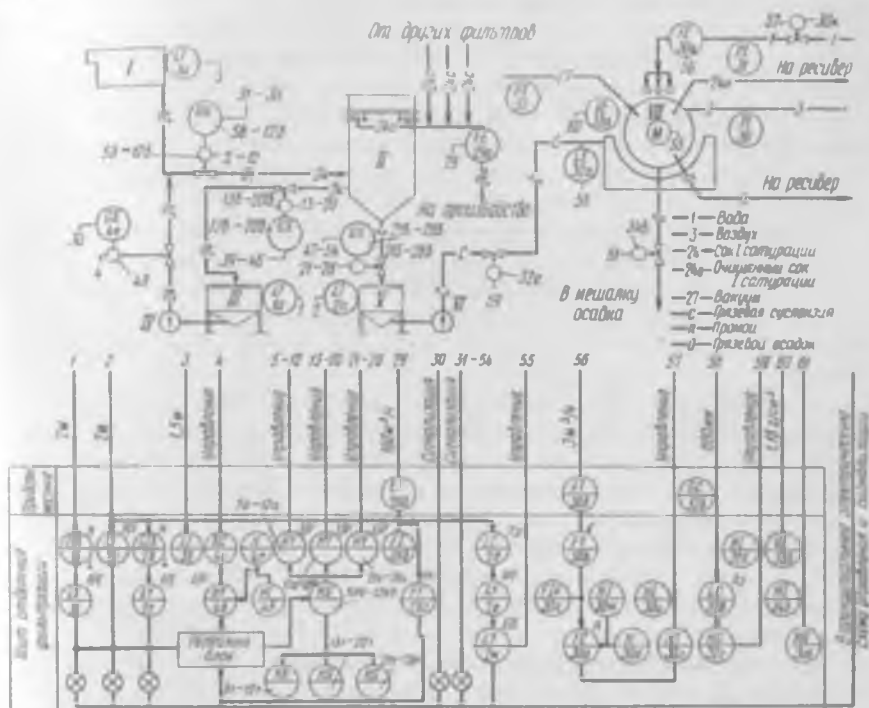


Рис. 15-11. Схема автоматизации фильтров ФилС и вакуум-фильтров:

I — сборник сока перед фильтрами; II — фильтр ФилС (8 шт.); III — сборник сока возврата; IV — насос сока возврата; V — сборник грязевой суспензии; VI — насос грязевой суспензии; VII — вакуум-фильтр

подачи, возврата сока и спуска осадка из фильтра. С помощью ключей управления фильтрами ПМОФ-45 (5КУ — 12КУ) в положении «автоматически» осуществляется поочередная регенерация фильтров. При положении ключа «дистанционно» программноноситель не ставит на регенерацию данный фильтр, а осуществляет регенерацию следующего за ним фильтра, тем самым сокращая время оборота батареев. По технологическим соображениям можно менять программу управления работой фильтра. Управление исполнительными механизмами заслонок подачи, возврата сока и спуска осадка происходит с помощью

электропневмопреобразователей П1.ПР5 (5а—28а); положение исполнительных механизмов фиксируется конечными выключателями ВПК-2112 (5в—28в); контроль положения ИМ осуществляется сигнальными лампочками. Система предусматривает блокировку выполнения команд управления ИМ: сок на фильтрацию подается при открытых регулирующих органах 5б—12б и закрытых 13б—28б; возврат сока и выгрузка осадка — при закрытой заслонке 5б—12б.

Когда начинается активный режим работы одного из фильтров, с помощью заслонки ПРУ (4д) начинается подача сока возврата в коллектор нефилтрованного сока. Степень открытия ИМ устанавливается задатчиком П23Д.4 (4а) и манометром М1Д.1 (4б), а само открытие происходит при поступлении командного сигнала от релейного блока через преобразователь П1.ПР5 (4в) и байпасную панель БПДУ-А (4г).

Основным импульсом для релейного блока является расход филтрованного сока, который измеряется щелевым расходомером 29а и дифманометром ДМ-П 29б. Сигнал от дифманометра поступает на вторичный прибор ПВ1.3 (29в) и через пневмоэлектропреобразователь П1ПР.4 (29г) — на релейный блок.

Схемой предусмотрен контроль выгрузки осадка по приращению уровня в сборнике грязевой суспензии. Уровень в сборнике измеряется напорометром НС-П (2а), сигнал от которого поступает на преобразователь П1ПР.4 (2б). Если выгрузка осадка не происходит, то через электрическую схему осуществляется аварийная звуковая и световая сигнализация.

На щите управления фильтрами ФилС расположены вторичные приборы ПВ1.3 (3б) и ПВ2.2 (1б, 2в), контролирующие уровни в сборниках.

Схема автоматизации вакуум-фильтров. Вакуум-фильтры применяются для выделения твердых частиц из суспензий. Обычно на заводе устанавливаются несколько вакуум-фильтров, работающих параллельно. Для обеспечения номинальной производительности вакуум-филтрационного отделения число работающих вакуум-фильтров определяется уровнем суспензии в сборнике V (см. рис. 15—11). Уровень в сборнике грязевой суспензии измеряется напорометром НС-П (2а), сигнал от которого поступает на позиционный регулятор ПР1.6 (2д) и через преобразователи ПЭ-55М (2е) и ПТО-М (2ж) управляет электроприводом барабана вакуум-филтра. При увеличении уровня в сборнике увеличивается число оборотов вакуум-филтра, что повышает его производительность.

На заводах для выслаживания осадка на вакуум-филтрах устанавливают форсунки, которые обеспечивают равномерное орошение поверхности. Расход воды на промывку грязевой лепешки стабилизируют для того, чтобы уменьшить потери сахара в осадке. Расход воды измеряется диафрагмой ДК (30а),

дифманометром ДС-П (306), прибором извлечения квадратного корня ПФ1.17 (30в) и вторичным прибором РПВ4.2Э (30 г). Сигнал от ПФ1.17 (30в) поступает в камеру «переменная» статического регулятора ПР2.8 (30д), где сравнивается с заданием, устанавливаемым задатчиком П23Д.4 (30е) и манометром М1Д1 (30ж). Сигнал от регулятора поступает на клапан 25ч32нж (30к), изменяющий расход воды на промывку грязевой лепешки. При «загорании» форсунок, распыляющих промывную воду, их чистят.

Барабанные вакуум-фильтры характеризуются степенью погружения барабана в суспензию, которая позволяет получать максимальную зону фильтрации. Необходимым условием нормального ведения процесса фильтрации на вакуум-фильтрах является поддержание заданного уровня суспензии в корыте вакуум-фильтра, так как при снижении уровня уменьшается зона фильтрования, а при увеличении уровня суспензии через чересную трубу возвращается в сборник грязевой суспензии, а затем насосом вновь подается в вакуум-фильтр, при этом фильтрационные свойства суспензии значительно снижаются.

Уровень в корыте вакуум-фильтра измеряется пьезометрическим методом, при котором напоромер НС-П (32а) измеряет давление сжатого воздуха, поступающего через регулятор воздуха РРВ (32б) в трубку, опущенную в корыто вакуум-фильтра. От напоромера НС-П (32а) пневматический сигнал, пропорциональный измеряемому уровню, поступает на позиционный регулятор ПР1.5 (32в), выходной сигнал которого управляет положением регулирующей заслонки (32е), установленной на трубопроводе подачи суспензии в вакуум-фильтры.

Важным параметром, определяющим работу вакуум-фильтров, является плотность поступающей суспензии, которая автоматически контролируется с помощью индикатора плотности 33а и вторичного показывающего прибора ППВ1.1 (33б).

Системой автоматического управления вакуум-фильтрами предусмотрен также автоматический контроль давления (0,45 МПа) и температуры аммиачной воды на промывку грязевой лепешки, давления (0,05 МПа) воздуха на отдувку лепешки.

Спуск грязевого осадка в мешалку осуществляется дистанционно с помощью пневмотумблера П1Т-2 (34а); положение запорного органа контролируется манометром М1Д.1 (34б).

Контрольные вопросы

1. Назовите системы транспортировки, применяемые в пищевой промышленности.
2. Как достигается равномерная подача свеклы на завод?
3. Назовите основные задачи, которые решаются при автоматизации элеваторов и складов бестарного хранения муки.
4. Назовите функции, выполняемые системой автоматического управления термовлажностной обработкой свеклы в кагатах.

5. Назовите принцип действия системы автоматического управления станцией первого дробления кукурузного зерна.
6. Назовите параметры, определяющие качество технологических операций участка формовки теста.
7. Назовите принцип действия системы автоматического управления процессом прессования мыла.
8. Назовите методы счета сырья и готовой продукции.
9. Приведите пример одной из систем автоматического учета сырья и готовой продукции.
10. Назовите принцип действия системы автоматического управления участком дозирования при производстве маргарина.
11. Назовите основные параметры процесса смешивания, которые необходимо стабилизировать.
12. Назовите типы фильтрационного оборудования, применяемые в пищевой промышленности.
13. Приведите пример системы автоматического управления процессом фильтрации.

Глава 16. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

16.1. Автоматизация теплообменных аппаратов и конденсаторов

Автоматизация теплообменных аппаратов. В пищевых производствах для процессов нагревания, охлаждения, пастеризации и стерилизации применяют различные виды теплообменных аппаратов. В зависимости от их конструктивного исполнения различают следующие виды поверхностных теплообменников: трубчатые, пластинчатые, спиральные, аппараты с рубашкой и с оребренной поверхностью, пароконтактные подогреватели.

Выбор того или иного типа теплообменных аппаратов обуславливается определенным тепловым процессом, а также эффективностью протекания процесса в аппарате.

В качестве теплоносителей используются горячая вода, водяной пар, горячий воздух и др. Часто используют отработанный пар паровых турбин и вторичный пар выпарных установок.

Благодаря своей надежности и компактности широкое распространение получили трубчатые подогреватели. В этих подогревателях одна из сред движется по трубам, а теплоноситель — в межтрубном пространстве. Для автоматизации трубчатых подогревателей применяют термопреобразователи сопротивления. Для предотвращения перегрева среды датчик устанавливается непосредственно в теплообменнике перед выходом продукта. В качестве регуляторов температуры используются электронные мосты КСМ-ЗП с изотермическим регулирующим устройством в комплекте с панелью дистанционного управления ПП12.2. Управляющий сигнал от регулирующего устройства моста КСМ-ЗП поступает на клапан 25ч30нж, установленный на трубопроводе подачи теплоносителя в подогреватель, тем самым изменяя расход теплоносителя.

Иногда нагревание продукта производят открытым паром. Пар вводится через барботер непосредственно в нагреваемую среду. В качестве датчика температуры применяется dilatометрический датчик типа ТУДП-ЗМ, пневматический сигнал от которого поступает на вторичный показывающий прибор со станцией управления ПВ10.1Э и пропорционально-интегральный регулятор ПРЗ.31, выходной сигнал которого поступает на клапан, изменяющий расход пара. Для предотвращения перегрева продукта схемой предусмотрена блокировка подачи пара в барботер при низком уровне продукта в емкости. Уровень в емкости измеряется преобразователем давления НС-П, пневматический сигнал от которого поступает на вторичный прибор с сигнальным устройством ПВ2.2. По достижении минимального уровня срабатывает сигнальное устройство ПВ2.2 и командный сигнал поступает на реле переключения ПП2.5, прекращая подачу управляющего сигнала от регулятора температуры; через реле переключения ПП2.5 проходит командный сигнал на закрытие клапана, установленного на подаче пара в барботер.

В последнее время в пищевой промышленности широкое применение получили электрические подогреватели, которые позволяют произвести нагрев продукта до 1000 °С. При пропускании тока через нагревательные элементы тепло от них лучеиспусканием или конвекцией передается нагревательному продукту. В масло-жировом производстве электронагрев применяется при дистилляции жирных кислот. Температура нагрева жирных кислот в дистилляционном кубе должна поддерживаться в заданных пределах, так как перегрев жирных кислот вызовет потемнение дистиллята и другие нежелательные явления.

Стабилизация температуры жирных кислот осуществляется автоматической системой, включающей термопреобразователь сопротивления типа ТСР, который устанавливается в последней секции дистилляционного куба, регулирующего прибора Р25 и магнитного пускателя. Если температура кислот в кубе выше заданной, контакты Р25 размыкаются и магнитный пускатель в каждой секции куба отключает нагревательный элемент. В случае понижения температуры происходит обратное действие.

С целью обезвреживания жидкости от микроорганизмов в пищевом производстве применяют пароконтактные подогреватели. Жидкость под давлением распыляется в нагревателе и мгновенно обрабатывается паром. Такие подогреватели нашли применение в свеклосахарном производстве при обработке жомопрессовой воды. Жомопрессовая вода из сборника поступает в пароконтактный подогреватель, где обрабатывается паром, и затем, имея температуру 90 °С, поступает в испаритель для утилизации тепла. Жомопрессовая вода, поступающая в производство, должна иметь температуру около

70°C. На рис. 16-1 представлена схема автоматизации пароконтактного подогревателя.

Стабилизация температуры жомопрессовой воды на выходе из пароконтактного подогревателя осуществляется с помощью термопреобразователя сопротивления ТСП 2а и моста с пропорционально-интегральным регулирующим устройством КСМ-ЗП 2б.

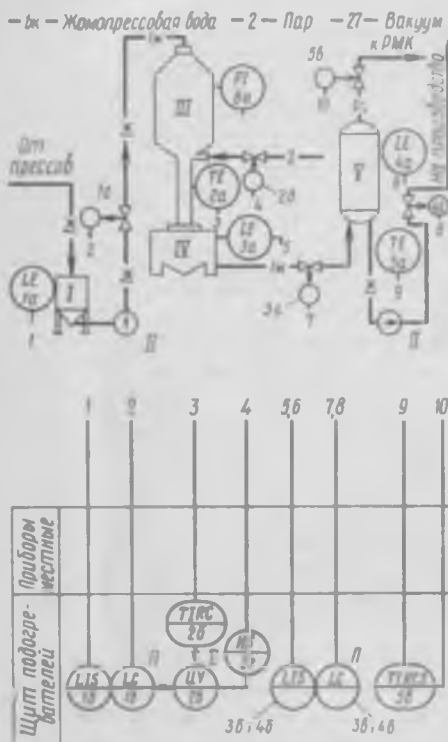


Рис. 16-1. Схема автоматизации пароконтактного подогревателя:

I — сборник жомопрессовой воды; II — насос жомопрессовой воды; III — пароконтактный подогреватель; IV — отстойник; V — испаритель

пропорционального регулятора ПР2.8 (1в, 3в, 4в) и регулирующего клапана 25ч30нж (1г, 3г, 4г). В испарителе стабилизируется температура с помощью термопреобразователя сопротивления ТСП 5а, моста КСМ-ЗП с изодромным регулирующим устройством и панелью дистанционного управления ПП12.2 (5б) и регулирующей заслонки 5в.

Автоматизация конденсаторов. Процесс конденсации в пищевых производствах применяется для создания разрежения

КСМ-ЗП 2б. Пневматический сигнал от моста поступает в прибор алгебраического суммирования ПФ1.1 (2в). В этот же прибор поступает пневматический сигнал от пропорционального регулятора уровня в сборнике ПР2.8 (1в). Прибор ПФ1.1 (2в) осуществляет коррекцию управляющего сигнала регулятора температуры с учетом количества воды, поступающей в пароконтактный подогреватель. От прибора ПФ1.1 (2в) скорректированный сигнал поступает через панель дистанционного управления БПДУ-А (2г) на регулирующий клапан 25ч32нж (2д) подачи пара в пароконтактный подогреватель.

Системой автоматизации предусмотрено также регулирование уровня в сборнике, отстойнике и испарителе жомопрессовой воды с помощью преобразователя давления НС-П (1а, 3а, 4а), вторичного прибора со станцией управления ПВ3.2 (1б, 3б, 4б),

в вакуумных установках (вакуум-аппараты, выпарные, фильтрационные и другие аппараты) и сжижения паров (спирта, фреона) в холодильных установках.

Для конденсации паров спирта, бензина и т. д. применяются поверхностные конденсаторы, в которых охлаждающий агент и конденсирующиеся пары разделены теплопроводящей стенкой. Конструктивно эти конденсаторы аналогичны поверхностным теплообменникам.

Для конденсации водяных паров низкого потенциала используют конденсаторы смешения (например, барометрические конденсаторы), в которых пары конденсируются благодаря их смешиванию с охлаждающей водой. Несконденсировавшиеся газы отсасываются из конденсатора вакуум-насосом. Барометрическая вода отводится из конденсатора самотеком по трубе, погруженной на 1—1,5 м в воду для создания гидравлического затвора. Температура отходящей воды должна быть 45—46 °С. Регулирование температуры барометрической воды осуществляется изменением подачи холодной воды в конденсатор.

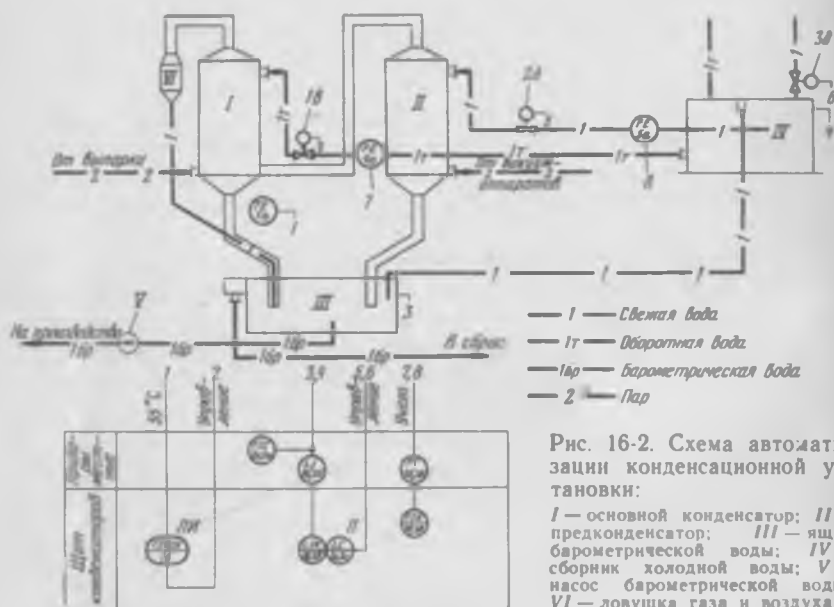
Если для производства необходима барометрическая вода с более высокой температурой (55—56 °С), то устанавливают два конденсатора—предварительный и основной, соединенных последовательно. Вода на предконденсатор подается в количестве, не обеспечивающем полную конденсацию поступившего пара, за счет чего достигается получение более горячей воды. В основном конденсаторе происходит окончательная конденсация оставшегося пара. Температура воды, отходящая из основного конденсатора, более низкая. Сборник барометрической воды для такой конденсационной установки разделен на два отделения—для горячей и теплой воды.

На рис. 16-2 приведена схема автоматического регулирования конденсационной установки, состоящей из предварительного и основного конденсаторов. Схема эта отличается от схемы регулирования при установке отдельных конденсаторов.

В связи с тем что предварительный конденсатор и его трубопровод холодной воды рассчитаны на получение того количества горячей воды, которое необходимо для производства, а количество вторичных паров, поступающих на предконденсатор, велико, температура барометрической воды после предконденсатора всегда максимальна и регулированию не поддается. Поэтому холодная вода на предварительный конденсатор подается по уровню в ящике барометрической воды, а в основной конденсатор—по температуре барометрической воды.

Уровень горячей воды в барометрическом ящике и в сборнике холодной воды измеряется пьезометрическим методом. Для этого в опущенную в ящик трубку подается сжатый воздух от регулятора воздуха РРВ-1 (2а, 3а). Давление этого

воздуха воспринимается дифманометром ДС-ПІ (26, 36). Пневматический сигнал, пропорциональный изменению уровня в ящике барометрической воды, от дифманометра поступает на вторичный прибор со станцией управления ПВ3.2 (2в, 3в) и статический регулятор ПР2.8 (2г, 3г). Выходной сигнал регулятора изменяет положение клапанов 25ч30нж (2д, 3д), установленных соответственно на подаче холодной воды в предварительный конденсатор и подаче воды в сборник холодной воды.



Подача холодной воды в основной конденсатор осуществляется по температуре барометрической воды. Для ее измерения используется термопреобразователь сопротивления ТСП (1а), работающий в комплекте с мостом КСМ-3П модели 1800 Д (1б), выходной сигнал которого поступает на клапан 25ч30нж (1в), изменяющий подачу холодной воды на основной конденсатор.

Для учета холодной воды, поступающей на конденсаторы, устанавливаются диафрагмы 4а, 5а в комплекте с дифманометрами 4б, 5б и интегрирующими приборами 4в, 5в.

Системой предусмотрен местный контроль разрежения в предварительном и основном конденсаторах с помощью вакуумметров и контроль температуры барометрической воды, поступающей на производство, показывающим термометром.

16.2. Автоматизация холодильных компрессорных станций

Искусственный холод находит широкое применение в пищевой промышленности, в частности при консервировании скоропортящихся продуктов. При охлаждении обеспечивается высокое качество хранимых и выпускаемых продуктов.

Искусственное охлаждение может осуществляться периодически и непрерывно. Периодическое охлаждение происходит при плавлении льда либо при сублимации твердого диоксида углерода (сухого льда). Этот способ охлаждения обладает большим недостатком, так как в процессе плавления и сублимации хладагент теряет свои охлаждающие свойства; при длительном хранении продуктов трудно обеспечить определенную температуру и влажность воздуха в холодильной камере.

В пищевой промышленности широко распространено непрерывное охлаждение с применением холодильных установок, где хладагент — сжиженный газ (аммиак, фреон и др.) — совершает круговой процесс, при котором он после осуществления холодильного эффекта восстанавливает свое первоначальное состояние.

Применяемые хладагенты кипят при определенном давлении, зависящем от температуры. Следовательно, изменяя давление в сосуде, можно изменять температуру хладагента, а следовательно, и температуру в холодильной камере.

На рис. 16-3 представлена схема автоматизации холодильной установки, работающей на аммиаке. Компрессор *I* всасывает пары аммиака из испарителя *II*, сжимает их и через маслоотделитель *III* нагнетает в конденсатор *IV*. В конденсаторе пары аммиака конденсируются за счет охлаждающей воды, и жидкий аммиак из конденсатора, охлажденный в линейном ресивере *V*, через регулирующий вентиль *VI* поступает в испаритель *II*, где, испаряясь, охлаждает промежуточный хладоноситель (рассол, ледяную воду), нагнетаемый к потребителям холода насосом *VII*.

Регулирующий вентиль *VI* служит для дросселирования жидкого аммиака, температура которого при этом снижается.

Система автоматизации предусматривает автоматическое управление работой компрессора и противоаварийные защиты. Командой на автоматический пуск компрессора служит повышение температуры рассола (ледяной воды) на выходе из испарителя. Для управления температурой используется регулятор температуры типа РТ-2 (*106*), датчик которого *10a* устанавливается на трубопроводе выхода рассола (ледяной воды) из испарителя.

При работе компрессора в автоматическом режиме функционируют следующие противоаварийные защиты: от понижения разности давлений масла в системе смазки и картере — применяется датчик-реле разности давлений РКС-ОМ5 (*1*);

от понижения давления всасывания и повышения давления нагнетания — применяется датчик-реле давления Д220А (2); от повышения температуры нагнетания — применяется датчик-реле температуры ТР-ОМ5 (3); от отсутствия протока воды через охлаждающие рубашки — применяется реле протока

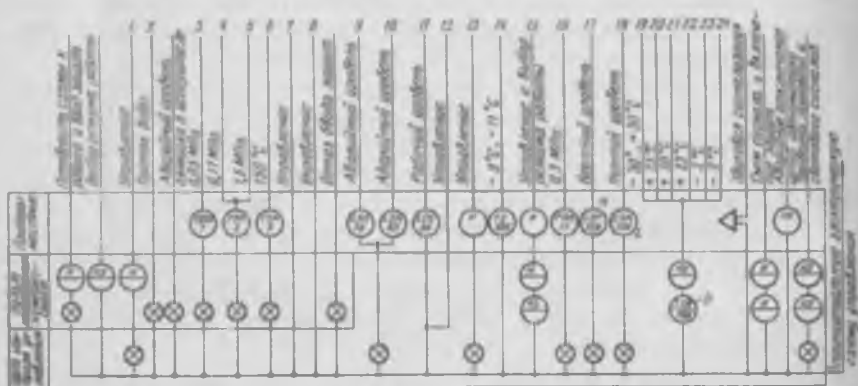
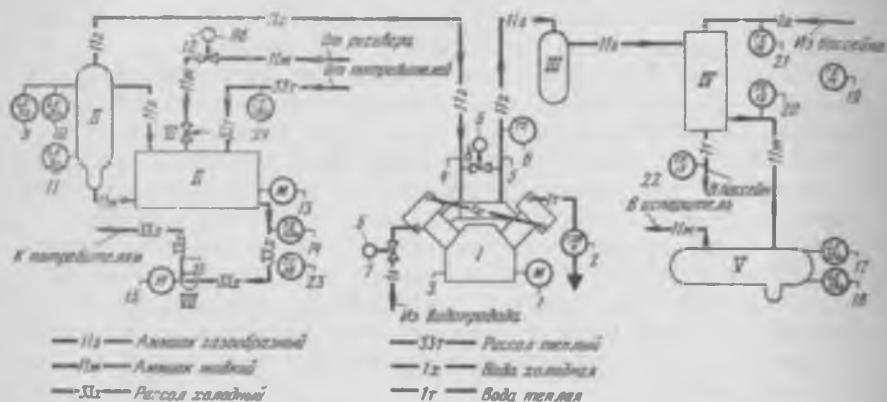


Рис. 16-3. Схема автоматизации холодильной установки

РП-65 (4); от аварийного повышения уровня жидкого аммиака в испарителе — применяется полупроводниковое реле уровня ПРУ-5М (7а, 7б, 8а, 8б).

При пуске компрессора в автоматическом режиме открывается вентиль с электромагнитным приводом 15кч888рСВМ (5) на подаче воды в охлаждающие рубашки и закрывается вентиль 15кч888рСВМ (6) на байпасе.

Автоматическое регулирование уровня жидкого аммиака в испарителе осуществляется полупроводниковыми реле уровня

ПРУ-5М (9а, 9б), управляющим вентилем с электромагнитным приводом 15кч888рСВМ (9в), установленным на подаче жидкого аммиака в испаритель.

Контроль верхнего и нижнего уровней жидкого аммиака в линейном ресивере осуществляется полупроводниковыми реле уровня ПРУ-5М (12а, 12б, 13а, 13б).

Контроль давления рассола в нагнетательном трубопроводе осуществляется датчиком-реле давления Д220А (11).

Дистанционный контроль температуры воздуха, аммиака, рассола, воды в контрольных точках холодильной установки осуществляется термопреобразователями типа ТСМ (14—18, 19а), подключенными к логометру Ш-69000 (19б).

Аппаратура контроля и управления работой компрессора расположена на пульте управления типа «Пуск», разработанном НПО «Пищепромавтоматика». Аппаратура контроля, управления и сигнализации остального технологического оборудования размещена в панелях щита управления.

16.3. Автоматизация воздушных компрессорных станций

На пищевых предприятиях широко используется сжатый воздух стабилизированного давления для следующих целей: транспортирования сыпучих материалов (давление воздуха 0,8—1,5 МПа), питания приборов и средств автоматизации при использовании на предприятиях пневмоавтоматики (давление воздуха 0,14 МПа), для процесса горения в топках котлоагрегатов (давление воздуха 2—5 кПа), для интенсификации микробиологических, химических и других процессов.

Для производства воздуха с определенной технической характеристикой используются компрессорные установки, от которых сжатый воздух транспортируется к местам его потребления.

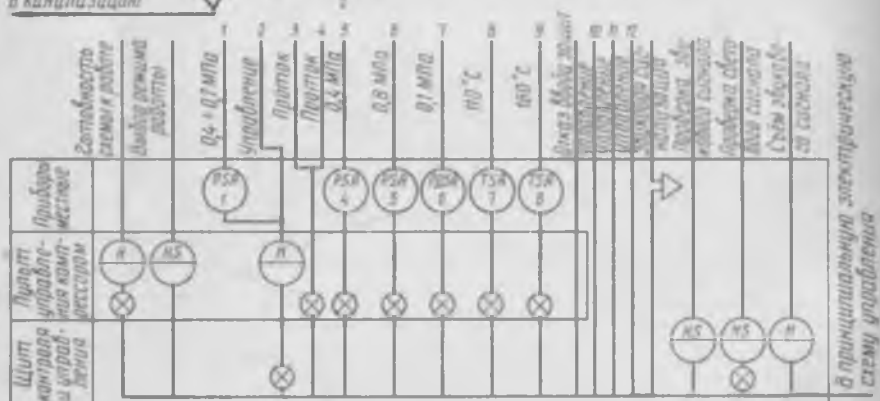
На пищевых предприятиях распространены системы пневмоавтоматики, для питания которых используется воздух с технической характеристикой, соответствующей ГОСТ 11882—73, основным требованием которого является отсутствие в сжатом воздухе водяных паров, масла, атмосферной пыли и других твердых частиц.

В зависимости от требований, предъявляемых к источнику сжатого воздуха, определяется выбор технических средств, входящих в состав установок воздухоподготовки.

На рис. 16-4 представлена схема автоматизации воздушной компрессорной станции. Атмосферный воздух через воздушный фильтр и всасывающий клапан поступает на компрессор в цилиндр I степени сжатия, затем воздух через патрубок поступает в промежуточный холодильный компрессор, где охлаждается проточной водой и поступает в цилиндр II степени сжатия

— П — вода теплая
 — П — вода холодная
 — В — воздух

В канализацию



I — компрессор; *II* — промежуточный холодильник; *III* — воздухохраник; *IV* — водо-маслоотделитель; *V* — воздушный фильтр

Схемой автоматизации предусмотрены автоматическое управление работой и автоматические противоаварийные защиты компрессора.

298

ключом, расположенным на фасаде пульта управления компрессором.

Командой на автоматический пуск компрессора служит давление сжатого воздуха в воздухохранике. Контроль указанного давления осуществляется датчиком-реле давления Д220А-12 (1).

При работе компрессора в автоматическом и полуавтоматическом режимах функционируют следующие автоматические противоаварийные защиты: от повышения давления нагнетания ступени низкого давления компрессора (выше 0,4 МПа) — с помощью датчика-реле давления Д220А-12 (4); от повышения давления нагнетания ступени высокого давления компрессора (выше 0,8 МПа) — с помощью датчика-реле давления Д220А-12 (5); от понижения давления масла в системе смазки компрессора (ниже 0,1 МПа) — с помощью датчика-реле давления Д220А-12 (6); от повышения температуры нагнетания ступени низкого давления компрессора выше 110 °С — с помощью реле температуры ТР-ОМ5-0,9 (7); от повышения температуры нагнетания ступени высокого давления компрессора выше 180 °С — с помощью реле температуры ТР-ОМ5-0,9 (8); от отсутствия протока воды через охлаждающие рубашки компрессора — с помощью реле протока РП-65 (2, 3).

На линиях подачи воды в рубашки компрессора и продувки установлены электромагнитные вентили.

При срабатывании любой из перечисленных защит загорается соответствующая лампа пульта компрессора, включается аварийная звуковая сигнализация.

После ликвидации аварии, вызвавшей останов, и повторного пуска компрессора на пульте нажимается кнопка «Ввод защит».

16.4. Автоматизация пастеризации и стерилизации

Многие пищевые продукты (овощные и мясные консервы, молоко, овощные и фруктовые соки и др.) являются питательной средой для микроорганизмов. С целью замедления или полного подавления жизнедеятельности микроорганизмов такие продукты подвергают тепловой обработке.

Тепловая обработка продуктов, происходящая при температуре до 100 °С, называется пастеризацией. Такой обработке подвергают продукты, которые при нагревании свыше 100 °С значительно снижают свое качество.

Нагрев продуктов свыше 100 °С называют стерилизацией.

В промышленности наряду с термической стерилизацией применяется стерилизация продуктов облучением токами высокой частоты. Облучением стерилизуют питьевую воду и воздух, который используется в бродильном про-

изводстве. Стерилизация токами высокой частоты в основном используется для обработки сыпучих материалов. Наиболее широкое применение в промышленности получила термическая стерилизация, которую проводят в аппаратах непрерывного или периодического действия.

Схема автоматизации автоклава. В консервной промышленности для стерилизации консервов применяют автоклавы пе-

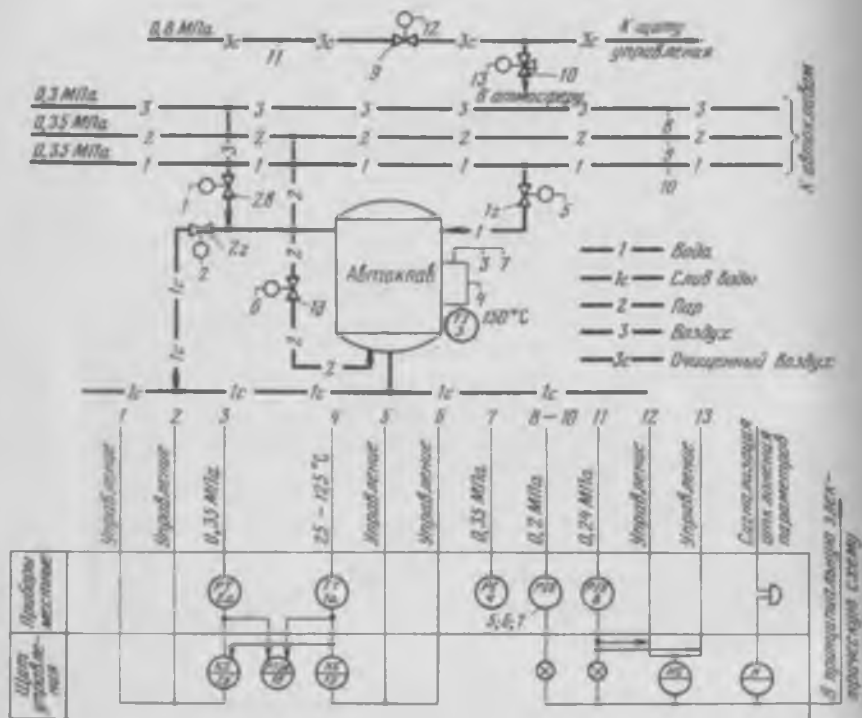


Рис. 16-5. Схема автоматизации автоклава

риодического действия, поставляемые комплектно с системами автоматизации.

Схемой автоматизации (рис. 16—5) предусмотрено программное регулирование температуры в автоклаве в соответствии с установленным режимом (формулой) стерилизации и регулирование давления в зависимости от температуры.

Измерение температуры в автоклаве осуществляется манометрическим датчиком типа ТДГ-П (1а), выходной сигнал которого подается на вход программного регулятора типа ПРТ-2 (16).

Регулятор ПРТ-2 в соответствии с программой, заданной на перфорированном диске, воздействует на регулирующие кла-

паны типа ПОУ, установленные на трубопроводах подачи пара (10) и воды (12).

Давление в автоклаве измеряется сильфонным манометром МС-П2 (2а) с пневматическим выходным сигналом.

Регулирование давления в автоклаве осуществляется программным регулятором давления типа РД-У (2б) путем подачи командных импульсов на клапаны типа ПОУ, установленные на трубопроводах подачи сжатого воздуха (2в) и слива воды (2г). Запись температуры и давления в автоклаве осуществляется вторичным прибором типа РПВ4.3Э (1в).

Схема предусматривает также контроль давления пара, воды и воздуха в магистралях автоклавного отделения с помощью электроконтактных манометров МП4-III (5, 6, 7). Падение давления указанных энергоносителей сигнализируется на щите сигнализации автоклавного отделения.

Предусмотрена защита от падения давления в магистрали подачи воздуха для питания приборов и регуляторов, установленных на щите. В указанном случае электроконтактный манометр 8 воздействует на вентиль с электромагнитным приводом типа 15кч888рСВМ (9) и клапан типа 23кч802рз (10), при этом прекращается подача воздуха в систему; оставшийся в системе воздух стравливается в атмосферу.

После срабатывания защиты, сопровождаемого звуковым и световым сигналами, процесс стерилизации заканчивается персонaлом вручную.

Схема автоматизации установки непрерывной стерилизации производства консервов детского питания. При производстве пюреобразных консервов должный стерилизационный эффект достигается за счет стерилизации продукта в потоке до фасовки и стерилизации в закатанных банках.

Установка стерилизации (рис. 16-6) состоит из емкости предварительного резервирования I, насоса перекачки продукта II, теплообменного аппарата-стерилизатора III, выдерживателя и бака расширительного (на схеме не показаны).

Жидкий или пюреобразный продукт подается в емкость предварительного резервирования I; уровень продукта в емкости автоматически контролируется сигнализатором уровня типа ЭРСУ-3 (1).

Из емкости продукт поступает в стерилизатор III, который состоит из четырех concentрично расположенных цилиндров, образующих три кольцевые полости. По средней полости перемещается продукт, по внутренней и наружной — пар. В продуктовой полости вращается ротор с ножами, очищающими поверхность нагрева. Вращение ротора осуществляется электродвигателем через редуктор.

Давление продукта после теплообменного аппарата контролируется манометром типа МП4-III (5б), установленным на трубопроводе продукта после мембранного разделителя РМ-5220

(5а). В теплообменном аппарате контролируется давление показывающим манометром типа ОБМ1-160 (2).

Температура продукта на выходе из теплообменного аппарата поддерживается равной $105 \pm 2,5$ °С. Стабилизация температуры осуществляется с помощью термопреобразователя сопротивления типа ТСП (3а) и моста автоматического с пропор-

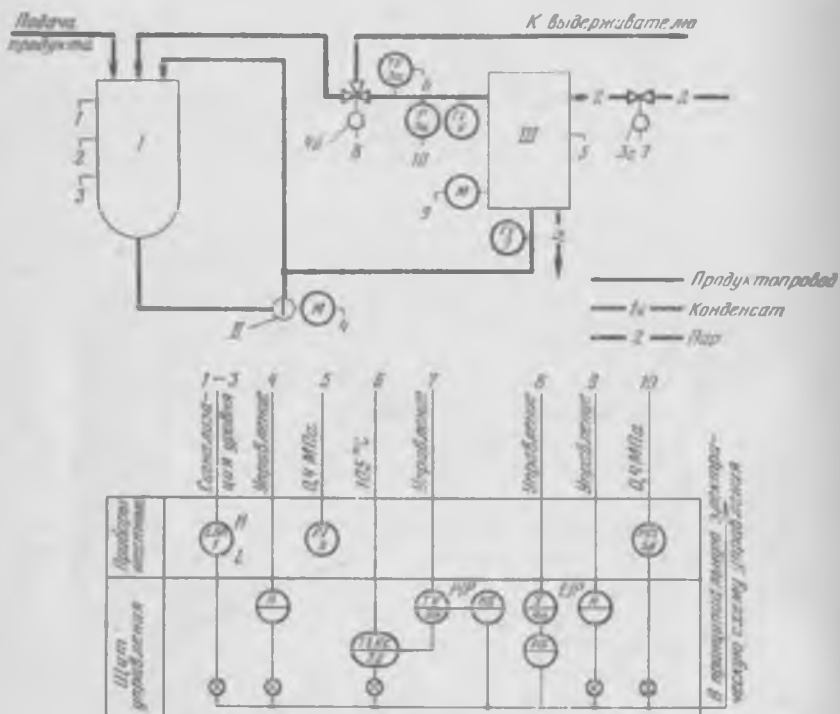


Рис. 16-6. Схема автоматизации процесса непрерывной стерилизации

ционально-интегральным регулирующим устройством КСМЗ-П (3б) в комплекте с панелью дистанционного управления ПП12.2. Пневматический выходной сигнал от моста 3б через электромагнитный трехходовой клапан 22кч8016к (3в) поступает на регулирующее устройство ПОУ (3г), которое изменяет расход пара в теплообменный аппарат.

Электропневматические клапаны рециркуляции (4б) и подачи пара (3г) в стерилизатор управляются в двух режимах — ручном и автоматическом. Выбор режима осуществляется ключами управления, установленными на щите.

В автоматическом режиме клапан 3в открывает клапан подачи пара 3г в стерилизатор при наличии продукта в емкости

предварительного резервирования и протока продукта через стерилизатор (давление в трубопроводе продукта после стерилизатора не ниже 0,35 МПа).

Клапан 4а, управляющий клапаном рециркуляции 4б, открывает последний в направлении выдачи продукта в выдерживатель при наличии уровня в емкости предварительного резервирования, а также при температуре продукта на выходе из стерилизатора не ниже 105 °С.

При отклонении одного из указанных параметров от заданного значения клапан 4а обесточивается, что приводит к переключению клапана рециркуляции 4б на емкость резервирования.

Схемой предусмотрено ручное управление электроприводами насоса и стерилизатора. Управление осуществляется кнопками, установленными на щите. Работа электроприводов насоса и стерилизатора сигнализируется лампочками.

Схемой предусмотрены световой и звуковой сигналы отсутствия протока продукта через стерилизатор, нижнего уровня в емкости для резервирования и низкой температуры продукта после стерилизатора.

Схема автоматизации пастеризатора непрерывного действия. После стерилизации продукт фасуется в банки, которые затем автоматически накрываются крышками и поступают в эксгаустер, где происходит удаление воздуха из банок. Из эксгаустера банки поступают на закаточную машину, где происходит их укупорка. Укупоренные банки поступают в пастеризатор.

Пастеризатор непрерывного действия включает три зоны пастеризации, зону охлаждения воздухом, зону охлаждения водой и зоны загрузки и выгрузки. В зонах пастеризации банки погружаются в ванну с подогретой водой. Подогрев воды в ванне осуществляется паром путем барботирования. Уровень воды над банками при их погружении в ванну составляет 30 мм.

На рис. 16-7 представлена схема автоматизации пастеризатора. Схема предусматривает блокированный и деблокированный режимы работы конвейеров загрузки и пастеризатора. Выбор режима работы осуществляется ключом, установленным на щите. Со щита кнопками дистанционно управляют электроприводами пастеризатора.

В блокированном режиме пуск конвейера пастеризатора происходит при достижении температуры воды в ванне 90 °С. После запуска конвейера пастеризатора возможен пуск загрузочного конвейера.

Система автоматизации предусматривает автоматический контроль давления пара, поступающего в пастеризатор, показывающим манометром типа ОБМ1 (5, 6, 7). Стабилизация температуры в первых двух зонах пастеризации осуществляется одноконтурными системами регулирования с помощью манометрических регуляторов температуры типа ТРП (8а, 9а), регулирующее воздействие которых поступает на регулируемые

клапаны типа 25ч32нж (86, 96), изменяющие расход пара в пастеризатор. Стабилизация температуры в третьей зоне пастеризации осуществляется с помощью термообразователя сопротивления типа ТСП (10а) и моста автоматического КСМЗ-П (106) с пропорционально-интегральным регулирую-

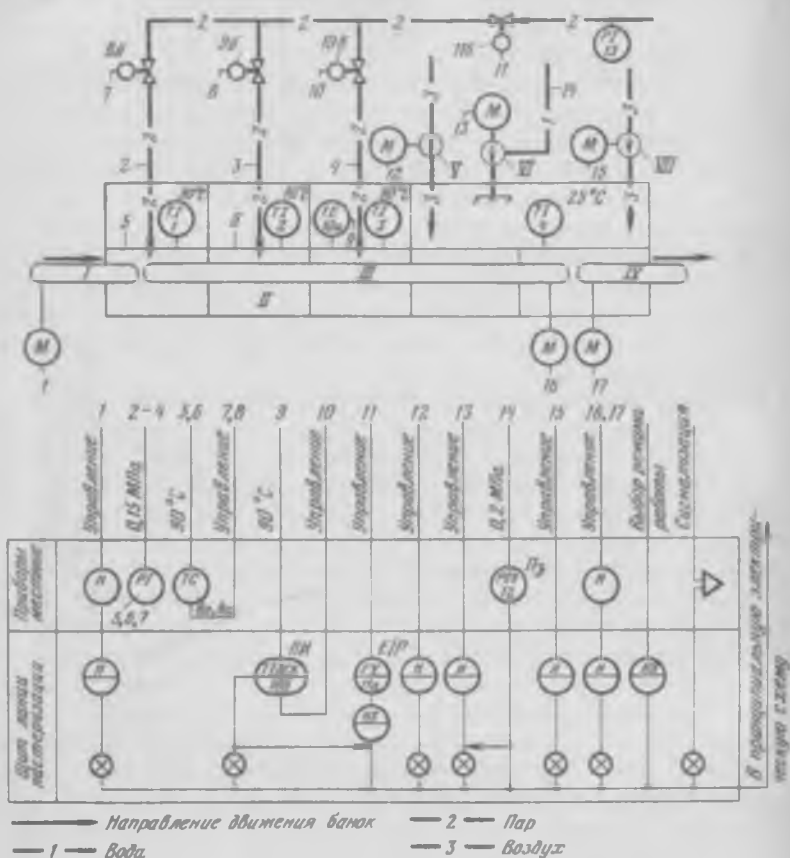


Рис. 16-7. Схема автоматизации пастеризатора непрерывного действия:
 I — конвейер загрузки; II — пастеризатор; III — транспортирующее полотно; IV — конвейер разгрузки; V — вентилятор охлаждения; VI — насос охлаждения; VII — вентилятор обдува

щим устройством в комплекте с панелью дистанционного управления ПП12.2. При отклонении температуры воды в ванне от заданной (90 °C) выходной сигнал от моста 106 поступает на регулирующий клапан 25ч32нж (10в), который изменяет расход пара в третью зону пастеризации. При повышении температуры в ванне пастеризатора до 95 °C срабатывает контактное устройство моста 106 и через электрическую схему обесточивается

электромагнит клапана 22кч8016к (11а); регулирующее устройство ПОУ (11б) прекращает подачу пара в пастеризатор.

Давление пара, поступающего в пастеризатор, автоматически контролируется манометром ОБМ1 (13).

Схемой предусмотрен аварийный останов насоса охлаждения при повышении давления воды выше 0,2 МПа, при этом срабатывают контакты сигнального устройства показывающего манометра типа МП4-III (12).

Предусмотрена световая сигнализация работы приводов, а также световая и звуковая сигнализации аварийного останова насоса охлаждения и отклонения температуры в ванне.

16.5. Автоматизация котельных установок

Большинство предприятий пищевой промышленности имеют котельные установки, оснащенные котлами различной паропроизводительности и работающие на топливе разных видов (твердом, жидком, газообразном). Котельные установки предназначены для получения насыщенного и перегретого пара, который используется на разные технологические нужды завода.

Вопросу автоматизации котельных установок уделяется большое внимание, так как автоматическое регулирование процессов в котельных позволяет повысить КПД энергетической установки, сократить расход энергии на собственные нужды, сократить объем ремонтных работ, количество обслуживающего персонала и обеспечить безаварийность работы.

Проекты автоматизации котельных установок выполняются в объеме, рекомендованном строительными нормами и правилами на котельные установки.

На рис. 16-8 представлена схема автоматизации котла ДЕ-25-14ГМ, работающего на жидком или газообразном топливе, предусматривающая следующий объем автоматизации: автоматическое регулирование процесса горения, включающее регулирование подачи топлива в зависимости от давления пара в барабане котла; регулирование подачи воздуха в необходимом соотношении к расходу топлива; регулирование разрежения в топке котла; питание котла водой по уровню воды в барабане.

Контуры автоматического регулирования реализованы на регулирующих приборах системы «Контур».

Регулятор топлива Р25 (5б) получает импульс по давлению в барабане котла от преобразователя давления МЭД (5а) и изменяет положение исполнительного механизма МЭОК (5а), соединенного с регулирующим органом подачи топлива (мазута или газа) к горелке, что стабилизирует давление пара в барабане котла.

Регулятор воздуха Р25 (7б) отработывает соотношение топливо — воздух, получая импульсы по давлению газа от дифманометра ДМ 9а (при работе на газе) или по положению испол-

нительного механизма МЭОК 5в (при работе на мазуте) и давлению воздуха перед горелкой от дифференциального тягомера ДТ-2 (7а). Выходной сигнал регулятора соотношения 7б воздействует на исполнительный механизм МЭОК (7в), изменяющий положение направляющих дутьевого вентилятора, что изменяет расход воздуха к горелке.

Регулятор разрежения Р25 (15б) получает импульс по разрежению в топке котла от дифференциального тягомера ДТ-2 (15а) и изменяет положение исполнительного механизма МЭОК (15в), сочлененного с направляющими дымососа, стабилизируя разрежение в топке котла.

Регулятор уровня Р25 (20б) получает импульс от дифманометра ДМ (20а) и воздействует на исполнительный механизм МЭОК (20в) регулирующего органа подачи питательной воды в экономайзер; уровень воды в барабане котла поддерживается постоянным.

Кроме того, предусматривается автоматический контроль параметров, наблюдение за которыми необходимо для правильной эксплуатации оборудования; сигнализация параметров, отклонение которых от нормы может привести к аварийному состоянию оборудования; регистрация параметров, учет которых необходим для анализа работы оборудования или для расчетов: температуры (термометры П5-1 25 и ТСП 22а, логометр Ш69000 22б) и давления (манометр МТП 2, тягонапоромер ТДЖ 1) питательной воды и дымовых газов за экономайзером; разрежения в топке котла (датчик-реле напора и тяги ДНТ 14а и показывающий вакуумметр 14б); напора воздуха, подаваемого к горелкам котла (тягионапоромер ТДЖ 6а, датчик-реле напора ДН 6б и показывающий напоромер 6в); температуры жидкого топлива (термометр П5-1 24); давления газа (мазута), подаваемого к горелкам (напоромер мембранный НМП 10, манометр МТП 12б, датчик-реле напора ДН 11 и датчик-реле давления ДД 13); расхода пара на выходе из котла; давления и уровня в барабане котла (манометр 3, преобразователь давления МЭД 4а, вторичный прибор КСД 4б, дифманометр сильфонный ДСП 18а, вторичный прибор КСД 18б); отклонения уровня в барабане котла (вторичный прибор КСД 19); горения факела (прибор Ф25 21а, 21б); процентного содержания O_2 в газообразном топливе (переносной газоанализатор ГХП).

Для защиты котлов при нарушениях режима работы и для прекращения подачи топлива в аварийных ситуациях схема предусматривает блокировки, срабатывание которых сопровождается световой и звуковой сигнализациями.

Автоматическое отключение подачи топлива к горелкам происходит при понижении давления мазута, отклонении давления газа, отклонении уровня в барабане котла, понижении давления воздуха, уменьшении разрежения в топке, погасании факела горелок.

Контрольные вопросы

1. Приведите пример системы автоматического управления поверхностным теплообменником.
2. Назовите назначение системы автоматического регулирования конденсационной установки.
3. Приведите пример системы автоматического управления процессом стерилизации.
4. Назовите принцип действия системы автоматического управления котлоагрегатом.
5. Назовите принцип действия системы автоматического управления воздушной компрессорной станцией.

Глава 17. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ МАССООБМЕНА

17.1. Автоматизация абсорбции и адсорбции

В пищевой промышленности процессы абсорбции и адсорбции применяются для обесцвечивания соков и сиропов в сахарной и крахмало-паточной отраслях, для осветления пива в пивоваренном производстве, для улавливания спиртовых паров в спиртовом производстве.

Процесс абсорбции характеризуется переходом молекул из газовой или паровой смеси в жидкую (абсорбент).

Адсорбцией называется поглощение твердым телом (адсорбентом) компонентов газовой, паровой или жидкой смеси.

Процесс, обратный абсорбции и адсорбции, называется десорбцией.

В качестве адсорбентов в пищевой промышленности применяются древесный и костяной уголь, силикагель и целлюлозная масса, а также природные или синтетические иониты.

Процесс адсорбции может производиться непрерывным или периодическим способом. При непрерывном способе адсорбент движется в противотоке со смесью. При периодическом способе в аппарат загружается определенное количество адсорбента, через который пропускается смесь.

При проведении процесса адсорбции необходимо контролировать давление в адсорбере и стабилизировать расход смеси через адсорбер.

Процесс абсорбции может проходить по различным технологическим схемам. В одних случаях абсорбент после контакта с газовой или паровой смесью может подаваться снова в адсорбер для дальнейшего обогащения компонентами газовой или паровой смеси. В других вариантах жидкость, пройдя через адсорбер, направляется на десорбцию, где происходит отгонка извлеченного компонента, затем она снова подается в адсорбер.

Основными параметрами, определяющими технологический процесс абсорбции, являются расход газовой смеси и орошающей жидкости, концентрация и температура орошающей жидкости, давление в адсорбере.

На рис. 17—1 приведена схема автоматизации установки масляной абсорбции маслоэкстракционного завода.

В маслоэкстракционном производстве для улавливания паров растворителя (бензина) из воздушно-газовой смеси применяется маслоабсорбционная установка. Установка обеспечивает извлечение из воздушно-газовой смеси остаточного количества находящегося там растворителя путем орошения смеси мине-

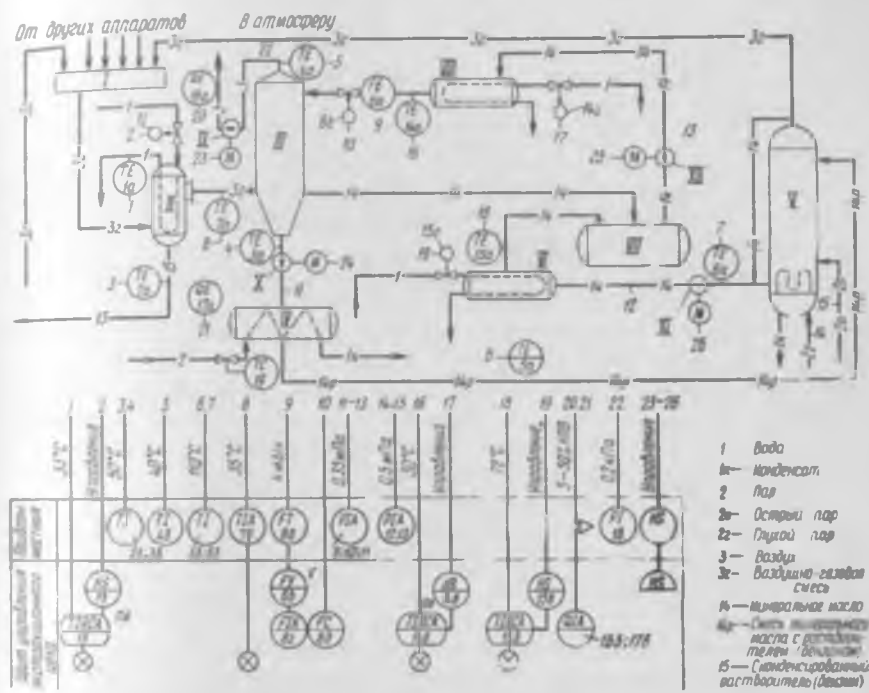


Рис. 17-1. Схема автоматизации установки масляной абсорбции маслоэкстракционного завода

ральным маслом с последующими десорбцией растворителя из минерального масла и конденсацией растворителя для повторного его использования в технологическом процессе.

От различных аппаратов маслоэкстракционного производства через сборный коллектор I в конденсатор II поступает воздушно-газовая смесь, содержащая пары растворителя.

В конденсаторе II, охлаждаемом водой, основное количество паров растворителя конденсируется и отводится в отстойники для дальнейшего использования. Несконденсировавшаяся часть растворителя и находящийся в воздушно-газовой смеси воздух из верхней части конденсатора направляются в нижнюю часть

абсорбера *III*, которая орошается минеральным маслом, поступающим в абсорбер сверху через форсунки.

Минеральное масло поглощает остатки растворителя из смеси, а воздух и другие компоненты воздушно-газовой смеси, очищенные от растворителя, вентилятором *IX* через огнепреградитель или водяной затвор выбрасываются в атмосферу.

Насыщенное растворителем масло из абсорбера *III* отводится насосом *X* в теплообменник *IV*, а затем подается в десорбер *V*. В десорбере *V* с помощью перегретого пара происходит интенсивная отгонка растворителя из минерального масла. Отогнанные пары растворителя из десорбера возвращаются в сборный коллектор *I* и далее в конденсатор *II*. Освобожденное от растворителя минеральное масло из десорбера *V* насосом *XI* через охлаждаемый водой теплообменник *VI* возвращается в сборник *VII*. Из сборника *VII* минеральное масло насосом *XII* через теплообменник *VIII*, в котором оно также охлаждается, вновь подается в абсорбер *III*.

При повышении уровня минерального масла в абсорбере *III* предусмотрена линия сброса его в сборник *VII*.

Система автоматического управления установкой масляной абсорбции обеспечивает стабилизацию основных технологических параметров процесса, дистанционный и местный контроль температуры и давления, сигнализацию предельных значений температур и загазованности парами растворителя, дистанционное и местное управление насосами.

Температура в конденсаторе *II* автоматически поддерживается с помощью манометрического термометра с изодромным регулирующим устройством типа ТПЖ (*16*) путем воздействия на расход циркуляционной воды на охлаждение клапаном 25ч30 нж (*1г*).

В контуре предусмотрено дистанционное управление исполнительным механизмом с помощью байпасной панели БПДУ-А (*1в*).

Если температура воды на выходе из конденсатора достигает 35 °С, то подается световой сигнал о нарушении режима работы конденсатора.

Аналогично построены системы регулирования температуры минерального масла после теплообменников *VI* (*15а—15г*) и *VIII* (*14а—14г*).

Температура смеси минерального масла с растворителем после подогревателя *IV* поддерживается на заданном уровне регулятором температуры прямого действия типа РТ-50 (*19*), регулирующий орган которого установлен на линии подачи пара.

Расход минерального масла стабилизируется системой, состоящей из камерной диафрагмы ДК (*8а*), преобразователя давления 13ДД11 (*8б*), прибора извлечения квадратного корня ПФ1.17 (*8в*), вторичного прибора со станцией управления ПВ3.2

(8г), пропорционально-интегрального регулятора ПР3.31 (8д) и регулирующего клапана 25ч32нж (8е).

Контроль температуры сконденсированного растворителя, смеси минерального масла с растворителем, выбросов из абсорбера в атмосферу и минерального масла после десорбера обеспечивается показывающими манометрическими термометрами типа ТПЖ (26—66), установленными по месту.

Контроль и сигнализация предельных давлений в трубопроводах после насосов *X*, *XI*, *XII* и давления глухого (поступающего в змеевики) и острого (поступающего в аппараты) пара перед десорбером обеспечивается с помощью показывающих электроконтактных манометров ВЭ-16 Р6 (9—13), установленных по месту, с передачей сигнала на щит управления экстракционного цеха.

Давление в линии выбросов из абсорбера контролируется по месту мембранным тягомером ТмМП (18).

Выбросы из абсорбера характеризуют качество работы всей линии масляной абсорбции и практически не должны содержать паров растворителя.

Для контроля и сигнализации предельных значений содержания растворителя в выбросах используется сигнализатор типа СТХ-ЗУ4, состоящий из датчика термохимического ДТХ-107У4 (16а) и блока питания и сигнализации БПС-107У4 (16б).

Аналогичной системой (17а, 17б) обеспечивается контроль и сигнализация загазованности помещений, где расположена установка масляной абсорбции.

Управление насосами и вентилятором *IX* на выбросах после абсорбера осуществляется кнопками по месту и ключом со щита.

17.2. Автоматизация экстракции

Экстракция представляет собой массообменный процесс, при котором жидкий растворитель извлекает из твердых или жидких веществ составляющие их компоненты. Непременным условием проведения данного процесса является тесный контакт между жидким растворителем и твердым или жидким веществом.

Процесс экстракции в пищевой промышленности достаточно широко распространен. При производстве растительного масла его экстрагируют бензином из жмыха масличных культур; экстракция применяется при получении морсов и соков в ликерно-водочном производстве; в сахарной отрасли экстракция применяется для извлечения водой сахара из свекловичной стружки. Процесс экстракции является диффузионным процессом.

По характеру работы различают аппараты непрерывного и периодического действия.

На рис. 17—2 представлена схема автоматизации наклонного диффузионного аппарата типа С-17, в котором с помощью воды диффузионным методом извлекается сахар, содержащийся в свекле.

Аппарат состоит из наклонного желоба, в котором вращаются шнеки, транспортирующие стружку, и жомовыгружающего устройства.

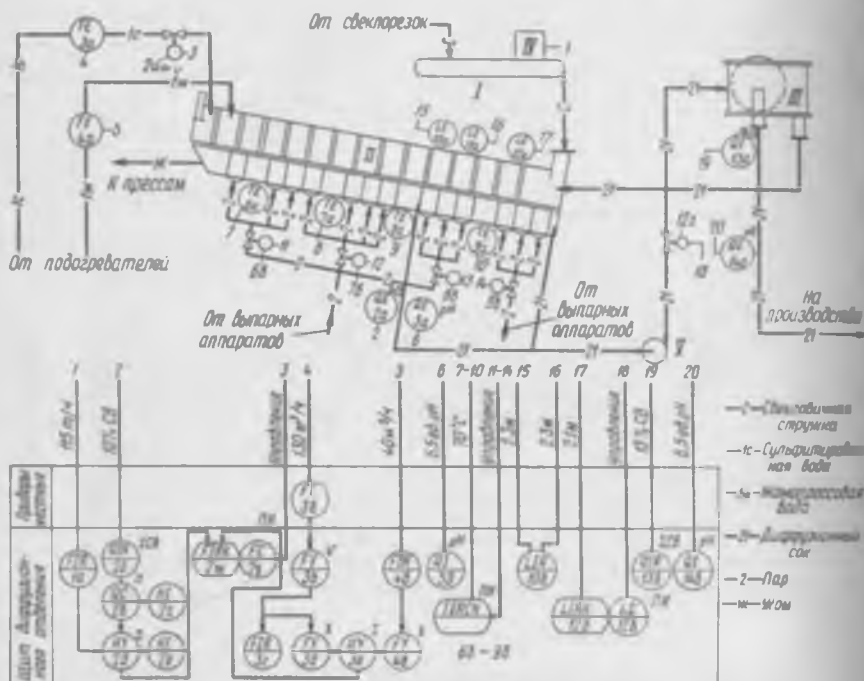


Рис. 17-2. Схема автоматизации диффузионного аппарата С-17:

I — ленточный конвейер свекловичной стружки; II — диффузионный аппарат; III — пульполовушка; IV — ленточные весы; V — насос диффузионного сока

Основными параметрами, определяющими экономическую эффективность процесса экстракции сахара из свекловичной стружки, являются содержание сахара в диффузионном соке и в удаляемом из аппарата жоме (обессахаренной стружке).

Автоматизация процесса диффузии представляет собой одну из наиболее сложных задач в автоматизации технологических процессов свеклосахарного производства. Это объясняется наличием большого числа источников возмущений: расходы свекловичной стружки, экстрагирующей жидкости, греющего пара, качество поступающих продуктов, уровень и температура соко-

стружечной смеси, скорость вращения транспортирующих шнеков, удельная нагрузка аппарата, а также большого числа неконтролируемых факторов.

Главные требования, которые предъявляются к системе автоматического управления процессом диффузии, сводятся к наиболее полному извлечению сахара из свекловичной стружки, получению диффузионного сока заданной концентрации, обеспечению заданной производительности по переработке стружки и максимальной экономичности процесса.

Автоматическая система регулирования диффузионного аппарата обеспечивает автоматическое регулирование и контроль уровня в диффузионном аппарате; температуры в четырех зонах аппарата; расходов стружки, экстрагирующей воды, диффузионного сока; соотношения стружка — вода с коррекцией по процентному содержанию сухих веществ (% СВ) в жидкой фазе сокостружечной смеси; pH в жидкой фазе сокостружечной смеси и диффузионного сока.

Стабилизация уровня в аппарате осуществляется одноконтурной системой регулирования. Уровень измеряется пьезометрическим методом, в качестве датчика используется напоромер НС-ПЗ (12а), пневматический сигнал от которого поступает на вторичный прибор ПВ10.1Э (12б) и изодромный регулятор ПРЗ.31 (12в), изменяющий откачку сока из аппарата через клапан 25ч30нж (12г).

Регулирование температуры сокостружечной смеси в зонах аппарата осуществляется автоматическим мостом с пропорционально-интегральным регулирующим устройством КСМЗ модели 1800Д (66—96). В качестве датчика использован термопреобразователь сопротивления ТСП (6а—9а), чувствительный элемент которого находится в активном пространстве аппарата. Изменение подачи пара в греющие камеры осуществляется клапаном 25ч30нж (6в—9в).

В контуре регулирования соотношения стружка — вода с коррекцией по содержанию сухих веществ в жидкой фазе сокостружечной смеси предусмотрено суммирование расходов сульфитированной и жомопрессовой воды, что связано с неравномерной подачей в аппарат жомопрессовой воды. Расход сульфитированной воды измеряется дифманометром ДМ-П (3б), работающим в комплекте с диафрагмой ДК (3а). Во избежание засорения диафрагмы пульпой расход жомопрессовой воды измеряется индукционным расходомером 5-РИМ (4а, 4б). Пневматический сигнал от ДМ-П (3б) поступает на прибор извлечения квадратного корня ПФ1.17 (3в); далее сигналы, пропорциональные расходам сульфитированной и жомопрессовой воды, поступают на приборы умножения на постоянный коэффициент ПФ1.3.9 (3д, 4в) для масштабирования выходных сигналов и прибор суммирования ПФ1.1 (3е); затем выходной сигнал, пропорциональный суммарному расходу жомопрессовой и сульфит-

тированной воды, поступает в камеру «переменная» изотермического регулятора ПРЗ.31 (2з). Для показания и записи расходов жомопрессовой и сульфитированной воды соответственно используются вторичные приборы 5-РИМ (4б) и РПВ4.2Э (3г).

Расход свежловичной стружки измеряется ленточными весами стружки ЛТМ (IV), которые оснащены вторичным прибором на базе КСДЗ (1а), снабженным пневмопреобразователем ПП. Пневматический сигнал, пропорциональный расходу стружки, поступает на прибор суммирования ПФ1.1 (2д). Корректирующий сигнал, пропорциональный содержанию сухих веществ в жидкой фазе сокоотружечной смеси, поступает в плюсовую камеру ПФ1.1 (2д) от пропорционального регулятора ПР2.8 (2в). Задание регулятору устанавливается с помощью панели дистанционного управления ПП 12.2 (2г). Содержание СВ измеряется автоматическим рефрактометром А1-ЕД2Р (2б). В минусовую камеру ПФ1.1 (2д) поступает сигнал от задатчика ПП12.2 (2е), с помощью которого устанавливают величину откочки диффузионного сока.

Сигнал, сформированный в приборе суммирования ПФ1.1 (2д), поступает в камеру «программа» вторичного прибора ПВ10.1Э (2ж) и регулятора ПРЗ.31 (2з). Сигнал от регулятора поступает на регулирующий клапан 25ч30нж (2и), установленный на трубопроводе сульфитированной воды. Контроль pH в жидкой фазе сокоотружечной смеси и диффузионного сока осуществляется с помощью датчиков pH ДМ-5М (5а, 14а) и промышленного преобразователя П-201.2 (5б, 14б).

Контроль концентрации СВ в диффузионном соке осуществляется рефрактометром А1-ЕД2Р (13а, 13б).

Для контроля заполнения стружкой нижней и верхней частей аппарата предусмотрен контроль уровней сокоотружечной смеси в двух точках по длине аппарата (во 2-й и 4-й зонах) датчиком-напоромером НС-П (10а, 11а) и вторичным прибором РПВ4.3Э (10б).

На рис. 17-3 приведена схема автоматизации экстракционной установки НД-1250. Экстрактор конструктивно состоит из вертикальных загрузочной I и экстракционной III колонн, связанных горизонтальным шнеком II.

Экстрагируемый материал, например жмых подсолнечных семян, прошедший предварительный отжим масла на форпрессовых агрегатах и специально подготовленный в виде лепестка или крупки, поступает через течку в загрузочную колонну экстрактора. После подогревателя VI в экстракционную колонну насосом X противотоком подается бензин; экстрагируемый материал движется расположенными внутри экстрактора шнеками, вращаемыми электроприводами IV и V.

В результате экстракции бензином масла из жмыха образуется раствор масла в бензине (мисцелла), поступающий из экстрактора в мисцеллосборник VII. Из него мисцелла насосом

VIII откачивается на фильтрацию, а затем поступает на дистилляцию. Из экстракционной колонны обезжиренный жмых (шрот) поступает в аппарат для отгонки растворителя—тостер IX, обогреваемый паром. Из тостера шрот поступает на склад и далее на отгрузку для использования в качестве корма скоту и птице.

Целью автоматизации экстракционной установки является достижение стабильной ее работы при максимальной производительности экстрактора, обеспечении высокой концентрации

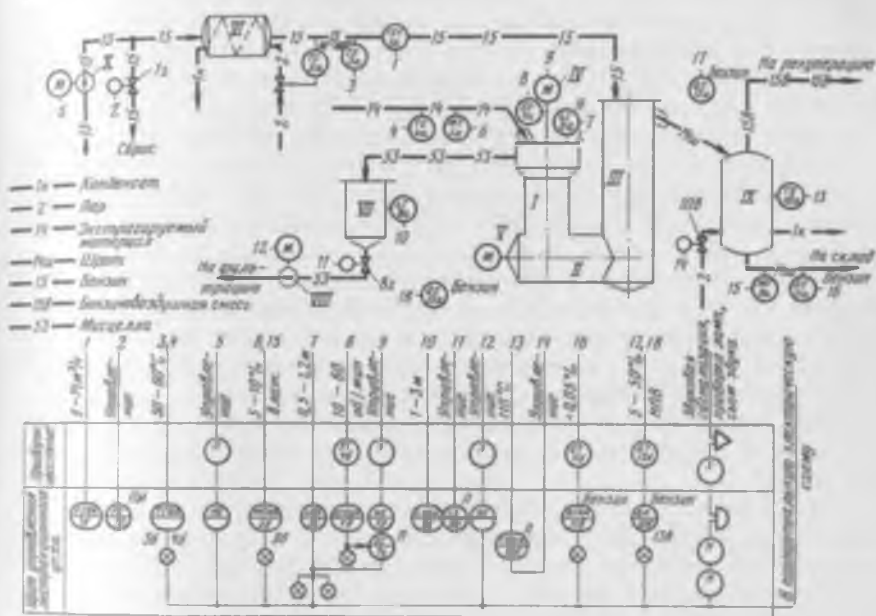


Рис. 17-3. Схема автоматизации экстракционной установки типа НД-1250

мисцеллы (до 70 %) и глубины съема масла (остаточная маслянисть шрота менее 1 %), при минимальных затратах растворителя и энергозатратах.

Для стабилизации расхода бензина предусмотрена одноконтурная система регулирования, состоящая из расходомера-рота-метра РП16-ЖУЗ (1а), вторичного прибора ПВ10.1Э (1б) со станцией управления, изодромного регулятора ПР3.31 (1в) и регулирующего клапана 25ч32нж (1г) с пневмоприводом, установленного на линии возврата (сброса) излишка бензина перед подогревателем.

Температура бензина поддерживается на уровне, заданном регулятору температуры прямого действия РТ40 (2а), контролируется и регистрируется термопреобразователем сопротивления

ТСП-5071 (3а) и электронным мостом КСМ2 (3б) с искробезопасным выходом и сигнальным устройством.

Аналогичной системой (4а, 4б) контролируется температура экстрагируемого материала (товара).

Товар, влажность которого контролируется инфракрасным влагомером ПВИС (5а) со вторичным прибором КСМ2 (5б), подается через течку в загрузочную колонну экстрактора. Уровень товара в загрузочной колонне экстрактора должен по условиям безопасной эксплуатации поддерживаться не ниже 500 мм над уровнем (зеркалом) мисцеллы, создавая тем самым затвор для проникновения паров растворителя в тракт загрузки.

В загрузочной колонне контролируются и сигнализируются нижний, средний и верхний уровни товара двумя изотопными взрывозащищенными двухпредельными гамма-реле ГР-7с (6а), включенными так, что при достижении нижнего аварийного уровня (500 мм над уровнем мисцеллы) в схему управления поступает сигнал для световой и звуковой сигнализации, а также с небольшой выдержкой времени обеспечивается остановка экстрактора. При достижении нижнего уровня (600 мм) подается сигнал обслуживающему персоналу для принятия мер, верхнего уровня — автоматически блокируется подача товара в экстрактор. При останове экстрактора останавливаются все предыдущие агрегаты и транспортные элементы по технологическому потоку сырья. Таким образом исключаются случаи образования завалов и переполнения материалом технологического оборудования.

Для стабилизации уровня товара в экстракторе используется взрывозащищенный фотометрический датчик частоты вращения вала загрузочной колонны — тахометр ТФД-В (7а, 7б). В зависимости от подачи и уровня товара в экстракторе потенциометром КПС2 (7в) дистанционно контролируется и регулятором 7г через ключ 7д с помощью вариатора электропривода IV изменяется частота вращения вала загрузочной колонны I.

Из экстрактора мисцелла поступает в мисцеллосборник VII, в котором поддерживается определенный уровень системой автоматизации, состоящей из уровнемера ПИГ-2 (8а), вторичного прибора ПВ10.1Э (8б), изотермного регулятора ПР3.31 (8в) и регулирующего клапана 25ч30нж (8г).

В тостере IX поддерживается температурный режим по всей высоте аппарата системами, состоящими из термопреобразователей сопротивления ТСП 5071 (10а), электронных искробезопасных мостов КСМ3-ПИ (10б) с изотермным пневморегулятором и станцией управления и регулирующими пневмоклапанами 25ч30нж (10в), установленными на линиях подачи пара в тостер (на схеме для упрощения показан один контур регулирования).

Остаточное содержание растворителя в шроте контролируется с помощью пробоотборного устройства УПШ (11а) газоанализатора ГПБ (11б) и регистрируется электронным потен-

цинометром КСП2 (11в) с сигнальным устройством для предупреждения о предельных концентрациях растворителя.

Влажность шрота контролируется системой, аналогичной используемой для контроля влажности товара, подаваемого в экстрактор.

В помещениях экстракционного цеха обеспечен контроль и сигнализация предельных концентраций растворителя в воздухе с помощью систем, состоящих из датчиков ДТХ102У4 (12а, 13а) и блоков питания и сигнализации БПС106У4 (12б, 13б), входящих в комплект сигнализаторов тх па СТХ1У4.

17.3. Автоматизация ректификации

При производстве эфирных масел, а также в винодельческом, спиртовом и ликерно-водочном производствах применяется процесс ректификации, предназначенный для разделения жидких смесей на составляющие их компоненты путем двустороннего обмена между потоками пара и жидкости, движущимися противотоком. Компоненты, которые входят в состав жидких смесей, обладают различными температурами кипения и парциальными давлениями паров, т. е. имеют различную летучесть, что является основой процесса ректификации.

Процесс ректификации протекает в ректификационных колоннах, в которых в качестве контактных устройств пара и жидкости служат колпачковые и решетчатые тарелки, реже в колоннах применяются насадки.

По характеру работы различают ректификационные колонны периодического и непрерывного действия. При ректификации многокомпонентных смесей применяются многоколонные аппараты, в которых происходит последовательное разделение смеси.

С точки зрения автоматизации процесс ректификации характеризуется наличием большого количества возмущающих воздействий, основными из которых являются состав, расход, температура исходной смеси, температура и давление пара.

На рис. 17—4 приведена схема автоматизации процесса брагоректификации в спиртовом производстве, осуществляемого на трехколонном аппарате. Подогретая до кипения бражка поступает в верхнюю часть бражной колонны IV, в нижнюю ее часть поступает греющий водяной пар, который движется навстречу бражке. При выпаривании бражки из жидкой фазы в паровую переходит до 50 % спирта. Для увеличения процентного содержания в уходящих парах выделяемого компонента аппараты снабжены дефлегматорами (II, V, VII).

Из бражной колонны через дефлегматор II пары спирта направляются в элюэционную колонну VI, где происходит выделение эфиральдегидной фракции, затем в ректификационной колонне VIII происходит выделение сивушных масел, а из верхней части колонны выходит спирт стандартной крепости.

Основная задача автоматизации брагоректификационной установки (БРУ) заключается в получении спирта заданного качества, обеспечении заданной производительности по бражке и достижении оптимального режима работы установки по паропотреблению.

Схема автоматизации БРУ предусматривает следующие системы регулирования.

Система продольной стабилизации продуктового потока осуществляет управление производительностью БРУ и согласо-

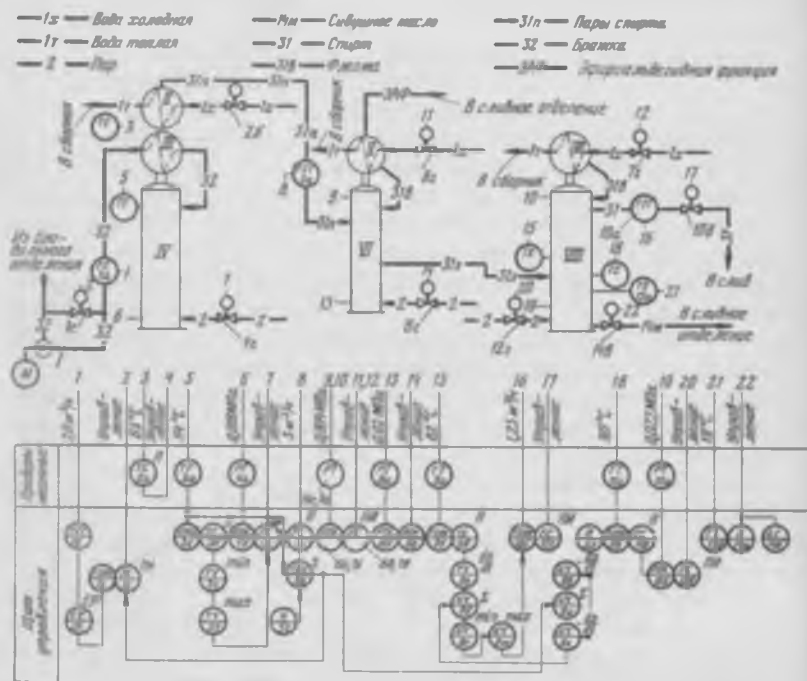


Рис. 17-4. Схема автоматизации процесса брагоректификации:

I — плунжерный насос; II, V, VII — дефлегматоры; III — подогреватель бражки; IV, VI, VIII — бражная, эспирационная и ректификационная колонны

ние режимов работы бражной и ректификационной колонн. Расчет производительности бражной колонны по абсолютному алкоголю осуществляется вычислительным устройством, состоящим из ротаметра РЖ (5а), пропорционального регулятора ПР2.8 (5б), прибора алгебраического суммирования ПФ1.1 (5в) и панели дистанционного управления ДПУ (5г). Стабилизация производительности осуществляется воздействием на расход бражки. Расход бражки измеряется индукционным расходомером ИР-51 (1а, 1б), сигнал от которого через электропневмопреобразователь ЭПП (1в) поступает на вторичный прибор

ПВ10.1П (1е) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (1д). В качестве задания на регулятор 1д поступает вычисленный сигнал производительности бражной колонны по абсолютному алкоголю от прибора алгебраического суммирования ПФ1.1 (5а). Выход регулятора 1д воздействует на регулирующий клапан 25ч5п (1е), установленный на трубопроводе подачи бражки в колонну.

В контуре автоматического регулирования отбора спирта-ректификата из ректификационной колонны реализована зависимость от производительности бражной колонны и температуры на тарелке питания ректификационной колонны. С учетом транспортного запаздывания, данный контур предусматривает задержку сигнала производительности на время прохождения продуктового потока от бражной до ректификационной колонны (цепочка задержки включает функциональные блоки 9з, 9и, 9к, 9л).

Температура на тарелке питания ректификационной колонны измеряется преобразователем температуры типа 1ЗТД (9а), сигнал от которого поступает на вторичный прибор со станцией управления ПВ10.1П (9б) и пропорциональный регулятор ПР2.8 (9в). Сигнал от регулятора 9в поступает на прибор прямого предвещения ПФ2.1 (9г) и прибор алгебраического суммирования ПФ1.1 (9д). На этот же прибор поступает сигнал, соответствующий производительности бражной колонны. Сигнал от ПФ1.1 поступает на функциональные блоки 9е, 9ж и затем через вторичный прибор ПВ10.1П (10б) в качестве задания — на пропорционально-интегральный регулятор ПР3-31 (10г) расхода спирта-ректификата. Контроль расхода спирта-ректификата осуществляется ротаметром типа РПЖ (10а) и вторичным прибором ПВ10.1П (10б). Сигнал от регулятора расхода ПР3.31 (10г) поступает на регулирующий клапан типа 25ч30нж (10д), изменяющий отбор спирта из ректификационной колонны.

Система автоматического управления расходом пара реализует близкий к оптимальному режим работы брагоректификационной установки по паропотреблению. Расход пара регулируется в зависимости от давления в нижних частях бражной и ректификационной колонн. Величина задания на давление корректируется в зависимости от температуры в контрольной точке колонны.

Температура в контрольной точке колонн (бражной и ректификационной) измеряется преобразователем температуры 1ЗТД (3а, 11а), сигнал поступает на вторичный пневматический прибор со станцией управления ПВ10.1П (3б, 11б) и пропорциональный регулятор ПР2.8 (3в, 11в). Сигнал от регулятора поступает в качестве задания на пропорционально-интегральный регулятор давления ПР3.31 (4в, 12в). В качестве первичного преобразователя давления использован силовой манометр МС-П (4а, 12а), сигнал от которого поступает на

вторичный прибор со станцией управления ПВ3.2 (46, 126) и регулятор ПР3.31 (4в, 12в). Выходной сигнал регулятора воздействует на клапан 25ч32нж (4г, 12г) и стабилизирует давление в нижней части колонны.

В контуре автоматического регулирования давления в нижней части бражной колонны предусмотрена функциональная цепочка 3г, 3д, с помощью которой происходит упреждение и ограничение сигнала.

Автоматическая стабилизация давления в нижней части элюционной колонны осуществляется одноконтурной системой регулирования. Давление в нижней части элюционной колонны измеряется манометром МС-П (8а), сигнал от которого поступает на вторичный прибор ПВ3.2 (8б) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (8в), воздействующий на регулирующий клапан 25ч32нж (8г), изменяющий подачу пара в элюционную колонну.

Система автоматической стабилизации давления в верхней части элюционной и ректификационной колонн воздействует на расход охлаждающей воды на дефлегматоры элюционной и ректификационной колонн и состоит из первичного преобразователя давления типа 13ДД (6а, 7а), вторичного прибора ПВ3.2 (6б, 7б), изодромного регулятора ПР3.31 (6в, 7в) и исполнительного устройства 25ч30нж (6г, 7г).

Имеется также автоматический контроль температуры в нижней части бражной колонны, в верхней части элюционной колонны, в зоне отбора сивушных масел из ректификационной колонны, охлаждающей воды на выходе из дефлегматора бражной, элюционной и ректификационной колонн (на рис. данные контуры условно не показаны).

17.4. Автоматизация кристаллизации

В пищевой промышленности процесс кристаллизации применяется для выделения твердой фазы из растворов. Он используется при производстве поваренной соли, в свеклосахарном и глюкозном производствах.

Процесс кристаллизации проводится в аппаратах непрерывного и периодического действия.

На рис. 17—5 представлена схема автоматизации вакуум-аппарата периодического действия, в котором происходит кристаллизация сахара из раствора. Сахарный сироп после выпарной установки поступает на вакуум-аппараты, где происходит дальнейшее выпаривание воды, и из полученного пересыщенного раствора выделяется сахар в виде кристаллов. Процесс кристаллизации характеризуется образованием зародышей кристаллов в пересыщенном растворе и дальнейшим ростом кристаллов. Для облегчения образования центров кристаллизации (зародышей кристаллов) в вакуум-аппарат вводят «затравку» — сахарную пудру.

Сироп, поступающий в вакуум-аппараты, содержит 7,5 % воды и около 55 % выкристаллизовавшегося сахара. Процесс кристаллизации в вакуум-аппаратах ведется под разрежением при температуре увариваемого сиропа 75—80 °С.

Автоматизация процесса кристаллизации позволяет сократить время варки, уменьшить потери пара, увеличить выход сахара.

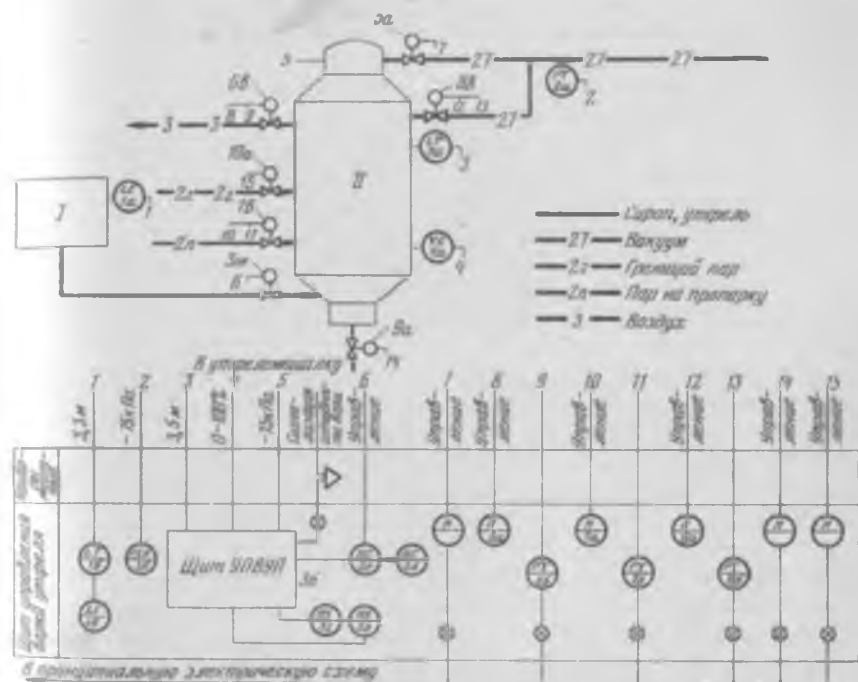


Рис. 17-5. Схема автоматизации процесса кристаллизации:

I — сборник сиропа; II — вакуум-аппарат

Система автоматического управления процессом кристаллизации предусматривает автоматический контроль уровня в сборнике сиропа перед вакуум-аппаратами, программное управление варкой утфеля, дистанционное управление вспомогательными операциями.

Автоматический контроль уровня в сборнике сиропа позволяет оператору получить объективную информацию о запасах продукта, поступающего на уваривание, обеспечить ритмичную работу аппарата и исключить переполнение сборника.

Для измерения уровня используются электронный измеритель уровня ЭИУ-2 (1а, 1б) и показывающий милливольтметр М325 (1в).

Основным параметром процесса кристаллизации является коэффициент пересыщения, который определяется косвенными методами: вискозиметрическим, кондуктометрическим и др.

В приведенной схеме используется устройство программной варки утфеля пневматическое (УПВУП), разработанное НПО «Пищепромавтоматика». В этой системе в качестве индикатора вязкости 4а применяется ротационный вискозиметр, электрический сигнал от которого поступает на блок питания и измерения; напряжение, снимаемое с диагонали моста блока, преобразуется в сигнал постоянного тока, а затем поступает на электропневмопреобразователь ЭПП. Пневматический сигнал от ЭПП поступает на программный регулятор, который поддерживает постоянное соотношение уровень утфеля в вакуум-аппарате — структурная вязкость. В зависимости от качества утфеля оператор задатчиком, установленным на программном регуляторе, может изменять коэффициент соотношения.

Программный регулятор выполнен на элементах УСЭППА. Уровень утфеля в вакуум-аппарате измеряется дифманометром ДС-П4 (3а), импульсные линии которого продуваются паром.

В соответствии с заданным соотношением уровень — вязкость программный регулятор 3б управляет клапаном 25ч5п (3ж) подачи сиропа в вакуум-аппарат. По достижении определенной вязкости от программного регулятора подаются звуковой и световой сигналы для введения «затравки» в вакуум-аппарат. Оператор вручную вводит в аппарат сахарную пудру. По достижении номинального уровня продукта в аппарате подкачка сиропа в аппарат прекращается. Со щита байпасной панелью БПДУ-А (3а) и пневмотумблером П1.Т2 (3е) осуществляется дистанционное управление клапаном подачи сиропа в аппарат. По достижении заданной вязкости на щите загорается табло и звучит звуковой сигнал о готовности утфеля.

С помощью пневмотумблеров П1.Т2 (3г, 3в) отключается программный регулятор УПВУП. С помощью пневмотумблеров П1.Т2 (6а, 7а, 8а) предусмотрено дистанционное управление вспомогательными операциями: подачи пара в греющую камеру, подключения аппарата к линии основного и предварительного разрежения, связи с атмосферой, спуска утфеля, пропарки.

В качестве запорных органов для основного разрежения и спуска утфеля применяется вентиль с электроприводом ТЭ.099.058-011М (5а, 9а), для предварительного разрежения и сброса воздуха в атмосферу — клапан 22нж10п (6в, 8в), подача греющего пара в вакуум-аппарат осуществляется задвижкой с электроприводом 30ч906Бр (10а), подача пара на пропарку — мембранным клапаном 774-46-ООБ (7в).

Сигнализация положения исполнительных механизмов осуществляется конечными выключателями и пневмоэлектропреобразователем П1ПР.4 (66, 76, 86).

17.5. Автоматизация сушки

Процесс сушки широко применяется во всех отраслях пищевой промышленности: в мукомольной отрасли высушивают зерно, в хлебопекарном производстве — макаронные изделия и сухари, в кондитерском производстве — мармеладно-пастильные изделия, в свеклосахарном производстве — сахар, жом, в крахмало-паточном производстве — крахмал и отходы производства и т. д. Процесс сушки обеспечивает сохранность исходных свойств пищевых продуктов.

Отходы производства, которые служат хорошим кормом для скота, также необходимо подвергать сушке, для того чтобы сделать их транспортабельными (в отходах производства содержится иногда до 90 % воды) и предотвратить потери питательных веществ. Обычно отходы производства, содержащие большое количество воды, подвергают первоначально механическому обезвоживанию, а затем сушке. Это делается с целью экономии топлива.

В пищевой промышленности сушке подвергаются различные материалы, поэтому применяются сушилки различных конструкций: барабанные, распылительные, шахтные, камерные, сублимационные, с кипящим слоем и т. д. Сушилки классифицируются также по следующим основным признакам: режиму работы (непрерывного и периодического действия), способу подвода тепла (конвективные, контактные, с инфракрасным нагревом и др.), характеру сушильного агента (воздушные, с применением топочных газов), давлению в сушильной камере (вакуумные, работающие при атмосферном давлении), по виду циркуляции сушильного агента (естественная, принудительная).

Обычно при сушке продуктов питания сушильным агентом является горячий воздух, а при сушке отходов производства используется газовоздушная смесь (топочные дымовые газы).

Процесс сушки характеризуется рядом параметров: качеством и количеством сырья и готового продукта, температурой и относительной влажностью среды, временем пребывания продукта в сушилке и др.

Основным параметром, определяющим процесс сушки, является конечная влажность продукта. Однако в настоящее время промышленных влагомеров, работающих в потоке, мало, поэтому для правильного ведения процесса сушки в качестве регулируемых используются косвенные параметры: температура сушильного агента, выходящего из сушилки, температура высушенного продукта; регулирующим воздействием является количество подводимого тепла.

На рис. 17-6 представлена схема автоматизации зерносушильного агрегата типа ДСП-16. Сушка зерна осуществляется сушильным агентом, представляющим собой смесь воздуха и продуктов сгорания топлива (газовоздушной смеси). Топка

двухзонной сушилки работает на газе, подача сушильного агента в 1-ю и 2-ю зоны производится индивидуальными вентиляторами.

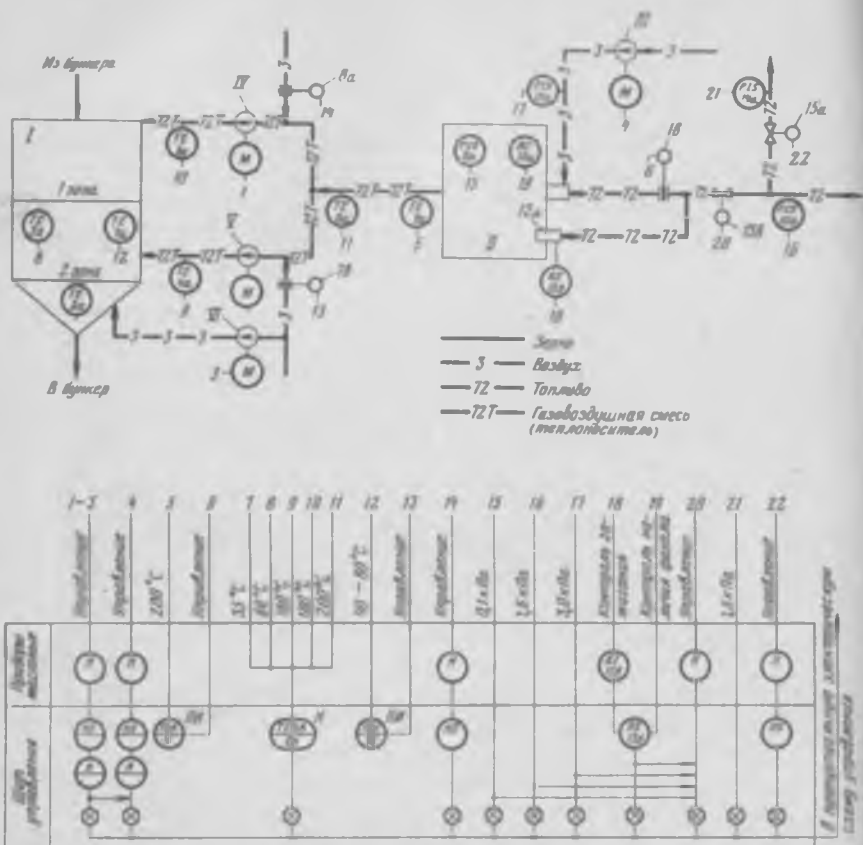


Рис. 17-6. Схема автоматизации зерносушильного агрегата ДСП-16:
I — зерносушильный агрегат; II — топка; III — вентилятор высокого давления; IV — вентилятор воздуха; V, VI — вентиляторы теплоносителя

Система автоматического управления процессом сушки зерна предусматривает:

автоматический розжиг топki (подача топлива, воспламенение факела, контроль наличия факела); контур включает электрозапальник типа Эз (12а, 12б) и прибор контроля пламени и автоматического розжига газомазутных горелок Ф24.2 (13а, 13б);

автоматическую отсечку газа при аварийном нарушении режима работы сушилки; отсекающий орган на подаче газа — предохранительный клапан типа ПКН (13в) с электромагнитом;

автоматическую стабилизацию температуры газовоздушной смеси, измеряемой термонпреобразователем сопротивления типа ТСП (1а), сигнал от которого поступает на электронный регулирующий прибор Р25.2 (1б) и далее на исполнительный механизм ПР-1М (1в), изменяющий подачу топлива в топку;

автоматическую стабилизацию температуры зерна на выходе из второй зоны изменением соотношения расходов газовоздушная смесь — воздух перед вентилятором второй ступени; температура измеряется термонпреобразователем сопротивления ТСП (7а); сигнал поступает на пропорционально-интегральный регулятор Р25.2 (7б), воздействующий на исполнительный механизм типа МЭО (7в); последний изменяет зазор на специальной жалюзной задвижке и тем самым изменяет соотношение газовоздушная смесь — воздух;

автоматический контроль температуры сушильного агента на входе в обе зоны сушилки, температуры зерна на выходе из обеих зон, температуры топочных газов. Для измерения температуры используются термонпреобразователи сопротивления типа ТСП (2а—6а) и многоточечный регистрирующий мост типа КСМ (6б) с сигнальным устройством; при отклонении температуры от заданной загорается сигнальная лампочка на щите управления;

автоматический контроль разрежения в топке, давления в магистрали подачи топлива и в магистрали вентилятора высокого давления, осуществляемый датчиком напора типа ДН (9а, 10а, 11а, 14а).

Системой предусмотрена световая сигнализация отклонения технологических параметров от заданных значений, а также сигнализация нарушения режима работы сушилки.

Приборы контроля технологических параметров, аппаратура управления и сигнализации расположены на щите управления сушилки.

На рис. 17-7 представлена схема автоматизации процесса сушки сахара в псевдооживленном слое. Сущность процесса сушки, протекающего в псевдооживленном слое, заключается в следующем: при прохождении с определенной скоростью теплого воздуха через слой зернистого материала (зерна, сахара и др.) слой частиц приобретает свойства текучести и напоминает кипящую жидкость. При таком активном перемешивании теплого воздуха с зернистым материалом достигается более интенсивное протекание процесса сушки.

Схема предусматривает регулирование разрежения в сушильном аппарате. Сигнал от тягонапоромера ТНС-П (1а) поступает на вторичный прибор со станцией управления типа ПВЗ.2 (1б) и на пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор типа ПРЗ.35 (1в). Выходной сигнал регулятора управляет положением исполнительного механизма ПСП (1г), изменяющего положение направляющих вентилятора отсоса воздуха.

[illegible]

поступает на регулирующий клапан 25ч30нж (2г), установленный на трубопроводе пара.

От байпасных панелей дистанционного управления типа БПДУ-А (4а, 7а, 10а, 11а) предусмотрено дистанционное управление исполнительным механизмом типа ПСП (4б, 7б, 10б, 11б).

116), сочлененным с направляющим аппаратом греющего и охлаждающего воздуха, приводом подачи воздуха (наружного и из помещения).

17.6. Автоматизация выпарных установок

Процесс выпаривания применяется для увеличения концентрации растворенного вещества в кипящем растворе путем удаления из него воды в виде пара.

Процесс выпаривания широко применяется в сахарной, молочной, консервной и других отраслях пищевой промышленности.

Выпаривание может происходить под атмосферным или избыточным давлением либо под вакуумом.

Наиболее экономичным является процесс выпаривания под вакуумом, при этом температура кипения раствора снижается, что позволяет использовать пар низкого давления.

Процесс выпаривания проводят в однокорпусной и многокорпусной выпарных установках (МВУ). В однокорпусной выпарной установке тепло греющего пара используется однократно, в многокорпусной вторичные пары используются для обогрева последующих корпусов выпарной установки. В промышленности многокорпусные выпарные установки получили широкое распространение.

Существуют различные схемы многокорпусных выпарных установок: двух-, трехкорпусная, четырехкорпусная под давлением с концентратором (работающим под разрежением), четырехкорпусная с малым разрежением, пятикорпусная с компрессией сокового пара и др.

Вопросу автоматизации выпарных установок уделяется большое внимание. На рис. 17-8 представлена схема автоматизации МВУ крахмало-паточного производства для выпаривания глюкозного сиропа. Основными возмущающими воздействиями при выпаривании глюкозного сиропа являются концентрация и расход поступающего сиропа. Меньшее влияние оказывают температура поступающего сиропа и изменение теплосодержания греющего пара.

Система автоматизации предусматривает автоматический контроль давления греющего пара в I корпусе трехкорпусной МВУ, уровня сиропа в каждом корпусе, плотности готового продукта; блокировки от понижения уровня сиропа в корпусах МВУ, разрежения в последнем корпусе (на схеме данный контур не показан).

Стабилизация давления греющего пара в I корпусе осуществляется следящей системой регулирования. Заданием регулятору давления является расход сиропа на МВУ. Реализуется данный контур на следующих приборах и средствах автоматизации.

[illegible]

порциональный изменению давления греющего пара в I корпусе, от манометра МС-П (3а) поступает в камеру «переменной» регулятора ПРЗ.31 (3в), который через электропневмоклапан ВВ-32 (3г) управляет положением клапана 25ч32нж (3д) подачи греющего пара. Схема работает следующим образом. При расходе сиропа на МВУ не выше номинального от блока ограничения сигнала 2д проходит постоянный пневматический сигнал давлением 0,06 МПа в камеру задания регулятора ПРЗ. 31 (3в), который с помощью клапана 25ч32нж (3д) стабилизирует давление пара в греющей камере I корпуса. При расходе сиропа выше номинального сигнал задания регулятору 3в становится больше 0,06 МПа, регулятор увеличивает расход греющего пара и давление греющего пара в I корпусе повышается.

Регулирование уровня сиропа в корпусах осуществляется одноконтурными системами. Уровень измеряется буйковым уровнем УБ-П (4а, 5а, 6а), сигнал от которого поступает на вторичный прибор со станцией управления ПВЗ.2 (4б, 5б, 6б) в комплекте с регулятором (4в, 5в, 6в), который управляет клапаном подачи сиропа в корпус. При снижении уровня сиропа ниже допустимого сигнал от дискретного преобразователя ППЭД (4г, 7г) поступит на электропневмоклапан ВВ-32 (5г, 6г, 7д) для закрытия регулирующего клапана (5д, 6д, 7ж), установленного на стоке. При снижении уровня сиропа в I корпусе ниже допустимого сигнал от ППЭД (4г) поступит также на электропневмоклапан 3г и закроет клапан 3г подачи пара в греющую камеру.

Плотность сиропа на выходе измеряется радиоизотопным плотномером ПР1025 (7а), вторичный прибор которого выполнен на базе моста КСМЗ-П модели 1800Д (7б, 7в) (с ПИ-регулятором и байпасной панелью ПП12.2); последний управляет двумя регулирующими клапанами 25ч32нж (7з) и 25ч30нж (7ж). Если плотность готового продукта ниже заданной (55—57 % СВ), то клапан 7ж полностью закроется, а клапан 7з откроется, осуществляя рециркуляцию сиропа на III корпус и уваривая его до заданной плотности.

Контроль температуры кипения продукта в корпусах осуществляется термопреобразователями ТСП (8а, 9а, 10а) и мостом КСМ2 (10б).

Контроль уровня сиропа в сборнике осуществляется напорометром НС-П (1а) и вторичным прибором ППВ1.3И (1б) с сигнальным устройством.

Стабилизация вакуумметрического давления в III корпусе осуществляется изменением подачи воды в конденсатор.

На рис. 17-9 представлена схема автоматизации многокорпусной выпарной установки (МВУ), применяемой в свеклосахарном производстве, в состав которой входят 5 активных корпусов (первый и второй корпуса состоят из двух выпарных аппаратов). Выпарной аппарат I корпуса обогревается ретурным паром от коллектора, последующие корпуса и потребители питаются экстрапарами I—IV корпусов.

Непременным условием реализации системы автоматического управления МВУ является предварительное введение установки в режим отрицательного небаланса по производству и потреблению вторичных паров (создание так называемого «голодного режима»). Под отрицательным небалансом по вторичному пару отдельного корпуса понимается такой режим работы, при котором активная производительность, установленная принудительной подпиткой пара в надсоковое пространство, является недостаточной.

При автоматизации МВУ предусмотрены следующие системы регулирования.

Стабилизация подачи раствора на установку осуществляется следящей системой, где в качестве задания по расходу сока на выпарную установку поступает сигнал по уровню от сборника сока перед МВУ.

Сигнал от индукционного расходомера ИР-51 (3а) и электропневмопреобразователя ЭПП-63 (3б) поступает на вторичный прибор со станцией управления ПВ10.1Э (3в) и изодромный регулятор ПР3.31 (3г). В качестве переменного задания регулятору поступает сигнал от дифманометра ДС-П (2а) через вторичный прибор ПВ10.1Э (2б) и пропорциональный регулятор ПР2.8 (2в). Данный контур предусматривает блокировку от падения уровня в I корпусе: при снижении уровня в сборнике сока и в I корпусе до минимума подается сигнал через электропневматический вентиль (4в, 4е) на полное открытие клапана 25ч32нж (4г) подачи аммиачной воды в сборник и клапана 3з подачи раствора в I корпус МВУ. Одновременно от дискретного преобразователя ППЭД (4д) проходит сигнал минимального уровня в I корпусе для открытия клапана на подачу аммиачной воды.

При переполнении I корпуса сигнал от пропорционального регулятора ПР2.8 (5г) поступает в прибор селектирования большего сигнала ПФ4/5.1 (3д) и закрывает клапан 25ч30нж (3з) подачи сока на выпарную станцию.

Автоматическое регулирование уровня в выпарных аппаратах осуществляется воздействием на сток с защитой от переполнения путем воздействия на приток сока. Уровень в выпарных аппаратах измеряется буйковыми уровнемерами УБ-ПВ (5а — 11а), от которых пневматический сигнал поступает на вторичные приборы РПВ4.3Э (5б — 11б) и статические регуляторы ПР2.8 (5д — 11д) с малыми коэффициентами усиления. Задание регуляторам устанавливается с помощью панелей дистанционного управления ПДУ-2 (5в — 11в).

Выходной сигнал регуляторов ПР2.8 (5д — 11д) через приборы селектирования большего сигнала ПФ4/5.1 (5е — 10е) поступают на регулирующие клапаны 25ч30нж (5з — 10з, 11е), установленные на трубопроводах подачи сока в последующий корпус. Защита от переполнения осуществляется при подаче сигнала максимального уровня на регуляторы ПР2.8 (5г — 11г) с большим коэффициентом усиления, выходной сигнал которых через прибор селектирования большего сигнала ПФ4/5.1 (3д, 5е — 10е) воздействует на регулирующий клапан 25ч30нж (3з, 5з — 10з), установленный на притоке сока.

Автоматическое регулирование давления сокового пара в I корпусе МВУ осуществляется регулятором давления РОУ, изменяющим давление ретурного пара, поступающего на МВУ (на рис. данный контур не показан).

Автоматическое регулирование разрежения в IV и V корпусах МВУ осуществляется одноконтурной системой путем воз-

действия на расход вторичных паров на подпитку IV, V корпусов. Разрежение измеряется вакуумметрами ВС-II 19а, 20а, пневматические сигналы которых поступают на вторичные приборы со станциями управления ПВ10.1Э 19б, 20б и ПИ-регуляторы ПР3.31 19а, 20а. Управляющие сигналы регуляторов поступают на заслонки 19г, 20г, изменяющие расход пара.

Автоматическое регулирование производительности II, III, IV корпусов МВУ способствует обеспечению потребителей соковыми парами необходимых потенциалов и компенсации изменений внутренних условий теплообмена. Испарительная способность этих корпусов измеряется косвенным методом — измерением расхода греющего пара в эти корпуса, и регулируется изменением величины подпитки в надсоковое пространство. Изменение подпитки вызывает с небольшим запаздыванием изменение испарительной способности (производительности) корпуса. Расход пара на II корпус измеряется диафрагмами ДК 28а, 29а с конденсационными сосудами 28б, 29б и дифманометрами ДС-П 28в, 29в, сигналы от которых поступают на приборы извлечения квадратного корня ПФ1.17 28г, 29г, а затем суммируются в блоке ПФ1.1 28е; выходной сигнал поступает на вторичный прибор ПВ10.1Э 28з и ПИ-регулятор ПР3.31 28и, воздействующий на регулирующий клапан 25ч32нж 28к подпитки в надсоковое пространство II корпуса МВУ. Производительность III и IV корпусов регулируется аналогично.

Автоматическое регулирование концентрации сиропа ведется по плотности сока после I корпуса МВУ. Для поддержания конечной концентрации сиропа на заданном уровне используется принцип регулирования по отклонению конечной концентрации с непосредственным воздействием на I корпус МВУ, так как испарительная способность последнего корпуса недостаточна для компенсации возникающих эксплуатационных возмущений регулируемой величины. Работа этого контура состоит в согласовании требуемой концентрации (B_1^{TP}) после I корпуса МВУ с фактической концентрацией раствора (B_1^f) этого же корпуса.

Вычислительное устройство системы вырабатывает сигнал требуемой концентрации раствора (B_1^{TP}) по алгоритму

$$B_1^{TP} = B_n^{зад} - \left(B_n^{зад} \sum_{i=2}^{i=n} W_i \right) / S_1^f \quad (1)$$

или

$$B_1^{TP} = B_n^{зад} \left(1 - \sum_{i=2}^{i=n} W_i / S_1^f \right),$$

где $B_n^{зад}$ — заданная концентрация раствора после последнего корпуса МВУ; $\sum_{i=2}^{i=n} W_i$ — суммарная производительность активных корпусов МВУ,

начиная со II корпуса. Значение этой величины отрабатывается как алгебраическая сумма расходов греющих паров на активные корпуса МВУ; S_i^Φ — фактический расход раствора после I корпуса МВУ.

Сигналы по расходу греющего пара на II корпус от дифманометров-расходомеров ДС-II (28в, 29в) поступают на приборы извлечения квадратного корня ПФ1.17 (28г, 29г) и вторичные показывающие приборы ППВ1.1 (28д, 29д), затем эти сигналы суммируются в блоке ПФ1.1 28е и умножаются на «весовой» коэффициент в приборе умножения ПФ1.9 28ж. Сигнал по расходу греющего пара III корпуса формируется аналогично, и в блоке алгебраического суммирования ПФ1.1 (30и) получают алгебраическую сумму расхода греющего пара на II и III корпуса МВУ
$$- \sum_{i=2}^{i=n} W_i.$$

Этот сигнал через переключающее реле ПП2.5 (30к), где он может быть заменен на сигнал от ручного задатчика П23Д.4 (30л) переключением пневмотумблера П1.Т2 (30к), поступает на пневмоэлектропреобразователь ПЭ-55М (30о) и далее в качестве делимого — в блок деления А-32 (31в). Сюда же в качестве делителя поступает сигнал расхода сока после I корпуса от индукционного расходомера ИР-51 (31а, 31б). При этом реализуется соотношение
$$\sum_{i=2}^{i=n} W_i / S_i^\Phi.$$

Затем этот сигнал через электропневматический преобразователь ЭПП 31г подается на сумматор ПФ1.1 (31д), где реализуется соотношение
$$1 - \sum_{i=2}^{i=n} W_i / S_i^\Phi,$$
 и соответствующий сигнал подается на блок умножения ПФ1.9 (31е), где окончательно формируется соотношение (1).

Соответствующий сигнал в качестве переменного задания поступает на ПИ-регулятор концентрации ПР3.31 (32в), куда в качестве переменной поступает сигнал от плотномера 32а. Регулятор воздействует на клапан 25ч32нж (32е), установленный на трубопроводе подпитки паром I корпуса МВУ.

При увеличении фактической концентрации раствора регулятор концентрации соответственно уменьшает производительность I корпуса МВУ, поддерживая концентрацию раствора на требуемом уровне.

Контрольные вопросы

1. Каков принцип действия системы автоматизации установки масляной абсорбции маслоэкстракционного завода?
2. Расскажите о принципе действия системы автоматизации наклонного аппарата типа С-17.
3. Каков принцип действия системы автоматизации экстракционной установки типа НД-1250?
4. Расскажите о принципе действия системы автоматизации брагоректификационной установки.

5. Каков принцип действия системы автоматизации процесса кристаллизации сахара?

6. Расскажите о принципе действия системы автоматизации зерносушильного агрегата типа ДСП-16.

7. Назовите принцип действия системы автоматического управления процессом сушки сахара в «кипящем» слое.

8. Приведите пример системы автоматического управления многокорпусной выпарной установкой.

Глава 18. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

18.1. Автоматизация гидрогенизации

В производстве пищевых продуктов большое место занимают химические процессы, в частности, гидрогенизация. Химические процессы проводятся обычно в реакторах и автоклавах и как объекты управления являются особо сложными с точки зрения кинетики и динамики. Они требуют выполнения ряда особых условий, которые предъявляются к оборудованию, трубопроводам, арматуре, а следовательно, и к средствам и системам автоматизации.

В связи с агрессивностью и часто взрывоопасностью сред, поступающих в химические реакторы для получения полупродуктов и готовой продукции (жирные кислоты, щелочные и известковые растворы, различные катализаторы, сернистые соединения, высокоактивные, а также горючие и взрывоопасные газы), химические процессы требуют применения особых схемных решений по автоматизации, обеспечения условий техники безопасности, а также контроля качественных показателей сред.

Жиры, содержащие преимущественно непредельные кислоты, способны при определенных условиях в присутствии катализатора присоединять водород. Этот процесс называется гидрогенизацией. В пищевой промышленности процессы гидрогенизации проводятся с целью превращения жидких жиров в твердые, используемые при производстве маргарина, мыла, стеарина и др.

На рис. 18-1 приведена схема непрерывной гидрогенизации растительных масел в батарее, состоящей из трех автоклавов, с участком выработки водорода методом электролиза воды. Процесс гидрогенизации растительных масел происходит следующим образом. В автоклав *I* насосом *VI* подается масло; одновременно из емкости *IV* поршневым насосом *V* подается суспензия медно-никелевого катализатора в масле. В нижнюю часть автоклавов *I*, *II* и *III* через распределители подается водород для поглощения при гидрогенизации, а его избыток — для барботажа через слой масла; кроме того, каждый автоклав снабжен механической мешалкой для интенсификации процесса. Внутри автоклава у стен расположен змеевик, в который подается пар для подогрева (обычно в *I* и *II* автоклавы) или масло

Для охлаждения (II и III автоклавы). Прошедшее частично реакцию гидрогенизации масло из I автоклава через переливные патрубки поступает последовательно во II и III автоклавы. На выходе из III автоклава процесс гидрогенизации завершается, и полученный продукт, называемый саломасом, поступает на

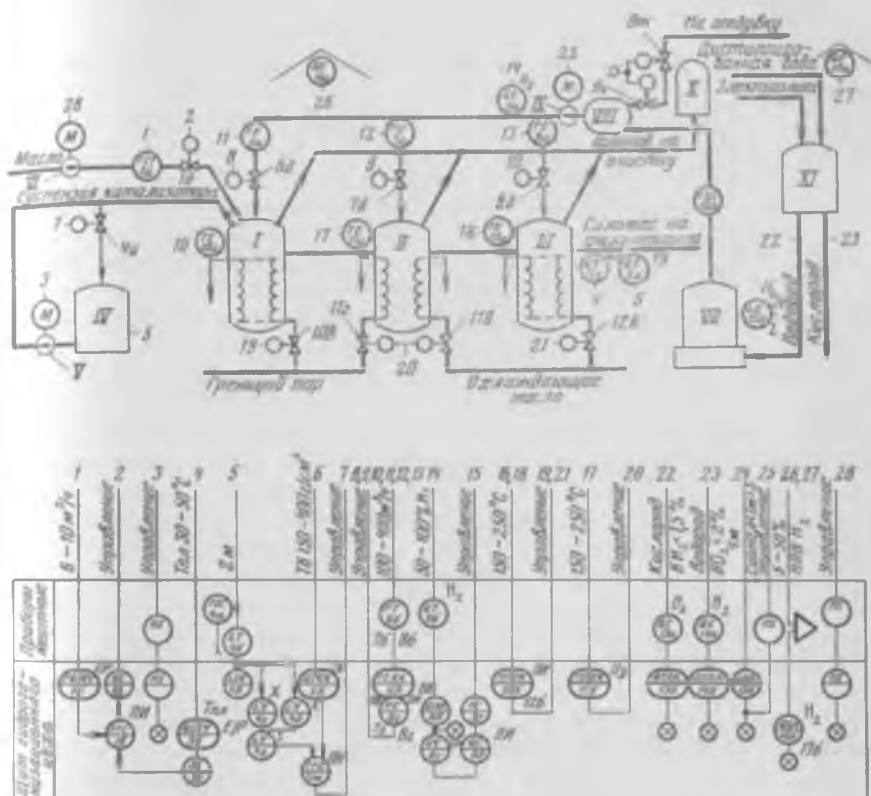


Рис. 18-1. Схема автоматизации процессов непрерывной гидрогенизации с участком выработки водорода и кислорода методом электролиза воды

фильтрацию. Водород, прошедший автоклавы, подается в очистную систему X. Водород после очистки (циркуляционный) поступает в смеситель VIII, туда же из газгольдера VII подается свежий водород, выработанный в электролизере XI. Смешанный водород компрессором IX подается в автоклавы. Автоматизация линии непрерывной гидрогенизации предназначена для повышения интенсивности процесса, увеличения производительности оборудования, сокращения потерь жиров, энергозатрат и удельных расходов водорода и катализатора на 1 т выработанного саломаса, а также повышения его качества,

улучшения техники безопасности и облегчения условий труда обслуживающего персонала.

Система регулирования расхода масла состоит из взрывозащищенного ротаметра РЭВ-10ЖУЗ (1а), вторичного прибора КСДЗ модели 1030 (1б) с пневматическим преобразователем, изодромного регулятора соотношения ПРЗ.34 (1в), панели управления ПП12.2 (1г) и регулирующего клапана 25ч30нж (1д). В регулятор соотношения через панель управления ПП12.2 (3в) поступает корректирующий сигнал от вторичного прибора 3б на базе КСМЗ модели 1030 установки ТПС-1 3а контроля температуры плавления саломаса, характеризующей качество гидрированного жира. При повышении температуры плавления саломаса расход масла увеличивается, при снижении температуры — уменьшается. Таким способом поддерживается один из показателей качества гидрированных жиров — температура плавления.

Расход катализатора определяют путем расчета. Измеренное пьезометрическим методом значение уровня суспензии катализатора в расходной емкости IV делится на время, в течение которого произошло указанное изменение уровня, с помощью функциональных блоков ПФ1.1 (4г), ПФ1.39 (4д) и ПФ1.18 (4е). Уровень суспензии катализатора контролируется с помощью регулятора расхода воздуха РРВ-1 (4а), подаваемого в пьезометрическую трубку, опущенную внутрь емкости IV, и дифманометра ДС-ПЗ (4б), сигнал от которого поступает на самопишущий манометр МТС-712 (4в) и в функциональные блоки 4г и 4д. Сигнал о расходе суспензии катализатора из блока 4е поступает в регулятор соотношения ПРЗ.34 (4ж), из регулятора — на регулирующий клапан-кран 11ч8бк с исполнительным механизмом МИМ-К160 (4и), установленный на линии сброса излишка суспензии катализатора в емкость IV. В регулятор соотношения от вторичного прибора ПВ10.1Э (5б), входящего в комплект установки ТВЖ-2 (5а) контроля второго качественного показателя саломаса — твердости, поступает корректирующий сигнал. При снижении твердости саломаса расход суспензии катализатора должен возрасти, при повышении — снизиться.

Расходы водорода в каждый автоклав стабилизируются системами, состоящими из диафрагм ДК-6 (6а, 7а, 8а) с разделительными сосудами, дифманометров ДСП787Н (6б, 7б, 8б), вторичных приборов ПВ10.1Э (6в, 7в, 8в), изодромных регуляторов 6г, 7г, 8г и регулирующих клапанов 25ч30нж И (6д, 7д, 8д), установленных на линиях подачи водорода в автоклавы I, II и III. Для обеспечения стабильного качества смешанного водорода, подаваемого в автоклавы, служит система автоматизации, состоящая из блока регулировки и фильтрации Б1 (9а) с отборным устройством, установленным на линии смешанного водорода, приемного устройства 9б, вторичного прибора — электронного моста на базе КСМ2-024И (9в), входящего в ком-

пульт автоматического газоанализатора на водород типа ТП 1120 со шкалой 80—100 % H_2 . Сигнал от вторичного прибора 9в через электронневропреобразователь ЭПП 9г поступает на изохромный регулятор 9д, станцию управления ПП12.2 (9е) и на пневмоприводы регулирующих клапанов 25ч30нж (9ж, 9и). На линии отдувки загрязненного водорода установлен клапан 9ж типа ВО, а на линии подачи очищенного водорода в смеситель VIII — клапан 9и типа ВЗ. Воздействие регулирующего сигнала, например при снижении степени чистоты смешанного водорода, приводит к ограничению клапаном притока циркуляционного водорода в смеситель и одновременному открытию клапана отдувки. За счет большего притока в смеситель свежего водорода из газгольдера XI степень чистоты смешанного водорода повышается и достигает заданного значения.

Стабилизация температурного режима в автоклаве I обеспечивается системой, состоящей из термопреобразователя сопротивления ТСП5071 (10а), вторичного прибора — электронного моста КСМЗ (10б) с искробезопасным выходом и встроенным изохромным регулятором и регулирующего клапана 25с48нж (10в), установленного на линии подачи пара в змеевики.

Стабилизация температуры во II автоклаве осуществляется аналогичной системой. Отличительная особенность состоит в том, что встроенный в мост 11б пневморегулятор настраивается на работу в двухпозиционном режиме, а выходной сигнал регулятора закрывает кран 11ч8бк с пневмоприводом МИМ-К 160 (11в) прокачки и открывает клапан 25с48нж (11г) на линии подачи пара на подогрев при понижении температуры в автоклаве II против заданного значения. В случае повышения температуры за счет выделения тепла при реакции гидрогенизации клапан 11г на паровой линии закрывается, одновременно открывается клапан 11в прокачки.

В III автоклаве регулирование температуры осуществляется системой, состоящей из узлов 12а, 12б, 12в, аналогичных системе I автоклава, но регулирующий сигнал изменяет величину прокачки, так как в III автоклаве реакция гидрогенизации происходит очень интенсивно; при этом необходим отвод выделившегося тепла.

При электролитическом методе выработки водорода в электролизер XI поступают дистиллированная вода и электролит. Под воздействием электрического тока в электролизере происходит разложение воды на кислород и водород. Водород поступает в газгольдер и используется в процессе гидрогенизации, а кислород подается на станцию компримирования и используется на технические нужды. На выходе из электролизера контролируется по требованиям техники безопасности содержание водорода в кислороде и водорода в водороде системами, состоящими из отборных устройств с преобразователями 13а и 14а, входящих соответственно в комплекты газоанализаторов

Схемой предусмотрено регулирование процесса преддефекации изменением расхода дефекованного сока (сока возврата) в зависимости от расхода диффузионного сока, поступающего на станцию дефекоосатурации. Расход сока возврата измеряется индукционным расходомером ИР-51 (5а). Электрический сигнал, пропорциональный расходу сока возврата, преобразуется в пневматический сигнал электропневмопреобразователем ЭПП (5в) и поступает в камеру «переменная» вторичного прибора со станции управления ПВ10.1Э (5г) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (5д). В камеру «программа» вторичного прибора ПВ10.1Э (5г) поступает пневматический сигнал, пропорциональный расходу диффузионного сока. Регулятор 5д воздействует на регулирующий клапан 25ч30нж (5е), установленный на трубопроводе сока возврата.

Стабилизация заданного значения рН сока в преддефекторе осуществляется одноконтурной системой регулирования: рН сока на выходе из преддефектора измеряется датчиком ДМ-5М (2а) и преобразователем П201.2 (2б), преобразуется ЭПП (2в) в стандартный пневматический сигнал, который поступает на вторичный прибор ПВ10.1Э (2г) и изодромный регулятор ПР3.31 (2д). Выходной сигнал регулятора управляет регулирующим клапаном 25ч30нж (2е), изменяющим расход дефекованного сока на подщелачивание.

Автоматическое регулирование содержания общей извести в дефекованном соке осуществляется следующим образом. Сигнал, пропорциональный расходу диффузионного сока, от преобразователя ЭПП (1в) суммируется в блоке ПФ1.1 (3г) с корректирующим сигналом от регулятора ПР2.8 (3б), компенсирующим влияние изменения расхода диффузионного сока на содержание общей извести в дефекованном соке. На суммирующий блок 3г в минусовую камеру поступает также сигнал ручной коррекции от панели дистанционного управления ДПУ-2 (3в) по плотности известкового молока.

Выход прибора ПФ1.1 (3г) и сигнал, пропорциональный расходу известкового молока, от индукционного расходомера ИР-51 (4а, 4б) и преобразователя ЭПП (4в), поступают на вторичный прибор ПВ10.1Э (4г) и ПИ-регулятор соотношения ПР3.33 (4д), управляющий клапаном 25ч5п (4е), установленным на трубопроводе подачи известкового молока в дефекатор.

Стабилизация заданного значения рН сока I и II сатурации (на рисунке аппарат II сатурации не показан) выполняется по принципу каскадного регулирования. Основной контур — регулирование рН, вспомогательный — стабилизация расхода сатурационного газа.

Контуры регулирования рН сока I и II сатурации аналогичны. рН сока измеряется датчиком ДПг-4М (6а) и преобразователем П-201.2 (6б). Электрический сигнал преобразуется блоком 6в в пневматический и поступает на вторичный прибор.

ПВ10.1Э (6г) и ПИ-регулятор ПР3.31 (6д). Сигнал от последнего поступает в камеру «программа» вторичного прибора ПВ3.2 (7г) и в камеру «задание» пропорционального регулятора ПР2.8 (7д). На этот же регулятор в камеру «переменная» поступает сигнал, пропорциональный расходу сатурационного газа, от диафрагмы ДК (7а) и дифманометра ДС-П (7б). Выход регулятора 7д воздействует заслонкой на расход сатурационного газа в аппарат.

18.3. Автоматизация сульфитации

В пищевой промышленности для обесцвечивания жидких продуктов применяется различное оборудование — адсорбционные колонны, фильтры, смесители, сульфитаторы и др.

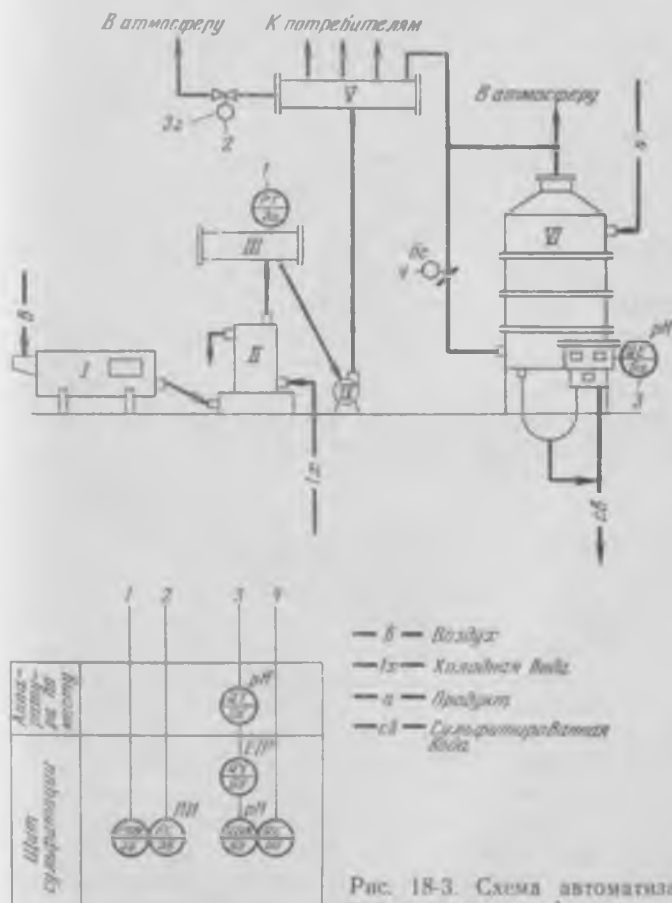


Рис. 18-3. Схема автоматизации процесса сульфитации

На рис. 18—3 приведена схема автоматизации процесса сульфитации, который применяется в сахарной промышленности для обесцвечивания сока за счет восстановления красящих веществ в бесцветные соединения, а также снижения вязкости и щелочности сиропа, что значительно сокращает время уваривания утфеля.

В сахарной промышленности сульфитируют сок II сатурации и сироп после выпарной установки либо полусироп после III корпуса выпарной установки.

Сок и сироп в сульфитаторах подвергают обработке газом, содержащим 12—14 % SO_2 , при этом щелочность сока и сиропа снижается.

Для получения SO_2 сжигают серу в сернистых печах I. После печи сульфитационный газ имеет температуру около 200 °С, а так как максимальное растворение SO_2 в жидкости происходит при температуре 35—40 °С, то газ после сернистой печи поступает в сублиматор II, где охлаждается водой, затем через коллектор III вентилятором IV направляется в коллектор V SO_2 , а оттуда — в сульфитатор VI.

Система автоматического управления обеспечивает стабилизацию разрежения в коллекторе SO_2 , измеряемого тягонапорометром ТНС-П (3а), пневматический сигнал от которого поступает на вторичный прибор со станцией управления ПВ10.1Э (3б) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (3в), управляющий клапаном 25ч7п (3г) сброса газа в атмосферу.

Значение pH сульфитированного сока (сиропа) измеряется датчиком ДПг (6а) и преобразователем П-201.2 (6б), электрический сигнал от которого поступает на электропневмопреобразователь ЭПП (6в) и далее на вторичный прибор со станцией управления ПВ10.1Э (6г) и пропорционально-интегральный регулятор ПР3.31 (6д), управляющий исполнительным механизмом МИМ (6е) заслонки, изменяющей расход сульфитационного газа.

18.4. Автоматизация конверсии

Получение водорода для процесса гидрогенизации осуществляется конверсией природного газа, основанной на взаимодействии природного газа, содержащего метан, с водяным паром в присутствии катализатора. Для максимального выхода водорода процесс проводится в двух режимах. Вначале природный газ подвергается взаимодействию с водяным паром при температуре 800 °С, затем полупродукты взаимодействуют с паром при температуре ниже 500 °С — в результате происходит конверсия оксида углерода в диоксид углерода и обогащение газа водородом.

Для очистки водорода от CO_2 используется абсорбция CO_2 водным раствором моноэтаноламина (МЭА).

При регенерации раствора МЭА выделяется углекислый газ, который может быть использован для технических целей.

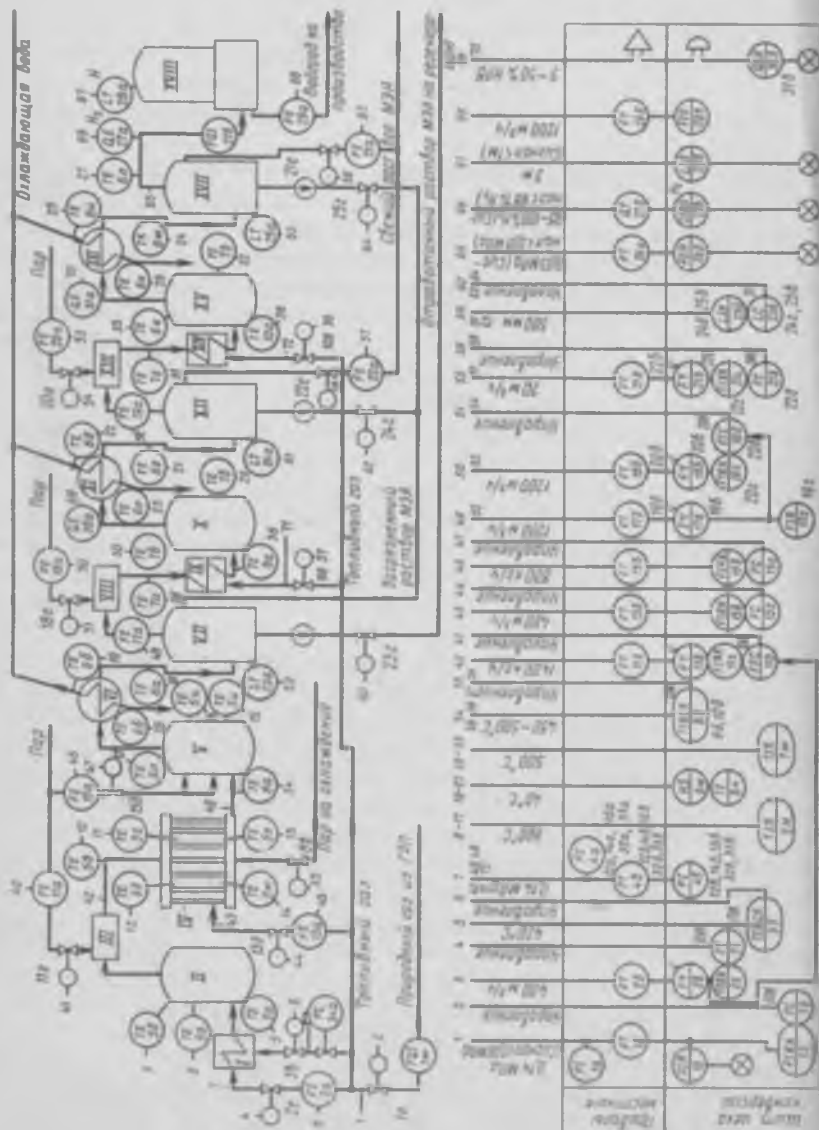
На рис. 18—4 приведена схема автоматизации процесса конверсии природного газа для получения водорода.

Природный газ из газораспределительного пункта (ГРП) проходит через газовый ротационный счетчик РГ 1000 (1ж), после которого давление газа в пределах 0,08—0,1 МПа стабилизируется системой автоматизации, состоящей из показывающего манометра ОБМ1-160 (1а) и сильфонного манометра МС-П1 (1б) с пневмовыходом, установленных по месту, электроконтактного манометра ЭКМ-1У (1в), вторичного самопишущего прибора ПВ10.1Э (1г) со станцией управления, изодромного регулятора ПР3.31 (1д) и регулирующего клапана 25ч30нжН (1е).

Далее поток газа разветвляется, часть его (технологический газ) поступает через змеевик газоподогревателя I на сероочистку, а другая часть (топливный газ) используется для сжигания в качестве топлива. Расход технологического газа стабилизируется системой автоматизации, состоящей из камерной диафрагмы ДК6 (2а), сильфонного дифманометра ДСП787Н (2б), прибора извлечения квадратного корня ПФ1.17 (2в), вторичного прибора ПВ10.1Э (2г) с изодромным регулятором ПР3.31 (2д) и регулирующего клапана 25ч30нжН (2е).

Температура газа после газоподогревателя I стабилизируется в пределах 440—480 °С системой автоматизации, состоящей из термоэлектрического преобразователя ТХК (3а), регистрирующего потенциометра КСПЗ модели 1800Д (3б) с искробезопасным выходом и изодромным пневморегулятором, байпасной панели ПП12.2 и регулирующего клапана 25ч30нжН (3в), изменяющего расход топливного газа, подаваемого на сжигание. Давление топливного газа стабилизируется регулятором прямого действия РД-32 (34а). Давление технологического газа перед газоподогревателем I контролируется манометром ОБМ1-160 (4а), сильфонным манометром МС-П1 (4б) с пневмовыходом и вторичным прибором ППВ1.1 (4в). Аналогичными системами контролируется давление технологического и топливного газа перед реформером (см. линии связи 42, 45, 48, 71 и 72). Нагретый газ проходит десульфуризатор II, очищается от сернистых примесей и направляется в трубчатую печь (реформер) IV. Перед реформером установлен парогазосмеситель III, в него подается пар в определенном соотношении с газом, что обеспечивается системой автоматизации, состоящей из установленной на паровой линии камерной диафрагмы ДК-16 (11а) с конденсационными сосудами, сильфонного дифманометра ДСП-787Н (11б), прибора извлечения квадратного корня ПФ1.17 (11в), вторичного прибора ПВ10.1Э (11г), изодромного регулятора соотношения ПР3.33 (11д), на который подается второй (задающий) сигнал о величине расхода технологического газа от

Рис. 18-4. Схема автоматизации процесса конверсии природного газа



прибора 2в. Выходной сигнал регулятора 11д изменяет положение регулирующего клапана 25ч30нжН (11е), установленного на паровой линии, обеспечивая постоянное соотношение расходов газ — пар.

После смесителя 111 парогазовая смесь с температурой 110—250 °С и давлением 0,05—0,1 МПа поступает через верхние коллекторы в реакционные трубы реформера IV, заполненные никелевым катализатором, в присутствии которого происходит конверсия природного газа. В реформере поддерживается температура до 950 °С путем подачи на сжигание через форсунки топливного газа.

Расход топливного газа стабилизируется системой, состоящей из камерной диафрагмы ДК-6 (13а), дифманометра ДСП 787Н (13б), вторичного прибора ПВ10.1Э (13в), изодромного регулятора ПР3.31 (13г) и клапана с пневмоприводом 25ч30нжН (13д). При выходе из реформера в расщепленный газ для его охлаждения до 450—500 °С подается острый пар. Стабилизация температуры парогазовой смеси на выходе из реформера обеспечивается системой, состоящей из термоэлектрического преобразователя ТХК (8а), самопишущего электронного потенциометра КСПЗПИ 1800Д (8б) с искробезопасным выходом, изодромным пневморегулятором и станцией управления ПП12.2 и регулирующего пневмоклапана 25ч30нжН (8в), установленного на линии острого пара.

Контроль остальных температурных режимов работы конверсионной установки обеспечивается системами, состоящими из термоэлектрических преобразователей ТХК (5а, 5б, 5в, 5г, 5д, 5е, 5ж, 5и, 5к, 5л) и двенадцатиточечного электронного потенциометра КСП4п (5м) с искробезопасной схемой, термоэлектрических преобразователей 7а, 7б, 7в, 7г, 7д, 7е и шеститочечного электронного потенциометра КСП4п (7ж), термопреобразователей сопротивления ТСМ (6а, 6б, 6в, 6г, 6д, 6е, 6ж, 6и, 6к, 6л), переключателя цепей ПТИ-М (6м) и логометра искробезопасного Л-64И (6н).

Расщепленный газ, охлажденный острым паром, поступает в нижнюю часть первого конвертора V и проходит вверх через несколько слоев железохромового катализатора. В первом конверторе 85—90 % СО конвертируется до СО₂, остаточное содержание оксида углерода в газе составляет 1,5—2,9 %, при этом выделяется тепло. Для поддержания необходимой температуры в пределах 420—450 °С под второй и четвертый слои катализатора вводится острый пар.

Расход острого пара стабилизируется системой, состоящей из элементов 15а—15д, аналогичных описанной системе 13а—13д стабилизации расхода топливного газа, подаваемого на сжигание в реформер.

На выходе из конвертора первой ступени газ промывается, затем охлаждается водой в теплообменнике VI до температуры

25—35 °С и поступает в нижнюю часть абсорбера VII. Сверху противотоком подается раствор моноэтаноламина (МЭА), абсорбирующий образовавшийся CO_2 . В абсорбер VII подается загрязненный раствор МЭА после использования в абсорберах второй и третьей ступени (XII и XVII). Отработанный раствор откачивается из абсорбера VII насосом на регенерацию для повторного использования. Уровень в абсорбере VII поддерживается системой, состоящей из буйкового уровнемера УБ-ПВ (23а) с пневмовыходом, вторичного прибора ПВ3.2 (23б) со станцией управления, пропорционального регулятора ПР2.8 (23в) и регулирующего клапана 25ч30нжН (23г). Абсорберы первой и второй ступеней оснащены аналогичными системами регулирования уровней (см. линии связи 61—64).

Из абсорбера VII газ поступает в парогазосмеситель VIII в заданном соотношении с расходом пара. Соотношение газ-пар поддерживается системой связанного регулирования, состоящей из камерных диафрагм ДК-6 (17а) на линии газа и ДК-16 (18а) на паровой линии, дифманометров ДСП-787Н (17б и 18б), приборов извлечения квадратного корня ПФ1.17 (17в и 18в), вторичного самопишущего прибора ПВ4.2Э (17г), вторичного самопишущего прибора ПВ10.1Э (18г) со станцией управления, изодромного регулятора соотношения ПР3.33 (18д), на который поступает задающий сигнал о расходе газа от прибора 17в. Выходной сигнал от регулятора 18д поступает на регулирующий клапан 25ч30нжН (18е), установленный на паровой линии. Аналогичной системой оснащен парогазосмеситель третьей ступени XIII (см. линии связи 52—54). Далее газ из парогазосмесителя VIII поступает в подогреватель IX, после которого температура газа поддерживается на заданном уровне системой, состоящей из узлов 9а, 9б, 9в, аналогичных системе 8а—8в, описанной выше. Аналогичной системой 10а—10в оснащен подогреватель XIV.

Из подогревателя IX газ поступает в конвертор второй ступени X, далее в теплообменник XI, охлаждается и подается в абсорбер второй ступени XII, работа которого обеспечивается системами управления, аналогичными ранее рассмотренным для абсорбера VII, с дополнительным оснащением системой стабилизации расхода свежего раствора МЭА, состоящей из диафрагмы ДК-6 (21а), дифманометра ДСП787Н (21б), прибора извлечения квадратного корня ПФ1.17 (21в), вторичного прибора ПВ10.1Э (21г), изодромного регулятора ПР3.31 (21д) и регулирующего пневмоклапана 25ч30нжН (21е). Аналогичными системами (XV, XVI) оснащен абсорбер третьей ступени XVII, откуда газ с содержанием водорода не ниже 97,5—98 % направляется в газгольдер XVIII и используется на производственные цели.

На выходе из абсорбера XVII контролируется давление водорода сильфонным манометром МС-П1 (26а) в комплекте

с электроконтактным манометром ЭКМ-IV (266), осуществляется контроль чистоты выработанного водорода газоанализатором на водород ТП1120, в состав которого входит блок регулировки и фильтрации Б1 (27а), приемное устройство 27б и вторичный прибор на базе электронного искробезопасного моста КСМ2-024И (27в) с сигнальным устройством.

Уровень колокола газгольдера контролируется устройством УМ2-30-ОНБТ, состоящим из датчиков с сельсинной передачей ДСУ-1М (28а) и приемника с сигнальным устройством УСП-1М (28б).

Производственные помещения отделения конверсии, в которых могут образовываться взрывоопасные концентрации водорода в воздухе, оснащены системами сигнализации предельных допустимых значений концентрации водорода. Для этого используются термохимические сигнализаторы горючих газов и паров типа СТХ1У4, состоящие из датчиков ДТХ-107У4 (30а, 31а) и блоков питания и сигнализации БПС-107У4 (30б, 31б).

18.5. Автоматизация рафинации

В масло-жировой промышленности используют способ очистки жиров и масел от примесей, который называется рафинацией и осуществляется различными методами — центрифугированием, фильтрацией, гидратацией, щелочной нейтрализацией, дистилляцией, дезодорацией и др. Вредные примеси — жирные кислоты — нейтрализуются водным раствором щелочи.

На рис. 18-5 изображена схема автоматизации процесса нейтрализации жиров в мыльно-щелочной среде.

Растительное масло (или гидрогенизированный жир — саломас) поступает через теплообменник II в нижнюю часть нейтрализатора III, заполненного мыльно-щелочным раствором. В нижней части внутри нейтрализатора расположен трубчатый распылитель, через который масло, имеющее меньшую плотность, чем мыльно-щелочной раствор, в виде капель поступает в верхнюю часть нейтрализатора. При этом происходит химическая реакция омыления щелочью содержащихся в масле жирных кислот и переход их в мыльно-щелочной раствор, а нейтрализованное масло собирается в верхней части и оттуда отводится в бак VI для дальнейшей обработки и использования. В результате нейтрализации жирных кислот содержание щелочи (NaOH) уменьшается, а содержание мыла в растворе увеличивается. Для поддержания стабильных параметров мыльно-щелочного раствора по содержанию NaOH и мыла в верхнюю часть нейтрализатора через трубчатый распылитель подают водный раствор NaOH определенной концентрации, а избыток мыльно-щелочного раствора отбирают из нижнего конуса нейтрализатора в бак VII. Нижняя часть нейтрализатора имеет кожух-рубашку, в которую подается пар для поддержания постоянной темпера-

туры процесса. Раствор щелочи определенной концентрации непрерывно готовится в баке-смесителе III, куда подаются из расходного бака IV концентрированная щелочь, вода и барботирующий пар для перемешивания. Подача концентрированной щелочи обеспечивается из напорного бака V самотеком.

Температура масла, поступающего на нейтрализацию, поддерживается терморегулятором прямого действия типа РТП-100 (2а), установленным на линии подачи пара в теплообменник.

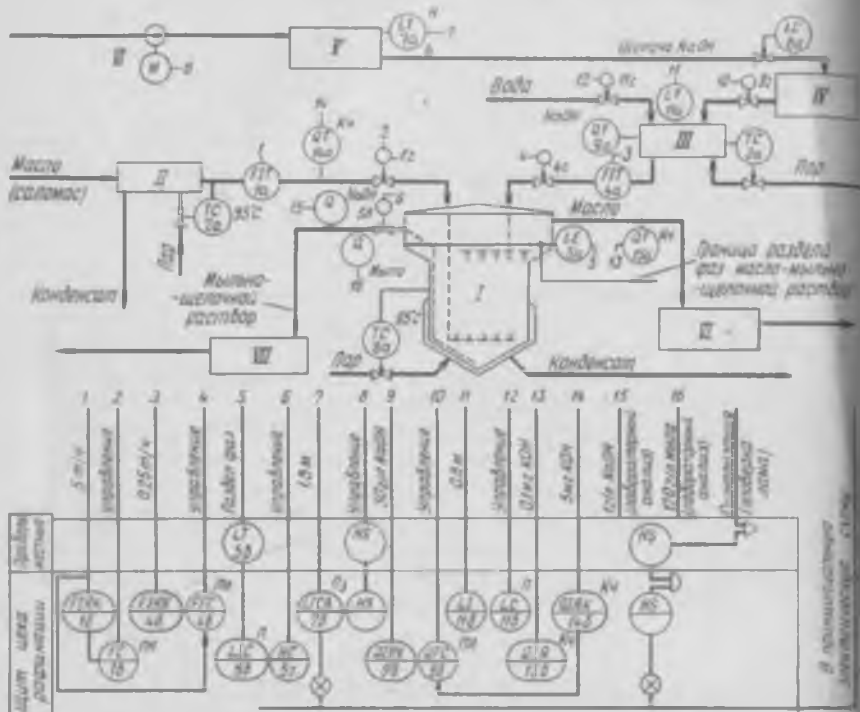


Рис. 18-5. Схема автоматизации процессов рафинации жиров с участком приготовления раствора щелочи

Расход масла контролируется расходомером типа РП-6,3ЖУЗ (1а), регистрируется вторичным прибором ПВ10.13 (1б), регулируется изодромным регулятором ПР3.31 (1а) и клапаном 25ч30нж (1г).

Концентрированная щелочь подается насосом VI по сигналу системы, состоящей из уровнемера ПИГ-2 (7а) и вторичного показывающего прибора с электроконтактным устройством ПВ2.2 (7б), сигнализирующим о достижении нижнего уровня. Подача прекращается при достижении верхнего уровня в баке V.

В расходном бачке *IV* стабилизируется уровень концентрированной щелочи регулятором уровня прямого действия ДПУ-1М (*6а*). Из бачка *IV* щелочь подается в бак-смеситель *III* через регулирующий клапан 25ч30нж (*9г*) в зависимости от концентрации, контролируемой кондуктометрическим концентратомером КНЧ-1М-10УЗ (*9а*), от кислотного числа масла, контролируемого титрометром ТП-5 (*14а*), и от содержания свободной щелочи и мыла в мыльно-щелочном растворе, что контролируется лабораторными методами (на схеме показаны отборные устройства).

Уровень в баке-смесителе *III* стабилизируется уровнем ПИГ-2 (*11а*), прибором *11б*, регулятором *11в* и клапаном 25ч30нж (*11г*), установленным на линии подачи воды для приготовления раствора.

Температура раствора NaOH стабилизируется регулятором температуры прямого действия РТ-20 (*3а*), установленным на линии подачи пара.

В нейтрализаторе *I* уровень мыльно-щелочного раствора (уровень раздела фаз масло — мыльно-щелочной раствор) стабилизируется системой, состоящей из датчика — буйкового межфазового уровнемера УБМ-П1 (*5а, б*), вторичного прибора *5в*, регулятора *5г* и регулирующего клапана 25ч30нж (*5д*), установленного на сливном трубопроводе мыльно-щелочного раствора.

Температура в нейтрализаторе стабилизируется регулятором прямого действия РТ-50 (*8а*), регулирующий орган которого установлен на магистрали, подающей пар в рубашку нейтрализатора. Масло по переливной трубе сливается самотеком в бак *VI*. Качество процесса нейтрализации контролируется автоматическим титрометром ТП-5 (*15а, 15б*).

Система автоматизации процесса рафинации облегчает обслуживание установки, позволяет значительно снизить потери жиров и масел с отходами при рафинации, а также сократить расход щелочи на 1 т готового рафинированного продукта.

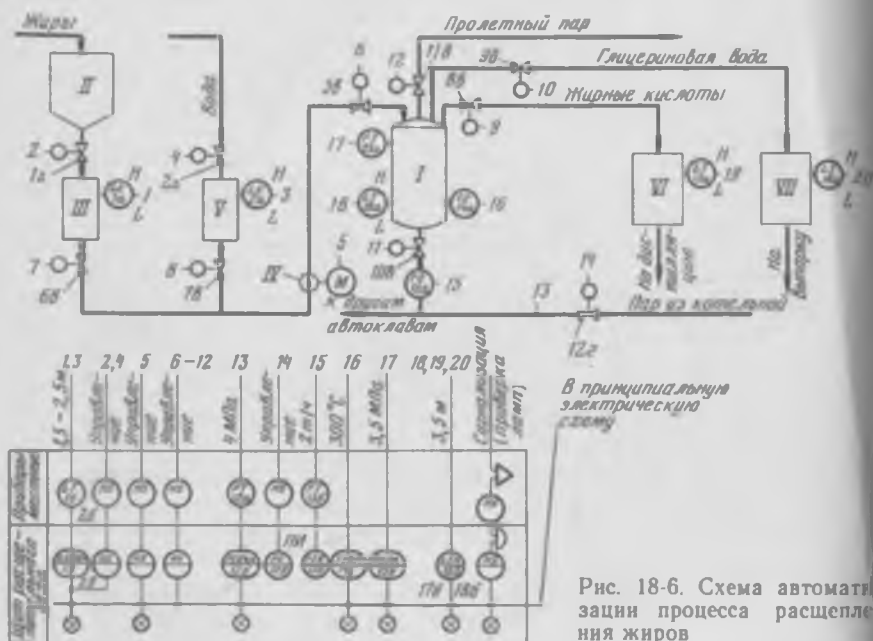
18.6. Автоматизация расщепления

При производстве глицерина и получении жирных кислот, используемых в мыловарении, жиры в присутствии воды под действием катализаторов расщепляются на глицерин и жирные кислоты.

Процесс расщепления жиров (рис. 18-6) осуществляется в автоклаве *I*. Жиры из бака *II* через мерник *III* подаются насосом *IV* в автоклав. Тем же насосом подают из мерника *V* воду. В автоклаве жир и воду нагревают паром до 230°C и кипятят в течение 3 ч при давлении 2,5 МПа, при этом происходит расщепление жиров на жирные кислоты и глицериновую воду, которые после отстаивания и разделения за счет различной плотности выдавливаются соответственно в сборники жир-

ных кислот VI и глицериновых вод VII. Из сборников жирные кислоты поступают на дистилляцию и далее на мыловарение, а глицериновые воды — на выпарку и получение различных видов глицерина.

Автоматизация процесса расщепления осуществляется дистанционно: по определенной программе набирают порции жиров и воды в автоклав, передают из автоклава в сборники жирных кислот и глицериновой воды; система управления ста-



билизирует давление пара перед автоклавом. В процессе расщепления контролируются основные параметры — уровни, расходы и температуры.

Набор жиров из бака II в мерник III осуществляется по сигналу от первичного преобразователя ПП-2 (1а) о достижении верхнего уровня. Сигнал через двухканальный релейный преобразователь ППР-2 (16), входящий в комплект сигнализатора уровня ЭМСУР 2002, поступает на мнемосхему расщепительного цеха и через электрическую схему управления переключает вентиль с электроприводом 15с922нж (1в), установленный на линии подачи жиров из бака II в мерник III. Аналогичным способом осуществляется набор воды в мерник V (см. линии связи 3 и 4).

Циклы набора жиров и воды записываются на диаграммах вторичных приборов соответственно 1в и 2в.

После набора порций жиров и воды открывается вентиль

с электроприводом 15с922нж (6в), включается насос IV, открывается вентиль 15с922нж (5в) у автоклава и начинается его заполнение жирами. По завершении набора жиров вентиль 6в закрывается, вентиль 15с922нж (7в) открывается и происходит заполнение автоклава порцией воды; после опорожнения мерника V вентиль 7в закрывается. Насос IV останавливается, закрывается вентиль 5в.

Открываются вентили с электроприводом 15с922нж (10в, 11в) и начинается сначала подогрев, а затем кипячение паром набранной порции в автоклаве. При этом осуществляется контроль температуры в автоклаве системой, состоящей из электрического термопреобразователя ТХК (14а) и электронного потенциометра КСП2-024 (14б) с электроконтактным устройством.

Расход пара, поступающего в автоклав из котельной, контролируется системой, состоящей из камерной диафрагмы ДК-40 (13а) с конденсационными сосудами, дифманометром ДМ3583М (13б) и вторичным дифференциально-трансформаторным прибором КСД2-002 (13в).

Давление пара стабилизируется системой, состоящей из датчика давления — дифференциально-трансформаторного бесшкального манометра МЭД модели 22364 (12а), вторичного дифференциально-трансформаторного прибора КСД2 (12б), изодромного регулятора Р25 (12в) и регулирующего клапана 25с48нж (12г) с электроприводом, который управляется магнитным пускателем, входящим в комплект регулятора 12в.

Давление в автоклаве при проведении процесса контролируется системой, состоящей из манометра МЭД модели 22364 (15а), подключенного к автоклаву через мембранный разделитель РМ 5321, и вторичного прибора КСД2 (15б).

После окончания процесса расщепления проводится отстаивание расщепленных жиров. Сигнал об окончании процесса поступает оператору на мнемосхему. Затем автоклав опорожняется последовательным выдавливанием сначала глицериновой воды, затем образовавшихся жирных кислот соответственно в емкости VI и VII. При этом контроль уровня в автоклаве осуществляется с помощью дифманометра ДМ (16а), плюсовая камера которого через мембранный разделитель РМ соединена с нижней частью автоклава, а минусовая — с верхней. Сигнал об уровне подается на вторичный прибор КПД1 (16б) с двухконтактным сигнальным устройством.

Аналогичными системами контроля уровня оснащены емкости жирных кислот и глицериновой воды (см. линии связи 19 и 20).

Программное управление процессом расщепления жиров повышает производительность автоклавов и облегчает труд обслуживающего персонала, а система стабилизации давления позволяет значительно сэкономить энергозатраты.

18.7. Автоматизация омыления

Для получения мыла жирные кислоты, полученные в процессе расщепления, подвергаются омылению.

В процессе мыловарения вначале проводится карбонатное омыление жирных кислот до глубины 80—85 %, затем оставшиеся жирные кислоты доомыляют едкой щелочью.

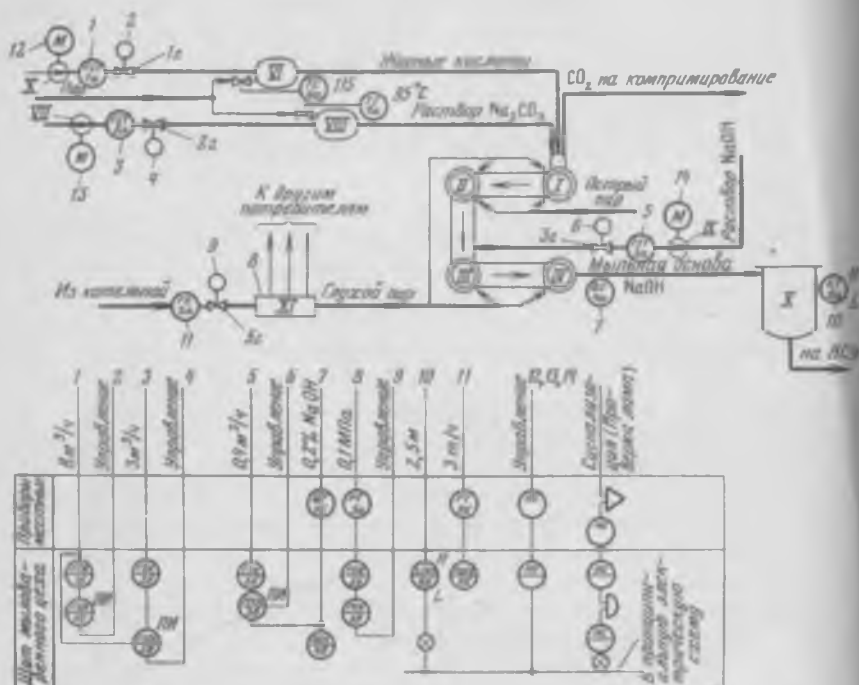


Рис. 18-7. Схема автоматизации процесса омыления жирных кислот

На рис. 18-7 приведена схема автоматизации установки ТНБ-2 для непрерывной варки мыла. Установка состоит из четырех последовательно соединенных между собой горизонтально расположенных цилиндров I—IV. Цилиндры имеют паровые рубашки, в которые подается глухой пар на подогрев для интенсификации процесса омыления. Внутри цилиндров установлены вращающиеся транспортирующие шнеки, обеспечивающие одновременно хорошее перемешивание реагирующих масс.

В цилиндр *I* насосами *V* и *VII* подаются в определенном соотношении предварительно подогретые в подогревателях *VI* и *VIII* жирные кислоты и раствор кальцинированной соды; образовавшаяся карбонатная масса транспортируется шнеком

в цилиндр II, в котором реакция омыления продолжается. Для лучшего отделения CO_2 в I и II цилиндры из коллектора XI подается острый пар, выделившийся CO_2 поступает на компримирование. При переходе в III цилиндр в карбонатную массу насосом IX подается раствор щелочи для завершения процесса омыления оставшейся части неомыленных жирных кислот. Завершается процесс омыления в IV цилиндре, из которого выходит мыло с повышенным содержанием влаги (мыльная основа). Мыльная основа поступает в мылосборник X, откуда подается на сушку в вакуум-сушильные установки (ВСУ) и для дальнейшей обработки.

Автоматизация процесса омыления обеспечивает стабилизацию соотношения расходов жирных кислот, растворов кальцинированной соды и щелочи, а также регулирование температурных режимов установки.

Подача жирных кислот стабилизируется системой, состоящей из расходомера-ротаметра РЭ-10ЖУЗ (1а), вторичного прибора КСД2 (1б), изодромного регулирующего прибора Р25 (1в) со станцией управления, регулирующего клапана с электроприводом 25с48нж (1г).

Аналогичной системой, состоящей из ротаметра РЭ-4ЖУЗ (2а), вторичного прибора КСД2 (2б), изодромного регулятора Р25 (2в) и регулирующего клапана 25с48нж (2г), регулируется расход раствора кальцинированной соды в соотношении с расходом жирных кислот. Задающий сигнал от расходомера 1а поступает в регулятор 2в, обеспечивающий поддержание заданного соотношения жирные кислоты — сода.

Регулирование подачи щелочи на доомыление осуществляется системой, состоящей из расходомера-ротаметра РЭ (3а), вторичного прибора КСД2 (3б), регулятора Р25 (3в) и регулирующего клапана 25с48нж (3г), при этом в регулятор 3в поступает задающий сигнал от автоматического датчика 4б содержания свободной щелочи в мыльной основе после аппарата ТНБ-2.

Давление пара, поступающего из котельной в коллектор XI, стабилизируется системой, которая включает в свой состав манометр МЭД (5а), вторичный прибор КСД2-002 (5б), изодромный регулятор Р25 (5в) и регулирующий клапан 25с48нж (5г).

Температура жирных кислот и раствора Na_2CO_3 после подогревателя стабилизируется регуляторами температуры прямого действия РТ100 6а и 7а соответственно.

Уровень в мылосборнике X контролируется изотопным уровнем 8а и вторичным прибором КСМ2 8б.

Автоматизация процесса омыления позволяет стабилизировать работу аппарата ТНБ-2, повысить качество готовой продукции и значительно облегчить обслуживание установленного оборудования.

Контрольные вопросы

1. Назовите особенности химических процессов пищевых производств.
2. Перечислите системы контроля качественных показателей при производстве гидрогенизированных жиров.
3. Какие средства используются для контроля качественных показателей при выработке и использовании водорода?
4. Нарисуйте и расскажите, как функционирует комплекс систем регулирования температурных режимов процесса гидрогенизации.
5. Каковы структура и используемые средства (перечислить) системы сигнализации дозврывоопасных концентраций водорода в производственных помещениях гидрогенизационных производств, отделений электролиза воды и конверсии природного газа?
6. Назовите основные технологические параметры и контуры регулирования процесса дефексатурации.
7. Как осуществляется автоматизация процесса сульфитации?
8. Из каких элементов состоит система стабилизации расхода топлива (газа) на реформер?
9. Нарисуйте схему и расскажите, как функционирует система соотношения расхода газ — пар при автоматизации парогазосмесителя установки конверсии природного газа.
10. Какова схема управления участком приготовления раствора щелочи заданных параметров для рафинации?
11. Расскажите, как осуществляется набор жиров и воды в автоклав в процессе расщепления жиров.
12. Что общего и в чем отличие в построении и аппаратном оформлении систем соотношения расходов жирные кислоты — сода при омылении и газ — пар при автоматизации парогазосмесителя в процессе конверсии природного газа.

Глава 19 АСУ ТП В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

19.1. Структура АСУ ТП

Современный этап автоматизации технологических процессов характеризуется использованием цифровой управляющей техники: микро-ЭВМ — для управления отдельными участками и агрегатами, в том числе промышленными манипуляторами, мини-ЭВМ — для управления технологическим комплексом.

Головные образцы АСУ ТП с использованием цифровой управляющей техники созданы на базовых объектах в производстве сахара-песка, сахара-рафинада, растительного масла, маргарина, спирта и других пищевых продуктов.

Целевой комплексной программой работ по автоматизации производства и управления в пищевой промышленности определена необходимость широкого тиражирования АСУ ТП. Выполнение этой программы возможно при переходе от индивидуальной разработки каждой системы к индустриальным методам проектирования на основе унифицированных и типизированных элементов.

Вопросы унификации аппаратурной основы АСУ ТП решаются при проектировании компоновкой вычислительных комплексов из набора агрегатных модулей АСВТ-М и СМЭВМ.

С целью снижения затрат на компоновку модулей освоены и выпускаются промышленностью фиксированные наборы аг-

регатных модулей, объединенные в типовые конструктивы (стойки), а также типовые комплексы.

Базовые технологические объекты управления (ТОУ) являются наиболее представительными в своих подотраслях, что дает возможность тиражировать АСУ ТП и использовать их опыт внедрения и эксплуатации на многих предприятиях. Разработка головных АСУ ТП в различных подотраслях пищевой промышленности осуществляется на единых методологических и организационных принципах.

АСУ ТП построены по иерархическому принципу, большинство из них содержит два уровня управления:

1 — местные пункты, в которых сосредоточены локальные системы контроля и управления отдельными участками и отделениями, оборудованные устройствами связи с оперативным персоналом АСУ ТП;

2 — центральный пункт управления, осуществляющий контроль и управление ТОУ в целом.

Централизация контроля и управления обеспечила возможность оперативно влиять на технологический процесс, своевременно предотвращать и ликвидировать аварийные ситуации, уменьшить потери сырья, сократить численность обслуживающего персонала.

В АСУ ТП реализованы следующие функции: контроль технологического процесса и состояния оборудования, дистанционное управление оборудованием и запорно-регулирующей арматурой, программное и логическое управление, автоматическое регулирование параметров (в том числе непосредственно от вычислительной машины), защита и блокировка оборудования и технологического процесса, сигнализация о нарушениях технологических режимов, централизованный сбор технологической и оперативно-производственной информации, автоматический контроль, индикация и регистрация информации в цифровой и аналоговой форме, индикация информации по инициативе оперативного персонала, расчет технико-экономических показателей по отдельным участкам технологического процесса и производству в целом, расчет оптимальных режимов ведения технологических процессов, формирование и выдача советов оперативному персоналу, формирование отчетных документов по участкам и ТОУ в целом ежечасно, ежесуточно, ежедекадно и ежемесячно.

В качестве примера рассмотрим структурную схему функциональных подсистем головного образца АСУ ТП сахарорафинадного производства (рис. 19-1).

Из схемы видны основные особенности данной части АСУ ТП, в том числе:

наличие в системе обратной связи от управляемых и контролируемых технологических процессов к управляющему вычислительному комплексу (УВК), в состав которого входят

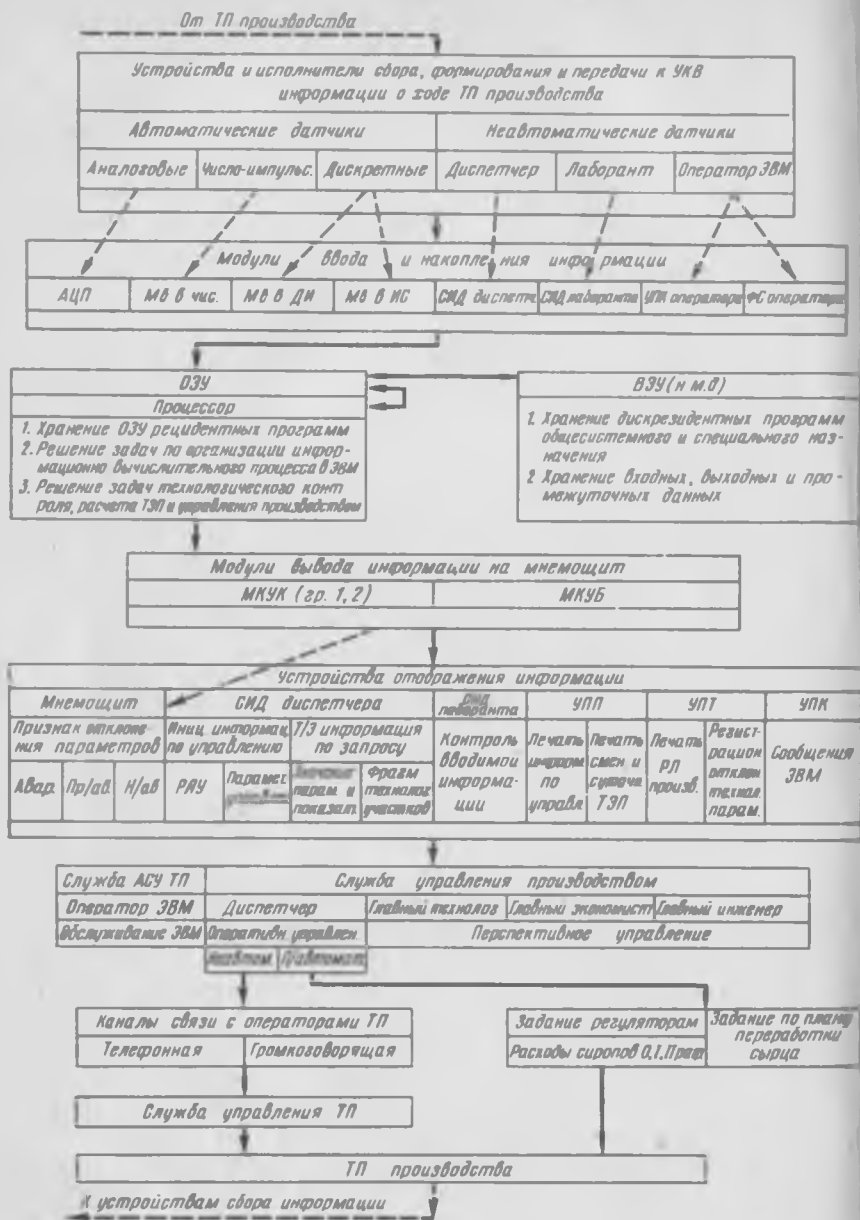


Рис. 19-1. Структурная схема верхнего уровня АСУ ТП

управляющая ЭВМ, мнемощит, пульт управления, расположенные в вычислительном центре (ВЦ) и центральном диспетчерском пункте (ЦДП) завода;

наличие в системе задач оперативного (в темпе реального времени производства) управления, осуществляемого диспетчером, операторами технологических участков и локальными регуляторами, и перспективного (с учетом использования статистических данных об отклонениях от регламента режимных параметров работы оборудования и экономических показателей производства) управления, осуществляемого главным инженером, главным технологом и главным экономистом завода в порядке устранения «узких мест» производства и повышения его эффективности;

использование модулей ввода и вывода информации управляющей ЭВМ для управления мнемощитом;

передача выработанных УВК регулирующих воздействий непосредственно из ЦДП в виде изменения заданий регуляторам и операторам технологических участков по соответствующим каналам связи;

наличие в составе системы аналоговой, число-импульсной и дискретной информации, поступающей от автоматических датчиков, а также дискретной информации, вводимой из технoхимлаборатории по результатам лабораторных анализов качества сырья, полупродуктов и готовой продукции.

По такому же принципу построены структурные схемы головных образцов АСУ ТП свеклосахарного, маслоэкстракционного, маргаринового, спиртового и других пищевых производств. В ряде случаев, например в АСУ ТП свеклосахарного производства, применяют трехуровневые иерархические структуры, при этом средняя ступень включает системы локальной оптимизации (для диффузии, варки утфелей), реализованные с помощью специально используемых ЭВМ.

В создаваемых АСУ ТП все шире используются функции, указанные в укрупненном перечне, приведенном в табл. 19-1.

В качестве критерия управления производствами в целом принят обобщенный экономический показатель — прибыль предприятия от реализации товарной продукции. Цель управления — увеличение прибыли — достигается снижением себестоимости продукции, повышением ее качества и ростом производительности предприятия при соблюдении плановых ограничений.

В результате декомпозиции общего критерия управления получают комплекс частных целевых функций управления отдельными технологическими участками.

АСУ ТП пищевых производств представляют собой сложные системы и подразделяются на ряд подсистем. Каждая подсистема осуществляет заданные функции контроля и управления ГОУ и имеет автономное техническое, информационное и математическое обеспечение. Так, например, в состав АСУ ТП

Таблица 19-1. Перечень функций АСУ ТП

Функции	Объекты
Нижний уровень	
1. Взаимосвязанное оптимальное регулирование с элементами логики	Установки с непрерывным технологическим процессом ректификации, дистилляции, экстрагирования, пастеризации, выпаривания и др.
2. Программное логическое управление с элементами стабилизации	Установки с непрерывно-дискретным технологическим процессом варки, брожения, стерилизации и др.
3. Логическое управление	Установки и агрегаты транспортировки сыпучих продуктов, штучных изделий
4. Контроль комплексных показателей	Приемка сырья, лаборатория теххимконтроля

Верхний уровень

1. Анализ производственных ситуаций	Основной технологический процесс производства
2. Оптимизация процесса в статике	То же
3. Многокритериальное управление	»

сахарорафинадного производства входят три подсистемы, работающие совместно с ЭВМ: подсистема централизованного контроля основных технологических процессов и состояния оборудования; подсистема оптимального управления режимом работы, определяющим производительность завода; подсистема расчета и печати оперативных технико-экономических показателей (ТЭП).

Подсистема централизованного контроля основных режимных параметров и состояния технологического оборудования предназначена для текущего информирования диспетчера и руководства завода о ходе процессов производства с целью принятия оперативных и перспективных мер при недопустимых нарушениях технологического регламента производства по определяющим режимным параметрам и основным видам оборудования. Она предусматривает решение 5 следующих задач:

1 — определение, сигнализация и представление на мнемощите ЦДП информации о недопустимых отклонениях от регламента 85 режимных параметров технологических процессов (величина pH, расходов, уровней, температур);

2 — определение и представление на мнемощите сигналов о работе 20 единиц оборудования (вакуум-аппаратов, центрифуг, насосов, транспортеров);

3 — представление на дисплее (станции индикации данных СИД) 12 фрагментов технологической схемы завода с указанием текущих значений основных параметров процессов;

4 — определение и печать численных значений и времени отклонения от регламента режимных параметров технологических процессов;

5 — представление на дисплее по вызову диспетчера текущего значения любой величины, входящей в базу данных информационного обеспечения АСУ ТП.

Подсистема оптимального управления режимом работы (производительностью) завода предназначена для решения задач стабилизации основных потоков сырья и полупродуктов рафинадного производства в объемах, необходимых для выполнения заводом плановых заданий по выпуску различных видов продукции в ассортименте.

В составе этой подсистемы решается 6 функциональных задач:

1 — расчет и печать режимного листа управления (РЛУ);

2 — расчет режима цикличности работы рафинадных вакуум-аппаратов;

3 — расчет и печать сводки контроля исполнения РЛУ;

4 — определение и отображение плановой и фактической производительности завода («План — факт»);

5 — автоматическая стабилизация потоков непрерывно действующей части производства;

6 — дистанционное (механизированное) управление основным оборудованием периодически действующей части производства.

Подсистема управления производительностью по основным потокам производства построена таким образом, что в управляющий вычислительный комплекс (УВК) вводится исходная информация о плановых заданиях, выдаваемых на смену. В УВК согласно разработанному алгоритму соответствующим пакетом программных модулей (ППМ) производится расчет РЛУ на базе уравнений материального баланса, связывающих задание по производительности с расходами полупродуктов. Диспетчер, получив РЛУ в виде совета, при необходимости вносит в него свои коррективы и затем использует скорректированный РЛУ для реализации планового задания. Диспетчер задает значения режимных параметров для участков с непрерывно- и дискретно действующим оборудованием.

Эти воздействия должны обеспечивать полное выполнение РЛУ, что проверяется с помощью ежечасно печатаемой сводки КРЛУ, которая рассчитывается УВК на основании исполнительной информации I_{ϕ} двух видов — $I_{\phi 1}$ и $I_{\phi 2}$. В состав $I_{\phi 1}$ входят мгновенные значения расходов рафинадных сиропов, получаемые от датчиков индукционных расходомеров. Сигналы группы $I_{\phi 2}$ являются число-импульсными сигналами, характеризующими число включений центрифуг периодического дей-

Т а б л и ц а 19-2. Режимный лист управления

№ п/п	Задание по выпуску продукции	В смену		В час
1	Всего рафинада, т	303,3		37,9
2	Рафинированного песка в мешках, т	170,4		21,4
3	Рафинированного песка в пачках, т	23,0		2,9
4	Прессованного рафинада, т	90,0		11,3
5	Пудры, т	19,9		2,5

№ п/п	Расчетные величины	0 раф	1 раф	2 раф	3 раф
1	Расход сиропа, м ³ /ч	54	27	15	17
2	Расход утфеля, т/ч	44	23	13	15
3	Число адсорберов	25	13	7	8
4	Расход рафинированной каши, т/ч	—	7	5	—
5	Число центрифуг	3	2	1	1
6	Число включений центрифуг в час	44	24	13	15
7	Число варок (в смену)	9	5	3	3
8	Число аффинационных центрифуг — 7				
9	Число мешков рафинированного песка в час — 428				
10	Общий расход рафинированной каши — 12 т/ч				
11	Расход сахара-сырца — 41 т/ч				

Сменный диспетчер

ствия, и поступают от программных устройств центрифуг, расходы рафинадной каши — от ленточных весов, непрерывные и интегрируемые сигналы которых также преобразуются в число-импульсные. В табл. 19-2 приведена одна из машинных распечаток РЛУ, составленная 3.08.1981 г. в 11 ч. 19 мин.

Подсистема расчета и печати технико-экономических показателей (ТЭП) предназначена для оперативного определения и представления информации о технических и экономических показателях производства с целью их анализа и оценки текущей работы технологических участков и завода в целом, принятия мер по устранению недопустимых отклонений отдельных показателей и повышения эффективности производства.

В составе подсистемы ТЭП решаются 3 функциональные задачи:

1 — расчет и печать часовой сводки утфельного верстата (незавершенного производства), производительности тростникового отделения и коэффициентов ритмичности производства;

2 — расчет и печать сменной сводки ТЭП завода;

3 — расчет и печать суточной сводки ТЭП завода.

Диспетчер завода на основании оперативного анализа показателей контролирует эффективность производства, выявляет недопустимые отклонения ТЭП от нормативных или запланированных значений и при необходимости с помощью опе-

Т а б л и ц а 19-3. Суточная сводка работы завода за 3.08.1981 г.

п/п	Наименование показателя, ед. изм.	Значение
1	Общее количество выработанной продукции, т	908,62
2	Выработка продукции по номенклатуре, т:	
	сахар-рафинад быстрорастворимый (Шамбон)	152,32
	сахар-рафинад прессованный (КУМ)	32,60
	рафинированный сахар-песок (мешки)	574,70
	сахар-рафинад колотый (ПСА, КЛ)	56,00
	сахарная пудра (мешки)	39,00
	сахар-песок в пачках (0,5 кг)	30,00
	сахар-песок в пачках (1 кг)	24,00
3	Процент выполнения плана по номенклатуре:	
	сахар-рафинад быстрорастворимый (Шамбон)	105,78
	сахар-рафинад прессованный (КУМ)	100,00
	рафинированный сахар-песок (мешки)	95,78
	сахар-рафинад колотый (ПСА, КЛ)	102,00
	сахарная пудра (мешки)	101,00
	сахар-песок в пачках (0,5 кг)	100,20
	сахар-песок в пачках (1 кг)	105,00
4	Процент брака после прессования:	
	на линиях Шамбон	0,0
	на линиях ПСА	0,0
5	Израсходовано электроэнергии заводом:	
	активной энергии, кВт·ч	63 117,60
	реактивной энергии, кВА·ч	56 520,00
6	Израсходовано острого пара заводом, т	1170,00
7	Израсходовано воды на технологические нужды, м ³	955,18
8	Количество конденсата, возвращенного на ТЭЦ, м ³	1235,11
9	Масса переработанного сырца, т	960,00
10	Процент выполнения задания по переработке сырца	100,70
11	Выработано условной мелассы, т	90,00

Зав. производством

Сменный диспетчер

раторов технологических участков воздействует на производство для устранения этих отклонений.

Важной задачей диспетчера является ежечасный контроль ритмичности производства по всем показателям, а также равномерное (в течение смены) сохранение запланированного среднего значения производительности завода.

Кроме того, статистические данные о ТЭП, собранные в течение достаточно длительного периода времени, и результаты их анализа используются для усовершенствования технологических процессов, модернизации оборудования, расшивки «узких мест» производства и т. д.

В табл. 19-3 приведена одна из машинных распечаток суточной сводки ТЭП.

В АСУ ТП свеклосахарного, маслоэкстракционного, маргаринового, спиртового и других пищевых производств подси-

системы централизованного контроля технологических процессов и контроля оборудования, подсистемы оптимального управления режимом работы, определяющим производительность завода, и подсистемы расчета технико-экономических показателей аналогичны описанным в АСУ ТП сахарорафинадного завода. Все виды обеспечения АСУ ТП пищевых производств (техническое, информационное, алгоритмическое и программное) также унифицированы.

19.2. Техническое обеспечение АСУ ТП

Технические средства, с помощью которых реализованы функциональные подсистемы верхнего уровня АСУ ТП на базовых пищевых предприятиях, условно можно разделить на две основные группы:

1 — управляющий вычислительный комплекс, щит централизованного контроля с мнемосхемой и стол диспетчера с пультом управления;

2 — комплекс технических средств подсистемы сбора, передачи и преобразования информации, поступающей в УВК.

В основе всех АСУ ТП лежат управляющие вычислительные комплексы (УВК), конфигурация которых формируется (см. главу 13) по агрегатно-модульному принципу в соответствии с заданными требованиями к системе управления.

Технические средства УВК размещают в помещениях ВЦ и ЦДП, специально построенных пристройках к основному зданию завода. В помещении ЦДП оборудуют рабочее место дежурного диспетчера завода, там же располагают мнемощит, дисплей, щит регистрации параметров, стол диспетчера и пульт управления с панелью громкоговорящей связи. Датчики, вторичные приборы и электропневмопреобразователи (если они есть) располагают на технологическом оборудовании и на местных щитах соответствующих участков производства; пневмоэлектропреобразователи типа ПЭ-55М устанавливают в отдельном помещении, расположенном рядом с ВЦ. В ВЦ располагается ЭВМ, причем устройства дисковой памяти размещаются в отдельной небольшой изолированной комнате.

В большинстве своем технические средства верхнего уровня АСУ ТП — стандартные, серийного исполнения. Исключение составляет специально разрабатываемая схема управления мнемощитом с использованием элементов ЭВМ, схема информационной подсистемы «План — факт» и отдельные приборы подсистемы сбора, передачи и преобразования информации (в том числе устройства счета всех основных видов готовой продукции).

Для расширения возможностей УВК в части создания информационной библиотеки системы на сменных носителях в УВК включают устройство внешней памяти на магнитных дисках (А 322-3/2, емкостью 4.92 Мслова), модуль внешней

памяти кассетный (А 311-4, емкостью 300 кбайт), устройство внешней памяти на магнитной ленте (А 311-7/1, емкостью 100 Мбит).

Для организации вывода оперативной информации об отклонениях технологических параметров и работе технологического оборудования и ввода алфавитно-цифровой информации из лаборатории в состав УВК включают дисплейные модули А 544-2.

Ввод-вывод алфавитно-цифровой, кодированной и оперативной информации обеспечиваются устройством ввода с перфоленты А 411-4, устройством вывода на перфоленту А 421-2, устройством печати технологической информации А 521-2, устройством печати с клавиатурой А 531-3 и устройством последовательной печати А 521-7.

Ввод аналоговой информации нижнего уровня от термопреобразователей сопротивления и среднего уровня от преобразователей ПЭ-55М выполняется с помощью модулей нормализации А 613-2, блоков нагрузки БН-9А, коммутаторов сигналов низкого уровня А 612-15, коммутаторов сигналов среднего уровня А 612-9, коммутаторов бесконтактных А 612-11, расширителей управления коммутаторами А 612-1, аналого-цифровых преобразователей А 611-4, А 611-8/2, А 611-19.

Для уменьшения токов утечки по коммутируемым цепям применяют двухступенчатую коммутацию.

Ввод позиционных сигналов обеспечивается модулями ввода дискретной информации А 622-2/141, модулями ввода число-импульсных сигналов А 623-3, модулями ввода инициативных сигналов А 622-4/14, разветвителями связи с объектами А 714-1.

Вывод аналоговой информации из вычислительного комплекса оператору на показывающие аналоговые приборы или на объект управления (аналоговые регуляторы) осуществляется преобразователями А 631-2, А 631-3, модулями кодового управления бесконтактными А 641-3 и разветвителями связи с объектом А 714-1.

Вывод дискретной информации из вычислительного комплекса оператору (на мнемосхемы) или на объект управления (на двухпозиционные исполнительные устройства) обеспечивается модулями кодового управления бесконтактными А 641-2, модулями кодового управления контактными А 641-5, модулями позиционного управления А 641-6.

Связь модулей с датчиками на объекте осуществляется через шкаф кроссовый А 651-1.

19.3. Информационное обеспечение АСУ ТП

Основу информационного обеспечения составляют информационная база системы, представляющая собой набор логически упорядоченных и организованных по определенным правилам

сведений об объекте управления, хранимых в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ) и на внешних носителях.

По направлению и содержанию сообщений информационные потоки подразделяются следующим образом: исходные — потоки информации от технологического процесса к пунктам управления, от пунктов управления нижнего уровня к ЦДП, от диспетчера ЦДП к руководству завода; управляющие — потоки информации в обратном направлении, потоки информации между пунктами управления, связанными по технологии.

Источники, питающие информационную базу данных АСУ ТП, сгруппированы по характеру собираемых данных и объединены в следующие группы: аналоговая информация, передаваемая автоматически; дискретная информация, передаваемая автоматически; символьная информация, вводимая в информационную базу вручную с терминалов.

Источниками информации являются датчики аналоговых и дискретных сигналов, установленные на технологическом оборудовании и трубопроводах, и терминал ввода результатов лабораторных анализов, установленный в технохимлаборатории. Опрос датчиков аналоговых сигналов осуществляется последовательно согласно приоритету опроса. Опрос дискретных датчиков осуществляется считыванием информации с устройства, выставившего инициативный сигнал.

Ввод в ЭВМ результатов лабораторных анализов осуществляется оператором с клавиатуры СИД после сбора и обработки соответствующих проб.

База данных разделена на две части. Оперативная часть размещается в ОЗУ, остальная часть базы — на магнитных дисках.

Информационная база обеспечена файловым и системными уровнями защиты. Каждый файл имеет индивидуальный код защиты. Системная защита осуществляется главным кодом защиты.

В АСУ ТП информационное обеспечение верхнего уровня включает систему кодирования, сообщения задач, системные сообщения, оперативные отчетные документы и представление мнемонических изображений участков процесса на экране видеотерминалов.

Система кодирования информации подчинена требованиям агрегатной системы программного обеспечения (АСПО).

Каждому параметру задач сбора и обработки присваивается имя, содержащее пять символов. Два первых означают имя (тип) установки (объекта и т. д.), которой принадлежит данный параметр. Имя установки может содержать не более двух символов. Третий символ условно понимается как тип параметра (например, Т — температура, Д — давление и т. д.). Тип параметра состоит из одного символа. Два последних символа — двузначное число, обозначающее порядковый номер па-

параметра определенного типа на установке определенного типа. Таким образом, структура шифра параметра имеет вид: ХХУZZ, где ХХ — имя (тип) установки; У — тип параметра, ZZ — порядковый номер параметра типа на установке.

В процессе функционирования АСУ ТП на печатающие устройства или экраны видеотерминалов выводятся сообщения в формате, предусмотренном алгоритмами соответствующих задач, или сообщения, предусмотренные пакетом программных модулей, для задач централизованного контроля, или системные сообщения, предусмотренные дисковой операционной системой (ДОС) АСПО.

Для нормального и своевременного принятия решений оператору, активно участвующему в процессе управления, информация предоставляется в необходимые моменты времени с требуемой периодичностью, достоверная и в соответствующем объеме.

Исходя из этого разработаны формы выходных документов, получаемых от печатающих устройств системы, и формы представления информации на экране дисплея в виде мнемонических изображений участков.

По виду и частоте представления информации используются следующие формы выходных документов: «Режимный лист» (ежечасно); «Оперативный рапорт работы за смену» (ежесменно); «Оперативный рапорт работы за сутки» (ежесуточно); «Сводные показатели работы завода» (ежесуточно).

Вывод формата режимного листа реализуется устройством последовательной печати типа ДЗМ-180.

19.4. Алгоритмическое и программное обеспечение

В АСУ ТП приняты стандартные для рассматриваемых классов систем виды обработки информации от датчиков различного типа (контроль на достоверность, контроль на соответствие границам и скорости изменения и т. п.), реализация которых обеспечивается стандартными алгоритмическими и программными средствами.

Алгоритмы предусматривают также использование отчетных оперативных документов за смену и сутки, включающих количественные и качественные показатели работы завода.

Выбор рационального режима реализуется алгоритмами управления отдельными участками, решаемыми УВК и системами нижнего и среднего уровня. Алгоритмы решения указанных задач основаны на характерных для каждого участка целевых функциях технологического процесса и соответствующего математического описания.

Алгоритмы анализа состояния технологических участков в содержательном плане диагностируют события, образуемые в соответствии с правилами математической логики совокуп-

ностью состояния параметров и механизмов, определяющих технологический процесс на соответствующем участке.

Алгоритмическое обеспечение АСУ ТП оформлено в виде соответствующих модулей по унифицированной документации.

Алгоритмическое и программное обеспечение является наиболее трудоемкой частью и во многом определяет качество функционирования АСУ ТП и удобство ее эксплуатации. Поэтому совершенствование АСУ ТП осуществляется унификацией и типизацией алгоритмического и программного обеспечения на базе модульного подхода.

Как указывалось выше, агрегатная система программного обеспечения (АСПО) не только включает все элементы стандартного программного обеспечения, принятого для отечественных мини-ЭВМ, но и предоставляет пользователю значительно больший сервис в решении задач АСУ ТП стандартными программными средствами за счет входящего в систему пакета прикладных программ, обеспечивающего сбор и разнообразную обработку информации, стыковку с программами пользователя, написанными на различных алгоритмических языках, помощь в организации базы данных и выдачу разнообразных сигналов.

В системе используется аппарат «фиктивных» датчиков пакета для хранения в базе данных пакета данных ручного ввода. Обработка данных ручного ввода («фиктивных датчиков») в соответствии с требованиями таблиц также реализуется средствами пакета. В качестве базы данных системы принята база, образуемая пакетом.

Доступ к данным, с которыми работает каждая программа пользователя, производится по списку имен, присвоенных этим данным в пакете. Списки хранятся в файлах имен на дисках.

Пакет программ доступа включает программу создания и корректировки файлов кодов датчиков на магнитных дисках, через которые осуществляются все связи в системе, подпрограммы служебного характера и подпрограммы, непосредственно организующие связь задач пользователя с базой данных. Эти последние подпрограммы созданы в трех версиях, выполняющих в целом одинаковые функции, но существенно различающихся по времени выполнения, требуемому объему памяти и сложности использования в задачах.

В целях обеспечения независимости программ пользователя от корректировок других программ или изменений в структуре системы в программах максимально разделено получение, обработка и передача данных. Сами программы пользователя выполняют лишь обработку, а извлечение данных из базы и помещение их в базу осуществляются отдельным комплексом подпрограмм, куда входят как стандартные средства АСПО, так и специально разработанные средства сопряжения с программами пользователя. Поскольку доступ к данным осуществляется по именам, изменения в числе и порядке обрабаты-

мых программой данных приводят лишь к корректировке списков имен, связанных с этой программой.

Разделение функций обработки и передачи информации позволяет проводить отладку обрабатываемых программ независимо друг от друга и от изменений в используемых элементах агрегатной системы. С этой целью разработаны подпрограммы-имитаторы, реализующие функции передачи информации способами, удобными на стадии отладки. Набор таких имитаторов позволяет провести отладку всей вновь разрабатываемой части системы до подключения к объекту в полностью контролируемых условиях. Объем имитаторов мал по сравнению с общим объемом системы.

Для упрощения связи программ пользователя с системой доступа к данным все величины, обрабатываемые программой и проходящие сквозь нее, сгруппированы таким образом, что система доступа обрабатывает не отдельные элементы данных, а массивы целиком. Порядок элементов в массивах выбирается с учетом удобства обработки их программой пользователя. Для того чтобы уменьшить влияние изменений этого порядка на части программы пользователя, на этапе отладки, в тех случаях, когда в программе на языке ФОРТРАН используется в операторах отдельный элемент одного из массивов, ему дается уникальное имя и доступ к этому элементу производится по уникальному имени, а не по имени массива и индексу. Такие вспомогательные идентификаторы могут не иметь мнемонического смысла, а выбираться по соображениям удобства работы.

В АСУ ТП имеется ряд диалоговых функций, большую часть которых выполняет ППП. Более сложные задачи выполняются программами пользователя. Сюда относятся выбор параметров управления в задаче определения рационального режима, улучшающего работу завода, оценка последствий этого выбора, просмотр мнемосхем участков завода, составление и корректировка файлов кодов.

Вызов диалоговых задач выполняет диспетчер диалога. Он ожидает сигналы от дисплея, выделенного для задач диалога, и, получив имя программы, вызывает соответствующую задачу на выполнение.

С целью сбора, систематизации и широкого распространения типовых алгоритмических и программных решений в СССР создан специализированный межотраслевой фонд алгоритмов и программ (СФАП). Обязанности ведения этой работы в отраслях промышленности возложены на отраслевые фонды (ОФАП).

В пищевой промышленности разработан первый выпуск сборника алгоритмических модулей и первая очередь отраслевой библиотеки программных модулей. Эти материалы сданы в СФАП и ОФАП и включены в состав проектов головных

образцов АСУ ТП. Для удобства выбора необходимых алгоритмических модулей они объединяются в сборники по подотраслям промышленности, которые систематически обновляются и пополняются.

В первый выпуск сборника модулей АСУ ТП пищевых производств помещены 99 алгоритмических модулей, в том числе для решения задач контроля — 34, моделирования — 29, управления — 25. Кроме того, в состав сборника помещены 11 модулей организации вычислительного процесса.

Библиотека программных модулей (БПМ) АСУ ТП пищевых производств разработана в соответствии с основными принципами создания отраслевых библиотек. БПМ состоит из комплекта программной документации и программ на магнитных дисках трех вычислительных машин: СМ-2, М-6000 и ЕС-1022.

На УВК СМ-2 сформирован информационный раздел БПМ, позволяющий выбрать необходимые модули по различным классификационным признакам. На УВК М-6000 сформирован раздел БПМ, включающий основные программы контроля и управления в реальном масштабе времени. На ЭВМ ЕС-1022 сформирован раздел БПМ, включающий модули моделирования систем на стадии проектирования.

Включенные в БПМ модули покрывают основные информационно-вычислительные функции АСУ ТП и обеспечивают сбор и обработку информации, расчеты технико-экономических показателей, диалоговые процедуры взаимодействия с технологическим персоналом. В составе БПМ имеются также программы моделирования, оптимизации и непосредственного цифрового управления. Входящие в первую редакцию БПМ модули в основном покрывают алгоритмические модули сборника.

Для обеспечения эффективного использования БПМ при проектировании АСУ ТП включенные в ее состав модули собраны в пакеты, имеющие самостоятельное применение. Вместе с тем предусмотрены средства, обеспечивающие взаимодействие пакетов в составе программного обеспечения АСУ ТП.

19.5. Организационное обеспечение АСУ ТП

АСУ ТП является человеко-машинной системой, в которой существенная роль принадлежит диспетчеру завода, осуществляющему с помощью советов и прочей информации, выдаваемой ЭВМ, управление производственным персоналом: операторами ЭВМ и работниками технохимлаборатории, осуществляющими запуск ЭВМ и ручной ввод информации; операторами технологических участков, реализующими задания, разработанные верхним уровнем АСУ ТП; прочим персоналом отдела АСУ ТП завода и лаборатории КИПиА, обеспечивающим надежное функционирование технического обеспечения верхнего и нижнего уровней системы.

Организационное обеспечение предназначено для взаимодействия человека и технических средств АСУ ТП, взаимодействия АСУ ТП с отделами и службами завода и дальнейшей формализации действий персонала с целью качественного функционирования и развития системы.

В качестве примера на рис. 19-2 представлена организационная структура АСУ ТП производства маргарина, характеризующая состав и взаимосвязи подразделений, распределение управленческой деятельности и ее выполнение, потоки инфор-

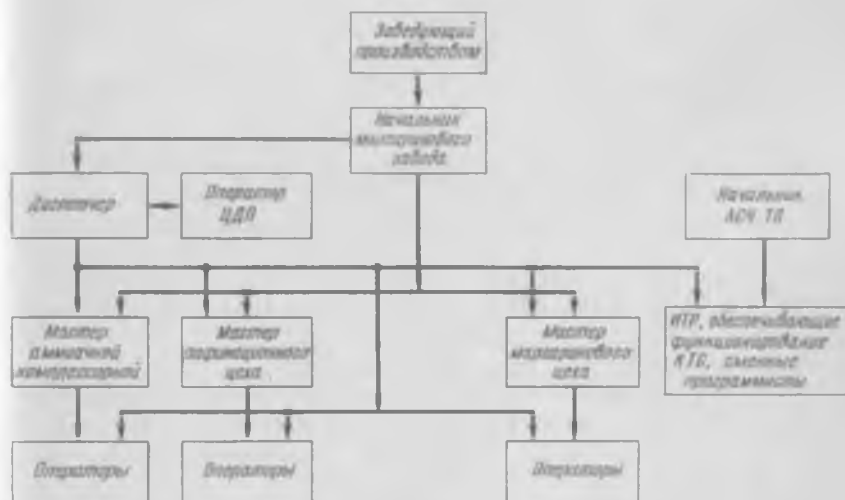


Рис. 19-2. Организационная структура АСУ ТП производства маргарина

мации и документооборот, соотношение полномочий, ответственности и подчиненности между работниками. На схеме показаны только те подразделения, которые непосредственно связаны с АСУ ТП.

Отдел АСУ ТП осуществляет техническое и математическое обслуживание системы и включает в себя службы средств вычислительной техники и КИПиА.

Применение вычислительной техники оказывает существенное влияние на содержание и характер деятельности персонала производства. Возрастает поток информации, строже становятся требования к оперативности принимаемых решений и способности прогнозирования развития технологического процесса.

В условиях функционирования АСУ ТП управляющий персонал получает значительно более полную оперативную информацию о ходе технологического процесса и о состоянии оборудования. Эта информация поступает к нему в виде световых

сигналов, таблиц на дисплее, технологических протоколов. Все это позволяет более полно, объективно и оперативно определять «узкие места» производства, причины потерь сырья, своевременно их устранять, не допускать аварийные ситуации.

Общее оперативное управление технологическим процессом осуществляет диспетчер производства. Он устанавливает заданный рабочий режим на основе знаний процесса и его динамики. Диспетчеру подчинены сменные мастера, которые, реализуя его указания, поддерживают параметры технологического режима в соответствии с установленными нормами. В свою очередь им подчинены операторы соответствующих участков, которые помогают поддерживать заданный технологический режим, следят за состоянием оборудования, производят в случае необходимости его переключения.

Диспетчер и сменные мастера оперативно связаны с химлабораторией и службой АСУ ТП, которая обеспечивает функционирование вычислительного комплекса. Оперативное управление технологическим процессом осуществляется из диспетчерского пункта.

Помимо диспетчера на центральном пункте (ЦДП) находится оператор, который в соответствии с заданием диспетчера на смену следит за технологическим режимом и принимает экстренные меры в случае аварийных ситуаций.

Система контроля и управления опирается на информацию, выдаваемую вычислительным комплексом, часть которой на первых этапах освоения дублируется приборами, расположенными на щитах.

Для оперативного представления информации о ходе технологического процесса в диспетчерском пункте установлена мнемосхема всего производства с сигнальными табло, характеризующими состояние работы оборудования, станция индикации данных, на которую выводятся таблицы информации о протекании технологического процесса, устройство печати технологическое для распечатки режимного листа с интервалом 1 ч, устройство быстрой печати для вывода машинопечатных документов с результатами решения задач АСУ ТП, пульт диспетчера с аппаратурой диспетчерской и производственной громкоговорящей связи.

Все это позволяет повысить оперативность управления и его эффективность, точность и достоверность получаемой информации, объективно и оперативно оценивать возникающие ситуации.

Контрольные вопросы

1. Каков общий подход к созданию АСУ ТП пищевых производств?
2. Какие основные функции реализованы в АСУ ТП пищевых производств?
3. Что предусматривают структурные схемы АСУ ТП? Назовите основные подсистемы.

4. Что представляет собой режимный лист управления и на какой основе он составляется?

5. Как получают машинную распечатку расчета ТЭП?

6. Дайте характеристику УВК, применяемых в АСУ ТП пищевых производств.

7. Назовите основные источники информационной базы. Какие технические средства обеспечивают накопление и хранение информационной базы данных?

8. Из каких двух основных частей состоит программное обеспечение АСУ ТП?

9. Какие виды программ относятся к общему программному обеспечению и какие — к специальному?

10. Каково назначение сборников алгоритмических модулей и библиотек программных модулей? Что входит в обязанности отраслевого фонда алгоритмов и программ?

11. Какие документы включаются в состав организационного обеспечения АСУ ТП?

Глава 20 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОТИВОПОЖАРНЫЕ ПРАВИЛА ПРИ УСТАНОВКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СРЕДСТВ, СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

20.1. Общие положения

Техника безопасности представляет собой комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на предохранение обслуживающего персонала от травматизма, вредных воздействий, вызванных условиями труда.

▼ Автоматизация — один из важнейших факторов, улучшающих условия труда и повышающих технику безопасности работающих. Автоматизация и централизация управления способствуют удалению обслуживающего персонала из зон повышенной опасности с тяжелыми условиями труда. Автоматическая сигнализация, блокировка и защита от переливов, завалов, недопустимых перегревов, повышения давления, загазованности помещений и т. п., предаварийных и аварийных ситуаций являются мероприятиями по технике безопасности и охране труда. ●

Для обеспечения безопасной эксплуатации технологического оборудования и выполнения вспомогательных работ все рабочие обязаны пройти курс обучения по технике безопасности. Руководители предприятий обязаны обеспечить своевременное и качественное проведение инструктажа рабочих и инженерно-технических работников по безопасным приемам и методам работы, который регулярно проводится на всех предприятиях Минпищепрома СССР независимо от характера и степени опасности производства, стажа, квалификации и опыта работающих.

Все виды инструктажей и обучения работников метрологических служб проводятся в соответствии с требованиями дейст-

вующих правил и положений техники безопасности, противопожарной безопасности и производственной санитарии. После обучения весь персонал службы должен сдать экзамены по технике безопасности.

С целью определения способности данного лица по состоянию здоровья заниматься обслуживанием, ремонтом, проверкой систем измерений и автоматизации и другими работами весь обслуживающий персонал обязан пройти медицинский осмотр. Повторные периодические медицинские осмотры проводятся не реже 1 раза в год, а при работе с приборами, содержащими ртуть, радиоактивные источники излучений, — не реже 1 раза в 6 мес. Персонал метрологической службы, осуществляющий обслуживание и ремонт средств и систем автоматизации в производственных цехах, должен знать правила техники безопасности и производственной санитарии, относящиеся к этим производствам.

Работы на действующем технологическом оборудовании со средствами измерений и автоматизации, находящимися под напряжением или на высоте, вблизи радиоактивных источников, сварочные, с огне- и взрывоопасными, сильнодействующими и ядовитыми веществами являются работами повышенной опасности.

Выполнение работ на установках, в трубопроводах, емкостях, находящихся под давлением и в зоне высоких температур, допускается только с разрешения лица, ответственного за их эксплуатацию, после выполнения всех мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение работ (технологическое оборудование и трубопроводы освобождаются и дегазируются; перекрывается запорная арматура между средствами автоматизации и технологическим оборудованием, находящимися под давлением; снимается давление с аппаратов и импульсных трасс; открываются продувочные вентили; ограждаются опасные места в зоне работ; вывешиваются указательные и предупреждающие плакаты и т. п.).

Работы по обслуживанию и ремонту средств измерений и автоматизации в загазованных и взрывоопасных помещениях и зонах, где возможен выход газа из аппаратов, газопроводов и т. п., должны проводиться не менее чем двумя лицами, а при проведении работ в колодцах, агрегатах, резервуарах — в дневное время с обязательным оформлением соответствующего наряда, с предшествующим подробным инструктажем.

При работе на действующем электрооборудовании необходимо руководствоваться Правилами техники безопасности при производстве электромонтажных работ и Правилами технической эксплуатации электроустановок.

В системе Минпищепрома СССР для каждой отрасли промышленности разработаны отраслевые правила техники безопасности и промышленной санитарии, которые утверждаются

Минпищепромом СССР и ЦК профсоюза рабочих пищевой промышленности.

Для таких отраслей пищевой промышленности, как масло-жировая, маргариновая, парфюмерно-косметическая и др., имеющих взрыво- и пожароопасные производства, правила предельно согласовываются с Госгортехнадзором СССР.

Кроме отраслевых правил, на предприятия системы Минпищепрома СССР распространяются такие межотраслевые правила, как Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов, Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением, Правила устройства электроустановок, Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей, Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза воды, Правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварочных работах, Правила устройства и безопасной эксплуатации трубопроводов пара и горячей воды, Типовые правила пожарной безопасности для промышленных предприятий, Правила устройства и безопасной эксплуатации стационарных компрессорных установок, воздухопроводов и газопроводов, Санитарные правила устройства и эксплуатации радиоизотопных приборов и др.

20.2. Техника безопасности при эксплуатации приборов и средств автоматизации

Электрические приборы и средства автоматизации, приборы, устанавливаемые во взрывоопасных помещениях и наружных установках, должны удовлетворять требованиям Правил устройства электроустановок (ПУЭ).

Электрические приборы и средства автоматизации общепромышленного исполнения должны быть изолированы от взрывоопасных помещений. Эти приборы допускается устанавливать только внутри герметичных шкафов, продуваемых воздухом или инертным газом при избыточном давлении в соответствии с требованиями ПУЭ, с учетом выброса газов в атмосферу.

Приборы и средства автоматизации, устанавливаемые на открытом воздухе, должны быть защищены от атмосферных влияний.

Импульсные линии, разделительные сосуды, связанные с приборами и средствами автоматизации, должны быть заполнены инертной, незастывающей и незамерзающей жидкостью, которая не растворяет измеряемый продукт и не смешивается с ним.

Вводы и выводы импульсных трубок и защитных труб с проводами должны производиться через наружные стены, в порядке исключения допускается прокладывать импульсные

трубки через внутренние стены, разделяющие помещения управления и взрывоопасные помещения. Импульсные трубки следует заключать в стальные кожухи с уплотнением, а также руководствоваться другими требованиями ПУЭ.

Для пьезометрических приборов в случае, если смесь воздуха с горючими парами жидкости недопустима, воздух должен быть заменен инертным газом.

Для пневматических приборов и средств автоматизации должны предусматриваться специальные установки и отдельные сети сжатого воздуха и инертного газа. Разрешается использование сжатого воздуха или азота, поступающих из технологических установок, при этом азот или воздух должен быть осушен, очищен и по качеству и параметрам пригоден для использования при работе приборов и средств автоматизации.

Технологические цехи и участки должны быть снабжены устройствами, сигнализирующими о падении давления сжатого воздуха, предназначенного для питания приборов и средств автоматизации.

Сети сжатого воздуха для приборов и средств автоматизации должны иметь буферные емкости, обеспечивающие часовой запас сжатого воздуха для работы.

Эти требования не распространяются на установки, в которых включение компрессоров осуществляется автоматически по давлению воздуха или газа в ресивере.

При отсутствии специальных установок сжатого воздуха для приборов и средств автоматизации и снижении давления в общей сети ниже допустимого сети сжатого воздуха должны автоматически отключаться от всех других сетей посредством обратного клапана или другого автоматического устройства, устанавливаемого перед буфером.

Забор воздуха для воздушных компрессоров должен исключать возможность загрязнения его газами и пылью производства.

Все электроприборы и щиты металлоконструкций подлежат заземлению в соответствии с ПУЭ независимо от подаваемого напряжения.

Применение ртутных приборов должно быть ограничено.

Все цехи взрыво- и пожароопасных производств, а также помещения, где располагаются щиты автоматизации, должны быть оборудованы системой двусторонней производственной громкоговорящей связи (ПГС) или телефонной связью, а взаимозависимые цехи в необходимых случаях — сигнализацией, связывающей между собой агрегаты.

Телефонные аппараты или извещатели от них, а также сигнальные кнопки или извещатели для сигнализации, устанавливаемые во взрывоопасных помещениях, допускаются только во взрывозащищенном исполнении.

В каждом цехе должен быть предусмотрен журнал для записи мероприятий (опробование, изменение уставок, замена блокировочных приборов, поднятие выпавших блинкеров и снятие сигналов об изменении схемы блокировок), которые проводятся непосредственно на блокировочных устройствах, а также для записи разрешений на включение блокировочных устройств.

20.3. Требования пожарной безопасности к устройству и расположению помещений для щитов автоматизации

Помещения для щитов автоматизации следует размещать в отдельно стоящих зданиях, но в зависимости от технологического процесса и его компоновочного решения эти помещения могут пристраиваться к помещениям с производствами категорий А, Б, Е или располагаться в пристройках к подсобно-производственным помещениям. При этом помещения для щитов автоматизации должны удовлетворять следующим требованиям:

а) иметь не более одной стены, смежной с помещениями производств категорий А, Б, Е;

б) иметь самостоятельные выходы на улицу, лестничную клетку, в коридор или в другое помещение невзрывоопасного производства;

в) осуществлять связь с производственными помещениями только через тамбур-шлюз, имеющий устройство для самозакрываний. В тамбуре-шлюзе необходимо обеспечить гарантированное избыточное давление. Подачу воздуха в тамбуры-шлюзы следует предусматривать не менее чем от двух приточных установок или от одной системы с резервным агрегатом;

г) иметь гарантированный подпор воздуха от постоянно действующих вентиляционных систем;

д) помещения не должны располагаться над и под помещениями производств категорий А, Б, Е, под душевыми, санузлами, под производственными помещениями с мокрым технологическим процессом, под приточными вентиляционными камерами;

е) устройство каналов и двойных полов на нулевой отметке не рекомендуется. При необходимости их устройства дно каналов или двойного пола должно быть на 0,15 м выше пола смежного помещения взрывоопасного производства;

ж) при возможности затекания в помещение жидкостей, участвующих в технологическом процессе, пол помещения щитов автоматизации должен быть поднят над уровнем пола смежного помещения взрывоопасного производства не менее чем на 0,15 м или вход в помещение щитов автоматизации должен быть огражден сплошным влагонепроницаемым бортом высотой не менее 0,14 м;

з) окна в помещении щитов автоматизации должны быть неоткрываемыми;

и) расстояние от окон и дверных проемов помещения взрывоопасных производств до окон и дверных проемов помещений щитов автоматизации должны быть не менее 10 м; если это расстояние меньше 10 м, следует предусматривать тамбуры-шлюзы, обеспеченные подпором воздуха в соответствии с подпунктом «в».

Отдельно стоящие помещения управления, щитов автоматизации должны располагаться на расстоянии не менее 10 м от закрытых производственных зданий и открытых установок категорий А, Б, Е.

Полы в помещениях щитов автоматизации должны быть теплыми и неэлектропроводными.

Запрещается вводить в помещение щитов автоматизации пожарные водопроводы, а также устанавливать шкафы для пожарных кранов и рукавов. В качестве средств пожаротушения в этих помещениях следует применять углекислотные и порошковые огнетушители.

Электрическое освещение, расположенное за щитами, должно обеспечивать нормальную освещенность всех деталей щита.

Светильники должны иметь индивидуальные выключатели. За щитами должны быть установлены штепсельные розетки.

В помещении щитов автоматизации следует использовать воздушное отопление (паровое не допускается).

В помещениях щитов автоматизации, особенно при наличии в них счетно-решающих устройств, рекомендуется применять установки для кондиционирования воздуха.

В помещения щитов автоматизации запрещается ввод импульсных и других трубопроводов с горючими и взрывоопасными веществами.

Не допускается прокладка через помещения управления любых транзитных материалопроводов.

20.4. Техника безопасности в анализаторных помещениях взрывоопасных и взрывопожароопасных продуктов

Как правило, анализаторные помещения должны размещаться в отдельно стоящих зданиях. Разрешается располагать помещения анализаторной непосредственно у стен производственных зданий, отнесенных к категориям А, Б, Е.

Анализаторные помещения, в которых установлены измерительные преобразователи и другие приборы в общепромышленном исполнении, не должны встраиваться во взрывоопасные и взрывопожароопасные производственные помещения, а помещения с измерительными преобразователями и другими приборами и средствами автоматизации во взрывобезопасном исполнении могут встраиваться в такие помещения только в

случаях, оговоренных отраслевыми правилами и нормами. При этом постоянное пребывание работающих в анализаторных помещениях должно быть исключено.

Измерительные приборы анализаторов, плотномеры и другие электрические приборы и средства автоматизации в общепромышленном исполнении при расположении во взрывоопасных помещениях и на открытых взрывоопасных установках должны устанавливаться в продуваемых шкафах (камерах) с учетом требований Правил устройства электроустановок.

Анализаторное помещение не должно располагаться над взрывоопасным или взрывопожароопасным производственным помещением.

Для повышения безопасности независимо от исполнения измерительных преобразователей анализаторные помещения должны иметь:

площадь остекления не менее $0,05 \text{ м}^2$ на 1 м^3 объема помещения;

постоянно действующую самостоятельную вентиляцию при кратности обмена по притоку не менее 5 объемов в час;

самостоятельный выход наружу или через тамбур-шлюз на лестничную клетку, в коридор и невзрывопожароопасное помещение;

взрывобезопасное электроосвещение;

расстояние от окон и дверных проемов взрывоопасных и взрывопожароопасных помещений до окон и дверных проемов анализаторных помещений не менее 10 м.

Анализаторные помещения, в которых осуществляется анализ взрывоопасных и взрывопожароопасных продуктов, должны иметь объем, исключающий при действующей вентиляции образование в течение часа взрывоопасной концентрации анализируемых продуктов при полном разрыве газоподводящей трубки одного анализатора (независимо от их числа в помещении анализаторной).

При пристройке анализаторного помещения, в котором установлены измерительные приборы в общепромышленном исполнении, к помещениям с производствами, отнесенными к категориям А, Б и Е, запрещается устройство проходов из анализаторного помещения во взрывоопасное или взрывопожароопасное помещение; анализаторное помещение должно иметь не более одной совместной стены с производственным взрывоопасным или взрывопожароопасным помещением; в анализаторных помещениях должен обеспечиваться небольшой подпор воздуха.

Баллоны с газами-носителями, эталонными и сравнительными газами в анализаторном помещении устанавливать запрещается. Они должны располагаться вне здания в непосредственной близости от анализаторного помещения и иметь защиту от атмосферных осадков и солнечной радиации.

Запрещается вводить в анализаторные помещения пробоподводящие трубки и трубки со взрывоопасными газами-носителями, эталонами и т. д. с давлением выше, чем это требуется для работы анализатора.

Газообразные и парообразные вещества после анализа следует возвращать в систему.

В случае выброса их в атмосферу трубопровод, по которому производится выброс, должен быть выведен выше конька крыши на 3 м.

Жидкие вещества после анализатора должны возвращаться в систему или собираться в дренажную или специальную емкость для возврата в технологический процесс.

20.5. Техника безопасности при ремонте приборов и средств автоматизации

Поверку, регулировку и ремонт всех приборов и средств автоматизации необходимо производить с соблюдением стандартов и технических условий, утвержденных Госстандартом СССР.

Аварийное выключение приборов разрешается производить в соответствии со специальной инструкцией.

Поверка и испытание приборов и средств автоматизации в помещениях производств, отнесенных к категориям А, Б, Е, должны осуществляться в условиях, исключающих искрообразование.

Работы по регулировке и поверке электрических приборов и коммуникаций к ним одновременно с проведением в этом помещении опасных работ (чистка технологических аппаратов, смена прокладок и т. п.) не допускаются.

Все работы с ртутью должны проводиться в соответствии с нормами и требованиями, указанными для ртутных комнат.

Приборы с ртутным заполнением должны снабжаться ловушкой или иметь другие защитные приспособления на случай выброса ртути.

При ремонте приборов и средств автоматизации работы с ртутью разрешается производить только в специально оборудованных помещениях.

Исполнительные устройства автоматических регуляторов необходимо подвергать гидравлическим испытаниям, как и арматуру аппаратов.

Проверка работоспособности и регулировка схемы автоматических систем управления и отдельных исполнительных устройств должны производиться на рабочем месте и оформляться соответствующей документацией.

Результаты осмотров и отметок о регулировке и ремонте приборов и средств автоматизации следует заносить в специ-

альный журнал, который должен находиться в каждом цехе.

В течение времени, необходимого для замены автоматического регулятора, управление или регулирование должны производиться вручную.

За приборами и средствами автоматизации, производственной сигнализации и дистанционного управления должен быть установлен постоянный контроль, гарантирующий их безотказную работу.

При приеме и сдаче смен необходимо производить осмотр щитов автоматизации, автоматической системы управления технологическими процессами, блокировочных устройств, средств сигнализации с записью об этом в сменном журнале.

Регулировку и ремонт приборов и средств автоматизации должны осуществлять только работники службы КИП.

20.6. Противопожарные правила безопасности для вычислительных центров

Типовые правила пожарной безопасности для промышленных предприятий определяют основные требования, к которым относятся требования пожарной безопасности и для вычислительных центров. Так, хранилища информации вычислительных центров (помещения для хранения перфокарт, перфолент, магнитных лент и пакетов магнитных дисков) должны располагаться в обособленных помещениях, оборудованных негорюемыми стеллажами и шкафами.

Перфокарты, перфоленты и магнитные ленты должны храниться на стеллажах в металлических кассетах.

В машинных залах ЭВМ не допускается встраивать шкафы для хранения каких бы то ни было материалов и предметов.

Размещение складских помещений пожаро- и взрывоопасных производств над и под залами ЭВМ, а также в смежных с ними помещениях (за исключением хранилищ информации) не допускается.

Система вентиляции вычислительных центров должна быть оборудована устройствами, обеспечивающими автоматическое ее отключение при пожаре, а также огне- и дымозадерживающими устройствами.

Подачу воздуха к ЭВМ для охлаждения необходимо предусматривать по воздуховодам. Использование для этой цели пространства под фальшполами не допускается.

Подача воздуха к каждой ЭВМ должна осуществляться по самостоятельному воздуховоду. Присоединение этих воздуховодов к общему коллектору допускается только через огне- и дымозадерживающие клапаны.

Система электропитания ЭВМ должна иметь блокировку, обеспечивающую отключение ее в случае остановки системы охлаждения и кондиционирования.

Работы по ремонту узлов (блоков) ЭВМ непосредственно в машинном зале не допускаются. Они должны проводиться в отдельном помещении (мастерской).

В случае необходимости проведения ремонта или технического обслуживания ЭВМ непосредственно в машинном зале допускается хранение легковоспламеняющихся жидкостей в небьющейся, плотно закрывающейся таре в количестве не более 0,5 л.

Для промывки деталей необходимо использовать негорючие моющие препараты. Промывка ячеек и других съемных устройств горючими жидкостями допускается только в специальных помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение. 1. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах автоматизации технологических процессов

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (датчик), устанавливаемый по месту базовое обозначение допускаемое обозначение		Регулирующий орган	
Прибор, устанавливаемый на щите, пульте базовое обозначение допускаемое обозначение		Линия связи	
Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов во время наладки, снятия характеристик и т. п.)		Пересечение линий связи без соединения друг с другом	
Исполнительный механизм. Общее обозначение. Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не показывается		Пересечение линий связи с соединением между собой	
Исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту	
Исполнительный механизм, закрывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала		Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту	
Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала оставляет регулирующий орган в неизменном положении		Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на местном щитке	
Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом		Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту	
		Прибор для измерения температуры показывающий, установленный на щите	
		Прибор для измерения температуры одоточечный регистрирующий, установленный на щите	
		Прибор для измерения температуры с автоматическим обеганием устройством, регистрирующий, установленный на щите	

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Прибор для измерения температуры показывающий регистрирующий с позиционным регулятором, установленный на щите		Прибор для измерения давления показывающий с контактным устройством, установленный по месту	
Регулятор температуры бесшкальный, установленный по месту		Прибор для измерения давления показывающий регистрирующий с позиционным регулирующим устройством, установленный на щите	
Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту		Регулятор давления прямого действия	
Регулятор температуры пропорционально-интегральный, установленный на щите		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения расхода, установленный по месту	
Комплект для измерения температуры показывающий регистрирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите		Прибор для измерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту	
Прибор для измерения давления показывающий, установленный по месту		Прибор для измерения соотношения расходов регистрирующий, установленный на щите	
Прибор для измерения перепада давления показывающий, установленный по месту		Прибор для измерения расхода показывающий, установленный по месту	
Прибор для измерения давления бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту		Прибор для измерения расхода интегрирующий, установленный по месту	
Прибор для измерения давления показывающий регистрирующий, установленный на щите		Прибор для измерения расхода интегрирующий с устройством для выдачи сигнала после прохождения заданного количества вещества, установленный по месту	
Прибор для измерения давления с контактным устройством, установленный по месту		Прибор для измерения расхода показывающий со счетной приставкой, установленный на щите	

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения уровня, установленный по месту		Прибор для измерения влажности регистрирующий, установленный на щите	
Прибор для измерения уровня показывающий, установленный по месту		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения физико-химического состава и качества вещества, установленный по месту	
Прибор для измерения уровня с контактным устройством и сигнализацией верхнего уровня, установленный по месту		Вторичный прибор газоанализатора (показывающий и регистрирующий), установленный на щите	
Прибор для измерения уровня бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения частоты вращения привода, установленный по месту	
Регулятор-сигнализатор уровня		Прибор для измерения частоты вращения привода показывающий и регистрирующий, установленный на щите	
Прибор для измерения уровня показывающий с сигнальным устройством, установленный на щите		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения вязкости, установленный по месту	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения плотности, установленный по месту		Прибор для измерения вязкости показывающий, установленный по месту	
Прибор для измерения плотности бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту		Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения массы продукта, установленный по месту	
Прибор для измерения размеров показывающий, установленный по месту		Прибор для измерения массы продукта показывающий с контактным устройством, установленный на щите	
Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения влажности, установленный по месту			

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Прибор контроля наличия факела в печи с контактным устройством, установленный на щите		Вычислительное устройство, выполняющее функцию ограничения сигнала по максимуму, установленное на щите	
Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите		Вычислительное устройство, выполняющее функцию ограничения сигнала по минимуму, установленное на щите	
Преобразователь сигнала термо-ЭДС, термопреобразователя сопротивления в сигнал постоянного тока, установленный на щите		Вычислительное устройство, выполняющее функцию извлечения квадратного корня, установленное на щите	
Преобразователь сигнала (входной — пневматический, выходной — электрический), установленный на щите		Вычислительное устройство, выполняющее логические операции (умножение — «И», сложение — «ИЛИ», отрицание — «НЕ», запрет — «НЕТ»), установленное на щите	   
Преобразователь сигнала (входной — электрический, выходной — пневматический), установленный на щите		Байпасная панель дистанционного управления, установленная на щите	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию умножения, установленное на щите		Задатчик управления мощный (маломощный), кнопка управления, ключ управления, установленные на щите	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию алгебраического суммирования разнородных величин, установленное на щите		Кнопка со встроенной лампочкой, ключ управления с подсветкой, установленные на щите	
Вычислительное устройство, выполняющее функцию деления сигналов, установленное на щите		Переключатель электрических цепей измерения, переключатель для газовых (воздушных) линий, пневмотумблер, ключ управления, предназначенный для выбора цепей управления, установленные на щите	
Прибор селектирования большего или меньшего сигнала, установленный на щите			
Устройство, выполняющее усиление сигнала по мощности, установленное на щите			

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Электродвигатель		Надписи, расшифровывающие конкретную измеряемую величину, располагаются либо рядом с прибором, либо в виде таблицы на поле чертежа	 Напряжение  Мощность
Прибор для измерения любой электрической величины показывающий, установленный на щите.	 Сила тока	Лампа сигнальная (табло)	
		Сирена электрическая (пневматическая)	

* Возле прибора регулирующего справа, вне графического обозначения, наносятся буквенные обозначения закона регулирования: пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД), позиционный (ПЗ).

** Буквы *H* и *L*, нанесенные справа, вне графического обозначения, означают соответственно сигнализацию (блокировку) верхнего и нижнего уровней.

Приложение 2. Буквенные обозначения измеряемых величин

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>A</i>	+	—	Сигнализация	—	—
<i>B</i>	+	—	—	—	—
<i>C</i>	+	—	—	Регулирование, управление	—
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	—	—	—
<i>E</i>	Любая электрическая величина	—	+	—	—
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	—	—	—
<i>G</i>	Размер, положение, перемещение	—	+	—	—
<i>H</i>	Ручное воздействие	—	—	—	Верхний предел измеряемой величины
<i>I</i>	+	—	Показание	—	—
<i>J</i>	+	Автоматическое переключение, обегание	—	—	—

Обозначение	Измеряемая величина		Функции, выполняемые прибором		
	Основное значение первой буквы	Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>K</i>	Время, временная программа	—	—	+	—
<i>L</i>	Уровень	—	—	—	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	Влажность	—	—	—	—
<i>N</i>	+	—	—	—	—
<i>O</i>	+	—	—	—	—
<i>P</i>	Давление (вакуум)	—	—	—	—
<i>Q</i>	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т. п.	Интегрирование, суммирование по времени	—	+	—
<i>R</i>	Радио-активность	—	Регистрация	—	—
<i>S</i>	Скорость, частота	—	—	Включение, отключение, переключение	—
<i>T</i>	Температура	—	—	+	—
<i>U</i>	Несколько разнородных измеряемых величин	—	—	—	—
<i>V</i>	Вязкость	—	+	—	—
<i>W</i>	Масса	—	—	—	—
<i>X</i>	Нерекомендуемая резервная буква	—	—	—	—
<i>Y</i>	+	—	—	+	—
<i>Z</i>	+	—	—	+	—

Примечание. Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», являются резервными, а отмеченные знаком «—» не используются.

Приложение 3. Перечень ГОСТов, определяющих правила выполнения и условные графические обозначения на чертежах принципиальных электрических схем

2.701—76—ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.

2.702—75—ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

2.708—72—ЕСКД. Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.

2.709—72—ЕСКД. Система маркировки цепей в электрических схемах.

2.721—74—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.

- 2.722—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
- 2.723—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители.
- 2.725—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие.
- 2.727—74—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Разрядники, предохранители.
- 2.728—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Резисторы, конденсаторы.
- 2.729—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные.
- 2.730—73—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы полупроводниковые.
- 2.731—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электровакуумные.
- 2.732—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники света.
- 2.733—68—ЕСКД. Обозначения условные графические детекторов ионизирующих излучений в схемах.
- 2.734—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Линии сверхвысокой частоты и их элементы.
- 2.736—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные. Линии задержки.
- 2.738—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы телефонной аппаратуры.
- 2.741—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы акустические.
- 2.742—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Источники тока электрохимические.
- 2.743—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Двоичные логические элементы.
- 2.744—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства электрозапальные.
- 2.745—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Электронагреватели, устройства и установки электротермические.
- 2.746—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Генераторы и усилители квантовые.
- 2.747—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений.
- 2.750—68—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Род тока и напряжения, виды соединения обмоток, формы импульсов.
- 2.751—73—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Электрические связи, провода, кабели и шины.
- 2.752—71—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства телемеханики.
- 2.755—74—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.
- 2.756—76—ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Воспринимающая часть электромеханических устройств.

- Автоматизация технологических процессов пищевых производств/под ред. Е. Б. Карпина.— М.: Пищевая промышленность, 1977.
- Васильев Н. Ф., Федоровский Л. И. Автоматизация маслоэкстракционного производства.— М.: Пищевая промышленность, 1979.
- Воробьев С. Г. Автоматизация производственных процессов виноделия.— М.: Пищевая промышленность, 1972.
- Глыбин И. П. Автоматические плотномеры и концентратомеры в пищевой промышленности.— М.: Пищевая промышленность, 1975.
- Ивашин Г. В., Никитенко К. Ф. Монтаж, наладка и эксплуатация автоматических устройств в пищевой промышленности.— М.: Пищевая промышленность, 1977.
- Казацкер А. А., Тульчинский Ю. В. Надежность систем автоматизации в пищевой промышленности.— М.: Пищевая промышленность, 1974.
- Кикоян Г. Г., Драгушин В. С., Смирнов С. В. Основы автоматизации технологических процессов в пиво-безалкогольной промышленности.— М.: Пищевая промышленность, 1974.
- Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов.— М.: Энергия, 1980.
- Клюев А. С., Трегуб В. Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов.— М.: Энергия, 1970.
- Лапшин А. А. Лабораторный практикум по курсу основ автоматизации пищевых производств.— М.: Пищевая промышленность, 1977.
- Мандельштейн М. Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации.— М.: Пищевая промышленность, 1975.
- Основы автоматизации технологических процессов масло-жирового производства/В. Ф. Яценко, Л. Б. Сивакова, Н. Д. Ключко, С. В. Тачков.— М.: Пищевая промышленность, 1976.
- Райхер Я. Г. Основы автоматизации процессов спиртового и ликерно-водочного производства.— М.: Пищевая промышленность, 1972.
- Сурган Г. А. Основы автоматизации технологических процессов консервного производства.— М.: Пищевая промышленность, 1973.
- Чижов А. А., Федоровский Л. М. Автоматическое регулирование и регуляторы в пищевой промышленности.— М.: Пищевая промышленность, 1974.
- Юсупбеков Н. Р., Гулямов П. М. Системы управления технологическими процессами в пищевой промышленности.— Ташкент, 1978.

- Абсолютная влажность 113
- Автоматизация 4
- Автоматизированная система управления 10, 146, 244
- Автоматическая система регулирования 9, 10, 145, 175
- Автоматический потенциометр 36, 48
 - регулятор 145, 183
 - уравновешенный мост 35, 55
- Агрегатные средства вычислительной техники 232
- Агрегатный модуль 232
- Акустический уровнемер 140
- Алгоритм 144, 163, 250
- Алгоритмический модуль 250
- Анализатор масличности 132
 - сбраживаемых углеводов 132
- Апериодическое звено регулятора 171
- Базовый комплекс УВК 233, 237, 240
- Байт 151
- Безынерционное звено регулятора 171
- Библиотека программных модулей 368
- Бит 151
- Блоки управления системы «Каскад» 186, 192
- Большие интегральные схемы (БИС) 150, 234, 240
- Вариация показаний прибора 18
- Виды возмущений в системе регулирования 175
- Вискозиметры 122
- Влагомер маргариновой эмульсии 134
- Временная характеристика 155
- Время регулирования 179
- Вторичный прибор 15, 35, 47, 54
 - — системы «Старт» 202
- Вычислительный комплекс 234, 237, 238
- Гибкая обратная связь 146
- Гигрометр 114
- Гидравлический исполнительный механизм 213
 - регулятор 203
- Градуировка прибора 20
- Давление абсолютное 62
 - барометрическое 62
 - вакуумметрическое 62
 - избыточное 62
- Двухседельный регулирующий орган 214
- Диафрагмовые регулирующие органы 217
- Динамическая вязкость 122

- настройка регуляторов 175
- ошибка 178
- характеристика объекта 155
- Дискретный сигнал 33
- процесс 9
- Дистанционный прибор 17
- Дифференциальный закон регулирования 165
- Дифференцирующее звено регулятора 172
- Диэлькометрический влагомер 116
- Дозаторы 99
- Единица измерения 12
- — основная 12
- — когерентная 12
- — кратная и дольная 12
- Емкость объекта 157
- Задвижка 218
- Законы регулирования 164
- Запаздывание 156, 159
- Заслоночный регулирующий орган 217
- Звено регулятора 171, 173
- чистого запаздывания регулятора 172
- Иерархический уровень 9, 151, 234, 245, 355
- Измерения косвенные 13
- прямые 13
- совокупные 13
- Измерительный преобразователь 14
- Инерционность прибора 19
- Интегральный регулятор 168
- Интегрирующее звено регулятора 172
- Интерфейс 151, 254
- Информационная система контроля ритмичности 280
- Информационное обеспечение АСУ 245, 252, 363
- Информационный щит 242
- Исполнительные механизмы 205
- Канал связи 14, 15
- Кинематическая вязкость 122
- Клапан прямого и обратного действия 215
- Класс точности 18
- Колебательное звено регулятора 172
- Количество вещества 88
- Компарирующий прибор 16
- Кондуктометрические приборы 107, 115, 130
- Корреляционная зависимость 163
- Коэффициент емкости объекта 158
- передачи объекта 156, 173
- Кривая разгона 155, 173
- Критерий управления АСУ ТП 244
- Кроссовые ведомости 256
- Логические блоки регуляторов 187, 188, 192
- Логическое управление 180
- Логометры 54
- Локальная автоматизация 10, 355
- Маркировка приборов 223
- Математическое моделирование 160
- обеспечение АСУ 245, 250, 365
- Машины централизованного контроля 231
- Мембранный исполнительный механизм 210

- Мера 14
- Местный прибор 17
- Микроконтролер 151
- Микропроцессор 150
- Микро-ЭВМ 150, 239
- Милливольтметр 47
- Мнемоническая схема 230
- Мультисистемные средства УВК 232
- Надежность прибора 19
- Нелинейный преобразователь 188
- Непрерывно-дискретный процесс 9
- Непрерывный процесс 9
 - сигнал 33
- Образцовый прибор 16
- Обратная связь 146, 174
- Общее программное обеспечение 259
- Объект управления 8, 153, 156, 158
 - — с сосредоточенными параметрами 153
 - — с распределенными параметрами 153
- Односедельный регулирующий орган 214
- Организационная структура АСУ ТП 258, 368
- Относительная влажность 113
- Отраслевой фонд алгоритмов и программ 367
- Отрицательная обратная связь 146
- Пакет программных модулей 259, 368
 - прикладных программ 259, 366
- Параметр 12
- Паскаль 61, 62
- Перерегулирование 179
- Переходное запаздывание объекта 159
- Переходный процесс 175
- Пирометр излучения 40, 57
- Плотномеры 127
- Поверка прибора 20
- Погрешность измерения 17
 - абсолютная 17
 - относительная 17
 - систематическая 17
 - случайная 18
- Позиционный регулятор 166
- Поляриметры 120
- Постоянная времени 156
- Потенциометр 36, 48
- Поточно-транспортная система 262
- Преобразователь 14, 23
 - влажности 133
 - пневмоэлектрический 27
 - с естественным и унифицированным сигналом 24
 - электропневматический 27
- Прибор 14
- Приборно-аналитический комплекс АСЭАК 131
- Принципиальная электрическая схема 225
 - пневматическая схема 228
- Проботоборник 131, 137
- Программное обеспечение АСУ 245, 248, 259, 365
- Программные автоматические системы 147
 - средства 233
- Программный модуль 259

Программное обеспечение УВК 233, 259
 Пропорционально-интегральный регулятор 169, 200
 Пропорциональный закон регулирования 165
 Процессор 235, 236
 Психрометр 113
 Пульт оператора 241
 Пьезометрический уровнемер 106
 Разомкнутая автоматическая система 146
 Распределенная система регулирования 151
 Расход вещества 88
 Регистрирующий прибор 16
 Регулируемый параметр 144
 Регулирующие блоки 189
 — органы 214
 Регулятор прямого действия 183, 184
 — непрерывного действия 183
 Регуляторы системы МЗТА 185
 Ремонтопригодность прибора 19
 Рефрактометры 119
 Ротаметр 93, 94
 Ротационный счетчик 90
 Самовыравнивание 158
 Сигнализирующий прибор 16, 107
 Система автоматизации 9
 Система автоматических регуляторов «Старт» 199
 Система единиц 12
 — связанного регулирования 154
 — экстремального регулирования 149
 Системные периферийные устройства 232
 Следящие автоматические системы 148
 Специализированный фонд алгоритмов и программ 367
 Специальное программное обеспечение 259
 Специфицированный комплекс УВК 233
 Средства измерения 14
 Стабилизирующие автоматические системы 147, 154
 Стадии проекта автоматизации 221
 Статическая ошибка системы регулирования 179
 — характеристика объекта 155
 Стол диспетчера 241
 Структура кода аналоговых сигналов 252
 — АСУ ТП 248, 354
 Субкомплекс связи с объектом 243
 Структурная схема регулирования 174
 Суммирующий прибор 16
 Схема автоматизации 223, 253
 — функциональной структуры АСУ ТП 247
 Счетчик 88, 101 и
 — фотоэлектрический и электроиндуктивный 102
 Тахометр 141
 — фотоэлектрический 141
 Телемеханический сигнал 32
 Температура 39
 Температурная шкала международная практическая 39, 40
 Термодинамическая шкала 39
 Термометр манометрический 40
 — расширения 40
 — термоэлектрические 40, 44
 Термопреобразователи сопротивления 40, 51, 52, 269
 392

Термо-ЭДС 44—48

Техническое обеспечение АСУ 245, 253, 362

Типовой комплекс УВК 233

— переходный процесс системы регулирования 176

Типовые процессы 9

Трехходовой регулирующий орган 216

Унифицированная система элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) 194

Управление 144

— логическое 179

Управляющий вычислительный комплекс (УВК) 231, 233—238

Управляющие вычислительные машины 231

Уровнемеры 104, 140

Усилительное звено регулятора 171

Устойчивость объекта 158

— системы регулирования 176

Устройства передачи данных УВК 232

— связи с объектом 232

Устройство оперативной памяти 235

— пробоотбора 137

— распознавания цвета листьев табака 139

— счета 277

Файл 253

Физическое моделирование 160

Функциональная зависимость 163

— и алгоритмическая структура АСУ ТП 248

— схема 174

Функция случайная 163

— стохастическая 163

Цена деления шкалы прибора 15, 19

Цифровая тензометрическая система 279

Частотная характеристика объекта 156

Чистое запаздывание объекта 159

Чувствительность прибора 18

Шибер 218

Шкала прибора 15

— равномерная и неравномерная 15

Экспресс-анализатор качества 131

Экстремальное регулирование 149

Эlevator 264

Электродвигательный исполнительный механизм 209

Электромагнитный клапан 207

Электронная вычислительная машина 150, 231

Электронный мост 35, 55

— потенциометр 48

— регулятор 185

Элементарные динамические звенья регуляторов 171

Эталонный прибор 16

От авторов	3
Введение	4
1. Содержание и задачи курса	4
2. Краткий исторический обзор развития автоматизации	5
3. Значение автоматизации в развитии народного хозяйства	7
4. Классификация объектов и систем автоматизации	8
5. Автоматизация и охрана природы	11
 РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ПРИБОРЫ	
Глава 1. Основные сведения об измерениях и измерительных приборах	12
1.1. Основные понятия о единицах измерения, способах и средствах измерений	12
1.2. Классификация контрольно-измерительных приборов	15
1.3. Основные характеристики контрольно-измерительных приборов	17
1.4. Контроль измерительных приборов	19
1.5. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП)	20
Глава 2. Системы дистанционной передачи информации	23
2.1. Основные понятия	23
2.2. Преобразователи сигналов дистанционных систем передачи информации	23
2.3. Виды систем дистанционной передачи информации	27
2.4. Телемеханические системы передачи информации	32
2.5. Вторичные приборы	35
2.6. Системы передачи информации в АСУ ТП	37
Глава 3. Приборы для измерения температуры	39
3.1. Основные понятия	39
3.2. Термометры расширения	40
3.3. Манометрические термометры	43
3.4. Термоэлектрические термометры	44
3.5. Термопреобразователи сопротивления	51
3.6. Пирометры излучения	57
3.7. Особенности использования приборов для измерения температуры в пищевой промышленности	60
Глава 4. Приборы для измерения давления	61
4.1. Основные понятия	61
4.2. Жидкостные и деформационные манометры	63
4.3. Грузопоршневые манометры	68
4.4. Электрические манометры	69
4.5. Вакуумметры и мановакуумметры	71
4.6. Тягомеры, напоромеры, тягонапоромеры	73
4.7. Дифференциальные манометры	76

4.8. Реле давления	84
4.9. Вспомогательные устройства для измерения давления	85
4.10. Особенности использования приборов для измерения давления и разности давлений в пищевой промышленности	87

Глава 5. Приборы для измерения массы, объема и расхода	88
5.1. Основные понятия	88
5.2. Объемные и скоростные счетчики	89
5.3. Расходомеры переменного перепада давления	91
5.4. Расходомеры постоянного перепада давления	93
5.5. Расходомеры щелевые и индукционные	95
5.6. Ультразвуковые и радиоактивные расходомеры	96
5.7. Автоматические весы и дозаторы	98
5.8. Механические и бесконтактные счетчики для штучной продукции	101

Глава 6. Приборы для измерения уровня	104
6.1. Основные понятия	104
6.2. Поплавковые уровнемеры	104
6.3. Гидростатические уровнемеры	106
6.4. Приборы для сигнализации уровня	107
6.5. Радиоизотопные уровнемеры	110
6.6. Уровнемеры для сыпучих материалов	111
6.7. Области применения уровнемеров в различных отраслях пищевой промышленности	111

Глава 7. Приборы для определения состава, состояния и свойств вещества	112
7.1. Приборы для измерения влажности	112
7.2. Приборы для измерения величины pH	117
7.3. Автоматические рефрактометры	119
7.4. Автоматические поляриметры	120
7.5. Автоматические титрометры	121
7.6. Автоматические вискозиметры	122
7.7. Автоматические газоанализаторы	124
7.8. Приборы для измерения плотности жидкостей	127
7.9. Приборы для измерения концентрации растворов кондуктометрическим методом	130
7.10. Специальные приборы и устройства автоматизации пищевой промышленности	131

РАЗДЕЛ II. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Глава 8. Общие свойства систем регулирования	144
8.1. Основные понятия	144
8.2. Виды автоматических систем регулирования и их основные свойства	146
8.3. Системы управления технологическими процессами с применением ЭВМ	150
Глава 9. Объекты автоматического регулирования и управления	153
9.1. Основные понятия и особенности объектов регулирования и управления	153
9.2. Характеристики и свойства объектов регулирования	155
9.3. Общие понятия о математическом моделировании объектов регулирования и управления	160
Глава 10. Законы регулирования и переходные процессы	164
10.1. Понятие о законах регулирования	164
10.2. Классификация регуляторов по законам регулирования	166
10.3. Структурные схемы автоматических регуляторов	171
10.4. Динамическая настройка регуляторов и устойчивость систем регулирования	175

	10.5. Требования, предъявляемые к качеству регулирования технологическими процессами пищевых производств . . .	178
	10.6. Принципы логического управления . . .	179
Глава 11.	Автоматические регуляторы и исполнительные механизмы	183
	11.1. Классификация регуляторов . . .	183
	11.2. Регуляторы прямого действия . . .	184
	11.3. Электронные регуляторы . . .	185
	11.4. Пневматические регуляторы . . .	193
	11.5. Гидравлические регуляторы . . .	203
	11.6. Комбинированные регуляторы . . .	205
	11.7. Исполнительные механизмы . . .	205
	11.8. Регулирующие органы . . .	214
РАЗДЕЛ III. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ		
Глава 12.	Основные сведения о проекте автоматизации технологических процессов	221
	12.1. Стадии проектирования и состав проекта . . .	221
	12.2. Основные принципы и правила построения схем автоматизации . . .	223
	12.3. Основные принципы и правила построения схем управления и сигнализации . . .	225
	12.4. Щиты и пульты контроля и управления . . .	229
Глава 13.	Средства вычислительной техники и диспетчерского управления	231
	13.1. Основные понятия . . .	231
	13.2. Управляющие вычислительные комплексы, построенные на интегральных микросхемах . . .	234
	13.3. Управляющие вычислительные комплексы, построенные на микропроцессорных наборах . . .	239
	13.4. Оперативно-диспетчерское оборудование . . .	241
Глава 14.	Общие сведения об автоматизированной системе управления технологическими процессами	244
	14.1. Основные определения и требования . . .	244
	14.2. Стадии проектирования и состав проекта . . .	246
	14.3. Проектная документация функциональной части . . .	247
	14.4. Проектная документация математического обеспечения . . .	250
	14.5. Проектная документация информационного обеспечения . . .	252
	14.6. Проектная документация технического обеспечения . . .	253
	14.7. Проектная документация организационного обеспечения . . .	256
	14.8. Проектная документация программного обеспечения . . .	259
Глава 15.	Схемы автоматизации механических и гидромеханических процессов	262
	15.1. Автоматизация транспортировки и хранения . . .	262
	15.2. Автоматизация измельчения . . .	271
	15.3. Автоматизация прессования . . .	274
	15.4. Автоматизация счета штучной продукции . . .	277
	15.5. Автоматизация дозирования . . .	280
	15.6. Автоматизация смешивания . . .	283
	15.7. Автоматизация фильтрации . . .	286
Глава 16.	Схемы автоматизации тепловых процессов	290
	16.1. Автоматизация теплообменных аппаратов и конденсаторов . . .	290
	16.2. Автоматизация холодильных компрессорных станций . . .	295
	16.3. Автоматизация воздушных компрессорных станций . . .	297
	16.4. Автоматизация пастеризации и стерилизации . . .	299
	16.5. Автоматизация котельных установок . . .	305
Глава 17.	Схемы автоматизации процессов массообмена	308
	17.1. Автоматизация абсорбции и адсорбции . . .	308
	17.2. Автоматизация экстракции . . .	311
	17.3. Автоматизация ректификации . . .	317

	17.4. Автоматизация кристаллизации	320
	17.5. Автоматизация сушки	323
	17.6. Автоматизация выпарных установок	327
Глава	18. Схемы автоматизации химических процессов пищевых производств	334
	18.1. Автоматизация гидрогенизации	334
	18.2. Автоматизация дефекосатурации	338
	18.3. Автоматизация сульфитации	341
	18.4. Автоматизация конверсии	342
	18.5. Автоматизация рафинации	347
	18.6. Автоматизация расщепления	349
	18.7. Автоматизация омыления	352
Глава	19. АСУ ТП в пищевой промышленности	354
	19.1. Структура АСУ ТП	354
	19.2. Техническое обеспечение АСУ ТП	362
	19.3. Информационное обеспечение АСУ ТП	363
	19.4. Алгоритмическое и программное обеспечение	365
	19.5. Организационное обеспечение АСУ ТП	368
Глава	20. Техника безопасности и противопожарные правила при установке и эксплуатации средств, систем автоматизации и вычислительной техники	371
	20.1. Общие положения	371
	20.2. Техника безопасности при эксплуатации приборов и средств автоматизации	373
	20.3. Требования пожарной безопасности к устройству и расположению помещений для щитов автоматизации	375
	20.4. Техника безопасности в анализаторных помещениях взрывоопасных и взрывопожароопасных продуктов	376
	20.5. Техника безопасности при ремонте приборов и средств автоматизации	378
	20.6. Противопожарные правила безопасности для вычислительных центров	379
	Приложения	381
	Список рекомендуемой литературы	388
	Предметный указатель	389

Сергей Васильевич Лачков
Лидия Ивановна Рымь
Любовь Борисовна Сивакова
Владимир Андреевич Соколов
Владимир Федорович Яценко

**ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Зав. редакцией В. К. Фукс
Редактор И. П. Вейшторд
Художник В. А. Чуракова
Художественный редактор В. В. Зеркаленкова
Технический редактор Л. И. Кувыркина
Корректоры Н. П. Багма, Е. А. Постникова

ИБ № 1442

Сдано в набор 06.06.83 г. Подписано в печать 3.11.83 г.
Т-15515. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 2.
Литературная гарнитура. Высокая печать. Объем 25,0
п. л. Усл. п. л. 25,0. Усл. кр.-отт. 25,63. Уч.-изд. л. 27,1.
Тираж 15 000 экз. Заказ 1334. Цена 1 руб.

Издательство «Легкая и пищевая промышленность»,
113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., д. 12.

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового
Красного Знамени Ленинградского объединения «Техни-
ческая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграф-
прома при Государственном комитете СССР по делам
издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126.
Ленинград. Социалистическая ул., 14.

ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

Величина	Единица		
	наименование	обозначение	
		русское	международное
Длина	метр	м	m
Масса	килограмм	кг	kg
Время	секунда	с	s
Сила электрического тока	ампер	А	A
Термодинамическая температура	кельвин	К	K
Количество вещества	моль	моль	mol
Сила света	кандела	кд	cd

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ

Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr

ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ СИ, ИМЕЮЩИЕ СОБСТВЕННЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ

Величина	Единица		Выражение производной единицы	
	наименование	обозначение	через другие единицы СИ	через основные единицы СИ
Частота	герц	Гц	—	с^{-1}
Сила	ньютон	Н	—	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Давление	паскаль	Па	Н/м^2	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия, работа, количество теплоты	джоуль	Дж	$\text{Н} \cdot \text{м}$	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$

Величина	Единица		Выражение производной единицы	
	наименование	обозначение	через другие единицы СИ	через основные единицы СИ
Мощность, поток энергии	ватт	Вт	Дж/с	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Количество электричества, электрический заряд	кулон	Кл	А·с	с·А
Электрическое напряжение, электрический потенциал	вольт	В	Вт/А	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	Ф	Кл/В	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ом	В/А	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	См	А/В	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Вб	В·с	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	Тл	Вб/м ²	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	генри	Гн	Вб/А	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Световой поток	люмен	лм	—	кд·ср
Освещенность	люкс	лк	—	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Активность нуклида	беккерель	Бк	—	с^{-1}
Доза излучения	грой	Гр	—	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$

* В эти два выражения входит, наравне с основными единицами СИ, дополнительная единица — стерадиан.