

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

С. Н. Ковшар  
Ж. Л. Зеленковская

АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СБОРНОГО  
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-70 01 01  
«Производство строительных изделий и конструкций»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области строительства и архитектуры*

Минск  
БНТУ  
2020

УДК 666.982:658.512

ББК 32.965

К56

Рецензенты:

первый заместитель директора Института жилища – НИПТИС  
им. С. С. Атаева, д-р техн. наук, старший научный сотрудник,  
академик Белорусской инженерной академии *Л. Н. Данилевский*;  
зав. кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»  
ГУПВО «Белорусско-Российский университет»,  
канд. техн. наук, доцент *Е. Е. Корбут*

**Ковшар, С. Н.**

К56     Автоматика и автоматизация производственных процессов при  
производстве сборного железобетона: учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строитель-  
ных изделий и конструкций» / С. Н. Ковшар, Ж. Л. Зеленковская. –  
Минск : БНТУ, 2020. – 40 с.  
ISBN 978-985-583-024-6.

Учебно-методическое пособие содержит методические указания для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» по выполнению практических работ, а так же курсового проектирования по учебной дисциплине «Автоматика и автоматизация производственных процессов».

В соответствующих разделах описана последовательность и правила оформления результатов выполненных расчетов, практических работ и проектно-курсовых разработок. В пособии приведена методика выполнения указанных выше работ, справочные данные по техническим средствам автоматизации и примеры разработки некоторых разделов курсовой и дипломной работ с учетом программы по курсу «Автоматика и автоматизация производственных процессов».

УДК 666.982:658.512

ББК 32.965

ISBN 978-985-583-024-6

© Ковшар С. Н., Зеленковская Ж. Л., 2020

© Белорусский национальный  
технический университет, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ .....	5
2. ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	8
2.1. Выбор первичных ИП .....	8
2.2. Выбор вторичных приборов .....	11
2.3. Выбор автоматических регуляторов.....	12
2.4. Выбор исполнительных устройств .....	14
2.5. Выбор промежуточных преобразователей.....	16
3. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	16
3.1. Методика проектирования функциональных схем автоматизации .....	16
4. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	27
5. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	38
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	40

## ВВЕДЕНИЕ

При разработке схем автоматического управления и технологического контроля применяют различные приборы и средства автоматизации, соединяемые с объектом управления и между собой по определенным схемам. В зависимости от используемых приборов и средств автоматизации и линейной связи между ними разрабатываются схемы автоматизации, которые различают по видам и типам.

По видам схемы подразделяют на электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

Наибольшее распространение получили электрические приборы и средства автоматизации, что объясняется большим разнообразием имеющейся аппаратуры и приборов и наличием на объектах автоматизации источников электропитания требуемой мощности и напряжения. Применение других видов схем обусловлено специальными условиями, например, в условиях взрывоопасных производств, в подавляющем большинстве применяют пневматические приборы и средства автоматизации.

По типам схемы автоматизации подразделяют на:

– структурные, отражающие укрупненную структуру системы управления и взаимосвязи между пунктами контроля и управления объектом;

– функциональные, отражающие функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования технологического процесса и определяющие оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации;

– принципиальные, определяющие полный состав входящих в отдельный узел автоматизации элементов, модулей, вспомогательной аппаратуры и связей между ними и дающие детальное представление о принципе его работы.

При выполнении курсовой работы и самостоятельных заданий по дисциплине основное внимание будет уделяться изучению построения функциональных и принципиальных электрических схем автоматизации.

# **1. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ**

Выбор регулируемых параметров технологического процесса, которые поддерживаются на заданных значениях, делается только после детального ознакомления с процессом.

Качество продукции является основным регулируемым параметром на любом предприятии. Под термином «качество» подразумеваются разные параметры: в процессе дозирования – точность взвешивания материалов; в процессе приготовления бетонной смеси – продолжительность и качество перемешивания; при формовании изделий – продолжительность вибрационного воздействия и коэффициент уплотнения бетонной смеси; при тепловой обработке – температура, влажность и давление.

При проектировании систем автоматизации производственных процессов определяются величины, которые необходимо контролировать и регулировать. Исполнительные воздействия вносят с помощью исполнительных механизмов, которые изменяют материальные или тепловые потоки.

При разработке систем автоматизации выбирают один или несколько показателей эффективности процесса, выделяют необходимые границы, находят статические и динамические характеристики процесса. Анализ статических характеристик позволяет оценить степень влияния одних параметров на другие и выявить те регулируемые величины, которые оказывают максимальное влияние на объект. Когда объект имеет несколько независимых величин, их регулируют отдельно.

В качестве примера анализа технологического процесса как объекта управления рассмотрим ямную пропарочную камеру (рис. 1). Подвод пара в камеру осуществляется через паропровод. Для герметизации камеры используют гидравлический затвор.

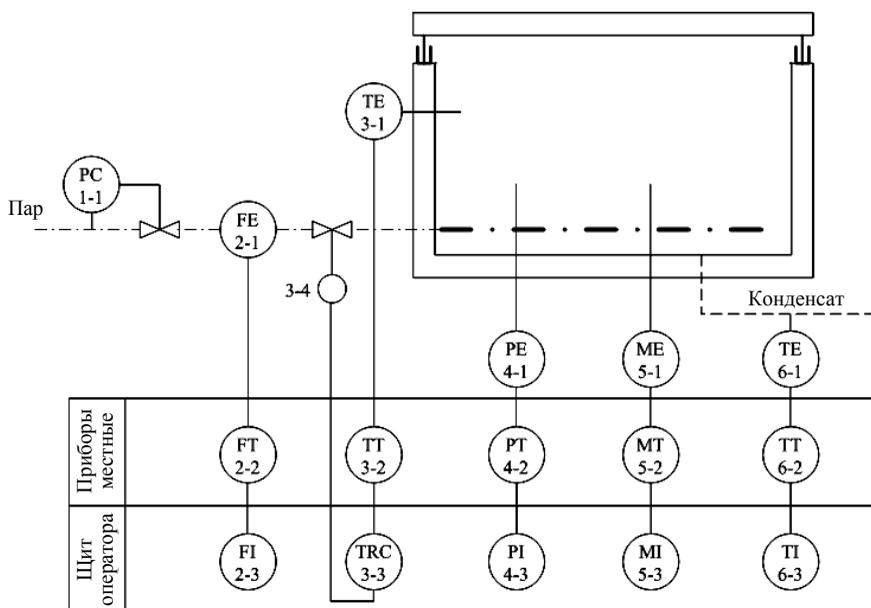


Рис. 1. Функциональная схема автоматизации процесса тепловой обработки в ямной пропарочной камере

Задача управления процессом – обеспечить заданный режим тепловой обработки изделий.

Рассмотрим факторы и показатели, которые существенны для процесса тепловой обработки. Эти параметры можно разделить на входные и выходные. К входным относятся: температура в камере на момент загрузки форм, длительность подъема температуры до заданной, длительность выдержки изделий при заданной температуре, температура изотермической выдержки изделий, длительность охлаждения изделий, температура и давление пара в паропроводе. Выходным показателем процесса является прочность бетона в изделиях.

В качестве основных регулируемых параметров принимают скорость подъема температуры до заданной, продолжительность и температуру изотермической выдержки изделий.

Решить данную задачу можно используя систему автоматического регулирования (САР).

После анализа параметров технологического процесса, подвергающихся контролю и регулированию, их записывают в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Технологические параметры, подвергающиеся контролю и регулированию

Параметр	Контроль	Регулирование
Скорость подъема температуры, °С/час	+	+
Температура изотермической выдержки, °С	+	+
Длительность изотермической выдержки, час	+	+
Скорость остывания изделий, °С/час	+	+
Температура пара, °С	+	–
Давление пара в паропроводе, МПа	+	–
Расход пара, м <sup>3</sup>	+	–
Прочность бетона в изделии после тепловой обработки, % от проектной	+	–

## 2. ВЫБОР ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Выбор элементов системы автоматического контроля осуществляется в следующей последовательности: первичный измерительный преобразователь (ИП), линия связи, вторичный прибор.

### 2.1. Выбор первичных ИП

Первичные измерительные преобразователи предназначены для преобразования технологического параметра в изменение электрического сигнала.

Выбор первичных ИП зависит от характеристики окружающей среды, которое нужно контролировать, диапазона измерения и других метрологических и эксплуатационных характеристик. При этом необходимо иметь в виду, что использование радиоактивных, высокочастотных и ультразвуковых приборов требует внимательного анализа возможности влияния излучения на обслуживающий персонал. При выборе диапазона измерений и материала, из которого сделан преобразователь, должны учитываться условия его работы.

Выбор линий связи в основном определяется видом энергии, удаленностью, на которую необходимо передать сигнал.

Типы датчиков для контроля основных технологических параметров приведены в табл. 2.

Таблица 2

Типы датчиков для контроля основных  
технологических параметров

Наименование технологического параметра	Тип (наименование) датчиков	Основные технические характеристики
Давление, разрежение, разность давлений	«Сигнал – I» «Сигнал – I – Ex»	Выходной сигнал 4–20 мА 0,25 кПа – 100 мПа

Продолжение табл. 2

Наименование технологического параметра	Тип (наименование) датчиков	Основные технические характеристики
	«Метран-100»	Числовой сигнал 0,04 кПа – 100 мПа
	«АЕР-100»	Выходной сигнал 4–20 мА 4 кПа – 60 мПа
	«САПФИР-22МП»	Выходной сигнал 4–20 мА 1 кПа – 100 мПа
Температура	Термопреобразователи сопротивления (ТС1088, ТС1187, ТС1288 и т. д.)	–50...180 °С
	Преобразователи термоэлектрические (ТП1085, ТП2088, ТП2187 и т. д.)	–40...600 °С
	Термопреобразователи с унифицированным выходным сигналом (ТСМУ005, ТСМУ205)	Выходной сигнал 4–20 мА –40...100 °С
Расход жидкости, газа, пара	«Метран-300ПР»	Выходной сигнал 4–20 мА 0,18–200 м <sup>3</sup> /час
	«Метран-350»	Выходной сигнал 4–20 мА 0,18–200 м <sup>3</sup> /час
	Расходомеры 3051SFC и 3095MFC	Цифровой сигнал в протоколе Foundation FieldBus
Уровень	Сигнализатор уровня СУВ-1	Погрешность срабатывания ±2,5 мм. Выходной сигнал – «сухие» контактное реле
	Сигнализатор уровня АСУ-1	Сигнализация перехода уровня жидкости через контролируемый уровень. Выходной сигнал – «сухие» контактное реле

Наименование технологического параметра	Тип (наименование) датчиков	Основные технические характеристики
	Датчики-индикаторы уровня МАЛ 121	<p>Диапазон контроля для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– пластинистого, стержневого, цилиндрического выполнения чувствительного элемента – от 0,5...2,5 м;</li> <li>– кабельного, тросового выполнения чувствительного элемента – от 2...22 м.</li> </ul> <p>Выходной сигнал:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– два релейных;</li> <li>– индикация на табло ВКИ в процентах измеряемого уровня (с погрешностью <math>\pm 5\%</math>);</li> <li>– токовый 0–20 мА</li> </ul>
Масса	Система давления СД-01 (для конвейеров)	<p>0...999,999 т/час</p> <p>Погрешность <math>\pm 0,1\%</math></p>
	Дозаторы цемента, заполнителей, воды и хим. добавок	<p>Погрешность дозирования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>цемента – <math>\pm 1,0\%</math>;</li> <li>заполнителей – <math>\pm 2,0\%</math>;</li> <li>воды – <math>\pm 1,0\%</math>;</li> <li>добавок – <math>\pm 0,5\%</math></li> </ul>
Физико-химические свойства веществ	Плотномер ПАЖ – 303	Основная погрешность – от $\pm 0,02$ до $\pm 0,20\%$
	Промышленные рН-метры ПМП	<p>1–14 рН.</p> <p>Погрешность – <math>\pm 0,3</math>; рН</p>
	ГАММА-100 – многофункциональный газоанализатор многокомпонентных смесей	от 1 до 3 компонентов со следующим набором газов CO, CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NO, O <sub>2</sub>

## 2.2. Выбор вторичных приборов

Выбор вторичных приборов выполняется по классу точности, габаритам, количеству измеряемых величин, виду шкалы, характеру отсчета измеряемой величины (цифровой, аналоговый, дискретно-аналоговый).

Для контроля наиболее важных показателей технологического процесса широко используют показательные приборы, которые позволяют определить ход процесса за определенный промежуток времени, оценить влияние возмущений на конечный результат и повысить объективность расчета технико-экономических показателей. Показательные приборы используют для оперативного визуального контроля, а также эпизодического контроля других параметров.

В настоящее время широко используются в качестве вторичных приборов микропроцессорные измерители с универсальными входами для подключения широкого спектра датчиков температуры (сопротивления, термопар), а также других датчиков с унифицированными выходными сигналами (0–5; 0–20; 4–20 мА). Эти приборы выполняют преобразование сигнала датчика для индикации реального значения физической величины, индикацию измеренных величин на встроенных индикаторах, имеют удобное меню для программирования прибора кнопками на его панели.

Также они позволяют регистрировать контролируемые параметры на ЭВМ через адаптер на цифровом интерфейсе RS-232 или RS-495.

Некоторые эти приборы осуществляют сигнализацию о выходе контролируемых величин за заданные границы, а также об обрыве или коротком замыкании датчика.

Микропроцессорные измерительные вторичные приборы предназначены для накопления (архивирования) в энергонезависимой памяти, сохранения и отображения информации о состоянии технологических параметров с выдачей сигналов на монитор.

### 2.3. Выбор автоматических регуляторов

Для правильного выбора элементов систем автоматического регулирования необходимо знать характеристики объекта регулирования (ОР) и основных возмущений; особенности окружающей среды; требования к точности и качеству переходного процесса; возможность дистанционной передачи информации от измерительных преобразователей к вторичным приборам и от регулятора к исполнительному механизму и быть уверенным в надежности работы элементов.

Выходной величиной объекта регулирования является сигнал измерительного преобразователя, а управляющим воздействием – перемещение регулирующего органа (РО), измеряемое в процентах его хода.

Для удобства расчетов возмущение сводят к одному из трех наиболее распространенных видов: скачкообразное, импульсное (пиковое) или монотонно нарастающее и измеряют в процентах хода РО. Потом подбирают перемещение РО, которое оказывает воздействие, эквивалентное аппроксимированному возмущению.

Для обоснования выбора регулятора необходимо знать особенности объекта регулирования, которые в основном определяются его динамической характеристикой. Когда этих сведений недостаточно или они отсутствуют, выбор регуляторов осуществляется по аналогии с САР, которые работают на основе ориентировочных данных об особенностях объекта, учитывая следующие рекомендации.

Тип регулирующего воздействия выбирают по значению относительного запаздывания  $t/T$ : при  $t/T > 0,5 \dots 1$  – импульсный; при  $0 < t/T < 0,2$  – релейный; при  $t/T > 0,2$  – безостановочный. Кроме того:

1. Импульсные регуляторы целесообразно применять в объектах без большого запаздывания, при средней емкости объекта.
2. Регулятор с двумя позициями можно применять в объектах без большого запаздывания, при большой емкости объекта.

3. И-регуляторы используют для объектов с самовыравниванием с небольшим запаздыванием, при малой или большой емкости объекта.

4. П-регуляторы можно применять в основном для объектов с самовыравниванием и с небольшим запаздыванием.

5. ПИ-регуляторы используют в объектах с любой емкостью, с большим запаздыванием.

6. ПИД-регуляторы используют в объектах с любой емкостью, с очень большим запаздыванием.

В настоящее время широкое применение получили микропроцессорные измерители-регуляторы разных типов. Они имеют универсальные входы для подключения широкого спектра датчиков температуры, давления, влажности и др., выполняют преобразование сигнала датчика для индикации реального значения физической величины.

Эти приборы имеют два цифровых индикатора на панели для контроля регулируемой величины, удобное меню параметров для программирования кнопками на панели прибора, встроенный интерфейс RS-485 для связи с ЭВМ для регистрации на ней данных.

Измерители-регуляторы осуществляют регулирование входной величины: двухпозиционное, трехпозиционное, аналоговое П-, ПИ- и ПИД-регулирование; дистанционное управление запуском работы прибора (остановкой регулирования, переключением на управление от ЭВМ; сигнализацией о возникновении аварийных ситуаций при выходе регулируемой величины за заданные границы и обрыве в цепи регулирования). Они имеют аналоговые выходы (4–20 мА) для управления мощностью разных электрических преобразователей и дискретные – для управления электроприводами заслонок, клапанов. Эти приборы выпускаются в 1-, 2- и 8-канальном исполнении.

Для автоматизации технологических процессов со значительным числом параметров контроля и регулирования наиболее эффективным является применение микропроцессорных

контроллеров, которые позволяют осуществлять все необходимые функции для управления сложными объектами.

## 2.4. Выбор исполнительных устройств

Исполнительные устройства выбирают для:

- обеспечения соответствия принципа действия и конструкции устройства выполняемой задаче;
- обеспечения соответствия регулируемому и окружающему пространству;
- обеспечения требуемой скорости регулирования и линейности характеристик;
- обеспечения требуемой надежности и ресурса работы.

Исполнительное устройство состоит из регулирующего органа (РО), который непосредственно влияет на процесс, и исполнительного механизма (ИМ) – привода, который управляет РО.

Выбор необходимого РО определяется в основном особенностями среды, которой он управляет, а также требуемой пропускной способностью.

Клапаны одноходовые имеют простую конструкцию, поэтому на заслонку действует нагрузка, которая создает противодействие ее закрытию. Эти клапаны можно использовать для жидкостей.

Двухходовые клапаны обеспечивают полную разгрузку заслонки и используют для жидких, газообразных сред и пара. Они имеют условный проход от 15 до 300 мм. Шланговые клапаны в качестве рабочего элемента имеют шланги из пластмассы, которая пережимается. Они используются для регулирования расходов сильноагрессивных и волокносодержащих сред, различных суспензий, шлама и т. д. Но применение их ограничено: по температуре не более 80–90 градусов и по условному проходу – не более 150–200 мм.

Диафрагмовые клапаны обычно имеют корпус защищенный пластмассой или эмалью и диафрагму из пластмассы. Эти клапаны используют для агрессивных и волокносодержащих

растворов, шламов и суспензий при температуре 60–130 градусов и условном проходе 15–150 мм.

Заслоночные регулирующие органы используют для различных сред, в том числе для суспензии концентрацией до 40 %.

Ножевые заслонки являются основной запорной арматурой для суспензий. Их выполняют из обычной или кислотостойкой стали диаметром до 500 мм и рассчитывают на давление до 4 МПа.

Шаровые РО, в которых заслонка представляет собой шар с цилиндрической прорезью, являются самыми надежными РО для суспензий.

В качестве управляющих механизмов применяют электрические, пневматические и гидравлические приводы. Электрические УМ представляют собой электроприводы, которые предназначены для перемещения РО в системах автоматического управления, которые складываются из следующих элементов:

- выходного устройства для механического соединения с РО;
- дополнительных устройств, которые обеспечивают остаток механизма в крайних положениях;
- устройства самоторможения при отключении электродвигателя;
- механизма ручного управления в случае выхода из строя системы автоматики или для наладки;
- устройства обратной связи в автоматической системе управления;
- механизма дистанционного управления и сигнализации состояния.

Выходные устройства электрических УМ выполняют так, чтобы осуществить вращательное или поступательное движение. Механизмы с вращательными выходными устройствами могут быть однооборотными и многооборотными. Прямоходовые электрические УМ предназначены для управления РО с прямолинейным перемещением.

Электрические УМ подключают к автоматическим регуляторам через пусковые устройства и блоки ручного управления.

## **2.5. Выбор промежуточных преобразователей**

Промежуточные преобразователи предназначены для преобразования сигнала одного вида в другой. Их используют для согласования входных и выходных сигналов отдельных устройств.

Например, для связи пневматического исполнительного устройства, установленного на объекте, с электрическим регулятором или контроллером, который находится на щите управления, необходимо использовать электропневмопреобразователь.

## **3. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ**

### **3.1. Методика проектирования функциональных схем автоматизации**

Функциональные схемы являются основным техническим документом, который определяет функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и обеспечения объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники). Функциональные схемы выполняются в виде чертежа, на котором схематично условными знаками показывают технологическое оснащение, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между отдельными функциональными блоками и элементами автоматики. Такие дополнительные приспособления, как редукторы и фильтры для воздуха, источники тока, реле, выключатели, автоматические выключатели и предохранители в цепях, соединительные коробки, монтажные элементы и другое на функциональных схемах не показывают. Функциональную схему автоматики, как правило, выполняют на одном листе. Сложные технологические схемы разделяют на отдельные техноло-

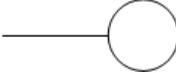
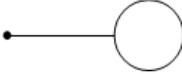
гические узлы и выполняют функциональные схемы этих узлов в виде отдельных чертежей на нескольких листах или на одном. Для технологических процессов с большим объемом автоматизации функциональные схемы можно выполнять отдельно по видам технологического контроля и сигнализации и т. д.

Технологическое оборудование и коммуникации при разработке функциональных схем должны отображаться, как правило, упрощенно, без указания отдельных технологических аппаратов и трубопроводов дополнительного назначения. На технологических трубопроводах показывают ту регулируемую и запорную арматуру, которая непосредственно участвует в контроле и управлении процессом, а также запорные и регулируемые органы, необходимые для определения относительного размещения мест отбора импульсов или необходимых измерений. В отображении технологического оборудования, отдельных его элементов и трубопроводов необходимо давать соответствующие пояснительные надписи (название технологического оборудования, его цвет и т. д.), а также стрелками показывать направление потоков на трубопроводах, на которых предусматривается установка отдельных приспособлений и регулируемых органов, указывать диаметры условных проходов. Графические условные обозначения приборов и средств автоматизации с размерами приведены в табл. 3.

Таблица 3

Графические обозначения приборов, средств автоматизации и линий связи в соответствии с требованиями ГОСТ 21.404-85

Наименование	Обозначение по ГОСТ 21.404-85
1. Прибор, устанавливаемый вне щита (по месту)	
2. Прибор, устанавливаемый на щите, пульте	

Наименование	Обозначение по ГОСТ 21.404-85
3. Исполнительный механизм	
4. Линия связи	
5. Пересечение линий связи без соединения	
6. Пересечение линий связи с соединением	
7. Отборное устройство	
8. Отборное устройство с указанием места положения	
9. Регулирующий орган	
10. Регулирующий орган с исполнительным механизмом	

Приборы, средства автоматизации, электрические приспособления и элементы вычислительной техники на функциональных схемах автоматизации показываются в соответствии с ГОСТ 21.404-85, который предусматривает два способа построения условных графических обозначений: упрощенный и развернутый

Упрощенный способ используют для отображения на технологических схемах приборов и схем регулирования в целом. При этом multifunctional instruments and automation means, executed in the form of separate blocks, are represented by one conditional image and are placed on the drawing field next to the measurement point of the technological magnitude, and per-

вичные измерительные преобразователи и дополнительные приспособления не показывают (рис. 2, а).

Развернутый способ построения условных графических обозначений используется для выполнения функциональных схем автоматизации. В этом случае все приборы и блоки, которые входят в конкретную схему, показывают отдельными условными обозначениями (рис. 2, б).

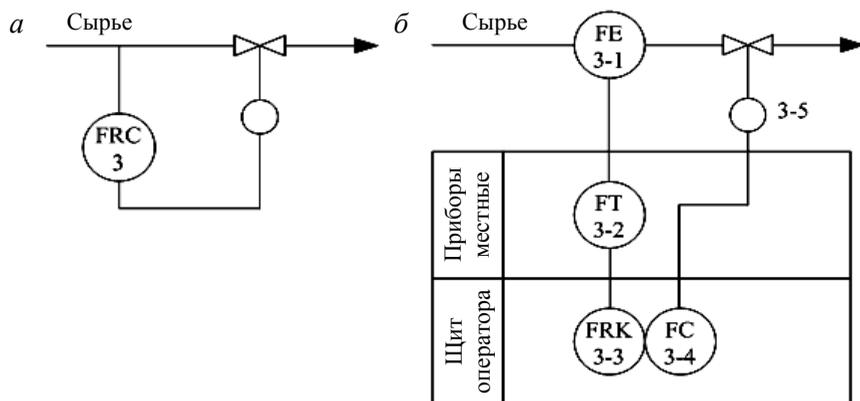


Рис. 2. Примеры изображения условных обозначений приборов и средств автоматизации упрощенным (а) и развернутым (б) способами

Толщина линий, которые используются в графических условных обозначениях на схемах, составляет для приборов и средств автоматизации 0,5–0,6 мм; для горизонтальной разделительной линии, а также линии связи – 0,2–0,3 мм; для контуров технологического оборудования и трубопроводных коммуникаций – 0,6–1,5 мм.

Отборное приспособление специально не обозначается, а дается в виде тонкой сплошной линии, которая соединяет технологический трубопровод или аппарат с измерительным преобразователем или прибором. В случае необходимости точное место размещения отборного приспособления или пункт измерения (внутри контура технологического аппарата) отоб-

ражается окружностью диаметром 2 мм и размещается в конце соединительной линии. Регулируемые органы с исполнительными механизмами устанавливаются на технологических трубопроводах.

Чувствительные элементы и первичные преобразователи систем измерения размещают непосредственно на трубопроводах или поблизости технологического оборудования. Промежуточные преобразователи, измерительные приборы, регуляторы и т. д., которые устанавливают в цеху на месте, размещаются в нижней части листа технологической схемы процесса в прямоугольнике с заголовком слева «Приборы местные». Еще ниже – в прямоугольнике с заголовком слева «Щит» – размещаются средства автоматизации, которые устанавливают на пультах управления, на щитах и за ними, в операторной или в помещении управления. Многофункциональные приспособления отображают несколькими окружностями, которые касаются одна другой.

Условные обозначения измеряемых и регулируемых величин, которые используют в обоих способах построения, приведены в табл. 4, а примеры построения условных обозначений функциональных единиц приборов и регуляторов – в табл. 5.

Таблица 4

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
1	2	3	4	5	6
A	+	–	Сигнализация	–	–
C	+	–	–	Регулирование, управление	–

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6
D	Плотность	Разность, перепад	–	–	–
E	Электрическая величина	–	Чувствительный элемент	–	–
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
G	Размер, положение, перемещение	–	+	–	–
H	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины
I	+	–	Показание	–	–
J	+	Переключение, обегание	–	–	–
K	Время, временная программа	–	Станция управления	Дистанционная передача	–
L	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
M	Влажность	–	–	–	–
P	Давление, вакуум	–	–	–	–
Q	Величина, характеризующая качество (состав, концентрация и т. п.)	Интегрирование, суммирование	–	+	–
R	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–

1	2	3	4	5	6
S	Скорость, частота	–	–	Включение, отключение, блокировка	–
T	Температура	–	–	+	–
V	Вязкость	–	+	–	–
W	Масса	–	–	–	–

«+» – резервные обозначения; «–» – не используются.

Методика построения графических условных обозначений для упрощенного и развернутого способов является общей. В верхней части окружности наносятся буквенные обозначения в следующем порядке (слева направо): обозначение основной измеряемой величины; обозначение, которое уточняет (если необходимо) основную измеряемую величину; обозначение функциональной отметки прибора. Последние также располагаются в следующем порядке: I, R, C, S, A.

В нижней части окружности наносится позиционное обозначение (цифровое или буквенно-цифровое), которое служит для нумераций комплекта измерения или регулирования (при упрощенном способе построения условных обозначений) или отдельных элементов комплекта (при развернутом способе построения условных обозначений). При создании условных изображений приборов следует указывать только те функциональные отметки преобразователей сигналов и вычислительных устройств, которые используются в конкретном приборе.

Пример построения условных обозначений приборов приведен на рис. 3.

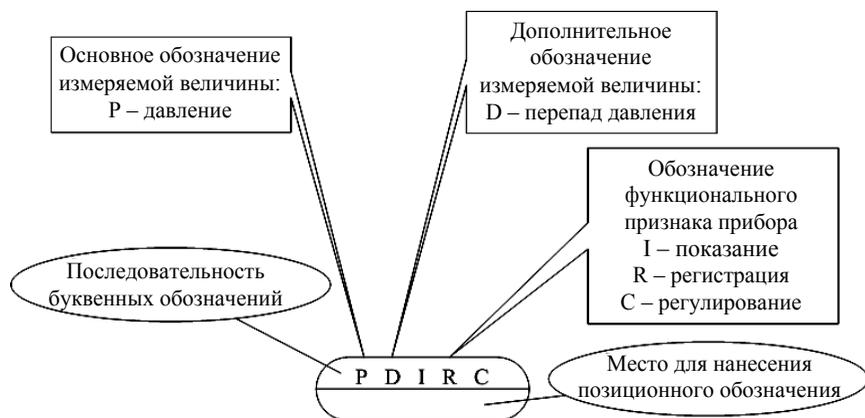
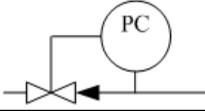


Рис. 3. Принцип построения условных обозначений

Таблица 5

№ п/п	Обозначение	Наименование
1	TE	Первичный измерительный преобразователь (чувствительный элемент) для измерения температуры, установленный по месту
2	TI	Прибор для измерения температуры показывающий, установленный по месту, например ртутный термометр, манометрический термометр и т. п.
3	TI	То же, установленный на щите
4	TT	Прибор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту
5	TC	Регулятор температуры, установленный на щите
6	TS	Прибор для измерения температуры с контактным устройством, установленный по месту
7	HS	Переключатель электрических цепей, установленный на щите

№ п/п	Обозначение	Наименование
8		Прибор для измерения давления, установленный на щите
9		Регулятор давления, работающий без постороннего источника энергии
10		Прибор для управления процессом по временной программе, установленный на щите
11		Пусковая аппаратура для управления электродвигателем, установленная по месту
12		Аппаратура, предназначенная для ручного дистанционного управления, установленная на щите

Щиты и пульты управления на функциональной схеме условно изображаются в виде прямоугольников произвольных размеров, достаточных для нанесения графических условных обозначений приборов и средств автоматизации.

Комплексные устройства (машины централизованного контроля ЭВМ, контроллеры и др.) обозначаются на функциональных схемах также в виде прямоугольника произвольных размеров с указанием типа устройства внутри прямоугольника.

Функциональные связи между технологическим оборудованием и установленными на нем первичными преобразователями, а также со средствами автоматизации на щитах и пультах показывают на схемах тонкими сплошными линиями. При этом каждая связь отображается одной линией независимо от фактического количества проводов или труб, осуществляющих эту связь. Линии связи разрешается подводить к условным обозначениям приборов и средств автоматизации с любой стороны – сверху, снизу, слева, справа. На линиях связи

допускается наносить стрелки, указывающие направление передачи сигнала. Линии связи необходимо наносить на чертежи по самому короткому расстоянию и проводить с минимальным количеством выгибов и пересечений. При этом допускается пересечение линиями связи изображений технологического оборудования и коммуникаций. Пересечение линиями связи условных обозначений приборов и средств автоматизации не разрешается.

В больших и сложных системах автоматизации, когда вычерчивание непрерывных линий связи ведет к их сложному переплетению, которое затрудняет прочтение чертежа, можно разрывать линии связи. При этом оба конца линии связи в местах разрыва нумеруют одной и той же арабской цифрой. Номера линий связи размещают в горизонтальных рядах. В нижнем ряду (на стороне щитовых приборов) номера должны быть в возрастающем порядке, в верхних рядах размещаются произвольно.

Для возможности выбора между измерением шкал приборов на функциональных схемах указывают краевые рабочие значения измеряемых или регулируемых величин. Эти значения в единицах измерения соответствующих величин указывают на линиях связи от отдельных устройств измерительных преобразователей к приборам.

Функциональные схемы автоматизации разрабатывают двумя способами: с изображением щитов и пультов управления при помощи условных прямоугольников (в нижней части чертежа) и с изображением средств автоматизации на технологических схемах без построения щитов и пультов управления. Примеры выполнения функциональной схемы автоматизации ямной пропарочной камеры двумя способами приведены на рис. 4 и 5.

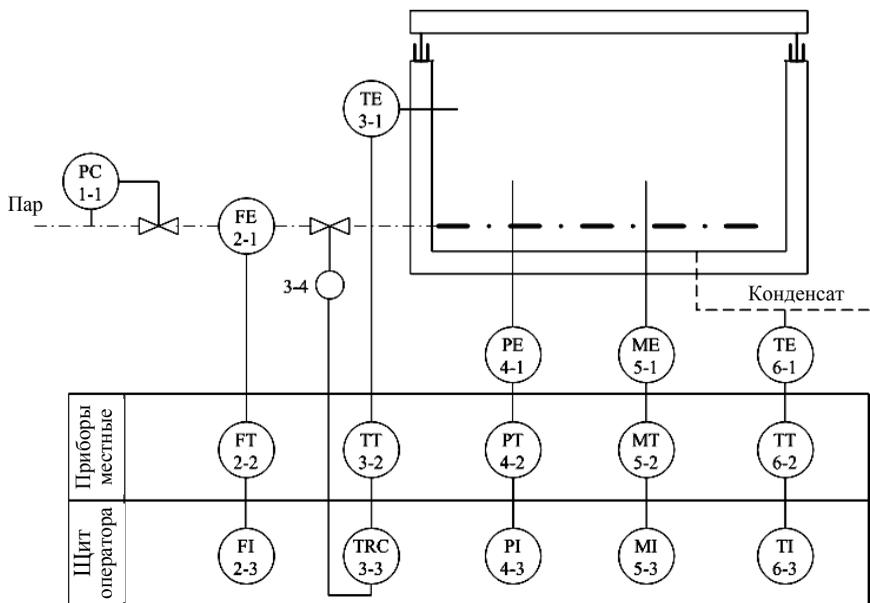


Рис. 4. Пример построения функциональной схемы автоматизации ямной пропарочной камеры по первому способу

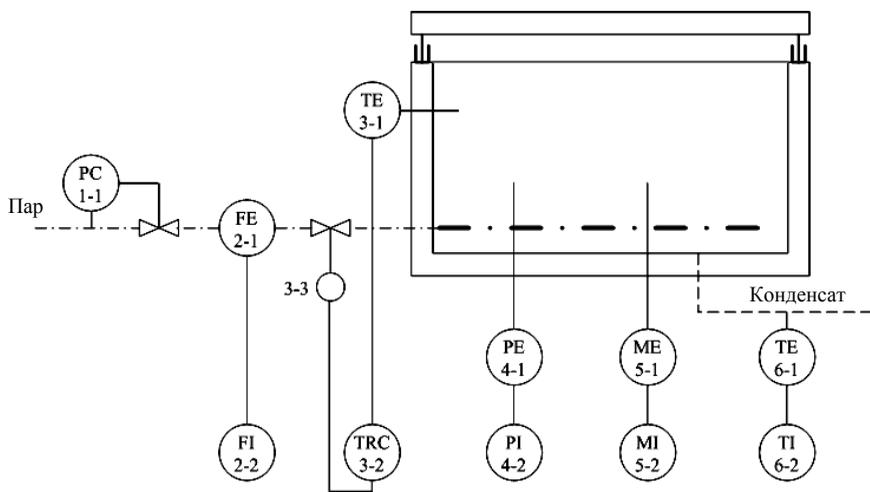


Рис. 5. Пример построения функциональной схемы автоматизации ямной пропарочной камеры по второму способу

#### 4. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Принципиальная схема выделяет состав элементов и связи между ними, дает детальное представление о принципиальной работе устройства в целом. Элемент – это составная часть схемы, которая выполняет функцию в устройстве и не может быть разделена на части, которые не имеют самостоятельной функции назначения.

Принципиальные схемы (ПС) разрабатывают на основании функциональных схем автоматизации. По назначению ПС подразделяют на схемы управления, сигнализации и питания. На месте размещения органов управления различают схемы местного и дистанционного управления, по способу автоматизации – схемы автоматического, автоматизированного и ручного управления.

Схемы сигнализации в зависимости от выполняемых функций подразделяют на схемы технологической сигнализации; схемы производственной сигнализации; схемы командной сигнализации; схемы пожарной и охранной сигнализации.

Для систем управления электропроводами производственных механизмов в схеме необходимо предусмотреть ручное управление, которое может быть местным и дистанционным. В схеме управления технологическими линиями нужно обозначить автоматический последовательный пуск технологических модулей в направлении, противоположном потоку веществ.

В случае остановки какого-нибудь из модулей автоматически последовательно останавливаются все предыдущие на потоке механизмы, что исключает образование «завалов».

Выбор напряжения питания электрических схем определяется требованием техники безопасности, условиями окружающей среды, квалификацией обслуживающего персонала, существующими источниками питания и другими факторами. Наиболее распространенными являются применение напряжения 220 В переменного тока, напряжения 60 В и ниже (48, 24, 12 В) посто-

янного тока. Питание цепей сигнализации необходимо осуществлять от разделительного трансформатора с изолированной от земли вторичной обмоткой и устройствами контроля заземления.

Выбор устройств управления и сигнализации выполняют с учетом потребляемого тока, номинального напряжения, мощности, параметров окружающей среды, установочных размеров и т. д.

На электрической схеме можно выделить главные цепи питания; цепи управления; цепи сигнализации. Принципиальные электрические схемы (ПЭС) могут содержать диаграммы и таблицы работы контактов многопозиционных переключателей, программных устройств, датчиков технических параметров; циклограммы работы технологического оборудования; спецификацию элементов в форме таблицы; описание работы схемы.

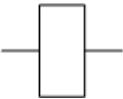
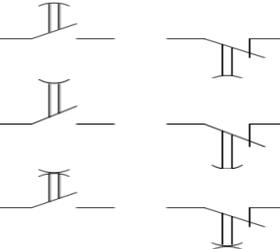
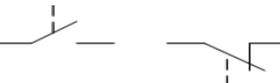
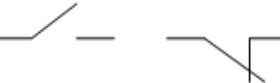
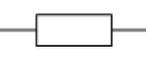
Коммутативные устройства (контакторы, реле, кнопочные выключатели и др.) на схемах показывают в состоянии, когда во всех цепях схемы отсутствует ток.

Графические обозначения элементов ПЭС должно удовлетворять требованиям ГОСТ 2.755 (табл. 6). Буквенные обозначения должны соответствовать ГОСТ 2.710 (табл. 7). Размеры графических обозначений должны соответствовать стандартам, но допускается при необходимости все обозначения пропорционально уменьшать или увеличивать.

Линии электрических связей отражают, как правило, линиями в диапазоне 0,18–1,4 мм в зависимости от размера форматов и условных графических изображений.

Для защиты измерительных цепочек используют экранирование. Экран обозначают тонкой штриховой линией вдоль цепи с двух боков. Линии должны пересекаться под прямым углом. Электрическое соединение линии обозначают зачерненной кнопкой диаметром 1–2 мм. Линии связи, которые пересекают главную часть схемы, допускается обрывать. Обрывы линии заканчивают стрелками.

Таблица 6

Наименование	Обозначение по ГОСТ 2.755
1. Электромагнитная обмотка (соленоидного механизма, токового реле, реле напряжения, магнитного пускателя и т. д.)	
2. Кнопки ручного управления (закрывающие и размыкающие)	
3. Контакты, замыкающие и размыкающие реле, магнитных пускателей	
4. Контакты термореле	
5. Контакты реле времени (закрывающие и размыкающие): – с замедлением при срабатывании  – с замедлением при возврате  – с замедлением при срабатывании и возврате	
6. Конечные выключатели (закрывающие и размыкающие)	
7. Технологические контакты и чувствительные элементы с размыканием цепи и замыканием цепи	
8. Резистор (сопротивление)	
9. Полупроводниковый диод	
10. Транзистор (обычный)	
11. Устройство световой сигнализации	

Продолжение табл. 6

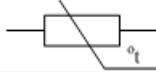
Наименование	Обозначение по ГОСТ 2.755
12. Устройство звуковой сигнализации	
13. Терморезистор (термометр сопротивления)	
14. Конденсатор	
15. Фотоэлемент (фоторезистор)	
16. Линия электрической связи	
17. Пересечение линий электрической связи – без электрического соединения  – с электрическим соединением	
18. Земление	
19. Обрыв линии электрической связи	

Таблица 7

Однобуквенный код	Группа элементов	Вид элементов	Двухбуквенный код
А	Устройство	Усилители, лазеры, мазеры	–
В	Преобразователи неэлектрических величин в электрические	Телефон Тепловой датчик Фотоэлемент Микрофон Датчик давления Пьезоэлемент Датчик частоты вращения Датчик скорости	ВF ВK ВL ВM ВP ВQ ВR ВV

Продолжение табл. 7

Однобуквенный код	Группа элементов	Вид элементов	Двухбуквенный код
С	Конденсаторы	–	–
Д	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая Логический элемент	DA DD
Е	Элементы разные	Лампа осветительная Нагревательный элемент	EL ЕК
Ф	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Элемент защиты по току Предохранитель плавкий Элемент защиты по напряжению	FA FU FV
Г	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
Н	Устройства индикаторные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации Прибор световой сигнализации	HA HL
К	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое Реле электротепловое Магнитный пускатель Реле времени	KA KK KM KT
Л	Катушки, дроссели	–	–
М	Двигатели	–	–
Р	Приборы, измерительное оборудование	Амперметр Частотомер Омметр Регистрирующий прибор Измеритель времени, часы Вольтметр Ваттметр	PA PF PR PS PT PV PW
Q	Выключатели, разъединители	Выключатель автоматический Разъединитель	QF QS
Р	Резисторы	Терморезистор Потенциометр Шунт измерительный	RK RP RS

Окончание табл. 7

Однобуквенный код	Группа элементов	Вид элементов	Двухбуквенный код
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерения	Выключатель и переключатель	SA
		Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматический	SF
		Выключатели, срабатывающие от различных воздействий:	
		от уровня	SL
		от давления	SP
		от положения	SQ
от частоты	SR		
	от температуры	SK	
T	Трансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Трансформатор напряжения	TV
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод	VD
		Прибор электровакуумный	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS
W	Линии и элементы СВЧ, антенны	Ответвитель	WE
		Вентиль	WS
		Антенна	WA
X	Соединения контактные	Токосъемник, контакт скользящий	XA
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Муфта с электромагнитным приводом	YC

В ГОСТ 2.710 приведены также буквенные коды для обозначения функционального назначения элементов принципиальных электрических схем.

Принципиальные электрические схемы могут выполняться двумя способами: совмещенным и разнесенным. Совмещенный способ изображения – это когда все части каждого прибора, средства автоматизации и электрического аппарата располагают в непосредственной близости и заключают обычно в прямоугольный, квадратный или круглый контур, выполненный сплошной тонкой линией (рис. 6, а). Разнесенный способ изображения – это когда условные графические обозначения составных частей приборов, аппаратов, средств автоматизации располагают в разных местах, но таким образом, что бы отдельные цепи были изображены наиболее наглядно (рис. 6, б). Разнесенный способ значительно облегчает составление и чтение принципиальных электрических схем автоматизации.

В принципиальных электрических схемах условные графические обозначения составных частей электрических аппаратов, приборов и средств автоматизации, входящих в одну цепь, изображают последовательно друг за другом по прямой, а отдельные цепи – одну под другой, при этом образуются параллельные строки. Допускается располагать строки вертикально (см. рис. 5). Линии связи между элементами показывают полностью.

Все приборы, аппараты и элементы принципиальных электрических схем имеют позиционные буквенно-цифровые обозначения, которые выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710.

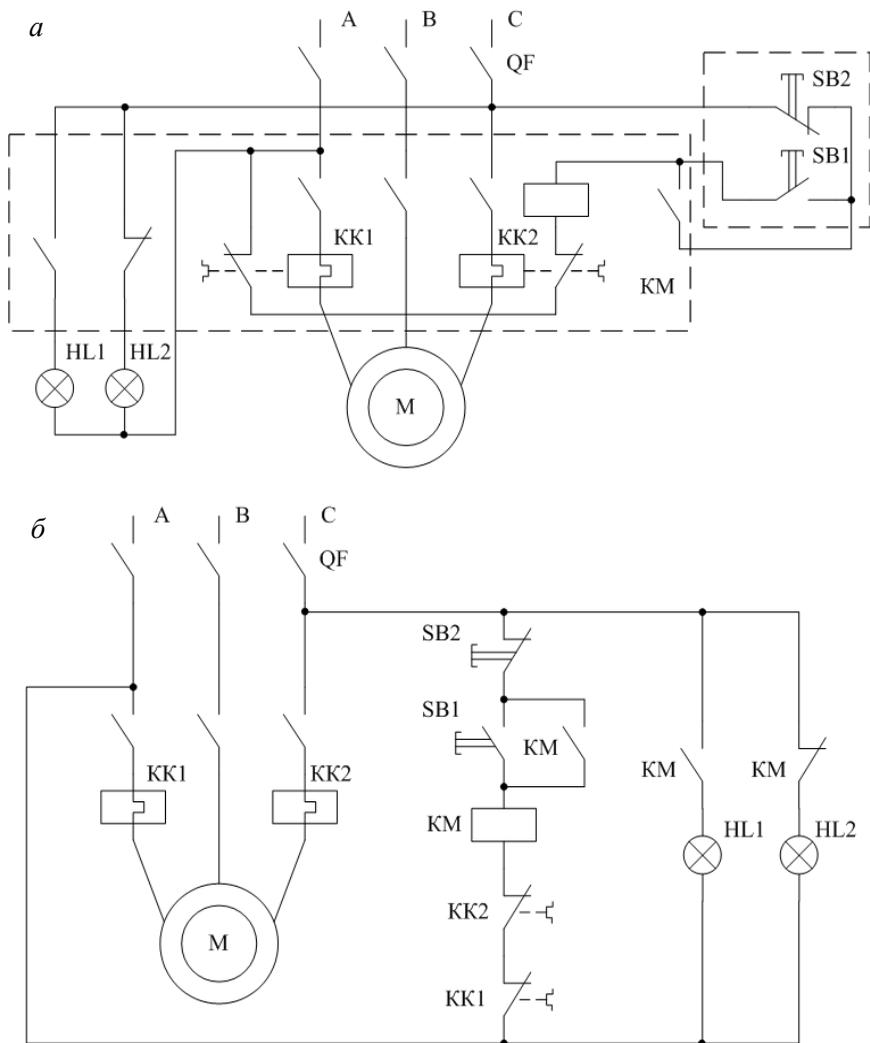


Рис. 6. Схема, выполненная совмещенным (а) и разнесенным (б) способами

В состав сложных принципиальных схем управления, регулирования, сигнализации и защиты, как правило, входят простейшие релейно-контактные схемы. Условно можно выделить

семь типов простейших релейно-контактных схем, которые приведены на рис. 7–13.

Описание работы схем.

Рисунок 7. Включается устройство световой сигнализации HL1 при нажатии на замыкающий кнопочный выключатель SB1.

Рисунок 8 (принцип «или»). Устройство световой сигнализации HL1 включается при нажатии на один из замыкающих кнопочных выключателей SB1 или SB2.

Рисунок 9 (принцип «и»). Устройство световой сигнализации HL1 включается или HL2 отключается при нажатии одновременно соответственно замыкающих SB1; SB2 и размыкающих SB3; SB4 кнопочных выключателей.

Рисунок 10 («повторитель»). При нажатии на замыкающий кнопочный выключатель SB1 напряжение подается на обмотку реле K1. Контакт K1.1 замыкается, а контакт K1.2 размыкается и соответственно включается устройство световой сигнализации HL1 и отключается устройство HL2.

Рисунок 11 («самоблокировка»). При нажатии на замыкающий кнопочный выключатель SB1 включается реле K1, которое замыкает цепь питания обмотки своим замыкающим контактом K1.1. Для выключения реле предусмотрен размыкающий кнопочный выключатель SB2.

Рисунок 12 («последовательная блокировка»). Невозможно подать напряжение на обмотку реле K2, если предварительно не подано напряжение на обмотку реле K1, т. к. контакт K1.2 реле K1 разомкнут при отсутствии напряжения на обмотке реле K1.

Рисунок 13 («взаимная блокировка»). При подаче напряжения на обмотку реле K1 размыкается контакт K1.2, следовательно подать напряжение на обмотку реле K2 невозможно, и наоборот, при подаче напряжения на обмотку реле K2 замыкается контакт K2.2 и следовательно подать напряжение на обмотку реле K1 невозможно.



Рис. 7



Рис. 8

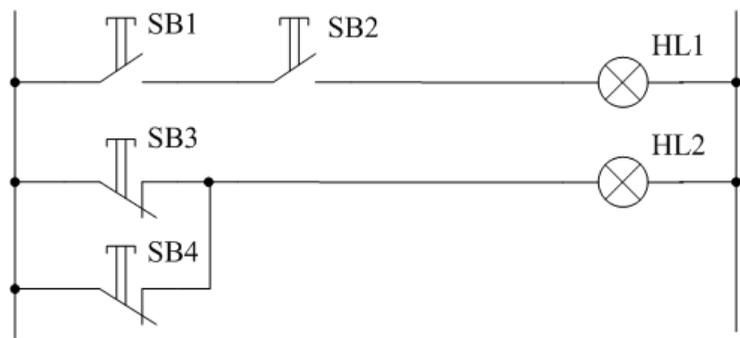


Рис. 9

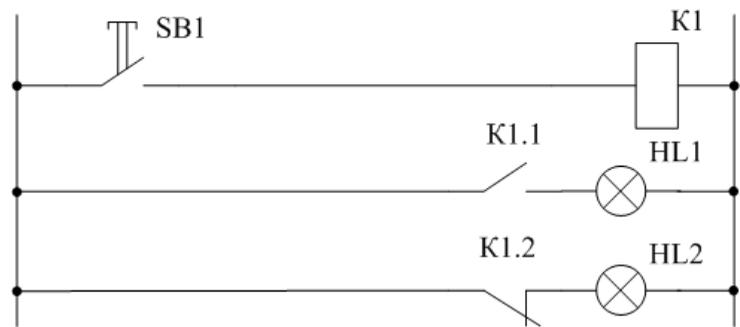


Рис. 10

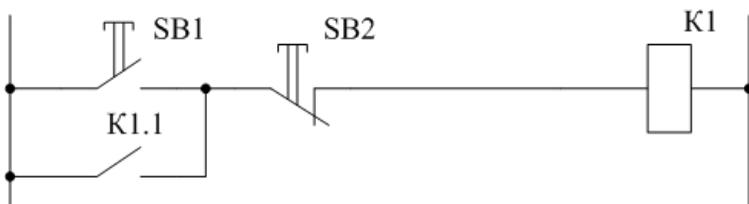


Рис. 11

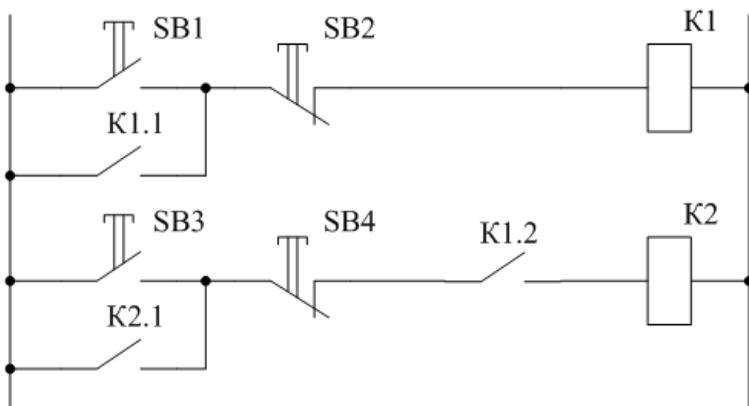


Рис. 12

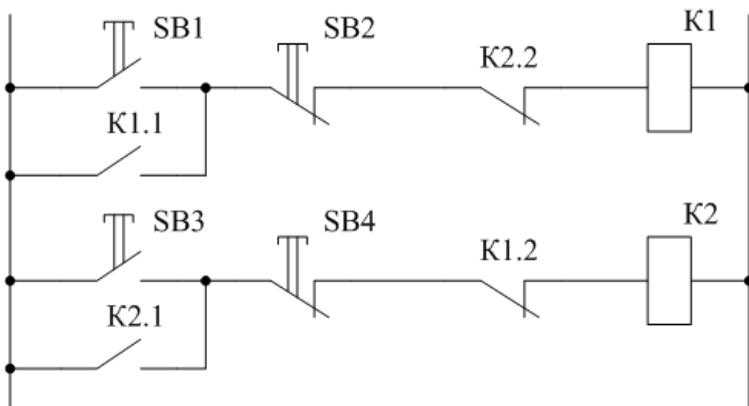


Рис. 13

## **5. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ РАБОТ. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Темой курсовой работы является разработка функциональной и принципиальной электрической схемы автоматизации технологического процесса, аппарата или установки.

Тематика курсовых работ охватывает процессы подготовки исходных компонентов для приготовления бетонных смесей, дозирования компонентов, их перемешивания, процессы укладки и формование бетонной смеси, тепловой обработки и натяжения арматуры.

В задании на выполнение курсовой работы, которое выдает руководитель индивидуально каждому студенту, указывается технологический процесс, аппарат или установка, которые требуется автоматизировать.

Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку и графическую часть – 1 лист формата А1 и должна представлять принятые студентом решения относительно автоматизации процесса согласно заданию.

Расчетно-пояснительная записка должна быть написана от руки или набрана в компьютерном варианте с распечаткой на одной стороне листа бумаги формата А4 с оформлением рамок и основной надписи по ГОСТ 21.103.

В начале расчетно-пояснительной записки должно быть помещено задание на курсовую работу, включающее тему, исходные данные, содержание записки, перечень графического материала, а также сроки сдачи студентом законченной работы.

Расчетно-пояснительная записка в зависимости от конкретного задания должна включать в себя следующие разделы:

- введение;
- технологический процесс;
- описание функциональной схемы автоматизации;
- описание принципиальной электрической схемы;
- охрана труда;
- перечень использованной литературы.

**Введение.** Введение расчетно-пояснительной записки должно содержать краткий обзор состояния вопроса по конкретной теме курсовой работы. В обзоре необходимо в сжатой форме отразить необходимость автоматизации данного процесса (установки).

**Технологический процесс.** Данный раздел должен содержать основные понятия о процессе (аппарате, установке и т. п.), который требуется автоматизировать. Процесс следует расчленить на составные элементы, требующие автоматизации.

**Описание функциональной схемы автоматизации.** После расчленения процесса на элементарные циклы необходимо продумать и изложить в записке необходимость установки тех либо иных средств автоматизации в конкретных местах технологической цепочки, описать взаимодействие приборов и средств автоматизации, дать полный перечень используемых средств автоматизации.

**Описание принципиальной электрической схемы.** Описать принцип действия разработанной схемы и механизм взаимодействия всех элементов, дать обоснование принятого решения.

**Охрана труда.** В этом разделе записки приводится описание конкретных мероприятий по охране труда и технике безопасности при работе с электроустановками, также решения принятые в проекте при разработке принципиальной схемы.

**Перечень использованной литературы.** В данном разделе приводится список использованной литературы.

Графическая часть выполняется вручную или с использованием ПЭВМ с соблюдением требований оформления конструкторской документации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобринец, В. П. Автоматика, автоматизация и автоматизированные системы управления техническими процессами / В. П. Кобринец, В. Д. Лебедев, У. Я. Максимов. – Минск: УО «Белорусский государственный технологический университет», 2007.
2. Барласов, Б. З. Наладка приборов и систем автоматизации / Б. З. Барласов, В. И. Ильин. – М., 1985.
3. Дубровский, А. Х. Устройство электрической части систем автоматизации / А. Х. Дубровский. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Каминский, Е. А. Практические приемы чтения схем электроустановок / Е. А. Каминский. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: справочное пособие / Под ред. А. С. Ключева. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
6. Хамимов, А. З. Основные требования стандартов СПДС при проектировании систем автоматизации технологических процессов // Монтажные и специальные работы. Сер. Монтаж и наладка средств автоматизации и связи. Экспресс-информация (ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР), 1986. – Вып. 2. – С. 16–19.
7. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / Под ред. А. С. Ключева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

Учебное издание

**КОВШАР** Сергей Николаевич  
**ЗЕЛЕНКОВСКАЯ** Жанна Леонидовна

**АВТОМАТИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СБОРНОГО  
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА**

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальности 1-70 01 01  
«Производство строительных изделий и конструкций»

Редактор *Е. В. Герасименко*  
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 25.06.2020. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 2,38. Уч.-изд. л. 1,86. Тираж 200. Заказ 308.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.