Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко,
В. А. Михайлов, Г. В. Нимич

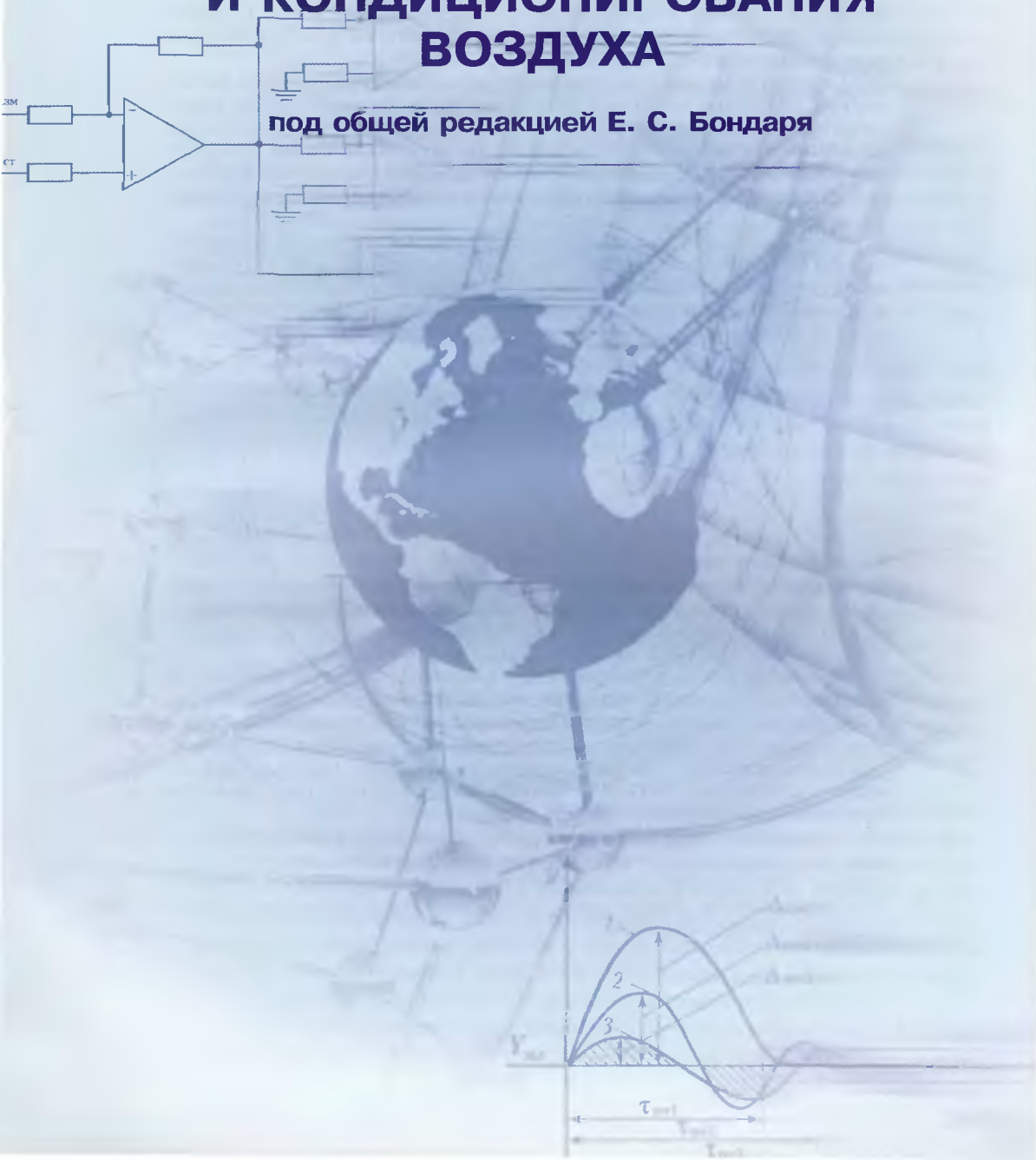
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

IBIK
АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко,
В. А. Михайлов, Г. В. Нимич

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

под общей редакцией Е. С. Бондаря



ББК 38.762
Н58
УДК 697.95-52

Навчальний посібник є викладом курсу «Спецтехнологія» для підготовки налагоджувальників приладів, апаратури та систем автоматичного контролю, регулювання та керування в галузі вентиляції та кондиціювання повітря.

В цій книзі викладено загальні положення теорії автоматичного керування системами кондиціювання та вентиляції (СКВ), процеси обробки повітря, устаткування, елементна база, способи монтажа, налагоджування та експлуатації систем автоматизації.

Розглянуто методи проектування та порядок розробки технічної документації. Докладно висвітлені технічні засоби автоматизації СКВ, типові схемні рішення, алгоритми роботи, спеціалізовані мікропроцесорні пристрої автономних та центральних кондиціонерів, жорстко та вільно програмувальні контролери. Окремий розділ книги присвячено комплексній автоматизації керування інженерним обладнанням адміністративних та житлових будівель.

Зміст книги виходить за межі типової програми підготовки налагоджувальників контрольно-вимірювальних приладів та автоматики, тому видання буде корисним для широкого кола спеціалістів: проектувальників, монтажників, ремонтників, викладачів та студентів середніх і вищих навчальних закладів.

Настоящее учебное пособие является изложением курса «Спецтехнология» для подготовки наладчиков приборов, аппаратуры и систем автоматического контроля, регулирования и управления в области вентиляции и кондиционирования воздуха.

В книге описаны основные положения теории автоматического управления применительно к системам кондиционирования и вентиляции (СКВ), процессы обработки воздуха, оборудование и элементная база, способы монтажа, наладки и эксплуатации систем автоматизации.

Изложены методы проектирования и порядок разработки технической документации. Подробно описаны технические средства автоматизации СКВ, типовые схемные решения, алгоритмы работы, специализированные микропроцессорные устройства автономных и центральных кондиционеров, жестко и свободно программируемые контроллеры. Отдельный раздел книги посвящен комплексной автоматизации управления инженерным оборудованием административных и жилых зданий.

Содержание книги выходит за рамки типовой программы подготовки наладчиков контрольно-измерительных приборов и автоматики, поэтому издание будет полезно для широкого круга специалистов: проектировщиков, монтажников, ремонтников, преподавателей и студентов средних и высших учебных заведений.

ІВІК

Предисловие

Жизненный опыт и научные исследования показывают, что организм человека имеет огромные потенциальные резервы для физической и умственной деятельности. Однако, чтобы использовать эти резервы, необходимо создать определенные благоприятные условия. Прежде всего, это относится к окружающей среде: составу, чистоте, температуре, влажности воздуха, содержанию положительных и отрицательных ионов, наличию полей различного происхождения и т.д.

Некоторые из перечисленных параметров могут поддерживаться в требуемых пределах системами вентиляции и кондиционирования воздуха (СКВ). Качественная работа СКВ, точность поддержания параметров воздуха, снижение эксплуатационных расходов и сроков окупаемости климатического оборудования во многом зависят от алгоритмов работы и аппаратурной реализации систем автоматизации. Кроме того, системы автоматизации, выполняя диагностические и защитные функции, не допускают выход из строя дорогостоящего оборудования.

Известно, что наибольшие сложности в управлении технологическими процессами возникают, когда регулируемые параметры ограничены многомерной областью, например, многоугольником. Именно таким образом выглядят исходные требования к СКВ при представлении их термодинамическими моделями. Алгоритмы управления СКВ должны предусматривать порядок перемещения и изменения параметров воздуха в области, ограниченной этим многоугольником, т. е. осуществлять переход исходного множества параметров (наружный воздух) в новое множество параметров (воздух, подаваемый в помещение). При этом такой процесс должен проходить кратчайшим (оптимальным) путем. Так, эксплуатационные расходы будут минимальными, если в холодный период года состояние подаваемого в помещение воздуха будет поддерживаться на уровне минимально допустимой энтальпии, а в теплый период – на уровне максимально допустимой. Исходя из этих и других критериев, выбирается технологический процесс стабилизации параметров, алгоритмы и оборудование как СКВ в целом, так и систем автоматизации в частности.

В последнее время появились принципиально новые методы управления и обработки информации. Одним из направлений повышения степени комфортности, снижения стоимости СКВ и эксплуатационных затрат есть нейротехнология – технология управления, в которой в качестве модели используется нейронная сеть. Использование последних достижений науки и техники (холодильные машины с плавно регулируемой производительностью, нечеткая логика обработки информации и др.) позволяет значительно повысить точность поддержания заданных параметров.

Общая экономическая эффективность, удобство эксплуатации и управления всем технологическим оборудованием административных и жилых

IBIK

зданий повышается при комплексном решении задач автоматизации – как на уровне локальных систем, так и на уровне систем диспетчеризации.

Группа компаний «ИВИК» (Украина) более 10 лет выполняет полный цикл работ в области комфортного кондиционирования воздуха. Мы поставляем оборудование ведущих мировых производителей, разрабатываем проекты, выполняем монтажные и пуско-наладочные работы, используя передовые технологии.

Нами установлено климатическое оборудование в Администрации Президента Украины, Мариинском дворце, Кабинете Министров Украины, Национальном банке Украины, Таможенном комитете Украины, Первом международном банке Украины, телефонных компаниях Utel, «Киевстар», крупнейших гостиницах «Киев», «Ореанда» и на других объектах.

На ряде объектов нашей компанией установлены комплексные системы диспетчеризации всего технологического оборудования, включая пожарную защиту и охранную сигнализацию.

Для подготовки специалистов был создан учебный центр. Министерство просвещения и науки Украины выдало компании «ИВИК» лицензию на право подготовки специалистов в области климатического оборудования, в том числе наладчиков приборов, аппаратуры и систем автоматического контроля, регулирования и управления (наладчик КИП и автоматики). Кроме того, наш учебный центр является авторизированным учебным центром компании Mitsubishi Heavy Industries Ltd. (Япония).

Общие тенденции и достижения последнего времени в развитии автоматизации СКВ, к сожалению, не нашли своего отражения в общедоступной научно-технической литературе. За последние 10 лет в Украине не выпущено ни одного издания по указанной проблеме. Поэтому авторы взяли на себя смелость, хотя бы в какой-то степени восполнить этот пробел.

В настоящей книге изложен курс лекций по системам автоматизации СКВ, читаемый в учебном центре при подготовке наладчиков КИП и автоматики. Поэтому в ней рассмотрен узкий круг задач, относящихся только к автоматизации климатического оборудования.

При изложении материала мы стремились избегать сложных математических выкладок, приводя только конечные формулы, необходимые при проектировании и наладке СКВ. Для облегчения понимания физических процессов и сути формул в книге приводится много цветных графиков, схем и иллюстраций. Мы надеемся, что такой подход облегчит и ускорит освоение излагаемого материала и окупит читателю затраты, связанные с увеличением себестоимости книги.

В предлагаемом учебном пособии изложены основные положения теории автоматического управления, подробно рассмотрены СКВ как объекты управления, технические средства автоматизации СКВ, методы монтажа и наладки.

Приводятся описания, типовые схемные решения, алгоритмы работы, методы диагностики и устранения неисправностей бытовых и полупромышленных кондиционеров (Mitsubishi Heavy Industries, Япония; Daikin, Япония).

Отдельные разделы посвящены жестко и свободно программируемым контроллерам ведущих мировых производителей (Satchwell, Англия; Danfoss, Германия; t.a.c, Швеция; Honeywell, Швеция).

Мы считали своим долгом дать подробные описания технических средств автоматизации украинских и российских производителей («РАУТ-автоматик», Украина; ОАО «МЗТА», Россия; «ОВЕН», Россия), которые, по-нашему мнению, ничем не уступают зарубежным аналогам, а стоимость их значительно меньше. Кроме того, техническая документация выполнена на более высоком и доступном уровне.

В разделе, посвященном комплексной автоматизации и диспетчеризации административных и жилых зданий, описаны сетевая технология LonWorks, система диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы) различных производителей (TAC Vista, Швеция; MicroNet, Англия; «МИС-1», Украина; «КОНТАР», Россия).

Наличие в книге данных по современным техническим средствам автоматизации СКВ, методам проектирования и программирования, монтажа и наладки может оказаться полезным и для более широкого круга читателей: студентов, проектировщиков, менеджеров, преподавателей средних и высших учебных заведений, работников сервисных служб и др.

Авторы пытались тщательно отредактировать рукопись книги, однако, если читатели пришлют нам свои замечания и предложения, мы с благодарностью учтем их в учебном процессе.

Мы благодарны всем лицам и компаниям, предоставившим материалы для написания книги: В. Степуре – Likond; В. Просянникову – ЗАО «РАУТ-автоматик», В. Левчию – «ЛИК».

Особая благодарность руководителю компании ЗАО «НТЦ МЗТА» В. Масленникову за безвозмездную передачу учебному центру стендов, а также ведущим специалистам компаний, которые проводили у нас семинары и практические занятия (ЗАО «НТЦ МЗТА» – В. Львович, В. Туркин; ЗАО «РАУТ-автоматик» – К. Прокопенко, «ЛИК» – Д. Левчий, Ю. Гончаренко).

Материалы этих семинаров также использованы при написании настоящей книги.

Авторы выражают признательность всем сотрудникам компании «ИВИК», чей труд и опыт сформировали содержание учебного пособия, а особенно А. Сидельнику – за большой вклад в написание разделов 9.2 и 10.3 и редакторской группе: Т. Поповой (руководитель), Е. Василенко и Л. Щегельской.

Надеюсь, что книга будет для Вас полезной.

С уважением,
Генеральный директор группы
компаний «ИВИК»,
академик Международной
академии холода *Г. В. Нимич*

Неотъемлемой частью технической реализации технологических процессов по жизнеобеспечению деятельности человека являются средства автоматизации. Это в полной мере можно отнести и к системам вентиляции и кондиционирования воздуха, без которых трудно представить современные офисные, жилые и производственные здания. Четкую, надежную и энергосберегающую работу этих систем может обеспечить только правильно спроектированная, смонтированная, отлаженная и грамотно обслуживаемая система автоматики. При этом главной предпосылкой качественного выполнения указанных работ является наличие высококвалифицированного персонала по системам автоматики: инженерно-технических специалистов и рабочих.

Поэтому естественно, что сотрудниками ведущей в Украине компании «ИВИК» подготовлено настоящее учебное пособие – первое издание в Украине за последние годы, в котором в доступной форме изложены как основы технологии и управления, так и системы автоматики СКВ и тенденции их развития.

В методическом плане книга построена по классической схеме: технологические процессы, основы и особенности управления этими процессами, элементная база и технические средства автоматизации.

В первых трех разделах книги описаны технологические особенности обработки воздуха, на основании которых сформулированы требования к системам автоматики. Излагаются основные положения теории автоматического управления и элементная база средств автоматики применительно к СКВ.

В последующих трех разделах приведены основные методы проектирования, правила разработки и работы с технической документацией, способы монтажа и наладки систем автоматизации.

Особый интерес представляют разделы, в которых описаны технические характеристики, алгоритмы управления, особенности проектирования и эксплуатации современных систем автоматизации. Подробно описаны специализированные микропроцессорные устройства в автономных кондиционерах, жестко программируемые и свободно программируемые контроллеры. Здесь необходимо отметить, что авторами приведены описания современных средств автоматики не только ведущих мировых фирм, но и производителей ближнего зарубежья («ОВЕН», «МЗТА», Россия) и нашей страны («РАУТ-автоматик»). Оборудование этих производителей по техническому уровню не уступает зарубежному, а по ряду показателей превосходит его (цена, сроки поставки, гарантийное и сервисное обслуживание). Такая обширная информация будет способствовать более осознанному выбору средств автоматики и облегчит работы по их

наладке и обслуживанию. Последняя часть книги посвящена комплексной автоматизации управления инженерным оборудованием зданий и сооружений.

Книга написана простым, доступным языком с большим количеством цветных иллюстраций, что будет способствовать быстрому освоению материала.

В целом, все разделы книги как по уровню изложения, так и по объему выходят за рамки типовой программы подготовки рабочих по указанной специальности. Поэтому думаю, что предлагаемое учебное пособие вызовет интерес и станет настольной книгой не только наладчиков систем автоматики, но и широкого круга инженерно-технических специалистов по проектированию, монтажу, сервисному обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Заслуженный деятель науки и техники,
доктор технических наук,
профессор *В.И. Иваненко*

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

Раздел 1 Системы вентиляции и кондиционирования воздуха как объекты управления

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Основными нормируемыми параметрами воздуха в помещении являются: температура, влажность, скорость движения, газовый состав, наличие механических частиц пыли.

Создание оптимального состава воздушной среды в помещении может осуществляться путем удаления образовавшихся тепло-, газо- и влагоизбытков, пыли и добавления необходимого количества свежего воздуха с предварительной его подготовкой (охлаждение или нагрев, осушение или увлажнение, фильтрация и др.).

Оптимальные параметры воздуха представляют собой совокупность условий, наиболее благоприятных для самочувствия людей (область комфортного кондиционирования воздуха), или условий для правильного протекания технологического процесса (область технологического кондиционирования). Оптимальные параметры внутреннего воздуха на промышленных предприятиях устанавливают, исходя из положения, что если количество и качество продукции зависит от соблюдения точного режима технологического процесса, а не от интенсивности труда, то определяющим фактором являются требования технологического процесса. Если же на выпуск продукции в основном влияет интенсивность труда, обеспечиваются условия, комфортные для работающих в цехе людей.

Допустимые параметры воздуха устанавливаются в случае, когда по технологическим требованиям или техническим и экономическим причинам не обеспечиваются оптимальные нормы.

В соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями наиболее благоприятная температура в общественных, административно-бытовых помещениях должна составлять 20–25 °С (табл. 1.1.1),

IBIK

а допустимые колебания в теплый период – от 20 °С до 28 °С, в холодный и переходной периоды – от 18 °С до 22 °С (табл. 1.1.2).

Относительная влажность считается оптимальной в диапазоне от 30 до 60 % в теплый период и 30-45 % в холодный и переходной периоды. Верхняя допустимая граница относительной влажности – 65 %.

Чтобы разрушить создаваемую телом человека оболочку газовых выделений, необходимо организовать движение воздушной среды. Однако чрезмерно увеличивать скорость движения воздушной среды недопустимо из-за возникающего чувства дискомфорта и возможности простудных заболеваний. При температуре воздуха 20–25 °С ***допустимая скорость движения воздуха*** составляет 0,2–0,3 м/с для легких работ, 0,4–0,5 м/с – для работ средней тяжести и 0,6 м/с – для тяжелых работ.

Таблица 1.1.1. Оптимальные нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещений [СНиП 2.04.05-91 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха]

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Теплый	20–22 23–25	60–30 60–30	0,2 0,3
Холодный и переходные условия	20–22	45–30	0,2

Таблица 1.1.2. Допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой зоне жилых, общественных и административно-бытовых помещений [СНиП 2.04.05-91]

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с, не более
Теплый	не более 28	65	0,5
Холодный и переходные условия	18–22	65	0,2

IBIK

Таблица 1.1.3. Расчетные температуры, скорость и относительная влажность воздуха на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений [СНиП 2.04.05-91]

Период года	Категория работ	Оптимальные нормы на постоянных и непостоянных рабочих местах			Допустимые нормы				
					температура, °С			скорость движения воздуха, м/с, не более	относительная влажность воздуха, %
		температура, °С	скорость движения воздуха, м/с, не более	относительная влажность воздуха, %	на всех рабочих местах	на постоянных рабочих местах	на непостоянных рабочих местах	на постоянных и непостоянных рабочих местах	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Теплый	Легкая Iа	23–25	0,1	40–60	на 4 °С выше расчетной температуры наружного воздуха (параметры А) и не более указанных в гр 7 и 8	28–31	30–32	0,2	75
	Iб	22–24	0,2			28–31	30–32	0,3	
	Средней тяжести IIа	21–23	0,3			27–30	29–31	0,4	
	IIб	20–22	0,3			27–30	29–31	0,5	
	Тяжелая III	18–20	0,4			26–29	28–30	0,6	
Холодный и переходные условия	Легкая Iа	22–24	0,1	40–60	–	21–25	08–26	0,1	75
	Iа	21–23	0,1			20–24	17–25	0,2	
	Средней тяжести IIа	18–20	0,2			17–23	15–24	0,3	
	IIб	17–19	0,2			15 21	13–23	0,4	
	Тяжелая III	16 18	0,3			13–19	13–20	0 5	

При проектировании систем кондиционирования воздуха предусматривают технические решения, обеспечивающие перечисленные выше нормируемые параметры воздуха.

Нормативной классификации СКВ не существует, но на практике и в технической литературе сложилась определенная терминология и классификация, которых мы будем придерживаться:

- в зависимости от способа, вызывающего движение воздуха, системы вентиляции подразделяются на естественные (гравитационные) и искусственные (с механическим побуждением);
- по назначению – на приточные, вытяжные и смешанные;
- по зоне обслуживания – на общеобменные и местные;
- по конструктивному исполнению – на канальные и бесканальные.

Таблица 1.1.4. Предельные значения допустимых параметров внутренней среды помещений с постоянным пребыванием людей [ДБН В.2.2-9-99 Общественные здания и сооружения]

Параметры	Единица измерения	Предельные значения			
		зимой		летом	
		не менее	не более	не менее	не более
Температура воздуха	°С	18	22	-	28
Разность температур, измеренная:	°С	-	3	-	-
• у потолка и пола		-		-	-
• в разных точках на одном уровне		-	3	-	-
• в воздухе и на поверхности стен		-	3	-	-
• в воздухе и на поверхности окна		-	16	-	-
Температура пола	°С	16,5	26	18	-
Температура потолка	°С	16	30	21	-
Относительная влажность воздуха	%	30	45	30	65
Скорость воздуха	м/с	-	0,2	-	0,5
Концентрация нетоксичной пыли	мг/м^3	-	0,15	-	0,15

Примечание. Значение температуры воздуха в помещении в летний период, а также параметры относительной влажности, скорости и запыленности воздуха регламентируются для помещений с избытками тепла и влаги, для которых в соответствии с нормами проектирования этих помещений предусматривается принудительная вентиляция. При этом температура внутреннего воздуха в летний период указана для условий, когда температура наружного воздуха не превышает 25 °С.

Системы с естественной вентиляцией просты, не требуют сложного дорогостоящего оборудования и больших эксплуатационных затрат. Однако зависимость эффективности этих систем от внешних факторов (температуры наружного воздуха, направления и скорости ветра), а также небольшое давление не позволяют решать с их помощью все сложные и многообразные задачи в области вентиляции. Поэтому применяют системы с ***механическим побуждением***.

В системах с механическим побуждением используется оборудование (вентиляторы), позволяющее перемещать воздух на требуемые расстояния. При необходимости воздух подвергают различным видам обработки: очистке, нагреванию, охлаждению, увлажнению, осушению. Вентиляцию с механическим побуждением можно разделить на ***местную*** и ***общеобменную***.

Местной вентиляцией называется вентиляция, которая обеспечивает подачу воздуха на определенные места (местная приточная вентиляция), или удаление загрязненного воздуха только от мест образования вредных выделений (местная вытяжная вентиляция).

Если местной вентиляцией не удается обеспечить санитарно-гигиенические или технологические требования, применяют ***общеобменные системы вентиляции***.

Общеобменные вытяжные системы равномерно удаляют воздух из всего помещения, а ***общеобменные приточные*** – подают воздух и распределяют его по всему объему вентилируемого помещения. При одновременной работе приточной и вытяжной вентиляции они должны быть сбалансированы по расходу воздуха.

Если воздух, подаваемый в помещение, образуется путем смешивания наружного воздуха и воздуха, удаляемого из помещения, то такая система называется ***приточно-рециркуляционной***.

Системы вентиляции, подающие и удаляющие воздух по каналам или воздуховодам, называют канальными, а не имеющие каналов – ***бесканальными***.

Системы кондиционирования могут быть классифицированы следующим образом:

- по наличию источников тепла и холода – ***автономные*** и ***неавтономные***;
- по принципу расположения системы кондиционирования относительно обслуживаемого объекта – ***центральные*** и ***местные***;
- по количеству обслуживаемых помещений – ***однозональные*** и ***многозональные***;
- по типу обслуживаемых объектов – ***бытовые***, ***полупромышленные*** и ***промышленные***.

Автономные СКВ в своем составе имеют весь комплекс оборудования, позволяющий провести необходимую обработку воздуха в соответствии с нормативными требованиями по очистке, нагреванию, охлаждению, осушению, увлажнению, перемещению и распределению воздуха, а также средства автоматического и дистанционного управления и контроля. Для работы автономной СКВ необходимо подать только электрическую энергию. К автономным СКВ относятся моноблочные оконные, шкафные кондиционеры, сплит-системы.

Неавтономные СКВ не имеют встроенных агрегатов, являющихся источниками тепла и холода. К этим СКВ от других источников тепло- и холодоснабжения подаются холодные или горячие агенты (вода, фреоны).

Центральные СКВ представляют собой неавтономные кондиционеры, в которых производится подготовка воздуха с последующим его распределением по помещениям с помощью воздуховодов. Располагаются они вне обслуживаемых помещений. Современные центральные кондиционеры выпускаются в секционном исполнении из унифицированных типовых модулей.

Местные СКВ выпускаются на базе автономных и неавтономных кондиционеров и устанавливаются в обслуживаемом помещении.

Однозональные СКВ применяются для обслуживания одного помещения с равномерным распределением тепло- и влаговыделений, например, выставочных залов, кинотеатров и пр.

Многозональные СКВ применяются для обслуживания нескольких помещений или помещения с неравномерным распределением тепло- и влаговыделений.

Бытовые кондиционеры предназначены для установки в жилых домах, офисах и на аналогичных объектах. Особенностью бытовых кондиционеров является питание от однофазной сети и потребляемая мощность не более 3 кВт. Это та мощность, которую допускается потреблять от стандартных электрических розеток, устанавливаемых в жилых и административных помещениях. Как следствие этого, холодо- и теплопроизводительность бытовых кондиционеров не превышает 7 кВт.

Полупромышленные кондиционеры имеют холодопроизводительность от 5 до 300 кВт. Напряжение питания трехфазное. Для моделей с холодопроизводительностью до 10 кВт напряжение питания может быть однофазным.

Промышленные кондиционеры имеют производительность более 30 кВт и предназначаются для установки в производственных и аналогичных помещениях.

1.2. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

Атмосферный воздух представляет собой смесь различных газов и водяного пара. С технической точки зрения смесь этих газов (без водяного пара) допустимо называть «сухой воздух», а атмосферный воздух представлять как смесь сухого воздуха и водяного пара. Количество водяного пара, содержащееся в воздухе, может быть выражено различными способами. В частности, количество влаги можно выразить через:

- упругость, или парциальное давление паров воды;
- абсолютную влажность;
- относительную влажность, или гигрометрический показатель.

Давление атмосферного воздуха ($P_б$) представляет собой сумму парциальных давлений сухого воздуха $P_с$ и водяного пара $P_п$ (закон Дальтона):

$$P_б = P_с + P_п, \qquad (1.2.1)$$

Парциальное давление измеряется в Паскалях или миллибарах, 1 мбар = 100 Па.

Если газы могут смешиваться в любых количествах, то воздух может вместить лишь определенное количество водяных паров, потому что парциальное давление паров воды $P_п$ в смеси не может быть больше парциального давления насыщения $P_н$ этих паров при данной температуре. Существование предельного парциального давления насыщения проявляется в том, что все избыточные пары воды сверх этого количества будут конденсироваться. При этом влага может выпадать в виде капель воды, кристаллов льда, тумана или изморози. Наименьшее содержание влаги в воздухе может быть доведено до нуля (при низких температурах), а наибольшее – примерно 3 % по массе или 4 % по объему.

Абсолютная влажность (*D*) – количество пара (кг), содержащееся в одном кубическом метре влажного воздуха:

$$D = \frac{M_п}{L}, \qquad (1.2.2)$$

где $M_п$ – масса пара, кг;

L – объем влажного воздуха, м³.

При изменении температуры влажного воздуха при постоянном давлении изменяется его объем и величина абсолютной влажности и, наоборот, при одной и той же величине абсолютной влажности могут быть разные температура и относительная влажность. Так, абсолютная влажность 4,1 г/м³ может быть у влажного воздуха с температурой 11 °С и относительной влажностью 60 %, а также при температуре 22 °С и относительной влажности 30 %.

Поэтому для практических расчетов за единицу измерения, характеризующую содержание пара во влажном воздухе, принимается влагосодержание.

Влагосодержание влажного воздуха (d) – количество пара, содержащееся в объеме влажного воздуха, состоящего из 1 кг сухого воздуха и $M_п$ г пара:

$$d = \frac{M_п}{M_с} \cdot 1000 \quad \text{или} \quad d = 622\frac{P_п}{P_б - P_п}, \qquad (1.2.3)$$

где $M_с$ – масса сухой части влажного воздуха, кг.

Относительной влажностью (φ'), или степенью влажности, или гигрометрическим показателем, называют отношение парциального давления паров воды к парциальному давлению насыщенных паров, выраженное в процентах:

$$\varphi' = \frac{P_п}{P_н} \cdot 100\ \%. \qquad (1.2.4)$$

Для практических расчетов используют соотношение:

$$\varphi = \frac{d}{d_н} \cdot 100\ \%, \text{ но } \varphi' \neq \varphi, \qquad (1.2.5)$$

где $d_н$ – влагосодержание насыщенного пара.

Относительную влажность можно определить, измеряя интенсивность испарения воды. Естественно, чем ниже влажность, тем активнее будет идти испарение влаги. Если термометр обмотать влажной тканью, то показания термометра будут уменьшаться относительно сухого термометра. Разность показаний температур сухого и влажного термометров дают определенное значение степени влажности атмосферного воздуха.

Расчет влажности производится по приближенной формуле Струнга (Strung):

$$P_{ωп} = P_{п\,вл} - K(t_с - t_{вл}), \qquad (1.2.6)$$

где $P_{ωп}$ – парциальное давление паров воды, мбар;

$P_{п\,вл}$ – парциальное давление паров воды для температуры по влажному термометру, мбар;

K – константа для пары «вода – воздух», равная 0,66;

$t_с$ – температура по сухому термометру, °С;

$t_{вл}$ – температура по влажному термометру, °С.

Значение относительной влажности может быть также определено по психрометрической номограмме или психрометрической таблице.

Измерение парциальных давлений на практике связано с техническими трудностями, поэтому пользуются соотношением (1.2.5). При этом следует помнить, что φ ≠ φ', хотя их разность незначительна. Например, если температура воздуха в помещении 18 °С и влагосодержание d = 18 г/кг, парциальное давление $P_{ωп}$ = 9,65 мм рт. ст., то относительная влажность равна:

$$\varphi' = \frac{P_п}{P_н} \cdot 100 = \frac{9,65}{15,48} \cdot 100 = 62,34\ \%,$$

а по уравнению (1.2.5):

$$\varphi = \frac{d}{d_н} \cdot 100 = \frac{8,0}{12,9} \cdot 100 = 62\ \%.$$

Плотность (объемный вес) (ρ) влажного воздуха – вес 1 м³ влажного воздуха – может быть определен по формуле:

$$\rho = 1,293 \frac{273}{T} \left(\frac{P_б}{760} - 0,378 \frac{P_п}{760}\right), \text{ кг/м}^3, \qquad (1.2.7)$$

где T – температура, К.

Объемный вес влажного воздуха меньше объемного веса сухого воздуха при тех же значениях температуры и давления. Однако их разность незначительна, и в практических расчетах объемный вес влажного воздуха принимается равным объемному весу сухого воздуха. Так, объемный вес насыщенного воздуха при t = 20 °С и $P_б$ = 101 кПа составляет 1,178 кг/м, а сухого воздуха при тех же условиях – 1,205 кг/м.

Удельная теплоемкость воздуха (*c*) – это количество тепла, необходимое для нагревания 1 кг воздуха на 1 К. Удельная теплоемкость сухого воздуха при постоянном давлении зависит от температуры, однако для практических расчетов систем СКВ удельную теплоемкость как сухого, так и влажного воздуха считают равной

$c_в$ = 1,006 кДж/(кг ·К) = 0,24 ккал/(кг·К) = 0,28 Вт/(кг·К). (1.2.8)

Удельную теплоемкость водяного пара принимают равной

$c_{вп}$ = 1,86 кДж/(кг·К) = 0,44 ккал/(кг·К) = 0,52 Вт/(кг·К).

Сухое или **явное тепло** – тепло, которое добавляется или отбирается из воздуха без изменения агрегатного состояния пара (изменяется только температура).

Скрытое тепло – тепло, идущее на изменение агрегатного состояния пара без изменения температуры (например, осушение).

Энтальпия (теплосодержание) влажного воздуха ($h_в$) – это количество тепла, которое содержится в объеме влажного воздуха, сухая часть которого весит 1 кг.

За начало отсчета энтальпий сухого и влажного воздуха принимаются энтальпии при 0 °С. Поэтому энтальпию влажного воздуха можно определить как количество теплоты, необходимое для нагревания от 0 °С до данной температуры такого количества воздуха, сухая часть которого равна 1 кг.

Энтальпия влажного воздуха ($h_в$) равна сумме энтальпий сухого воздуха ($h_с$) и пара ($h_п$):

$$h_в = m_с \cdot h_с + m_п \cdot h_п, \qquad (1.2.9)$$

где $m_с$ и $m_п$ – массы сухого воздуха и пара соответственно.

Отнеся обе части уравнения к массе сухого воздуха, получим

$$h_в' = \frac{h_в}{m_с} = h_с + \frac{m_п}{m_с} h_п = h_с + d \cdot h_п, \qquad (1.2.10)$$

где $d = \frac{m_п}{m_с}$ – влагосодержание влажного воздуха.

Энтальпия сухого воздуха равна:

$$h_с = c_с \cdot t_с, \text{ кДж/кг}, \qquad (1.2.11)$$

где $c_с$ – удельная теплоемкость сухого воздуха, кДж/(кг·К);

$t_с$ – температура, °С.

В диапазоне температур комфортного кондиционирования можно принять $c_с$ = 1 кДж/(кг·К).

Удельная энтальпия паров воды равна:

$$h_п = r_0 + c_п \cdot t, \text{ кДж/кг}, \qquad (1.2.12)$$

где r_0 – скрытая теплота образования паров воды при 0 °С, равная 2 500 кДж/кг;

$c_п$ – удельная теплоемкость паров воды, равная 1,86 кДж/(кг·К).

Подставив (1.2.11) и (1.2.12) в (1.2.10), получим:

$$h_в' = c \cdot t + (r_0 + c_п \cdot t) \cdot d. \qquad (1.2.13)$$

Если d выразить в граммах, то окончательно получим:

$$h_в' = c \cdot t + (r_0 + c_п \cdot t) \cdot d. \qquad (1.2.14)$$

Если в воздухе есть вода в жидком или кристаллическом состоянии, то это нужно учитывать. Для справки: удельная теплоемкость воды – c_w = 4,19 кДж/(кг·К), а льда – 2,05 кДж/(кг·К), теплота льдообразования воды – 332 кДж/(кг·К).

Тепло- и холодопроизводительность СКВ можно определить по формуле:

$$Q = m \cdot (h_{в2} - h_{в1}), \text{ кДж/ч}, \qquad (1.2.15)$$

где m – массовый расход воздуха, кг/ч;

$h_{в1}$, $h_{в2}$ – начальная и конечная энтальпии воздуха.

При нагревании или охлаждении влажного воздуха происходит изменение его температуры и энтальпии, но сохраняется влагосодержание. Относительная влажность при этом изменяется, так как изменяется влагоемкость воздуха.

Если влажный воздух охлаждать при неизменном влагосодержании, то будет снижаться энтальпия и температура, а относительная влажность будет увеличиваться. Наступит момент, когда воздух станет насыщенным и его относительная влажность будет равна 100 %. При дальнейшем охлаждении воздуха начнется испарение из него влаги в виде росы – конденсация пара. Эта температура называется точкой росы. Точка росы для различных температур сухого воздуха и относительной влажности приведена в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.1. Таблица точки росы влажного воздуха

t, °C	Относительная влажность, %										
	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	Точка росы, °C										
+0	-9,2	-8,2	-6,5	-5,7	-4,9	-3,7	-3,0	-2,2	-1,5	-0,6	+0
+2	-7,1	-5,7	-4,8	-3,7	-2,5	-1,9	-0,9	+0	+0,9	+1,5	+2
+4	-5,3	-4,1	-2,9	-1,9	-0,9	+0	+0,9	+1,8	+2,4	+3,2	+4
+6	-3,7	-2,2	-1,3	+0	+0,9	+1,8	+2,9	+3,8	+4,5	+5,1	+6
+8	-1,9	+0,5	+0,6	+1,8	+2,7	+3,8	+4,5	+5,5	+6,4	+7,2	+8
+10	+0	+1,5	+2,5	+3,7	+4,5	+5,8	+6,8	+7,6	+8,5	+9,2	+10
+12	+2	+3,2	+4,3	+5,5	+6,8	+7,8	+8,5	+9,6	+10,5	+11,3	+12
+14	+3,7	+4,8	+6,2	+7,4	+8,5	+9,6	+10,5	+11,4	+12,3	+13,1	+14
+16	+5,6	+7	+8,3	+9,4	+10,5	+11,6	+12,6	+13,5	+14,4	+15,2	+16
+18	+7,4	+8,9	+10	+11,3	+12,4	+13,5	+14,6	+15,5	+16,5	+17,2	+18
+20	+9,2	+10,5	+11,9	+13,1	+14,4	+15,5	+16,5	+17,4	+18,3	+19,2	+20

Точка росы является пределом возможного охлаждения влажного воздуха при неизменном влагосодержании. Для определения точки росы необходимо найти такую температуру, при которой влагосодержание воздуха d будет равно его влагоемкости $d_н$.

Количество конденсата $W_к$, выпавшего из воздуха при работе СКВ, составит:

$$W_к = m\cdot(d_к - d_н)\cdot\frac{1}{1000}, \text{ кг/ч}, \qquad (1.2.16)$$

где $d_к$, $d_н$ – конечное и начальное влагосодержание воздуха, г/кг;

m – массовый расход воздуха, кг/ч.

Основные физические свойства воздуха при различных температурах приведены в приложении 2.

1.3. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Необходимый воздухообмен в помещении может быть определен по нормативным требованиям содержания тепла, влаги и газов в помещении.

Методика точного расчета необходимого воздухообмена дана в СНиП 2.04.05-91*. Ниже приведем основные соотношения, позволяющие произвести расчеты с достаточной степенью точности для практической деятельности.

Расчет параметров двух смешиваемых потоков воздуха

Если воздух объемом L_1 с параметрами t_1, d_1, h_1 смешивать с воздухом объемом L_2 и параметрами t_2, d_2, h_2, то параметры воздушной смеси можно определить по следующим формулам:

$$h_{см} = \frac{L_1 h_1 + L_2 h_2}{L_1 + L_2}, \qquad (1.3.1)$$

$$d_{см} = \frac{L_1 d_1 + L_2 d_2}{L_1 + L_2}, \qquad (1.3.2)$$

$$t_{см} = \frac{L_1 t_1 + L_2 t_2}{L_1 + L_2}, \qquad (1.3.3)$$

Расчет воздухообмена по теплопритокам

Чтобы убрать теплопритоки, выделяемые в помещении, потребуется подача приточной вентиляцией воздуха в количестве

$$L_{вл} = \frac{Q_{изб}}{\rho c (t_{пом} - t_{пр})}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (1.3.4)$$

где $Q_{изб}$ – избыточные теплопритоки в помещении, кДж/ч;

$t_{пом}$ – температура в помещении, °С;

$t_{пр}$ – температура приточного воздуха, °С;

c – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·К);

ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³.

Расчет воздухообмена по влаговыделениям

Если в помещении выделяется влага W (г/ч), а исходная влажность в помещении d, то чтобы удалить выделяемую влагу (сохранить постоянную влажность), необходимо продувать помещение приточным воздухом с влажностью $d_{пр}$ объемом:

$$L_{вл} = \frac{W}{\rho (d - d_{пр})}, \text{ м}^3/\text{ч}. \qquad (1.3.5)$$

Если в помещении выделяются газы и удаление их осуществляется продувкой свежего воздуха, то необходимое количество воздуха определяется по формуле:

$$L_г = \frac{G}{q_{пд} - q_{пр}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \qquad (1.3.6)$$

где G – газовыделение в помещении, л/ч;

$q_{пд}$ – предельно допустимое содержание газа в удаляемом воздухе, л/м³;

$q_{пр}$ – содержание газа в приточном воздухе, л/м³.

Чтобы сохранить в помещении заданную температуру и влажность, необходимо выполнить условие:

$$\frac{W}{d - d_{пр}} = \frac{Q_{изб}}{c(t - t_{пр})}. \qquad (1.3.7)$$

Таким образом, зная величины теплопритока в помещении $Q_{изб}$ и количество выделяемой влаги W, изменяя параметры приточного воздуха $d_{пр}$ и $t_{пр}$, можно обеспечить стабильные параметры воздуха в помещении. Это уравнение теплосодержания влажного воздуха является основным при расчете систем вентиляции.

1.4. *d-h* ДИАГРАММА ВЛАЖНОГО ВОЗДУХА

1.4.1. ПОСТРОЕНИЕ ПРОЦЕССОВ НА *d-h* ДИАГРАММЕ

Для облегчения расчетов уравнение теплосодержания влажного воздуха (1.2.14) представляют в виде графика, получившего название *I-d* диаграмма (в соответствии с Государственным стандартом Украины ДСТУ 3651.1-97 – «*d-h* диаграмма»).

В 1918 г. профессор Петербургского университета Рамзин Л. К. предложил *I-d* диаграмму, на которой однозначно отражается связь между параметрами влажного воздуха t, d, h, φ при определенном атмосферном давлении $P_б$.

При помощи *d-h* диаграммы графическим методом просто решаются задачи, решение которых аналитическим путем требует хотя простых, но кропотливых вычислений.

В технической литературе встречаются различные интерпретации этой диаграммы, которые имеют незначительные отличия от *d-h* диаграммы Рамзина. Это, например, диаграмма Молье (Mollier), диаграмма

IBIK

Кэриер (Carrier), опубликованная Американским обществом по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха (ASHRAE), диаграмма Французской Ассоциации инженеров в области искусственного климата, вентиляции и холода (AICVF). Последняя диаграмма очень точная, выполнена трехцветной печатью.

Однако в нашей стране была распространена и применяется в настоящее время, как правило, диаграмма Рамзина. Она имеется во многих учебниках, ее используют проектные организации. Поэтому и нами она взята за основу (рис. 1.4.1). Диаграмма Рамзина построена в косоугольной системе координат. По оси ординат откладываются значения энтальпии h, а по оси абсцисс, расположенной под углом 135° к оси ординат, откладывается влагосодержание d. Начало координат (точка 0) соответствует значениям $h = d = 0$. Ниже точки 0 откладываются отрицательные значения энтальпии, выше – положительные. На полученной таким образом сетке строятся линии изотерм $t = \text{const}$, линии постоянных относительных влажностей $\varphi = \text{const}$, парциального давления водяного пара и влагосодержания.

Нижняя кривая $\varphi = 100$ % характеризует насыщенное состояние воздуха и называется ***пограничной кривой***. При повышении барометрического давления линия насыщения смещается вверх, а при понижении давления – вниз. В приложении 2 приведены климатические данные для различных районов. Так, при проведении расчетов для СКВ, расположенных в районе г. Киева, необходимо пользоваться диаграммой с барометрическим давлением $P_б = 99$ кПа (745 мм рт. ст.).

На d-h диаграмме область, расположенная выше пограничной кривой ($\varphi = 100$ %), является ***областью ненасыщенного пара***, а область ниже пограничной кривой – ***перенасыщенного влажного воздуха***. В этой области насыщенный воздух содержит влагу в жидкой или твердой фазе. Как правило, эта область не интересует проектировщиков СКВ, поэтому на d-h диаграмме ее не строят.

На d-h диаграмме каждая точка выше пограничной кривой отражает определенное состояние воздуха (температуру, влагосодержание, относительную влажность, энтальпию, парциальное давление водяного пара). Если воздух подвергается термодинамическому процессу, то переход его из одного состояния (точка A) в другое (точка B) соответствует на d-h диаграмме линии AB (рис. 1.4.2). В общем случае – это кривая линия. Если нас интересуют начальные и конечные состояния воздуха, а промежуточные не имеют значения, то линию процесса можно представить прямой линией, соединяющей точки начального и конечного состояний воздуха.

IBIK

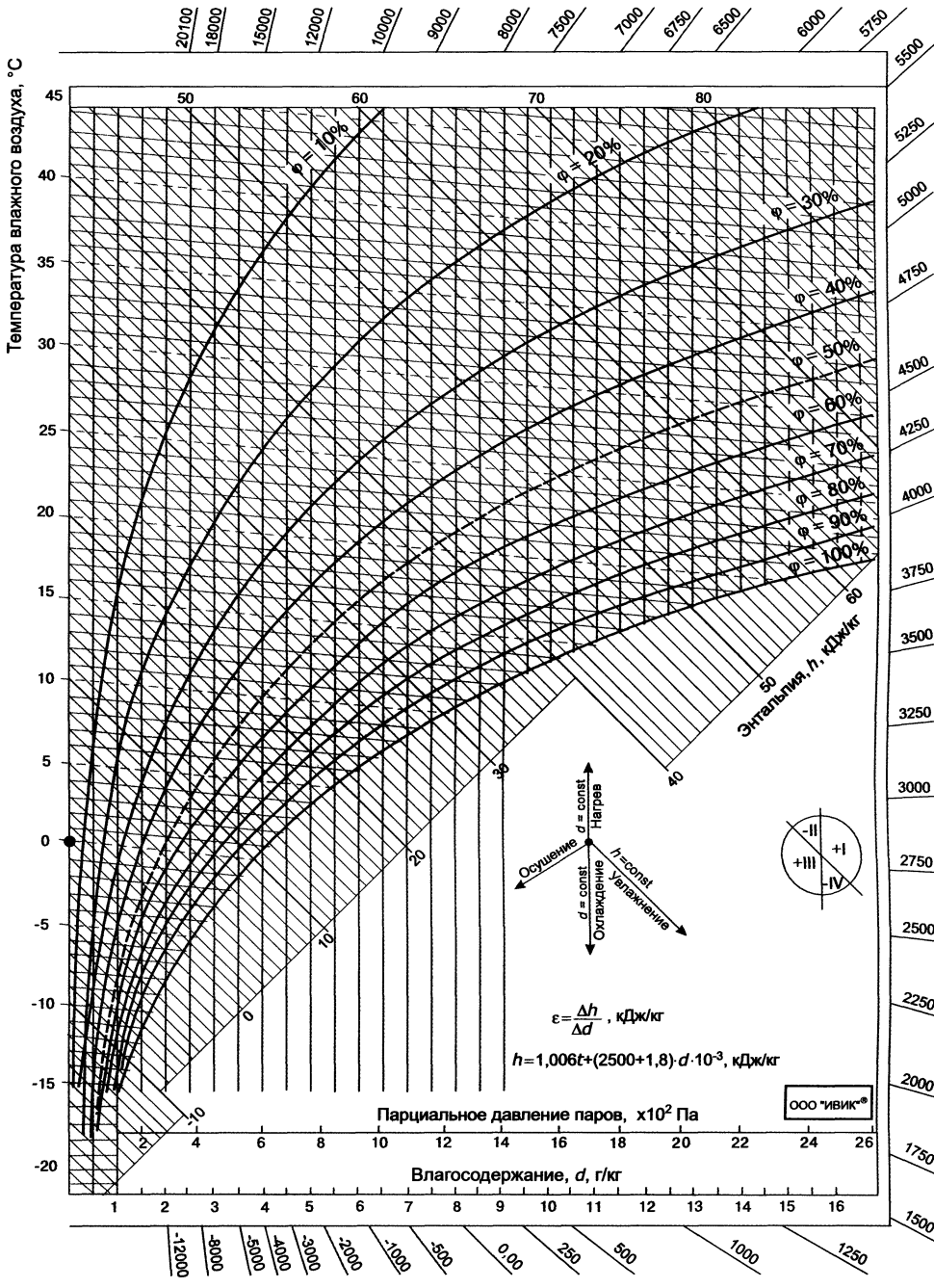


Рис. 1.4.1. *d-h* диаграмма влажного воздуха для барометрического давления 99 кПа (745 мм. рт. ст.)

Процесс нагревания воздуха

При нагревании воздуха линия термодинамического процесса проходит по прямой *AB* (рис. 1.4.2) с постоянным влагосодержанием (d = const). Температура воздуха и энтальпия увеличиваются, а относительная влажность уменьшается. Расход тепла на нагрев воздуха равен разности энтальпий конечного и начального состояний воздуха.

Процесс охлаждения воздуха

Процесс охлаждения воздуха на *d-h* диаграмме отражается прямой, направленной вертикально вниз (прямая *AC*, рис. 1.4.2). Расчет производится аналогично процессу нагревания. Однако если линия охлаждения идет ниже линии насыщения, то процесс охлаждения пойдет по прямой *AC* и далее по линии φ = 100 % от точки C_1 до точки C_2.

Процесс осушения влажного воздуха

Осушение влажного воздуха абсорбентами без изменения теплосодержания (без отвода и подвода тепла) происходит по прямой h=const, то есть по прямой *AD*, направленной вверх и влево. При этом влагосодержание и относительная влажность снижаются, а температура воздуха возрастает, так как в процессе абсорбции происходит конденсация пара на поверхности абсорбента, и освобожденная скрытая теплота пара переходит в тепло явное. Пределом этого процесса является точка пересечения прямой h=const с ординатой d = 0 (точка D_1). Воздух в этой точке полностью освобожден от влаги.

Адиабатическое увлажнение и охлаждение воздуха

Адиабатическое увлажнение и охлаждение (без теплообмена с внешней средой) на *d-h* диаграмме от исходного состояния (точка *A*) отражается прямой, направленной вниз по h = const (точка *R*, рис. 1.4.2). Процесс происходит при контакте воздуха с водой, постоянно циркулирующей в оборотном цикле. Температура воздуха при этом падает, влагосодержание и относительная влажность возрастают. Пределом процесса является точка *K* на кривой φ = 100 %, которая является температурой влажного термометра. Одновременно эту же температуру приобретает циркулирующая вода. Однако в реальных СКВ при адиабатических процессах охлаждения и увлажнения воздуха точка φ = 100 % несколько не достигается.

Смешение воздуха с различными параметрами

Если требуется смешать G_x кг воздуха с параметрами t_x, d_x, h_x и G_y кг воздуха с параметрами t_y, d_y, h_y, то аналитически параметры смешанного воздуха могут быть получены по формулам (1.3.1), (1.3.2) и (1.3.3).

На *d-h* диаграмме параметры смешанного воздуха можно получить следующим образом.

Соединяем точки *X* и *Y* прямой. Параметры смешанного воздуха лежат на этой прямой, и точка *Z* делит ее на отрезки, обратно пропорцио-

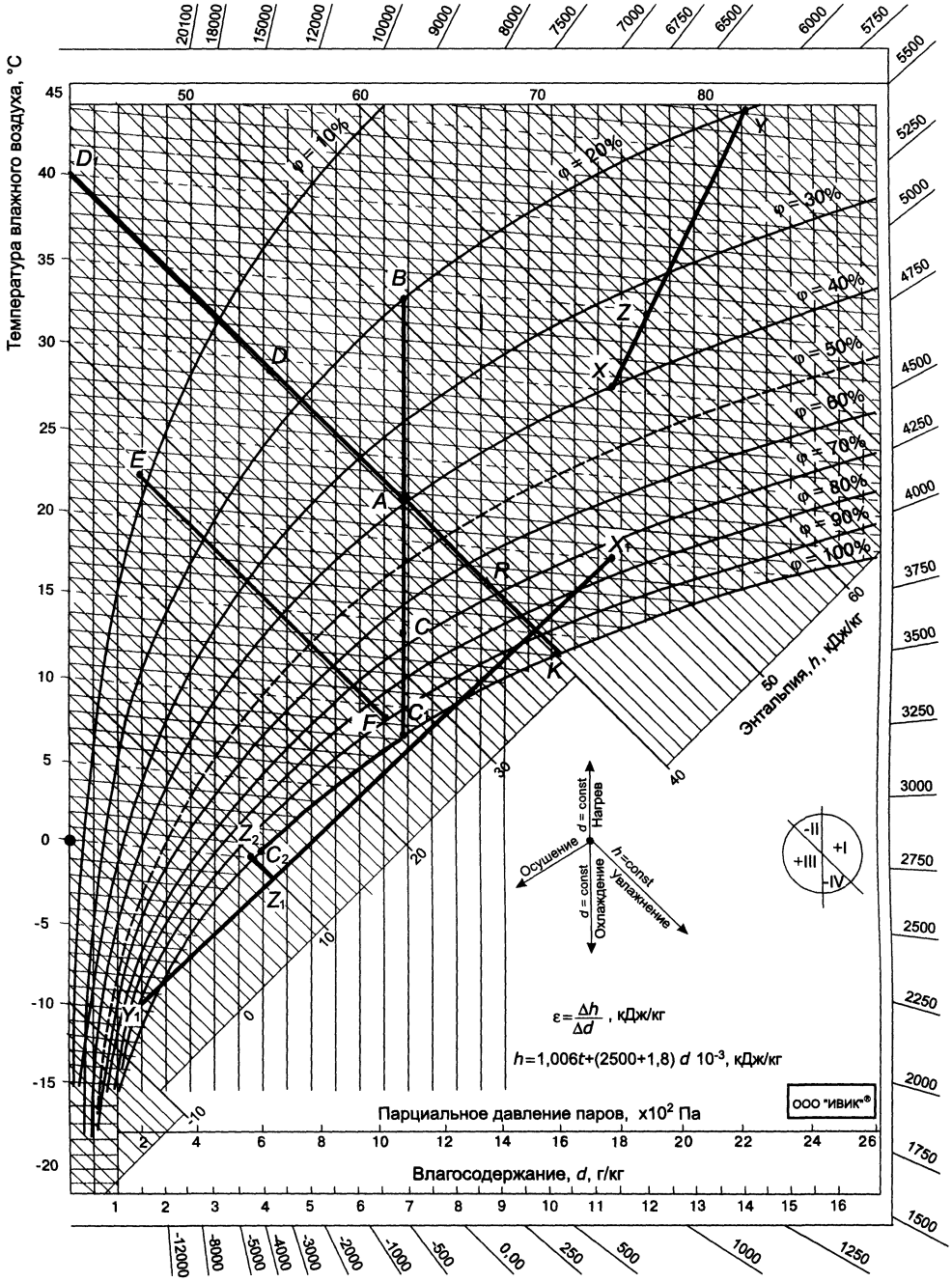


Рис. 1.4.2. Построение процессов на *d-h* диаграмме

нальные массе воздуха каждой из составных частей. Если обозначить пропорцию смеси $n = G_x/G_y$, то, чтобы на прямой XY найти точку Z, необходимо прямую XY разделить на количество частей $n + 1$ и от точки X отложить отрезок, равный одной части. Точка смеси всегда будет ближе к параметрам того воздуха, сухая часть которого имеет большую массу.

При смешивании двух объемов ненасыщенного воздуха с состояниями, соответствующими точкам X_1 и Y_1, может случиться, что прямая X_1Y_1 пересечет кривую насыщения $\varphi = 100$ % и точка Z_1 окажется в области туманообразования. Такое положение точки смеси Z_1 показывает, что в результате смешения будет происходить выпадение влаги из воздуха. Точка смеси Z_1 при этом перейдет в более устойчивое состояние на кривую насыщения $\varphi = 100$ % в точку Z_2. При этом на каждый килограмм смеси выпадает $d_{z2} - d_{z1}$ г влаги.

Угловой коэффициент на *d-h* диаграмме

Изменения состояния влажного воздуха на *d-h* диаграмме можно разделить на 4 характерных сектора (рис. 1.4.2).

Сектор I – процессы, в которых происходит повышение влагосодержания и увлажнение воздуха при контакте воздуха с водой при температуре воды выше температуры влажного термометра.

Сектор II – процессы осушения воздуха с повышением его теплосодержания. Такие процессы возможны при применении химических поглотителей влаги с одновременным подогревом воздуха и встречаются на практике крайне редко.

Сектор III – процессы с уменьшением тепло- и влагосодержания воздуха. Их можно осуществлять при контакте воздуха с водой, если ее температура ниже точки росы.

Сектор IV – процессы понижения теплосодержания воздуха с одновременным увлажнением.

Отношение

$$\varepsilon = \frac{h_2 - h_1}{d_2 - d_1} = \frac{\Delta h}{\Delta d} \qquad (1.4.1)$$

однозначно определяет характер процесса изменения влажного воздуха. Причем значения величин Δh и Δd могут иметь знак «+»или «–» либо они могут быть равны нулю.

Величина ε называется тепловлажностным отношением процесса изменения влажного воздуха, а при изображении процесса лучом на *d-h* диаграмме – ***угловым коэффициентом***:

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{\Delta d} \cdot 1000 = \pm \frac{Q_{изб}}{M_в}. \qquad (1.4.2)$$

Таким образом, угловой коэффициент равен отношению избытков тепла к массе выделившейся влаги. Угловой коэффициент изображается отрезками лучей на рамке поля *d-h* диаграммы (рис. 1.4.3).

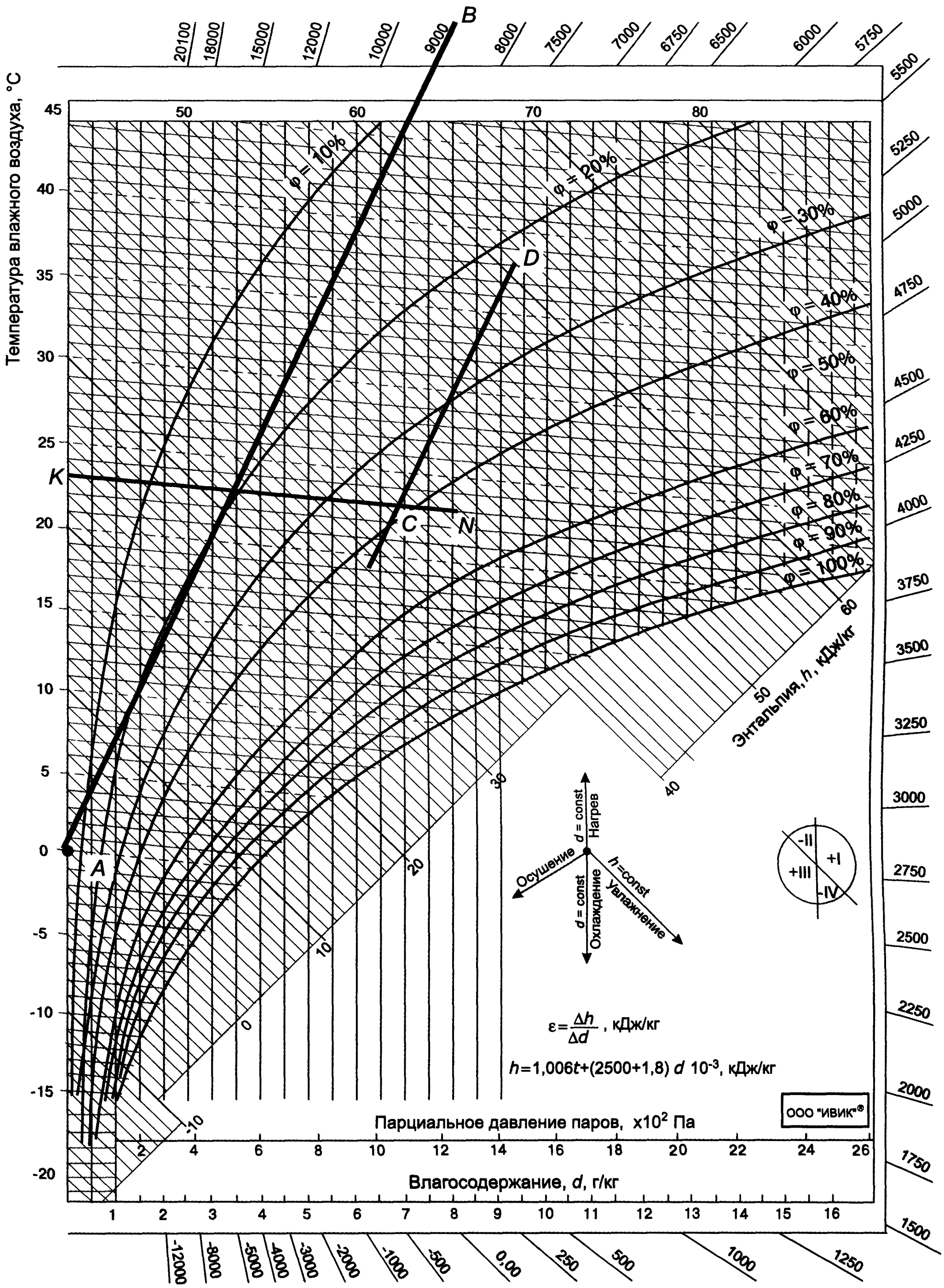


Рис. 1.4.3. Угловой коэффициент на *d-h* диаграмме:
AB – линия углового коэффициента;
KN – температура в помещении;
CD – процесс в помещении

1.4.2. ТЕПЛО- И ВЛАГООБМЕН В ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ

В СКВ используются различные устройства, в которых воздух обрабатывается непосредственным контактом с водой. К таким устройствам относятся оросительные форсуночные камеры и орошаемые насадки. Они позволяют изменять параметры воздуха в широком диапазоне. При непосредственном контакте воздуха с каплями разбрызгиваемой воды или смоченной поверхностью различных насадок изменение состояния воздуха зависит от температуры воды.

Если температура воды ниже температуры воздуха по влажному термометру, но выше температуры точки росы, то температура воздуха, приходящего в соприкосновение с водой, будет понижаться. При этом вследствие испарения влаги влагосодержание воздуха будет увеличиваться, а энтальпия – уменьшаться.

Уменьшение энтальпии объясняется тем, что количество скрытого тепла, поступающего в воздух с водяными парами, будет меньше, чем количество явного тепла, отданного воздухом при контакте с водой на повышение температуры неиспарившейся воды.

Если температура воды ниже температуры точки росы охлаждаемого воздуха, то воздух будет охлаждаться и осушаться.

Если температура воды равна температуре точки росы воздуха, не насыщенного водяными парами, будет происходить охлаждение без влагообмена, то есть без выпадания конденсата или увлажнения воздуха. Это связано с тем, что парциальные давления водяных паров в воздухе и в пограничном слое над поверхностью воды одинаковы. На d-h диаграмме такой процесс обработки воздуха изображается прямой, направленной по линии $d = \text{const}$.

Если обрабатывать воздух рециркуляционной водой без охлаждения и подогрева, то вода со временем приобретет температуру, равную температуре влажного термометра, так как тепло, отданное воздухом, полностью пойдет на испарение воды. Пары воды, поступающие в воздух, возвращают ему это тепло, но только в скрытом виде. Процесс обработки воздуха идет по линии $h = \text{const}$.

Таким образом, воздух понижает температуру, отдавая явное тепло при контакте с водой, и увлажняется. Энтальпия воздуха в этих процессах остается практически неизменной, поэтому такие процессы тепловлагообмена называются изоэнтальпическими (адиабатическими).

В оросительных камерах при отсутствии теплообмена с окружающей средой должно быть равенство между количеством тепла, отданного воздухом, и количеством тепла, воспринятого водой:

$$G_в \cdot (h_н - h_к) = W \cdot c(t_{ωк} - t_{ωн}), \qquad (1.4.3)$$

где $G_в$ – количество воздуха, проходящее через оросительную камеру, кг/ч;

$h_н$, $h_к$ – начальная и конечная энтальпия воздуха, кДж/кг;

W – расход воды, контактирующей с воздухом, кг/ч;

c – теплоемкость воды, 4,18 кДж/(кг · К);

$t_{wк}$, $t_{wн}$ – конечная и начальная температура воды, °С.

Разделив обе части уравнения (1.4.3) на $G_в$, получим:

$$h_н - h_к = \frac{W}{G_в}(t_{ωк} - t_{ωн}). \qquad (1.4.4)$$

Отношение $W/G_в$ называется коэффициентом орошения и показывает, какое количество воды, разбрызгиваемой в оросительной камере, приходится на 1 кг воздуха, проходящего через камеру.

В общем случае полное количество тепла $Q_п$, обмененного между воздухом и водой и отнесенного к 1 м² поверхности контакта в оросительных камерах, определяется как сумма явного $Q_я$ и скрытого тепла $Q_с$:

$$Q_п = Q_я + Q_с, \text{ кДж/(м}^2\text{·ч)}. \qquad (1.4.5)$$

Явный теплообмен осуществляется за счет конвекции, а скрытый – за счет поглощения воздухом или выделения из него влаги вследствие разности парциальных давлений. Теплота, переданная конвекцией от воды воздуху, равна:

$$Q_я = K_к\,(t_в - t_w), \text{ кДж/(м}^2\text{·ч)}. \qquad (1.4.6)$$

где $K_к$ – коэффициент конвекционного теплообмена, кДж/(м²·ч·°С);

$t_в$ – температура воздуха, °С;

t_w – температура поверхности воды, °С.

Если количество воздуха $L_в$ с параметрами $h_в$ и $d_в$ вступит в контакт с водяной поверхностью, имеющей температуру t_w, то затраченное количество тепла $Q_п$ и обмененной влаги W составят:

$$\begin{aligned} Q_п &= G_в\,(h_в - h_w), \\ W &= G_в\,(d_в - d_w), \end{aligned} \qquad (1.4.7)$$

откуда

$$\frac{Q_п}{W} = \frac{h_в - h_ω}{d_в - d_ω} = \frac{\Delta h}{\Delta d} = \varepsilon. \qquad (1.4.8)$$

Уравнение (1.4.8) в координатах d-h диаграммы влажного воздуха определяет угловой коэффициент ε прямой, проходящей через точку с параметрами $h_в$, $d_в$, характеризующую начальное состояние воздуха, и через точку h_w, d_w, характеризующую состояние воздуха при температуре водяной поверхности t_w и относительной влажности φ = 100 %.

Конечная температура воздуха в оросительной камере становится равной температуре воды, стекающей в поддон камеры $t_в = t_w$ (идеальный процесс).

Однако на практике получить равенство $t_в = t_w$ не удается, и конечное состояние определяется точкой, где φ < 100 %.

Отношение

$$E = \frac{t_н - t_к}{t_н - t_ω} \approx \frac{d_н - d_к}{d_н - d_ω} \approx \frac{h_н - h_к}{h_н - h_ω} \qquad (1.4.9)$$

называют коэффициентом эффективности процесса теплообмена.

1.5. ОСНОВНЫЕ КОМПОНОВОЧНЫЕ СХЕМЫ СКВ

1.5.1. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СКВ

При осуществлении процесса кондиционирования воздуха объектом регулирования является обслуживаемое помещение (ОП), в котором происходит изменение нормируемых параметров воздуха из-за влияния наружного воздуха и внутренних процессов. Задача СКВ – поддерживать нормируемые показатели.

Обобщенная структурная схема СКВ как объекта автоматизации показана на рис. 1.5.1. Входными параметрами являются наружный воздух, тепло-, влаго- и холодоносители, электроэнергия, а также часть рециркуляционного воздуха, возвращаемого в помещение.

Выходными параметрами являются температура в помещении $t_{пом}$, влагосодержание $d_{пом}$ и расход воздуха $G_{пом}$. Система кондиционирования включает следующие основные элементы:

- регуляторы расхода воздуха (заслонки, шиберы, жалюзи);
- камеры смешения (смешение различных потоков воздуха);
- фильтры (механическая и биологическая очистка воздуха);
- теплообменники (теплообмен различных сред: воздух–воздух, хладагент–воздух, жидкость–воздух и др.);
- оросительные камеры и увлажнители (контактный тепломассообмен);

IBIK

- вентиляционные сети (распределение и транспортировка воздуха).

Каждая конкретная система комплектуется, исходя из заданной технологии обработки приточного воздуха. Это могут быть простые вентиляционные системы или центральные кондиционеры в сочетании с автономными устройствами (калориферы, осушители, автономные кондиционеры), называемые «доводчиками». Они доводят воздух, идущий от центрального кондиционера, до параметров, требуемых по нормам конкретного помещения.

Наиболее насыщенными объектами по числу задач управления являются центральные кондиционеры. Поэтому этот тип кондиционеров целесообразно взять за основу при рассмотрении принципов построения систем автоматизации.

Центральные кондиционеры – это неавтономные кондиционеры, снабжаемые холодом и теплом извне.

Центральные кондиционеры можно разделить на 4 класса:

- прямоточные с постоянным расходом воздуха;
- прямоточные с переменным расходом воздуха;
- с рециркуляцией воздуха;
- с рекуперацией тепла.

Основными параметрами центральных кондиционеров являются:

- расход воздуха;
- давление, создаваемое вентилятором;
- тепло- и холодопроизводительность;
- степень фильтрации воздуха;
- эффективность утилизации тепла (при наличии теплоутилизатора);
- потребляемая электрическая мощность;
- уровень создаваемого шума;
- удельные массогабаритные характеристики.

Центральные кондиционеры располагаются вблизи обслуживаемых помещений: на крыше, на технических этажах, в подвалах.

Подвод и отвод воздуха в кондиционер и по помещениям производится по воздуховодам.

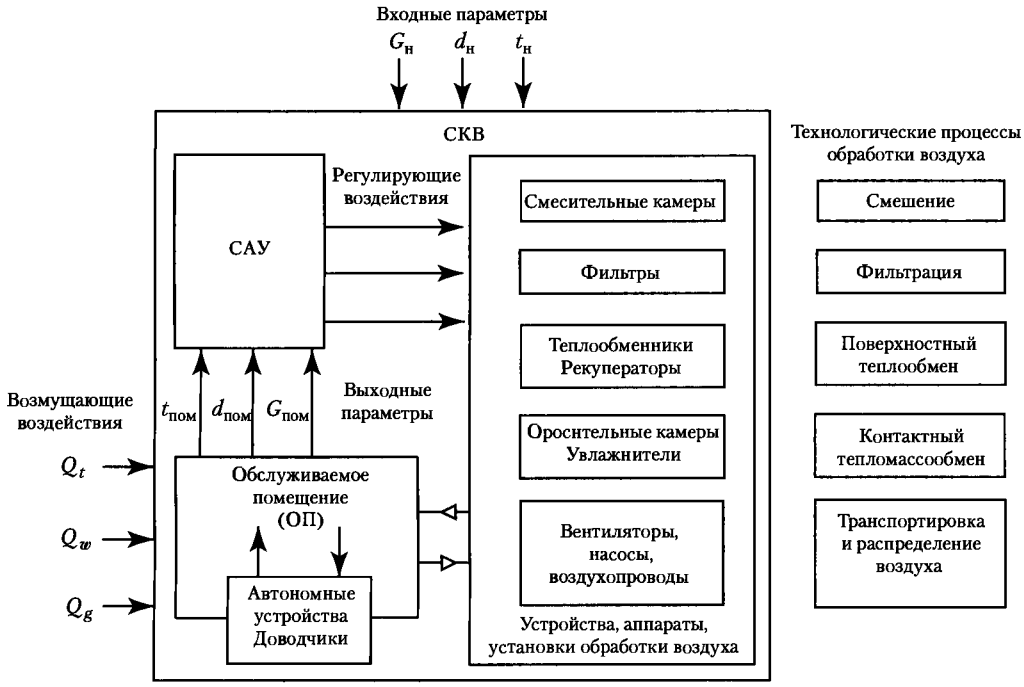


Рис. 1.5.1. Обобщенная структурная схема СКВ как объекта автоматизации:
$t_н$, $d_н$, $G_н$ – температура, влажность, расход наружного воздуха;
$t_{пом}$, $d_{пом}$, $G_{пом}$ – температура, влажность, расход воздуха в помещении;
Q_t, Q_w, Q_g – тепловое, влажностное и газовое воздействия

Прямоточные центральные кондиционеры состоят из приточной и вытяжной частей.

Приточная часть включает в себя воздушные заслонки, приточный фильтр, секции нагрева, охлаждения, увлажнения, вентиляторную секцию, шумоглушитель. Вытяжная часть состоит из вентилятора и воздушной заслонки. Воздушные заслонки выполняются многостворчатыми с параллельными лопатками и управляются сервоприводом синхронно: количество воздуха, поступившее в помещение, должно равняться количеству удаленного воздуха.

Недостатком прямоточных центральных кондиционеров является необходимость больших мощностей нагревательной и охлаждающей секций, а также подача воздуха одинаковой температуры во все помещения. Устранить этот недостаток позволяет использование прямоточной системы VAV (Variable Air Volume) с переменным расходом воздуха. В этом случае в каждом помещении устанавливают отдельные датчики температуры, которые управляют заслонками на входе и выходе воздуха.

Система VAV дает возможность поддерживать заданную температуру за счет изменения количества нагретого/охлажденного воздуха,

подаваемого в помещение. Это иногда не согласовывается с требованиями стандартов по расходу воздуха. Поэтому в центральных кондиционерах организовывают рециркуляцию воздуха (смешивание части удаляемого воздуха с приточным).

Кондиционеры, работающие с рециркуляцией воздуха, комплектуются смесительной камерой, позволяющей регулировать количество свежего и рециркуляционного воздуха, подаваемого в помещение. Рециркуляция воздуха позволяет сократить затраты на нагрев или охлаждение воздуха на 30–40 %. Однако такая схема применяется только там, где рециркуляция допустима по санитарным нормам или технологическим условиям.

Схемы с рекуперативными теплообменниками дают большую экономию, чем рециркуляция, при сохранении заданного объема свежего воздуха в притоке. Применяются схемы с перекрестными пластинчатыми теплообменниками или с вращающимися теплообменниками.

В пластинчатом перекрестном теплообменнике (рис. 1.5.2) потоки приточного и вытяжного воздуха полностью разделены. Поэтому эта схема может применяться без ограничений.

Рис. 1.5.2. Центральный кондиционер с пластинчатым теплообменником

1.5.2. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СКВ

Процесс подготовки воздуха перед подачей его в кондиционируемое помещение представляет собой совокупность технологических операций и называется технологией кондиционирования воздуха. Технология тепло- влажностной обработки кондиционируемого воздуха определяется начальными параметрами воздуха, подаваемого в кондиционер, и требуемыми (задаваемыми) параметрами воздуха в помещении.

Для выбора способов обработки воздуха строят *d-h* диаграмму, позволяющую при определенных исходных данных найти такую технологию, которая обеспечит получение заданных параметров воздуха в обслуживаемом помещении при минимальных расходах энергии, воды, воздуха и т. д. Такая схема обработки воздуха называется ***термодинамической моделью системы кондиционирования воздуха*** (ТДМ).

Параметры наружного воздуха, подаваемого в кондиционер для последующей обработки, изменяются в течение года и суток в большом диапазоне. Поэтому можно говорить о наружном воздухе как о многомерной функции $X_н = x_н(\tau)$. Соответственно совокупность параметров приточного воздуха есть многомерная функция $X_{пр} = x_{пр}(\tau)$, а в обслуживаемом помещении $X_{пом} = x_{пом}(\tau)$ (параметры в рабочей зоне).

Математически технологический процесс может быть представлен аналитическим или графическим описанием движения многомерной функции $X_н$ к $X_{пр}$ и далее к $X_{пом}$.

Отметим, что под переменным состоянием системы $x(\tau)$ понимаются обобщенные показатели системы в различных точках пространства и в различные моменты времени.

Термодинамическую модель движения функции $X_н$ к $X_{пом}$ строят на *d-h* диаграмме, а затем определяют алгоритм обработки воздуха, необходимое оборудование и способ автоматического регулирования параметров воздуха.

Построение ТДМ начинают с нанесения на *d-h* диаграмму состояния наружного воздуха данного географического пункта. Расчетная область возможных состояний наружного воздуха принимается по СНиП 2.04.05-91 (параметры Б).

Верхней границей является изотерма $t_л$ и изоэнтальпа $h_л$ (предельные параметры теплого периода года). Нижней границей является изотерма $t_{зм}$ и изоэнтальпа $h_{зм}$ (предельные параметры холодного и переходных периодов года). Предельные значения относительной влажности наружного воздуха принимаются по результатам метеорологических наблюдений. При отсутствии данных принимают диапазон от 20 % до 100 %.

Таким образом, многомерная функция возможных параметров наружного воздуха заключена в многоугольнике *abcdefg* (рис. 1.5.3).

Затем наносят на *d-h* диаграмму требуемое (расчетное) значение состояния воздуха в помещении или в рабочей зоне.

Это может быть точка (прецизионное кондиционирование) или рабочая зона $P_1P_2P_3P_4$ (комфортное кондиционирование).

Далее определяют угловой коэффициент изменения параметров воздуха в помещении ε и проводят линии процесса через граничные точки рабочей зоны. При отсутствии данных о тепловлажностном процессе в помещении ориентировочно можно принять (в кДж/кг):

- предприятия торговли и общественного питания 8 500–10 000
- зрительные залы 8 500–10 000
- квартиры 15 000–17 000
- офисные помещения 17 000–20 000

IBIK

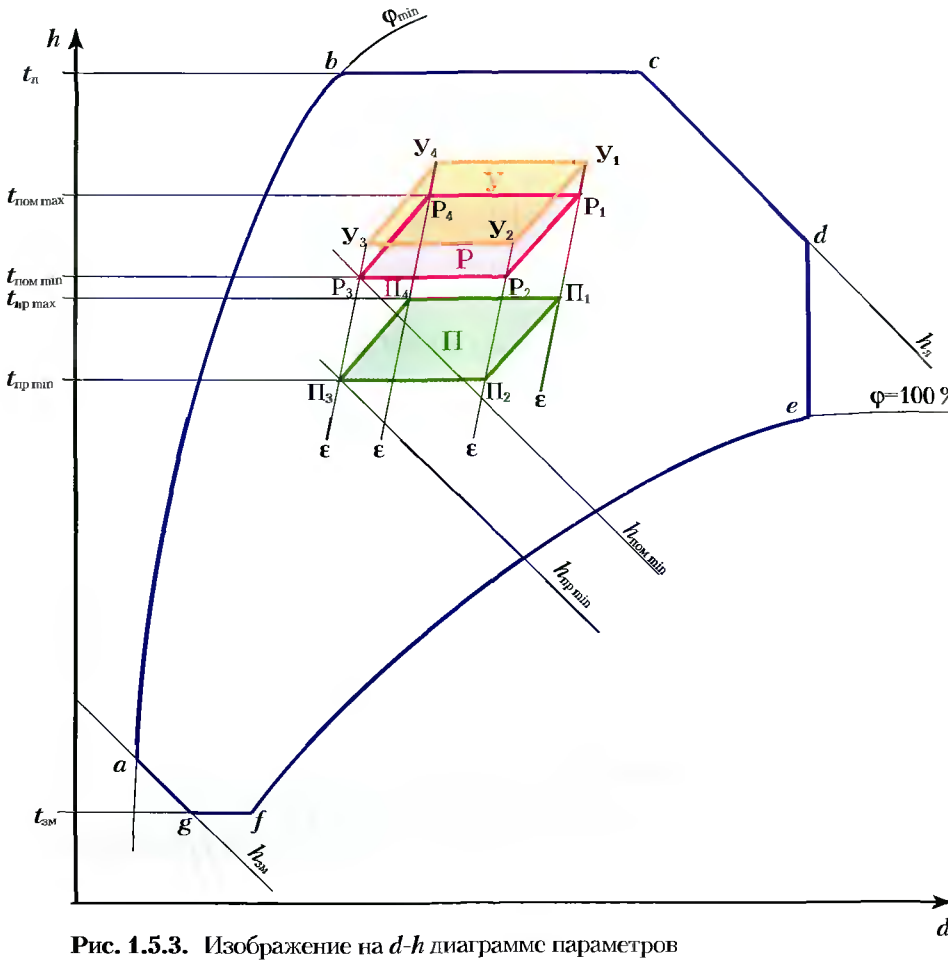


Рис. 1.5.3. Изображение на *d-h* диаграмме параметров воздуха при кондиционировании

После этого строят зону параметров приточного воздуха. Для этого на линиях ε, проведенных из граничных точек зоны $P_1P_2P_3P_4$, откладывают отрезки, соответствующие расчетному перепаду температур:

$$\Delta t = t_{пом} - t_{пр},$$

где $t_{пр}$ – расчетная температура приточного воздуха.

Решение задачи сводится к переводу параметров воздуха из многомерной функции $X_н$ к функции $X_{пом}$.

Величину Δt принимают по нормам или рассчитывают, исходя из параметров системы холодоснабжения. Например, при использовании в качестве холодоносителя воды (чиллера) конечная температура воды в камере орошения t_w составит:

$$t_w = t_2 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4,$$

где t_2 – температура воды на выходе чиллера, 5–7 °С;

Δt_2 – повышение температуры воды в трубопроводе от чиллера до водяного теплообменника кондиционера, 1 °С;

Δt_3 – нагрев воды в камере орошения, 2–3 °С;

Δt_4 – нагрев воды за счет коэффициента байпассирования, 1 °С.

Таким образом, температура воды, контактируемой с воздухом, будет t_w = 9–12 °С.

Практически влажность воздуха достигает величины не более φ = 95 %, что повышает t_w до 10–13 °С [6].

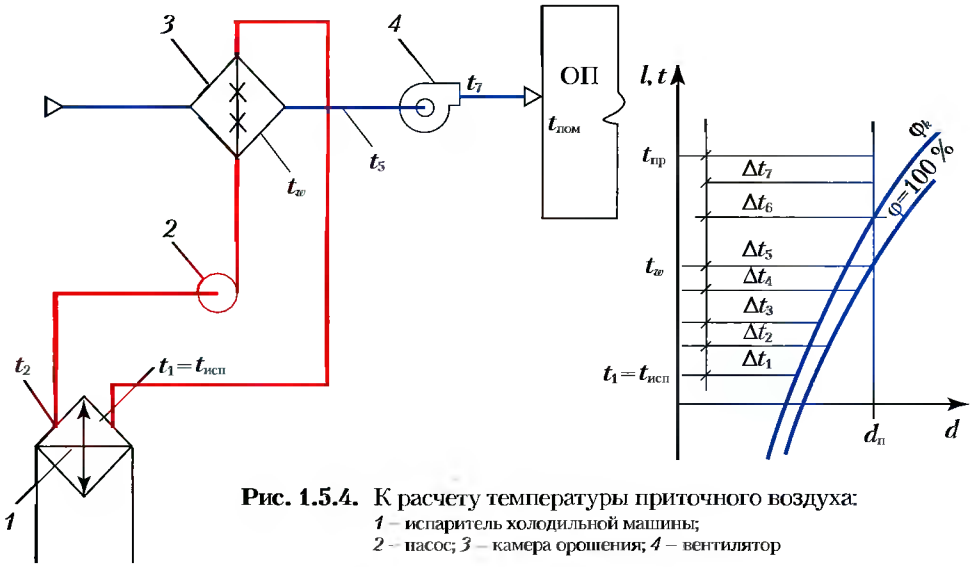


Рис. 1.5.4. К расчету температуры приточного воздуха:
1 – испаритель холодильной машины;
2 – насос; *3* – камера орошения; *4* – вентилятор

Температура приточного воздуха составит:

$$t_{пр} = t_w + \Delta t_5 + \Delta t_6 + \Delta t_7,$$

где Δt_5 – нагрев воздуха в воздуховоде;

Δt_6 – нагрев воздуха в вентиляторе, 1–2 °С;

Δt_7 – нагрев воздуха в приточном воздуховоде 1–2 °С.

Таким образом, температура приточного воздуха будет 12–17 °С.

Допустимый перепад температур удаляемого и приточного воздуха (Δt) для производственных помещений составляет 6–9 °С, торговых залов – 4–10 °С, а при высоте помещения более 3 м – 12–14 °С. В общем случае параметры удаляемого из помещения воздуха отличаются от параметров воздуха в рабочей зоне. Разница между ними зависит от способа подачи воздуха в помещение, высоты помещения, кратности воздухообмена и других факторов.

Зоны П, Р и У (приточная, рабочая, удаляемая) на *d-h* диаграмме имеют одинаковую форму и расположены вдоль линии ε на расстояниях, соответствующих разностям температур $\Delta t_1 = t_{пом} - t_{пр}$ и $\Delta t_2 = t_{уд} - t_{пом}$.

Соотношение между $t_{пр}$, $t_{пом}$ и $t_{уд}$ оценивается коэффициентом

$$m_t = \frac{t_{пом} - t_{пр}}{t_{уд} - t_{пр}} = \frac{h_{пом} - h_{пр}}{h_{уд} - h_{пр}}. \qquad (1.5.4)$$

Таким образом, процесс кондиционирования воздуха сводится к приведению множества параметров наружного воздуха (многоугольник *abcdef*) к множеству параметров приточного воздуха (многоугольник $П_1П_2П_3П_4$).

Техническая реализация этого преобразования может быть представлена различными структурными схемами СКВ: прямоточной, с рециркуляцией воздуха или рекуперацией тепла.

1.5.3. КАЧЕСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКВ

1.5.3.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРЯМОТОЧНЫХ СКВ

В технике кондиционирования применяют количественное и качественное регулирование. При количественном регулировании требуемое состояние воздуха достигается путем изменения расхода воздуха при постоянных его параметрах. Количественное регулирование применяется в многозональных системах, а в однозональных – качественное. Для получения оптимальных параметров СКВ могут использоваться оба указанные метода.

Поддержание температуры осуществляется по датчикам, располагаемым в обслуживаемом помещении. Влажность может регулироваться по влажности воздуха в помещении (прямое регулирование) или по температуре точки росы воздуха после камеры орошения (косвенное регулирование).

При регулировке влажности по температуре точки росы необходимо в линию обработки воздуха ставить два нагревателя ВН1 и ВН2 (рис. 1.5.5). Воздух нагревается, доводится в камере орошения ОК до параметров, близких к температуре точки росы приточного воздуха. Датчик температуры Т2, установленный после камеры орошения, регулирует мощность первого воздухонагревателя так, чтобы температура воздуха после камеры орошения (φ = 95 %) стабилизировалась в области точки росы.

Воздухонагреватель второго подогрева, установленный после камеры орошения, доводит до необходимой температуры приточный воздух.

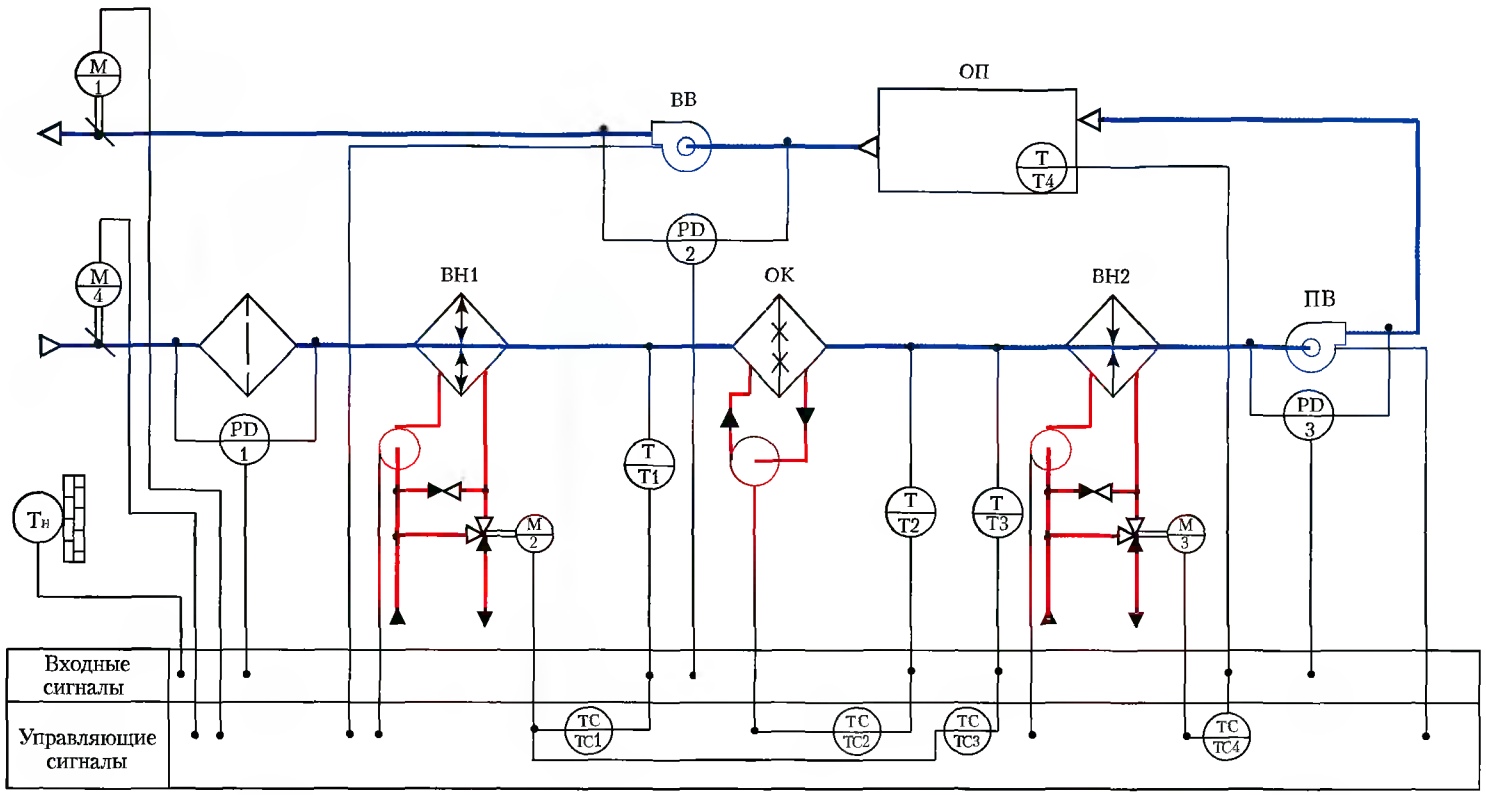


Рис. 1.5.5. Схема автоматизации прямоточной СКВ

Таким образом, косвенное регулирование влажности приточного воздуха осуществляется терморегуляторами без прямого измерения влажности.

При комбинированном регулировании влажности воздуха сочетают прямое и косвенное регулирование. Такой метод используется в системах кондиционирования, имеющих обводной канал вокруг камеры орошения, и называется методом оптимальных режимов.

На рис. 1.5.6 показана термодинамическая модель прямоточной системы кондиционирования. Синим цветом показаны годовые пределы изменения параметров наружного воздуха. Нижняя предельная точка наружного воздуха в холодный период обозначена $H_{зм}$, а для теплого – $H_л$. Множество состояний воздуха в рабочей зоне обозначено многоугольником $P_1P_2P_3P_4$ (зона Р), а множество допустимых состояний приточного воздуха – $П_1П_2П_3П_4$ (зона П).

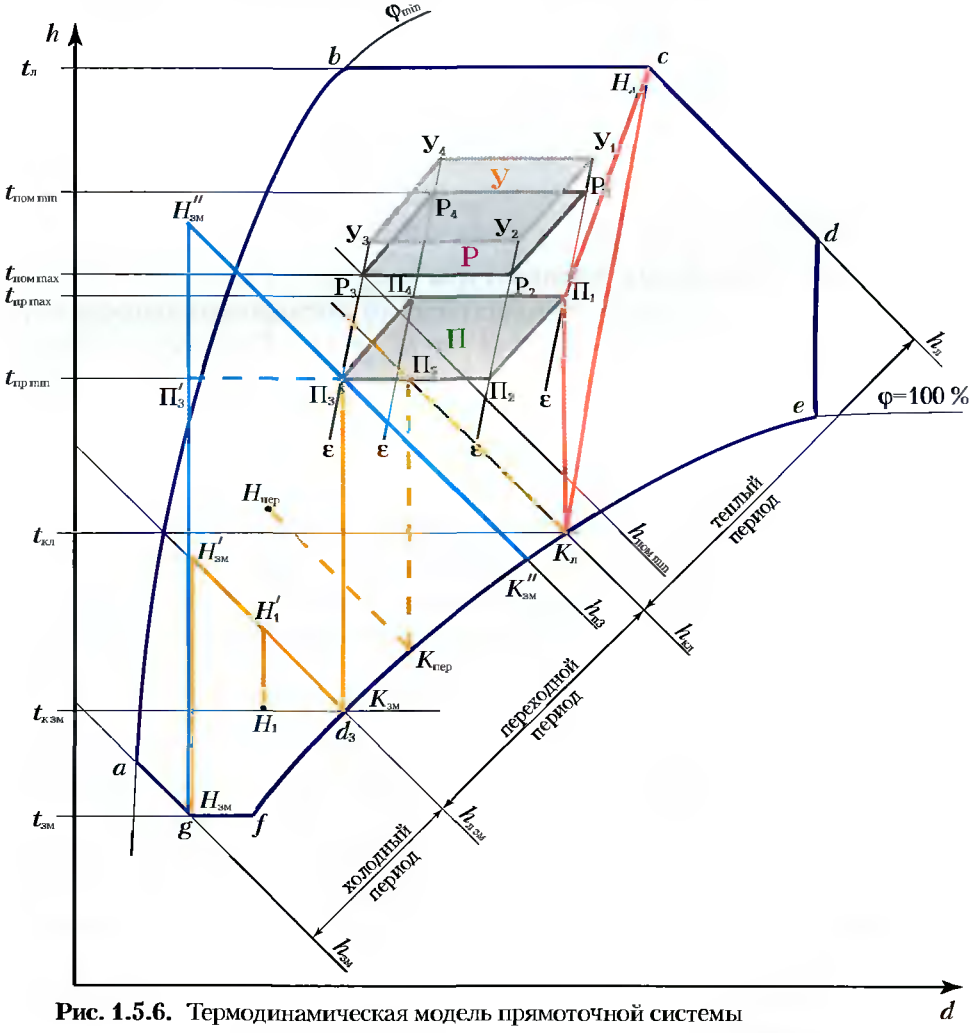


Рис. 1.5.6. Термодинамическая модель прямоточной системы кондиционирования воздуха

В холодный период наружный воздух с параметрами $H_{зм}$ необходимо довести до одной из точек множества П. Очевидно, что минимальные затраты (кратчайший путь) будут в том случае, если из множества П выбрать точку $П_3$.

В этом случае наружный воздух необходимо нагреть в подогревателе первого подогрева (ВН1, рис. 1.5.6) до точки $H'_{зм}$, увлажнить адиабатно по линии $H'_{зм} \rightarrow K_{зм}$ при $h_{к\,зм}$= const, а затем нагреть подогревателем второго подогрева ВН2 до температуры точки $П_3$ (процесс $H_{зм} \rightarrow H'_{зм} \rightarrow K_{зм} \rightarrow П_3$). При адиабатическом процессе увлажнения воздух увлажняется до 95–98 %. Точка $K_{зм}$, находящаяся на пересечении линии d_3 и кривой относительной влажности 95–98 %, есть точка росы приточного воздуха $П_3$.

Максимальная теплопроизводительность воздухонагревателя первого подогрева ВН1 должна быть

$$Q_{ВП1} = G \cdot (h_{к\,зм} - h_{зм}), \qquad (1.5.5)$$

а воздухонагревателя ВН2

$$Q_{ВП2} = G \cdot (h_{П3} - h_{к\,зм}), \qquad (1.5.6)$$

где G – расход воздуха, кг/ч

По мере повышения температуры наружного воздуха интенсивность нагрева ВН1 будет уменьшаться, но последовательность обработки воздуха сохранится ($H_1 \rightarrow H'_1 \rightarrow K_{зм} \rightarrow П_3$). При достижении наружным воздухом энтальпии $h_н > h_{кзм}$ необходимость подогревателя первого подогрева ВН1 отпадает. В этом случае наружный воздух нужно только увлажнить и подогреть в ВН2. Очевидно, что кратчайший путь обработки воздуха будет $H'_{зм} \rightarrow K_{зм} \rightarrow П_3$ или, например, $H_{пер} \rightarrow K_{пер} \rightarrow П_5$. При дальнейшем увеличении температуры наружного воздуха точка $П_5$ будет передвигаться по линии $П_3П_2П_1$ и достигнет точки $П_1$, которая сигнализирует о необходимости перехода на обработку воздуха по технологии теплого периода. Диапазон температур наружного воздуха в границах изменения энтальпии от $h_{к\,зм}$ до $h_{кл}$ есть переходной период.

Можно исключить второй подогрев за счет смешивания части нагретого наружного воздуха с увлажненным воздухом после камеры орошения (рис. 1.5.7).

В этом случае наружный воздух нагревают до точки $H''_{зм}$, увлажняют в оросительной камере ($H''_{зм} \rightarrow K''_{зм}$) до 95 %, а затем смешивают нагретый воздух с увлажненным воздухом в таком соотношении, чтобы точка смеси совпала с точкой $П_3$. Эта операция может выполняться по датчику температуры, либо по датчику влажности после камеры смешения.

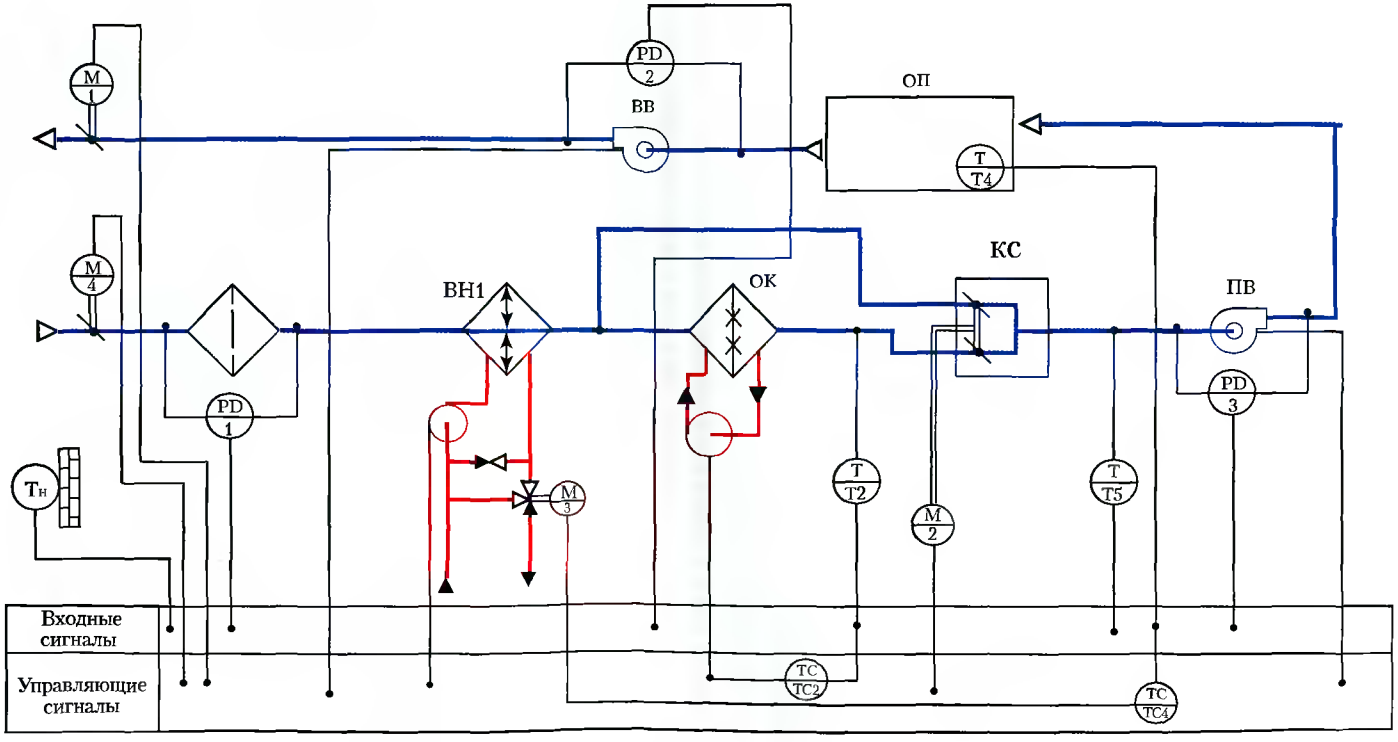


Рис. 1.5.7. Схема автоматизации прямоточной СКВ с одним нагревателем

Самый простой способ увлажнения – использование парогенераторов. В этом случае нагрев производят первым подогревателем до точки $П'_3$, а затем увлажняют по изотерме до точки $П_3$. Однако применение парогенераторов экономически невыгодно из-за большого потребления электроэнергии. Применение сотового увлажнителя [19] дает значительное снижение энергопотребления. Так, потребляемая мощность на увлажнение в относительных единицах составляет:

- увлажнение в оросительной камере – 5;
- паровое увлажнение – 80;
- сотовое увлажнение – 1.

В теплый период предельные параметры наружного воздуха – точка $H_л$ (рис. 1.5.6). Очевидно, что минимальные затраты при переходе из точки $H_л$ к зоне П будут в том случае, если выбрать конечную точку $П_1$. Воздух с параметрами $H_л$ необходимо подвергнуть охлаждению и осушению. Этот процесс можно реализовать с помощью холодильной машины (процесс $H_л \rightarrow П_1$) или камеры орошения. В последнем случае воздух охлаждается за счет холодной воды камеры орошения и осушается по линии $H_л \rightarrow K_л$, а затем подогревается в ВН2 по линии $K_л \rightarrow П_1$.

Для реализации всех периодов работы кондиционера необходимо после камеры орошения установить два датчика температуры: один (Т3), настроенный на температуру точки росы холодного периода $t_{к\,зм}$, второй (Т2) – на температуру $t_{кл}$ точки росы теплого периода.

Датчик Т3 в холодный период, регулируя теплопроизводительность нагревателя ВН1, обеспечивает подогрев воздуха до энтальпии $h_{к\,зм}$ и адиабатическое увлажнение воздуха в камере орошения до влагосодержания приточного воздуха d_3. Терморегулятор ТС4, датчик которого расположен в помещении, стабилизирует температуру второго воздухонагревателя ВН2, обеспечивая температуру приточного воздуха, равную $t_{П3}$. Таким образом, совместные действия двух терморегуляторов ТС3 и ТС4 обеспечивают состояние приточного воздуха $П_3$.

В переходной период воздухонагреватель ВН1 выключается. Наружный воздух поступает в камеру орошения. По сигналам датчика Т3 регулируется мощность подогревателя ВН2, что выводит параметры приточного воздуха в точку $П_5$, находящуюся на линии $П_3П_2П_1$.

Регулировка параметров воздуха в теплый период осуществляется с помощью датчика Т2, установленного после камеры орошения. Этот датчик через регулятор поддерживает расход холодной воды через камеру орошения таким образом, чтобы температура воды в камере орошения обеспечила процесс $H_л \rightarrow K_л$. Регулятор ТС4, датчик

IBIK

которого расположен в помещении, регулирует производительность нагревателя, нагревая воздух до $t_{П1}$. Таким образом, в теплый период требуемое состояние приточного воздуха достигается терморегуляторами ТС2 и ТС4.

В режиме регулирования влажности по точке росы приточного воздуха происходит некоторое колебание влажности воздуха. Однако температура поддерживается терморегулятором ТС4 достаточно точно.

1.5.3.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ СКВ С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ВОЗДУХА

На рис. 1.5.8 представлена схема центрального кондиционера с рециркуляцией воздуха. С целью уменьшения потерь тепла (холода) часть удаляемого воздуха поступает в камеру смешения (КС), где смешивается со свежим приточным воздухом. Температура смешанного воздуха определяется температурой наружного и удаляемого воздуха, а также их количеством.

Регулировка количества смешанного и приточного воздуха производится с помощью трех заслонок: приточной (ПЗ), вытяжной (ВЗ) и рециркуляционной (РЗ). Заслонки в приточном и вытяжном каналах должны работать синфазно, а в рециркуляционном канале – противофазно относительно вытяжной и приточной. Это позволяет реализовать любую степень рециркуляции от 0 до 100 %. При полностью открытых приточной и вытяжной заслонках и полностью закрытой рециркуляционной заслонке система превращается в прямоточную (степень рециркуляции 0 %). При полностью закрытых приточной и вытяжной заслонках и полностью открытой рециркуляционной заслонке степень рециркуляции составит 100 %.

Общий расход воздуха $G_{об}$ определяют по расчетному количеству, необходимому для ассимиляции тепло- и влагоизбытков. Минимальное количество наружного воздуха $G_н$ определяется расчетом для ассимиляции вредных паров и газов или обеспечения санитарных норм. Тогда масса рециркуляционного воздуха $G_р$ определится как $G_р = G_{об} - G_н$.

В холодный период (рис. 1.5.9) наружный воздух $G_н$ смешивается с рециркуляционным, полученная смесь догревается в воздухонагревателе первого подогрева до энтальпии $h_{к\,зм}$, затем в камере орошения подвергается адиабатическому увлажнению до состояния $К_{зм}$ и в воздухонагревателе ВН2 доводится до температуры точки $П_з$. Последовательность обработки воздуха следующая: $H_{зм} + У_з = С_{ну} \rightarrow С'_{ну} \rightarrow К_{зм} \rightarrow П_з$. Влагосодержание воздуха регулируется терморегулятором ТС3, датчик которого установлен после камеры орошения. Регулировка производится таким образом, чтобы воздух на выходе нагревателя

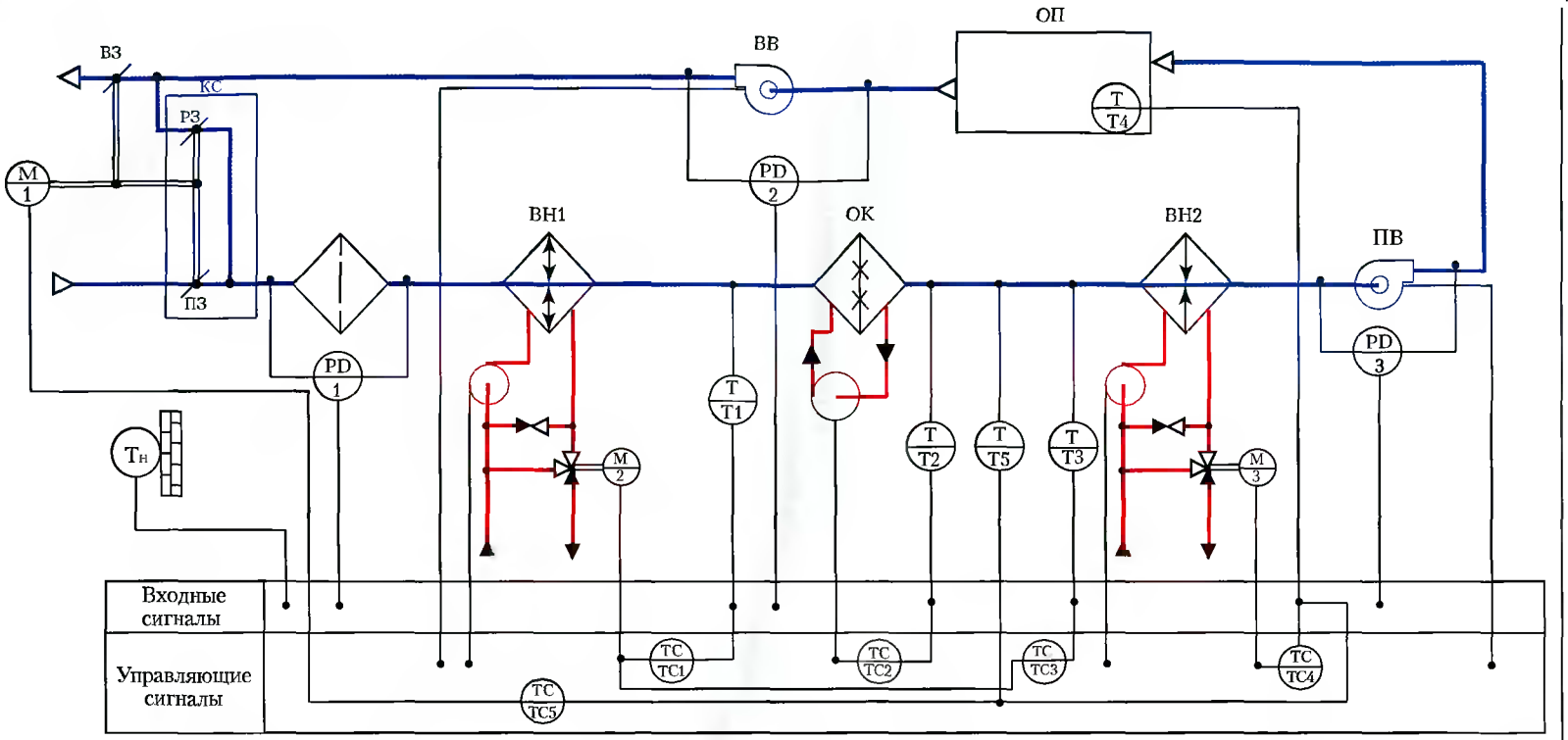


Рис. 1.5.8. Схема автоматизации СКВ с рециркуляцией воздуха

первого подогрева имел энтальпию $h_{к\,зм}$. Адиабатное увлажнение доводит влагосодержание воздуха до состояния $K_{зм}$.

Терморегулятор ТС4, датчик которого находится в помещении, регулирует теплопроизводительность воздухонагревателя второго подогрева, обеспечивая температуру приточного воздуха $t_{пз}$.

Максимальная теплопроизводительность воздухонагревателя первого подогрева

$$Q_{T1} = G_{об} \cdot (h_{к\,зм} - h_{ну}), \qquad (1.5.7)$$

а воздухонагревателя второго подогрева

$$Q_{T2} = G_{об} \cdot (h_{П3} - h_{к\,зм}). \qquad (1.5.8)$$

По мере перемещения точки $H_{зм}$ в сторону изоэнтальпы $h_{ну}$ уменьшается мощность нагревателя первого подогрева ВН1. В момент, когда точка H окажется на линии $h_{ну}$ потребность в ВН1 отпадает. Состояние воздуха от $h_{зм}$ до $h_{ну}$ называется первым холодным режимом. Уменьшение мощности подогревателя ВН1 до нуля есть сигнал к переходу на второй холодный режим, находящийся между энтальпиями $h_{ну}$ и $h_{к\,зм}$. В этот период наружный воздух смешивается с удаляемым, смесь подвергается адиабатному увлажнению в камере орошения до состояния $h_{зм}$, после чего подогревается нагревателем ВН2 до состояния $П_3$ (процесс $H_{зм2} + У_3 = C''_{ну} \rightarrow K_{зм} \rightarrow П_3$).

Влагосодержание приточного воздуха регулируется терморегулятором ТС5, датчик которого Т5 расположен после камеры орошения. Регулятор воздействует на воздушные клапаны, регулирующие расход наружного и рециркуляционного воздуха, обеспечивая их пропорции, при которых энтальпия смеси равна $h_{к\,зм}$. В схеме рис. 1.5.8 принципиально вместо датчиков Т2, Т3 и Т5 можно использовать один датчик.

По мере перемещения точки $H_{зм}$ в сторону изоэнтальпы $h_{к\,зм}$ расход циркуляционного воздуха уменьшается. Полное закрытие клапана первой рециркуляции является сигналом для перевода системы на переходной режим. Состояние наружного воздуха между энтальпиями $h_{к\,зм}$ и $h_{кл}$ есть переходной режим. В этот период наружный воздух ($H_{пер}$) увлажняется адиабатически и догревается в нагревателе ВН2. Температура точки росы приточного воздуха изменяется от $t_{к\,зм}$ до $t_{кл}$. Температура приточного воздуха изменяется по линии $П_3П_2П_1$. Влагосодержание приточного воздуха определяется состоянием наружного воздуха. Температура приточного воздуха регулируется терморегулятором ТС4, который воздействует на производительность воздухонагревателя ВН2.

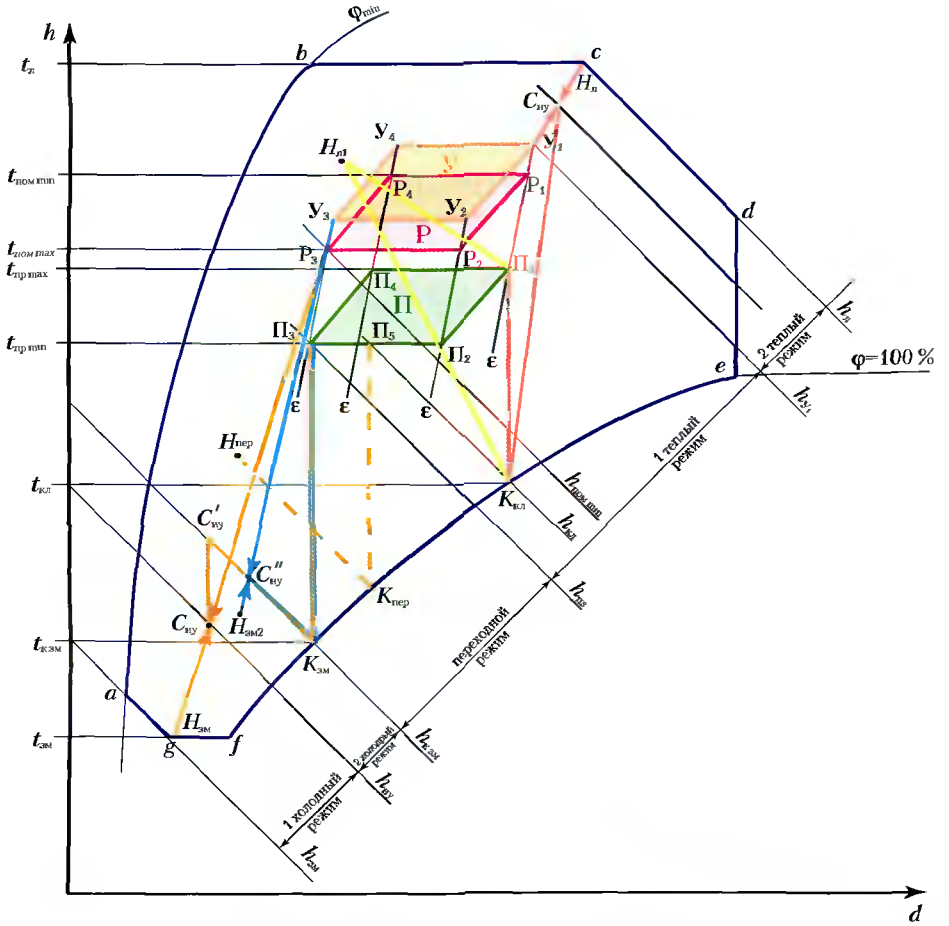


Рис. 1.5.9. Термодинамическая модель СКВ с рециркуляцией воздуха

Первый теплый режим охватывает состояние наружного воздуха между изоэнтальпиями $h_{пз}$ и $h_{у1}$. В этом диапазоне используется только наружный воздух без рециркуляции. Обработка воздуха заключается в охлаждении в камере орошения с последующим нагревом в подогревателе ВН2 (процесс $Н_{л1} \rightarrow К_{кл} \rightarrow П_1$). Для охлаждения воздуха до состояния $К_{кл}$ терморегулятор ТС2 управляет клапаном, регулирующим температуру подаваемой в камеру орошения воды. Этим регулируется влагосодержание приточного воздуха. Возможно также политропное охлаждение из точки $Н_{л1}$ к точке $П_1$ с помощью косвенного охлаждения холодильной машиной.

Если энтальпия наружного воздуха становится выше энтальпии рециркуляционного, то целесообразно смешивать наружный воздух с рециркуляционным. Обработку воздуха в диапазоне энтальпий от $h_{у1}$ до $h_л$ называют вторым летним режимом. В этом режиме последовательность обработки воздуха следующая: $Н_л + У_1 = С_{ну} \rightarrow К_л \rightarrow П_1$.

1.5.3.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ СКВ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛА

Несмотря на то, что СКВ с рециркуляцией воздуха энергетически эффективна, ее применение имеет ограничения по санитарно-гигиеническим нормам. Если воздух в помещении ассимилирует вредные вещества, табачный дым, жировые испарения и т. п., использование его для рециркуляции не допускается. В этом случае используют перекрестнопоточные (рекуперативные) или вращающиеся (регенеративные) теплообменники (рис. 1.5.10).

Следует отметить, что абсолютно разделяют встречные потоки только рекуперативные теплообменники. В регенеративных теплообменниках имеется незначительная доля рециркуляции.

Термодинамическая модель СКВ с рекуперацией тепла приведена на рис. 1.5.11. Она отличается от ТДМ прямоточной СКВ тем, что утилизированное тепло сдвигает температуру приточного воздуха с точки $H_{зм}$ в точку $H_{у\,зм}$ в зимний период и из точки $H_л$ в точку $H_{у\,л}$ – в летний период.

Эффективность теплоутилизации в режиме нагрева определяется как часть тепловой энергии, отданной приточному наружному воздуху по сравнению с той, которая могла бы быть передана, если бы этот воздух был нагрет до энтальпии воздуха, удаляемого из помещения:

$$Э_н = \frac{i_{22} - i_{21}}{i_{11} - i_{21}} \cdot 100\ \% = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \cdot 100\ \%, \qquad (1.5.9)$$

где i_{21}, (t_{21}) – энтальпия (температура) приточного воздуха перед теплообменником;

i_{22}, (t_{22}) – энтальпия (температура) приточного воздуха после теплообменника;

i_{11},(t_{11}) – энтальпия (температура) удаляемого воздуха перед теплообменником;

Эффективность теплоутилизации рекуперативных теплообменников достигает 70 %.

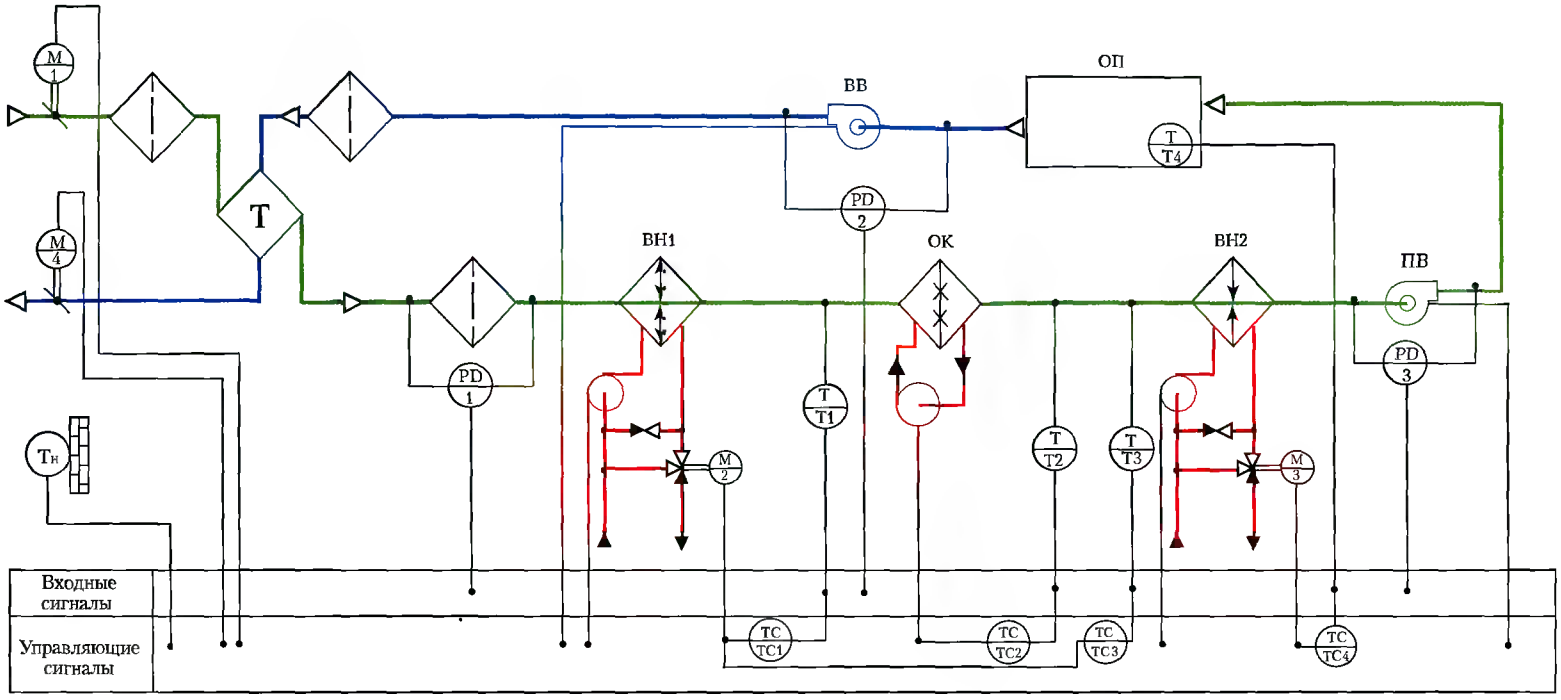


Рис. 1.5.10. Схема автоматизации СКВ с рекуперацией тепла

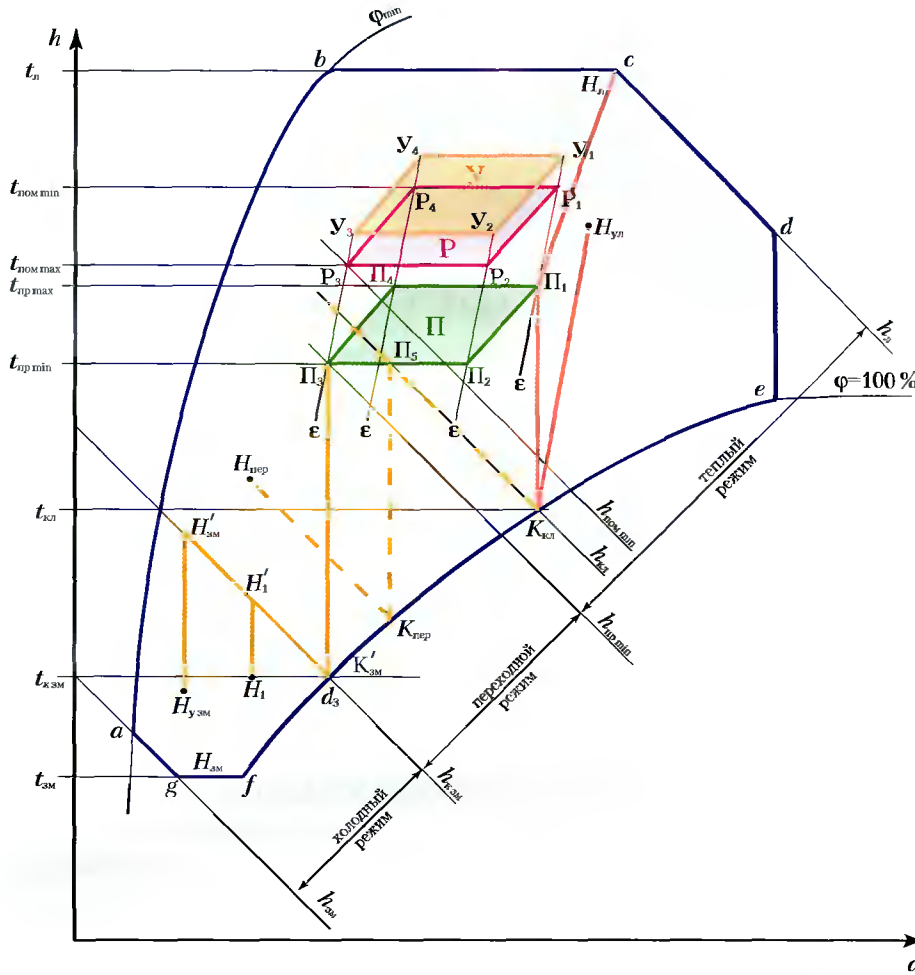


Рис. 1.5.11. Термодинамическая модель СКВ с рекуперацией тепла

Эффективность теплоутилизации вращающихся регенеративных теплообменников определяется по формулам:

в режиме нагрева:

$$Э_Н = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \cdot 100\ \%, \qquad (1.5.10)$$

в режиме охлаждения:

$$Э_О = \frac{t_{21} - t_{22}}{t_{21} - t_{11}} \cdot 100\ \%, \qquad (1.5.11)$$

в режиме увлажнения:

$$Э_{ув} = \frac{d_{22} - d_{21}}{d_{11} - d_{21}} \cdot 100\ \%, \qquad (1.5.12)$$

где d – влагосодержание, г/м³.

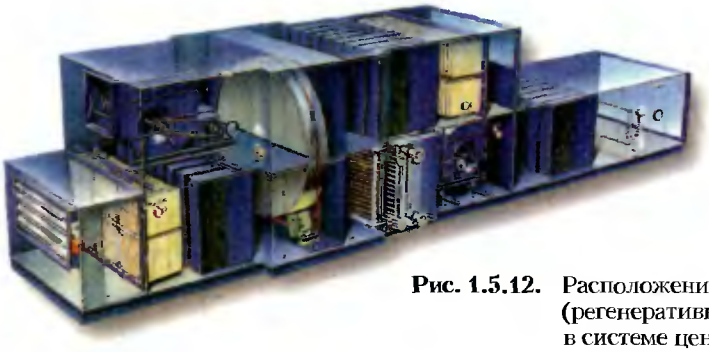


Рис. 1.5.12. Расположение вращающегося (регенеративного) теплообменника в системе центрального кондиционера

В СКВ с регенеративным теплообменником подлежит регулировке скорость вращения ротора, зависящая от температуры наружного воздуха: с понижением температуры скорость вращения теплообменника увеличивается (1–15 мин$^{-1}$).

Для того, чтобы не засорялся рекуператор, как в приточном, так и в вытяжном каналах устанавливаются фильтры очистки воздуха, а также обеспечивается периодическая «прокрутка» колеса не использующегося в данный момент рекуператора при работающей установке.

1.5.3.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОДНОЗОНАЛЬНЫХ СПЛИТ-СИСТЕМ

В жилых и офисных помещениях широкое применение получили автономные однозональные кондиционеры (сплит-системы), имеющие следующие особенности:

- ограниченный диапазон температуры наружного воздуха – в основном производители ограничивают использование сплит-систем в зимний и переходные периоды года температурой не ниже минус (5–10) °С;
- отсутствуют блоки увлажнения;
- теплообменник внутреннего блока выполняет функции охладителя и подогревателя;
- регулировка производительности в основном осуществляется методом пуска-остановки компрессора или изменением количества хладагента, подаваемого в теплообменник;
- обводные каналы для байпасирования воздуха отсутствуют;
- регулировка температуры осуществляется по температуре в помещении, устанавливаемой пользователем;
- температура в помещении поддерживается в режиме нагрева ($t_{уст}$ + 1) °С и режиме охлаждения ($t_{уст}$ – 1) °С;
- температура хладагента в теплообменнике внутреннего блока

IBIK

составляет: в режиме нагрева (40–45) °С; в режиме охлаждения (5–7) °С.

Режим охлаждения может происходить без изменения влагосодержания (сухое охлаждение) или с уменьшением влагосодержания (охлаждение и осушение). Для сухого охлаждения воздуха температура теплообменной поверхности должна быть выше точки росы охлаждаемого воздуха (рис. 1.5.13).

Если температура теплообменной поверхности ниже точки росы воздуха, произойдет конденсация влаги из воздуха, который в этом случае не только охлаждается, но и осушается. В результате образования конденсата воздух будет взаимодействовать с влажной поверхностью воздухоохладителя. Воздух в тонкой пленке у поверхности воды приобретает параметры такие, как у насыщенного водяного пара при температуре, равной температуре данного участка поверхности.

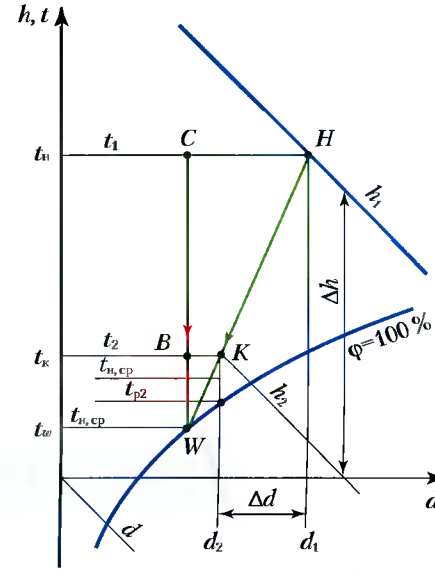


Рис. 1.5.13. Процессы охлаждения в поверхностных теплообменниках:
CB – сухое охлаждение;
HW – охлаждение с образованием конденсата

Процесс взаимодействия воздуха с влажной поверхностью воздухоохладителя аналогичен процессу в аппарате контактного типа и изобразится на *d-h* диаграмме линией, направленной из точки начального состояния $H_л$ воздуха к точке пересечения изотермы, соответствующей средней температуре t_w поверхности воздухоохладителя, с кривой φ = 100 % (рис. 1.5.13, линия *HW*).

Температура воздуха на выходе теплообменника $t_к$ определяется температурой воздуха на входе теплообменника $t_н$, температурой поверхности теплообменника t_w и коэффициентом эффективности теплообменника E_t (рис. 1.5.14).

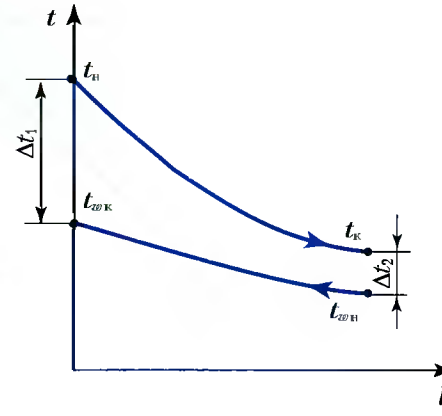


Рис. 1.5.14. Изменение разности температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена

При известной температуре холодоносителя на входе теплообменника t_w температуру воздуха на выходе $t_к$ можно определить по формуле:

$$t_к = t_н - (t_н - t_{wн}) \cdot E_t, \qquad (1.5.13)$$

где E_t – коэффициент эффективности теплообмена, показывающий отношение реального теплообмена к максимально возможному в идеальном процессе.

$$E_t = \frac{HK}{HW} = \frac{t_н - t_к}{t_н - t_w} \approx \frac{d_н - d_к}{d_н - d_w} \approx \frac{h_н - h_к}{h_н - h_w}. \qquad (1.5.14)$$

Для процессов, протекающих по $t = \text{const}$

$$E_t = \frac{d_н - d_к}{d_н - d_w} = \frac{h_н - h_к}{h_н - h_w}, \qquad (1.5.15)$$

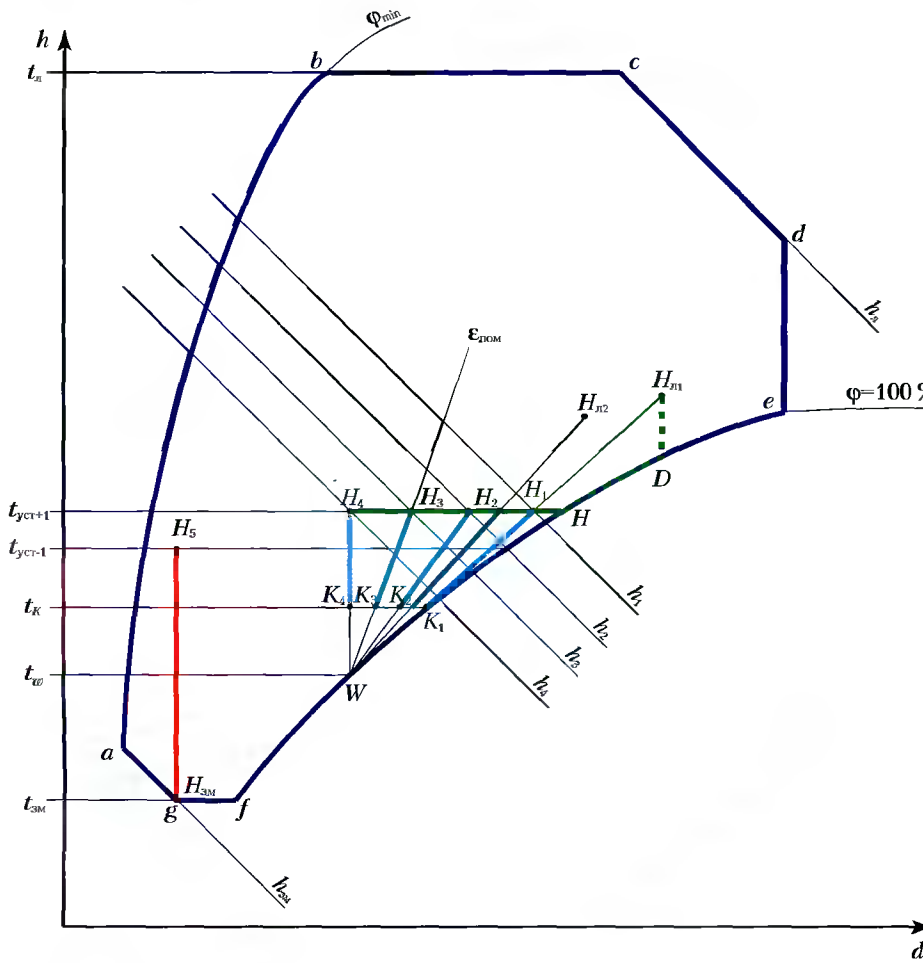


Рис. 1.5.15. Термодинамическая модель автономной сплит-системы

для процессов, протекающих по $d = \text{const}$

$$E_t = \frac{t_н - t_к}{t_н - t_w} = \frac{h_н - h_к}{h_н - h_w}. \qquad (1.5.16)$$

Некоторые производители (Daikin) для оценки эффективности поверхностных теплообменников в технической документации приводят значение байпас-фактора, равного отношению:

$$BF = \frac{KW}{HW} = \frac{h_к - h_w}{h_н - h_w}. \qquad (1.5.17)$$

Для оборудования Daikin байпас-фактор составляет 0,18–0,25.

На рис. 1.5.15 представлена термодинамическая модель процессов в однозональной сплит-системе, построенной с учетом особенностей, оговоренных выше.

В теплый период автоматическая система управления кондиционером поддерживает температуру ($t_{уст}$ + 1), в холодный и переходные периоды – ($t_{уст}$ – 1).

В режиме охлаждения процесс идет от точки $H_л$ по линии $d = \text{const}$ до пересечения с линией $\varphi = 100$ %, затем по этой линии до пересечения с линией $t_{пом} = t_{уст} + 1$. Следует помнить, что реально процессы охлаждения $H_лD$ и осушения DH идут одновременно по кривой, постепенно приближающейся к линии $t_{уст}$ +1 (процесс $H_{л1} \rightarrow H_{л2} \rightarrow H_2$...).

Далее система автоматического управления поддерживает процесс по линии $t_{уст}$ + 1 с конденсацией влаги. Угловой коэффициент процесса непрерывно меняется по линиям K_nH_n. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока его направление не совпадет с направлением углового коэффциента $\varepsilon_{пом}$. Так, если угловой коэффициент будет направлен по линии $\varepsilon_{пом}$, то процесс в помещении застабилизируется по линии K_3H_3. Если выделения влаги в помещении нет, процесс пойдет по линии K_4H_4 при $d = \text{const}$.

В холодный и переходные периоды года (режим нагрева) процесс идет от точки $H_{зм}$ вертикально вверх ($d = \text{const}$) до пересечения с линией ($t_{уст}$ – 1) °С. Отсутствие процесса увлажнения воздуха может привести к осушению ниже комфортных условий, что является недостатком работы сплит-систем в режиме нагрева.

1.5.4. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКВ

На рис. 1.5.16 приведена схема регулирования многозональной СКВ изменением расхода приточного воздуха. До подачи в помещение производится предварительная подготовка воздуха. Далее воздух подается в помещение для ассимиляции тепла и влаги. При этом в каждое помещение подается различное количество воздуха, изменяемое системой автоматического регулирования по датчикам, расположенным в помещениях (на схеме не показаны).

В этой системе необходимо управлять входными и выходными заслонками в каждом помещении, независимо от состояния заслонок в других помещениях, причем приточные и вытяжные заслонки должны управляться синхронно. Необходимо управлять также скоростью вентиляторов, трехходовыми клапанами, водяным насосом и т. д., а также обеспечивать защиту водяных калориферов от замораживания, двигателей вентиляторов от перегрева и возгорания.

В центральном (общем) канале воздух подогревается или охлаждается до определенной температуры и затем поступает в помещения. В каждом помещении есть датчик температуры. В зависимости от разности между требуемой температурой в помещении (требуемая температура – уставка – задается пользователем) и реальной температурой, измеренной датчиком, устройство управления должно устанавливать в необходимое положение входные и выходные заслонки, изменяя этим расход воздуха, проходящего через каждое помещение.

В случае, если большинство заслонок закроется, давление в общем канале при неизменной производительности вентиляторов возрастет, что приведет к недопустимому увеличению скорости потока воздуха через остальные заслонки и возникновению акустического шума (свиста). Для исключения такой ситуации в общих приточном и вытяжном каналах установлены датчики статического давления. По сигналам от этих датчиков изменяется скорость вращения вентиляторов, благодаря чему давление в канале поддерживается на постоянном уровне и, следовательно, скорость потока воздуха через любое количество открытых в данный момент заслонок остается неизменной.

Производительность водяного калорифера обеспечивается циркуляционным насосом и трехходовым регулирующим клапаном.

Циркуляционный насос обеспечивает постоянную (независимо от положения трехходового клапана) скорость циркуляции теплоносителя через калорифер, а трехходовой клапан регулирует количество теплоносителя, поступающего для этой цели в калорифер, пропуская при необходимости часть теплоносителя по байпасной линии мимо него.

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

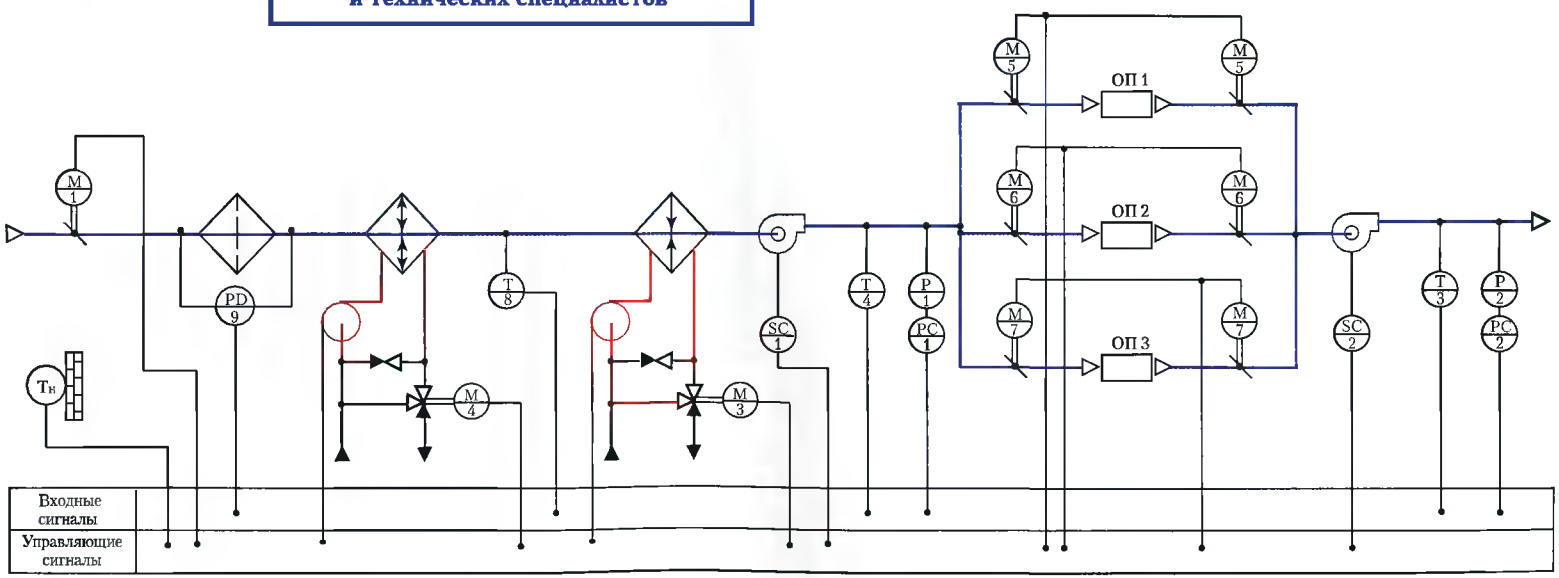


Рис. 1.5.16. Прямоточная система кондиционирования воздуха

IBIK

Если невозможно получить теплоснабжение от сети центрального отопления, используют электрический калорифер с несколькими ступенями мощности (до четырех).

Расход воздуха в приточно-вытяжных системах обеспечивается изменением производительности приточно-вытяжных вентиляторов. Если при низкой температуре наружного воздуха полной мощности электрического калорифера для поддержания заданной температуры недостаточно, то снижается производительность (скорость вращения) вентиляторов. Следует помнить, что при снижении скорости вращения вентиляторов количество поступившего в помещение воздуха может не соответствовать требованиям санитарных норм. Однако это позволяет обеспечить работу центрального кондиционера до температуры наружного воздуха минус 20–25 °С. Аналогичная ситуация возникает в летний период в случае работы на охлаждение при высокой (выше расчетной) температуре наружного воздуха.

В в центральном канале устанавливается датчик потока воздуха и датчик перегрева калорифера. При отсутствии потока воздуха электрокалорифер выйдет из строя через 10–15 с, поэтому для его защиты устанавливается датчик потока. Помимо этого, в калориферах, как правило, устанавливают два термостата:

- термостат защиты от перегрева с самовозвратом (температура срабатывания 50 °С);
- термостат защиты от возгорания с ручным возвратом (температура срабатывания 150 °С).

Первый термостат срабатывает обратимо, то есть после того, как температура воздуха за электрокалорифером снизится до 40 °С, калорифер включится снова. Однако если такое выключение случится 4 раза в течение 1 часа, то произойдет аварийное отключение системы. При срабатывании второго термостата система отключится, включить ее повторно можно будет только вручную после устранения неисправности.

Контроль запыленности фильтра оценивается падением давления на нем, которое измеряется дифференциальным датчиком давления. Датчик измеряет разность давлений воздуха до и после фильтра.

Допустимое падение давления на фильтре указывается в его паспорте (обычно 150–300 Па). Это значение устанавливают при наладке системы на дифференциальном датчике давления (уставка датчика). Когда падение давления достигает значения уставки, от датчика поступает сигнал о предельной запыленности фильтра и необходимости его обслуживания или замены. Если в течение 24 часов после выдачи сигнала предельной запыленности фильтр не будет очищен или заменен,

произойдет аварийная остановка системы.

Аналогичные датчики устанавливаются на вентиляторах. Если выйдет из строя вентилятор или ремень привода вентилятора, то система будет остановлена в аварийном режиме.

1.5.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКВ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ РЕЖИМУ

Термодинамическая модель подготовки приточного воздуха, основанная на регулировании влагосодержания по температуре точки росы, обуславливает большой перерасход холода и тепла. Однако широта ее использования связана с отсутствием быстродействующих точных регуляторов влажности.

В последнее время применяют метод регулирования СКВ по оптимальному режиму, позволяющему избежать повторного подогрева воздуха. Термодинамическая модель по оптимальному режиму меняется непрерывно, обеспечивая наименьший расход холода и тепла.

В таких моделях учитывается взаимное влияние двух контуров регулирования: температуры и влажности. Связанные системы регулирования с двумя стабилизирующими контурами описываются довольно сложными математическими зависимостями, а их аппаратурная реализация имеет высокую стоимость. Поэтому регулирование по оптимальному режиму применяется в технологическом или прецизионном кондиционировании воздуха.

Из описанных выше схем регулирования центральных кондиционеров вытекает, что для нормального функционирования установки центрального кондиционирования воздуха должна реализовываться определенная технология, обеспечивающая поддержание требуемого микроклимата в помещении. Для этого разрабатываются алгоритмы работы центральных кондиционеров по показаниям датчиков температуры, влажности, давления, величин токов, напряжения на элементах управления и т. д.

Реализация алгоритмов осуществляется исполнительными и защитными элементами (электродвигатели, клапаны, заслонки и др.).

Таким образом, система автоматического управления установкой центрального кондиционирования должна выполнять следующие функции:

- управляющие (включение, выключение, задержки);
- защитные (отключение при авариях, предупреждение повреждений установки);
- регулирующие (поддержание комфортных условий при минимальных эксплутационных расходах).

IBIK

1.5.6. УПРАВЛЯЮЩИЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СКВ

Управляющие функции обеспечивают выполнение заложенных алгоритмов нормального функционирования системы. К ним относятся функции:

- последовательность пуска;
- последовательность останова;
- резервирующие и дополняющие.

1.5.6.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ПУСКА

Для обеспечения нормального пуска кондиционера необходимо соблюдать следующую последовательность:

1. Предварительное открытие воздушных заслонок

Предварительное открытие воздушных заслонок до пуска вентиляторов выполняется в связи с тем, что не все заслонки в закрытом состоянии могут выдержать перепад давлений, создаваемый вентилятором, а время полного открытия заслонки электроприводом доходит до 2 мин. Входное напряжение управления электроприводом может быть 0–10 В (пропорциональное позиционное управление при плавном регулировании) или ~24 В (~220 В) – двухпозиционное управление (открыто – закрыто).

2. Разнесение моментов запуска электродвигателей

Асинхронные электродвигатели имеют большие пусковые токи. Так, компрессоры холодильных машин имеют пусковые токи, в 7–8 раз превышающие рабочие (до 100 А). Если одновременно запустить вентиляторы, холодильные машины и другие приводы, то из-за большой нагрузки на электрическую сеть здания сильно упадет напряжение, и электродвигатели могут не запуститься. Поэтому запуск электродвигателей необходимо разносить по времени.

3. Предварительный прогрев калорифера

Если включить кондиционер, не прогрев водяной калорифер, то при низкой температуре наружного воздуха может сработать защита от замораживания. Поэтому при включении кондиционера необходимо открыть заслонки приточного воздуха, открыть трехходовой клапан водяного калорифера и прогреть калорифер. Как правило, эта функция включается при температуре наружного воздуха ниже 12 °С.

В системах с вращающимся рекуператором сначала включается вытяжной вентилятор, затем начинает вращаться колесо рекуперато-

ра, а после его прогрева вытяжным воздухом включается приточный вентилятор.

Таким образом, последовательность включения должна быть следующей: вытяжная заслонка – вытяжной вентилятор – приточная заслонка – рекуператор – трехходовой клапан – приточный вентилятор. Время запуска в летний период составляет 30–40 с, в зимний – до 2 мин.

1.5.6.2. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОСТАНОВА

1. Задержка остановки вентилятора приточного воздуха

В установках с электрокалорифером необходимо после снятия напряжения с электрокалорифера охлаждать его некоторое время, не выключая вентилятор приточного воздуха. В противном случае нагревательный элемент калорифера (тепловой электрический нагреватель – ТЭН) может выйти из строя.

2. Задержка выключения холодильной машины

При выключении холодильной машины хладагент сосредоточится в самом холодном месте холодильного контура, т. е. в испарителе. При последующем пуске возможен гидроудар. Поэтому перед выключением компрессора сначала закрывается клапан, устанавливаемый перед испарителем, а затем при достижении давления всасывания 2,0–2,5 бар, компрессор выключается. Вместе с задержкой выключения компрессора производится задержка выключения приточного вентилятора.

3. Задержка закрытия воздушных заслонок

Воздушные заслонки закрываются полностью только после остановки вентиляторов. Так как вентиляторы останавливаются с задержкой, то и воздушные заслонки закрываются с задержкой.

1.5.6.3. РЕЗЕРВИРУЮЩИЕ И ДОПОЛНЯЮЩИЕ ФУНКЦИИ

Дополняющие функции закладываются при работе в схеме нескольких одинаковых функциональных модулей (электрокалориферов, испарителей, холодильных машин), когда в зависимости от затребованной производительности включаются один или несколько элементов.

Для повышения надежности устанавливаются резервные вентиляторы, электронагреватели, холодильные машины. При этом периодически (например, через 100 ч) основной и резервный элементы меняются функциями.

IBIK

1.5.7. ЗАЩИТНЫЕ ФУНКЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СКВ

К защитным функциям относятся:

- защита водяного калорифера от замораживания;
- защита при выходе из строя вентиляторов или привода вентилятора;
- защита при повышении перепада давления на фильтрах (засорение фильтров);
- защита холодильной машины при отклонении от допустимых значений питающего напряжения, давлений, температур, токов;
- защита электрокалорифера от перегрева и сгорания.

1.6. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМАМ АВТОМАТИЗАЦИИ СКВ

1.6.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Требования к системам автоматизации условно можно разделить на три группы:

- общие требования для всех систем автоматизации;
- требования, учитывающие специфику СКВ;
- требования к системам автоматизации, определяемые конкретной СКВ.

Общие требования для всех систем автоматизации, независимо от объекта управления, определяются рядом общегосударственных, нормативных документов. Главным из них являются: ДСТУ БА 2.4.-3-95 (ГОСТ 21.4.08-93), СНиП 3.05.07.85 «Системы автоматизации», «Правила устройства электроустановок (ПУЭ)» и ДНАОП 0.00-1.32-01.

В ДСТУ БА 2.4.-3-95 (ГОСТ 21.4.08-93) изложены нормы и правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов.

Сборник норм и правил СНиП 3.05.07-85 определяет порядок и правила выполнения всех работ, связанных с производством, монтажом и наладкой систем автоматизации технологических процессов и инженерного оборудования.

В ПУЭ даны определения и общие указания по устройству электроустановок, выбору проводников и электрических аппаратов по способу их защиты.

В ДНАОП 0.00-1.32-01 приведены правила устройств электрооборудования специальных установок, в т. ч. в разделах 2 и 3 – электрооборудования жилых, общественных, административных, спортивных и культурно-зрелищных зданий и сооружений, т. е. объектов, где

установка СКВ обязательна. К отдельным положениям этих документов мы будем обращаться в разделах, посвященных технической документации, монтажу и наладке систем автоматики.

1.6.2. ТРЕБОВАНИЯ, УЧИТЫВАЮЩИЕ СПЕЦИФИКУ СКВ

Эти требования в общем виде представлены в СНиП 2.04.05-91*У «Отопление, вентиляция и кондиционирование» (раздел 9) и регламентируют объем обязательных функций систем автоматизации: измерения, регулирования, сигнализации, автоматических блокировок и защиты технологического оборудования и т. п.

Автоматическое регулирование параметров обязательно для воздушного отопления, приточной и вытяжной вентиляции, работающей с переменным расходом, переменной смесью наружного и рециркуляционного воздуха и тепловой мощности калориферов 50 кВт и более, а также кондиционирования, холодоснабжения и местного доувлажнения воздуха в помещениях.

Основные контролируемые параметры СКВ:

- температура воздуха и теплоносителя (холодоносителя) на входе и на выходе устройств;
- температура наружного воздуха и в контрольных точках помещения;
- давление тепло- и холодоносителя до и после устройств, где давление изменяет свое значение;
- расход теплоты, потребляемой системы отопления и вентиляции;
- давление (разность давлений) воздуха в СКВ с фильтрами и теплоутилизаторами по требованию технических условий на оборудование или по условию эксплуатации.

Необходимость дистанционного контроля и регистрации основных параметров определяется технологическими требованиями.

Датчики следует размещать в характерных точках в обслуживаемой (рабочей) зоне помещения, в местах, где они не подвергаются влиянию нагретых или охлажденных поверхностей или струй приточного воздуха. Допускается установка датчиков в воздуховодах, если параметры в них не отличаются от параметров воздуха в помещении или отличаются на постоянную величину.

Если отсутствуют специальные технологические требования к точности, то точность поддержания в точках установки датчиков должна быть ±1 °С по температуре и ±7 % по относительной влажности. В случае применения местных кондиционеров-доводчиков с индиви-

IBIK

дуальными регуляторами прямого действия точность поддержания температуры ±2 °С.

Автоматическое блокирование предусматривается в:

- системах с переменным расходом наружного и приточного воздуха для обеспечения минимально допустимой подачи воздуха;
- теплообменниках первого подогрева и рекуператорах для предотвращения их замораживания;
- контурах воздухообмена, циркуляции теплоносителя и хладагента для защиты теплообменников, ТЭН, компрессоров и др.;
- системах противопожарной защиты и отключения оборудования в аварийных ситуациях.

Причиной возможного замерзания воды в трубах является ламинарное движение воды при отрицательной температуре наружного воздуха и переохлаждении воды в аппарате. При диаметре трубки теплообменника $d_{тр}$ = 2,2 см и средней скорости воды меньшей 0,1 м/с скорость воды у стенки практически равна нулю. Вследствие малого термического сопротивления трубки температура воды у стенки приближается к температуре наружного воздуха. Особенно подвержена замерзанию вода в первом ряду трубок со стороны потока наружного воздуха.

Выделим три основных фактора, способствующих замерзанию воды:

- ошибки, допущенные при проектировании и связанные с завышенной поверхностью нагрева, обвязкой по теплоносителю и способом управления;
- превышение температуры горячей воды и, как следствие, резкое снижение скорости движения воды, из-за чего создается опасность замерзания воды в теплообменнике;
- перетекание холодного воздуха из-за негерметичности клапана наружного воздуха и при полном закрытии плунжера водяного клапана.

Обычно защита от замерзания теплообменников выполняется на базе двухпозиционных регуляторов с датчиками температуры перед аппаратом и в обратном трубопроводе воды. Опасность замораживания прогнозируют по температуре воздуха перед аппаратом ($t_н$<3 °С) и одновременным понижении температуры обратной воды, например, $t_{w\min}$ < 20 °С. При достижении указанных значений полностью открывают клапаны и останавливают приточный вентилятор. В нерабочее время клапан остается приоткрытым (5–25 %) при закрытой заслонке наружного воздуха.

Приведенные выше регламентированные функции автоматики СКВ не исчерпывают всех особенностей процесса и оборудования воздухообработки. Практика наладки и эксплуатации таких систем показала необходимость выполнения еще целого ряда требований. Здесь следует, прежде всего, остановиться на обязательном прогреве воздухонагревателя первого прогрева перед пуском двигателя приточного вентилятора и соблюдении последовательности включения и останова рабочего оборудования системы. На рис. 1.6.1 показан типовой график включения и выключения аппаратов и устройств приточно-вытяжной системы. Первым полностью открывается клапан калорифера, после его прогрева в течение 120 с подается команда на открытие воздушных заслонок, еще через 40 с включается вытяжной вентилятор и только при полностью открытых заслонках – приточный вентилятор. Кроме того, должен быть предусмотрен индивидуальный пуск оборудования, которое необходимо включать при наладке и профилактических работах.

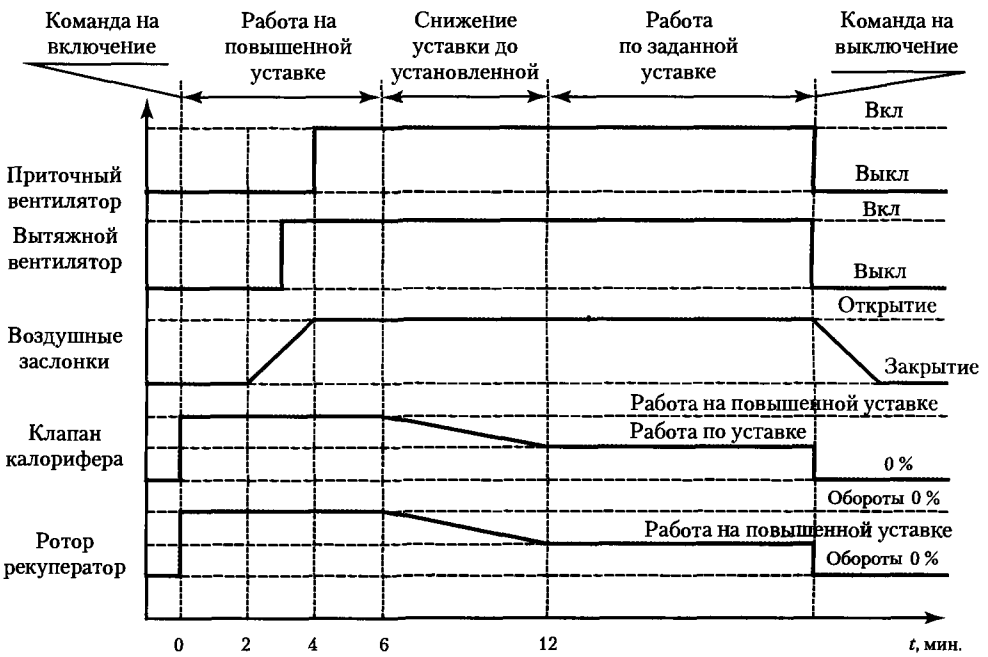


Рис. 1.6.1. Типовой график работы приточно-вытяжной вентиляции

1.6.3. ТРЕБОВАНИЯ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ КОНКРЕТНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Эти требования формулируются на основе алгоритмов функционирования и управления СКВ. При этом выбор алгоритма управления определяется двумя основными качествами: точностью и экономичностью управления. Первое качество определяет выбор оптимального закона управления, второе – оптимальной программы управления. Другие показатели, такие как надежность, стоимость и т. д. накладываются как ограничения на выбранный критерий оптимальности первых двух факторов. И если определение оптимального закона управления производится специалистом по автоматизации, то определение оптимальной программы управления должно вестись совместно специалистами по кондиционированию и вентиляции и специалистами по автоматизации. При таком подходе учитываются как требования к системе автоматизации, так и к автоматизируемому объекту. На практике более распространено раздельное проектирование с выдачей технического задания или исходных данных на автоматизацию.

В этих документах обычно оговаривается:

- диапазон изменения возмущающих воздействий;
- заданные параметры состояния воздуха и требования к точности их поддержания;
- требования к поддержанию параметров воздуха в обслуживаемых помещениях вне рабочего времени;
- функциональная схема объекта с техническими характеристиками выбранных аппаратов и устройств тепловлажностной обработки воздуха;
- данные о расчетных максимальных и минимальных тепловлажностных нагрузках объекта, режимах тепловлагообработки воздуха и условия перехода от одного режима к другому;
- графики или диапазоны изменения нагрузок на протяжении суток, рабочей недели, месяца и т. п.

Эти данные необходимы для реализации программного управления СКВ в указанные периоды с целью экономии электроэнергии, затрат тепла и холода.

На основании описанных требований и исходных данных производится выбор технических средств автоматики и разрабатывается техническая документация на систему автоматизации.

Раздел 2 Основные положения теории систем управления

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Комфортное и технологическое кондиционирование воздуха базируется на теории тепло- и массообмена и характеризуется большой сложностью происходящих процессов. Это объясняется многообразием параметров, большим числом внутренних связей и переменных состояния, их взаимным влиянием. Так, при изменении одной переменной процесса на входе в большинстве случаев возникает нелинейное изменение нескольких переменных на выходе.

В технике кондиционирования воздуха установление этих связей достигается совместным решением тепловых, гидравлических и аэродинамических зависимостей. Основные переменные процессов кондиционирования изменяются как во времени, так и в пространстве. Понимание этих процессов возможно только при их количественной оценке на основе математических зависимостей. Как правило, требуется решить большое число дифференциальных уравнений, связывающих входные и выходные параметры системы. Однако даже при решении этой сложной аналитической задачи возникает немало трудностей по практической реализации систем кондиционирования воздуха. Особенно сложной является аппаратурная реализация устройств управления. Именно эти вопросы рассмотрены в настоящем курсе.

В теории систем управления используется большое количество специальных понятий и терминов. Ниже изложены определения основных терминов, которыми мы будем оперировать в дальнейшем. При введении дополнительных терминов по тексту будут даваться соответствующие пояснения. Для детального изучения читатель может обращаться к политехническим словарям или словарям по системам автоматического управления [2].

IBIK

Главными понятиями теории систем управления являются система и управление.

Система – совокупность связанных между собой элементов, объектов или процессов, взаимодействующих друг с другом и с окружающей средой по определенным законам.

В приведенном определении необходимо обратить внимание на слова «взаимодействие с окружающей средой». Любая система не может существовать сама по себе и всегда подвержена влиянию извне, что необходимо учитывать при ее изучении или создании.

Управление – совокупность действий, которые обеспечивают поддержание или изменение протекающих технологических процессов в соответствии с заданной программой.

Система управления – совокупность объекта управления (управляемого технологического процесса) и управляющих устройств, взаимодействие которых обеспечивает протекание процесса в соответствии с заданной программой.

Технологический процесс – последовательность операций, которые необходимо выполнить, чтобы из исходного сырья получить готовый продукт.

В данном курсе рассмотрены методы автоматизации ***систем кондиционирования и вентиляции (СКВ)***.

СКВ есть совокупность технических средств для создания и автоматического поддержания в закрытых помещениях температуры, влажности, чистоты, состава, скорости движения воздуха, которые являются благоприятными для самочувствия людей (комфортное кондиционирование) или ведения технологических процессов, работы оборудования и приборов (технологическое кондиционирование).

СКВ – типичный пример непрерывного технологического процесса. При этом сырьем является воздух и жидкостные теплоносители, а готовым продуктом – воздух с заданными параметрами.

Объект управления – техническая установка или технологическая цепочка установок, с помощью которой осуществляется технологический процесс.

Технологические параметры – физико-химические величины, которые характеризуют состояние объекта управления (например, температура, давление, частота вращения и др.).

Обычно из технологических параметров выбирают основные, наиболее полно характеризующие состояние процесса, величиной которых можно управлять с помощью специальных технических средств. Такие параметры называются ***регулируемыми***. Их число, как правило, значительно меньше общего числа технологических параметров.

Кроме технологических параметров, объекты управления характеризуются ***возмущающими и управляющими воздействиями***.

Воздействия – факторы, изменяющие состояние технологического процесса в объекте управления.

Возмущающие воздействия (нагрузки) – факторы, изменение которых носит случайный, трудно прогнозируемый характер. К таким факторам относятся, например, температура наружного воздуха, колебания напряжения в электросети и др.

Управляющие воздействия – воздействия на объект управления, осуществляемые специальными техническими средствами или оператором с целью компенсации влияния возмущающих воздействий или изменения режимов работы объекта управления.

Обобщенная схема объекта управления показана на рис. 2.1.1.

Обычно в системах управления любой сложности объект изображают в виде простого прямоугольника («черного ящика») с указанием входных и выходных сигналов. Под сигналами в системах автоматического управления понимают возмущающие и управляющие воздействия, технологические регулируемые параметры. По направлению различают ***входные*** и ***выходные*** сигналы. Входными сигналами являются управляющие и возмущающие воздействия, а выходными – технологические и регулируемые параметры.

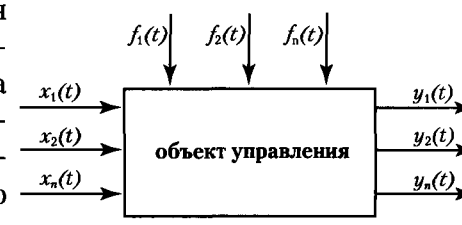


Рис. 2.1.1. Обобщенная схема объекта управления:
$f(t)$ – возмущающие воздействия;
$x(t)$ – управляющие воздействия;
$y(t)$ – регулируемая величина

Система управления, в которой поддержание заданного технологического процесса выполняется без участия человека-оператора, называется ***системой автоматического управления (САУ)***.

САУ – совокупность функциональных групп, обеспечивающих автоматическое изменение одного или нескольких параметров технологического объекта управления с целью достижения их заданных значений или оптимизации определенного критерия качества управления.

Современные системы управления обычно создаются с несколькими ступенями (уровнями) управления. Если рассматривать системы управления кондиционированием и вентиляцией таких объектов, как большие общественные здания и производственные помещения, то на первом (локальном) уровне располагаются автономные системы управления параметрами воздуха отдельных помещений или отдельными установками и устройствами. На верхнем уровне осуществляется управление параллельной работой систем локальных уровней

с учетом показателей их тепловых нагрузок, контроля над работой всех систем, централизованного учета отказов в работе и др. На этом уровне для обработки большого объема информации используется вычислительная техника (контроллеры, компьютеры). Такие системы выдают информацию в форме, удобной для принятия решений (режим советчика) или непосредственно корректируют задания системам локального уровня (супервизорный режим).

Системы управления технологическими процессами, в которых управляющими устройствами являются автоматические устройства, вычислительные машины и человек, называются ***автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУ ТП)***.

Разработка и внедрение АСУ ТП – специфичная и трудоемкая задача, рассмотрение которой не входит в настоящий курс.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Для любых видов объектов, вне зависимости от класса и сложности, действует единый основной принцип управления – принцип обратной связи. Сущность принципа заключается в выработке управляющих воздействий на объект на основании данных о состоянии процесса в конкретный момент времени и их сравнении с заданными параметрами.

На рис. 2.2.1 изображена типовая схема промышленной САУ, в которой основным элементом является объект управления. На схеме выделены элементы, устройства и функциональные блоки, к которым относятся датчики, задатчики, преобразователи, регуляторы, исполнительные механизмы, регулирующие органы, программаторы и устройства дистанционного управления. Их рассмотрению будет посвящен отдельный раздел настоящего пособия.

Показанные функциональные блоки являются подсистемами, которые реализуют следующие основные функции:

- дистанционное управление, необходимое для пуска и остановки автоматических систем или ручного управления в случае возникновения отказов;
- контроль технологического процесса (система автоматического измерения);
- автоматическая защита и блокировка при аварийных ситуациях;
- программное управление пуском и остановкой всей системы или отдельных подсистем;

- автоматическое регулирование основных технологических параметров и характеристик (температура, давление, уровень, состав газов и т. д.).

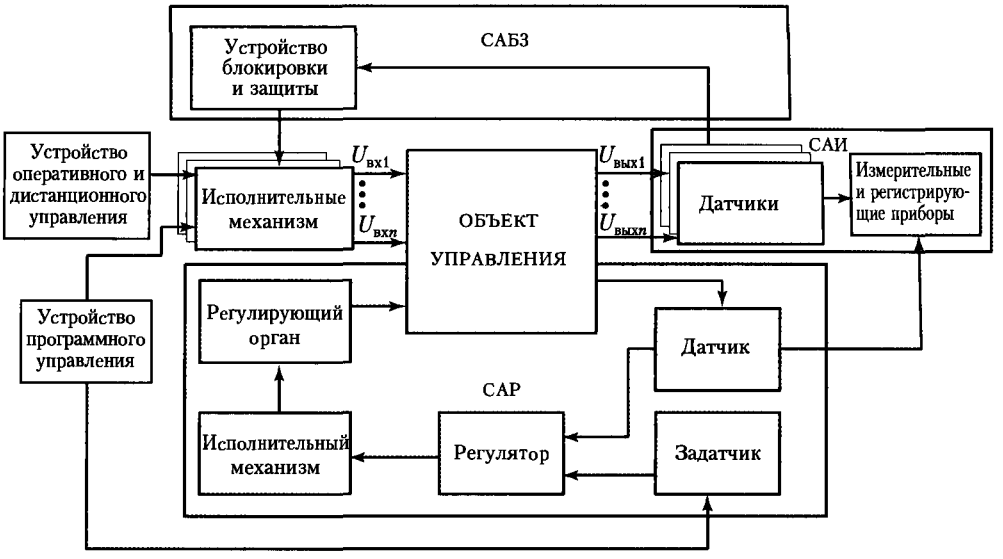


Рис. 2.2.1. Типовая схема промышленной САУ:
САИ – система автоматического измерения;
САБЗ – система автоматической блокировки и защиты;
САР – система автоматического регулирования

Последняя функция САУ является основной и практически реализуется во всех САУ. Остальные функции могут быть реализованы в той или иной степени в зависимости от сложности объекта и особенностей технологического процесса и оборудования.

Указанные подсистемы САУ можно разделить на замкнутые и разомкнутые (рис. 2.2.2).

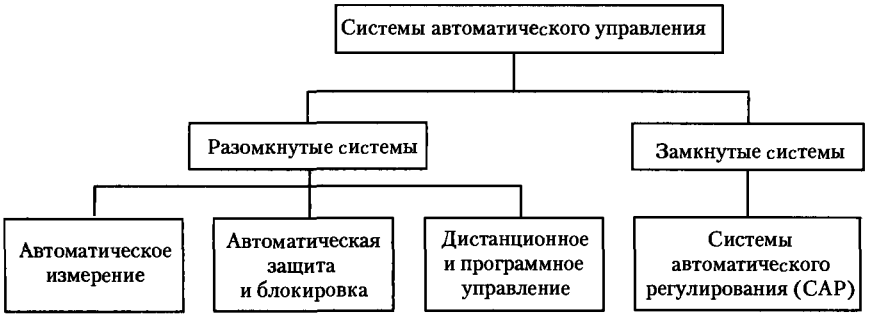


Рис. 2.2.2. Классификация систем автоматического управления

Замкнутые САУ – совокупность управляющих устройств и объекта управления (канала управления), образующих технически замкнутую цепь. К замкнутым автоматическим системам относятся автоматические системы регулирования параметрами процессов.

Система автоматического регулирования (САР) – разновидность САУ, в которой управляющее воздействие на объект вырабатывается автоматически в результате сравнения действительного значения управляемой величины с заданным значением в замкнутой системе: объект – автоматическое регулирующее устройство – объект.

САР определяется как система автоматического управления, в которой заданные показатели в статических и динамических режимах достигаются посредством оптимизации замкнутых контуров регулирования [12].

К ***разомкнутым*** системам относятся: автоматическое измерение технологических параметров, дистанционное и программное управление режимами работы, а также система автоматической блокировки и защиты оборудования в аварийных ситуациях. Это не означает, что в данных системах не соблюдается принцип обратной связи. Он реализуется в скрытом виде по предварительно заданной исходной информации или непосредственно оператором.

Обобщенную структурную схему САР можно представить в виде, показанном на рис. 2.2.3.

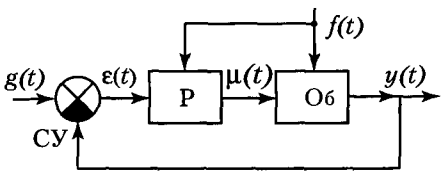


Рис. 2.2.3. Обобщенная структурная схема САР:
Об – объект;
СУ – устройство сравнения;
Р – регулятор;
$f(t)$ – возмущающее воздействие;
$y(t)$ – регулируемая величина;
$\varepsilon(t)$ – ошибка регулирования;
$g(t)$ – задающее воздействие;
$\mu(t)$ – управляющее воздействие

В САР могут реализовываться различные принципы регулирования.

1. Если на вход системы подается только ошибка регулирования $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$, то в САР осуществляется ***принцип регулирования по отклонению*** (принцип Ползунова-Уатта).

2. Если на вход системы подается только изменение возмущающего воздействия $f(t)$, то в САР осуществляется ***принцип регулирования по возмущению*** (принцип Понселе).

3. Если на вход системы подаются одновременно $\varepsilon(t)$ и $f(t)$, то такие системы регулирования называются ***комбинированными***.

Главным достоинством САР по отклонению является то, что такая система компенсирует влияние любого возмущающего воздействия, которое вызвало изменение величины выходного сигнала системы, путем изменения через цепь отрицательной обратной связи величины входного сигнала.

Недостаток САР по отклонению в том, что для срабатывания регулятора необходимо появление отклонения выходного сигнала

(т. е. нарушение технологического процесса). Только после этого регулятор скомпенсирует возмущающее воздействие и сведет к нулю отклонение величины регулируемого параметра от заданного.

В САР, работающей по принципу возмущения, регулятор компенсирует изменение возмущающего воздействия до того, как нарушится технологический режим, т. е. изменится регулируемый параметр. Это является достоинством таких САР. Однако при наличии других возмущающих воздействий, они остаются нескомпенсированными. Поэтому в промышленности САР по возмущению используются редко.

В комбинированной САР недостатки первых двух систем отсутствуют.

Если $g(t)$ – величина постоянная, то такие САР называют ***стабилизирующими***; если $g(t)$ – заранее известная функция, то это система ***программного регулирования***; если $g(t)$ – заранее неизвестная функция времени, то такие системы называются ***следящими***.

Теоретически любую САР можно рассматривать как систему преобразования сигнала $x(t)$ (задающего или возмущающего) или нескольких сигналов $x_i(t)$ в сигнал $y(t)$ (рис. 2.2.4). Уравнение преобразования $x(t)$ в $y(t)$ можно записать в виде:

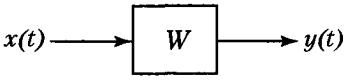


Рис. 2.2.4. Преобразование сигналов в САР

$$y(t) = W \cdot x(t),$$

где W – оператор (правило) преобразования, означающий ту математическую операцию, которую необходимо произвести над $x(t)$, чтобы получить $y(t)$.

Оператор W определяется двумя составляющими: составляющей, характеризующей свойства объекта управления ($W_{об}$), и составляющей, характеризующей свойства устройства регулирования ($W_р$).

В зависимости от видов составляющих оператора W различают САР следующих типов:

- статические и динамические;
- непрерывные и дискретные;
- стационарные и нестационарные;
- линейные и нелинейные.

В ***статических системах*** выходной сигнал $y(t)$ в произвольный фиксированный момент времени t определяется лишь значением входного сигнала $x(t)$ в тот же момент времени и не зависит от того, какие значения принимал входной сигнал в предыдущие моменты времени.

В ***динамических (инерционных) системах*** выходной сигнал $y(t)$ в произвольный фиксированный момент времени t зависит не только

от значения входного сигнала $x(t)$ в тот же момент времени, но и от того, какие значения принимал входной сигнал в предыдущие моменты времени.

В ***непрерывных системах*** оператор W_p осуществляет непрерывное преобразование, а в ***дискретных*** – в дискретные моменты времени, взятые через интервал квантования T.

Если закон преобразования выходного сигнала $y(t)$ остается постоянным для любого момента времени, то система называется ***стационарной***, если зависит от времени – ***нестационарной***.

Если оператор W выполняет умножение на постоянный множитель или суммирование, система является ***линейной***. Для линейной системы справедлив принцип суперпозиции: реакция системы на сумму воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий, взятых по отдельности. Системы, для которых принцип суперпозиции не выполняется, называются ***нелинейными***.

Аппаратурным средством для выполнения преобразования W является автоматический регулятор. Именно он обеспечивает поддержание заданной величины или изменение ее значения по заданному закону.

По виду регулируемого параметра автоматические регуляторы в СКВ подразделяются на регуляторы ***температуры, давления, влажности, разряжения, расхода, состава*** и т. п.

По характеру изменения регулирующего воздействия автоматические регуляторы подразделяются на ***регуляторы с линейными и нелинейными законами регулирования***.

Примером регуляторов с нелинейным законом регулирования могут служить двухпозиционные регуляторы температуры в холодильных машинах. В трехпозиционных дискретных системах выходной сигнал может принимать три значения: -1, 0, +1, т. е. «меньше», «норма», «больше». Качество работы таких САР выше, хотя их надежность ниже.

Регуляторы с линейным законом регулирования по математической зависимости между входными и выходными сигналами подразделяются на следующие виды:

- пропорциональные (П-регуляторы);
- интегральные (И-регуляторы);
- пропорционально-интегральные (ПИ-регуляторы);
- пропорционально-дифференциальные (ПД-регуляторы);
- пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД-регуляторы).

Перечисленные законы регулирования рассмотрены в разделе 2.6.

IBIK

В зависимости от вида используемой энергии регуляторы подразделяются на ***электрические (электромеханические, электронные), пневматические, гидравлические и комбинированные.***

В СКВ в основном применяются электрические регуляторы. Пневматические и гидравлические регуляторы, как правило, применяются во взрыво- и пожароопасных зонах.

2.3. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Задача системы автоматического регулирования – устойчиво поддерживать заданное значение регулируемой величины в зависимости от внешних воздействий или изменять ее по определенной программе.

Под ***устойчивостью*** системы понимается способность возвращаться к состоянию установившегося равновесия после устранения возмущения, нарушившего указанное равновесие. Большинство систем имеют ограниченную устойчивость, т. е. система устойчива, если нагрузка не выходит за допустимые пределы. Понятие устойчивости лучше всего проиллюстрировать примером из механики (рис. 2.3.1). Предположим, что импульсное воздействие F выведет шарик из состояния равновесия (рис. 2.3.1, *а*).

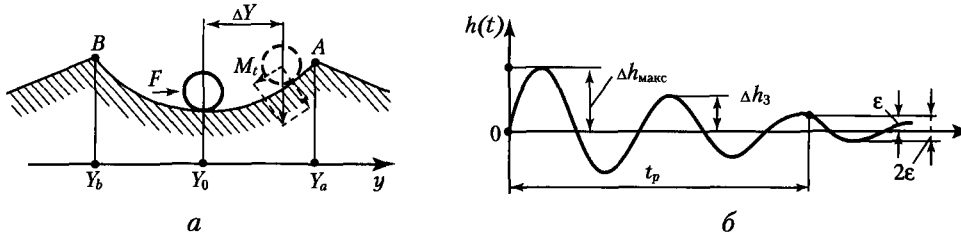


Рис. 2.3.1. Пределы устойчивости и показатели качества регулирования:
а – устойчивость механической системы;
б – переходная характеристика

Тогда под действием тангенциальной составляющей массы шарика M_t после нескольких колебаний относительно Y_0 шарик займет начальное положение. Однако если нагрузка достигнет значения, при котором шарик достигнет точки A и отклонение шарика станет больше Y_a, то, выйдя за пределы вогнутой поверхности, он будет только удаляться от центра системы. Система выйдет из состояния устойчивого равновесия.

В САР понятие устойчивости хорошо иллюстрируется реакцией системы на возмущающее или задающее воздействие.

Рассмотрим временной график изменения регулируемого параметра $y(t)$ при появлении возмущающего воздействия (рис. 2.3.2). Задача регулятора заключается в том, чтобы вычислить рассогласование $\varepsilon(t)$, сформировать управляющее воздействие и привести регулируемую переменную к заданному значению.

При этом процесс должен отвечать наилучшему соотношению следующих характеристик:

- интенсивное затухание переходного процесса;
- наименьшее значение максимального отклонения регулируемой величины;
- минимальная продолжительность переходного процесса.

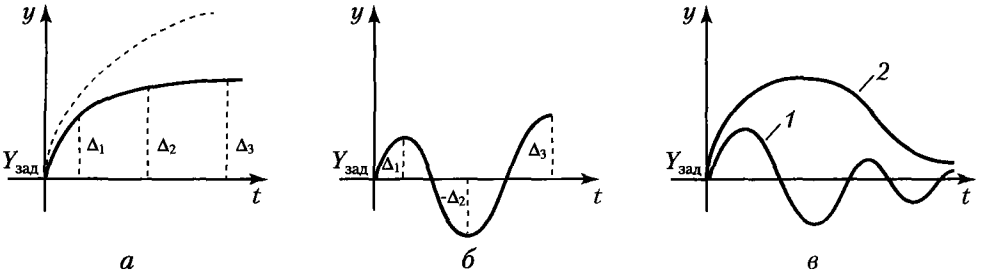


Рис. 2.3.2. Графики процесса изменения выходного сигнала САР:
а – сигнал регулятора недостаточной величины (система неустойчива);
б – сигнал регулятора избыточной величины (система неустойчива);
в – сигнал регулятора достаточной величины (система устойчива);
1 – колебательный затухающий процесс;
2 – апериодический процесс

При этом могут возникнуть следующие варианты:

- рис. 2.3.2, *а* – регулятор вырабатывает сигнал недостаточной величины. Это частично уменьшает скорость изменения рассогласования, однако само отклонение продолжает расти: $\Delta_1 < \Delta_2 < \Delta_3$. График такого процесса изменения $y(t)$ будет расходящимся (расходится с заданием), а работа САР – неустойчивой.

- рис. 2.3.2, *б* – регулятор вырабатывает сигнал избыточной величины. Отклонение $y(t)$ не только сводится к нулю, но и вызывается новое, противоположное по знаку и большее по амплитуде: $\Delta_3 > |-\Delta_2| > \Delta_1$. График процесса регулирования такой САР также будет расходящимся, а работа САР – неустойчивой.

- рис. 2.3.2, *в* – регулятор вырабатывает управляющий сигнал достаточной величины. При этом регулируемый параметр возвращается к заданному значению плавно (апериодический процесс регулирования) или через затухающие колебания (колебательный процесс регулирования). Такие графики регулирования называются сходящимися, а работа САР в этом случае – устойчивой.

Устойчивость системы обычно оценивается на стадии ее проектирования по одному из критериев, подробно изложенных, например, в [5].

Кроме устойчивости, любая САР должна обеспечить определенные качественные показатели процесса регулирования. Качество процесса регулирования обычно оценивается по переходной характеристике $h(t)$ по отношению к возмущающему воздействию (рис. 2.3.1, *б*).

Переходная характеристика системы отражает процесс изменения регулируемой переменной во времени, возникший вследствие воздействия на объект регулирования внешних факторов, и стремление регулятора ликвидировать возникшее рассогласование. Таким образом, переходная характеристика – это график перехода во времени из одного установившегося состояния в другое при строго определенной величине возмущающих или задающих воздействий.

В реальных системах возмущающие воздействия изменяется во времени произвольно. Однако для изучения поведения системы в процессе регулирования используют три характерных вида возмущающих воздействий: ступенчатое, импульсное и синусоидальное (рис. 2.3.3).

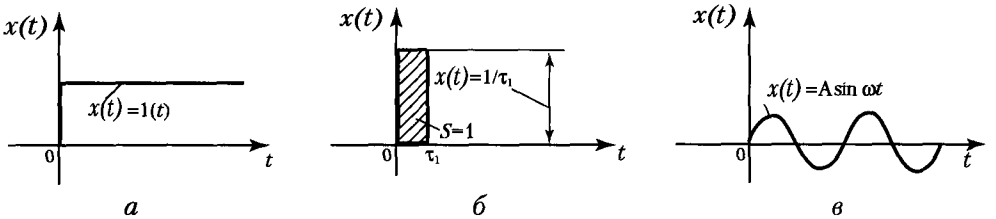


Рис. 2.3.3. Типовые виды возмущающих воздействий:
а – ступенчатое (единичный скачок);
б – импульсное;
в – синусоидальное

Ступенчатое воздействие в определенный момент времени (например, $t = 0$) изменяется скачком от нуля до $x(t) = 1$ и остается на этом уровне (рис. 2.3.3, *а*). Ступенчатую функцию, у которой величина скачка равна 1, называют единичной и обозначают $1(t)$. Значению $x=1$ соответствует увеличение нагрузки в 2 раза. Ступенчатое воздействие применяют для испытаний систем, но часто оно встречается и в действительных условиях (например, включили и оставили освещение в холодильной камере).

Импульсное воздействие создается на короткий промежуток времени (рис. 2.3.3, *б*). Если продолжительность импульса составляет τ_1, а амплитуда его равна $1/\tau_1$, то такую импульсную функцию называют единичной (площадь равна 1). В практике воздействие на систему, близкое к импульсному, встречается очень часто (кратковременное открывание двери в холодильной камере, кратковременное открывание жалюзи и т. п.).

Синусоидальное воздействие изменяется по закону синусоиды (рис. 2.3.3, *в*). Примером такой нагрузки могут служить теплопритоки через ограждения в помещение, так как температура наружного воздуха в течение суток изменяется примерно по синусоидальному закону.

Для изучения свойств системы (переходной характеристики) обычно применяют ступенчатую нагрузку. Зная реакцию системы на ступенчатую нагрузку, можно определить процесс регулирования и при других типах нагрузки, так как с некоторым приближением переменную нагрузку на небольших участках можно заменить ступенчатой.

Основными показателями качества регулирования являются:

- установившаяся ошибка;
- время регулирования;
- перерегулирование;
- колебательность процесса.

Кроме того, в качестве косвенных оценок применяют некоторые величины, в той или иной степени характеризующие отдельные особенности переходного процесса.

Статическая (установившаяся) ошибка ($\Delta_{стат}$) или точность регулирования определяется как разность двух значений регулируемой величины – установившегося после окончания переходного процесса $Y_{уст}$ и заданного $Y_{зад}$.

$$\Delta_{стат} = Y_{уст} - Y_{зад}.$$

В зависимости от величины статической ошибки САР соответственно подразделяют на ***статические*** ($\Delta_{стат} > 0$)и ***астатические*** ($\Delta_{стат} = 0$) (рис. 2.3.4).

Динамическая ошибка ($\Delta_{дин}$) – максимальная разность между текущим значением регулируемой величины и $Y_{зад}$ за время переходного процесса.

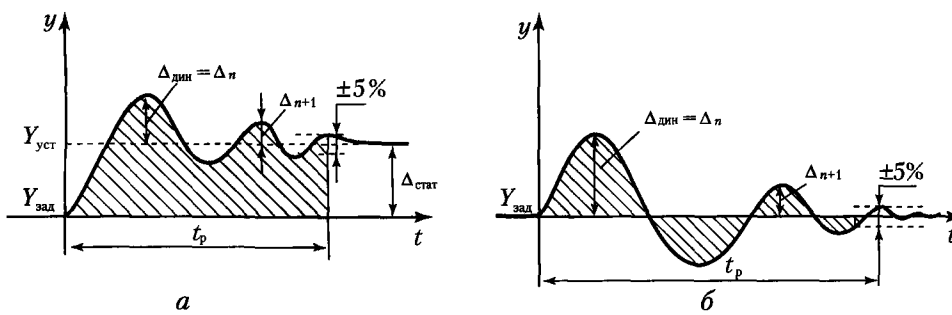


Рис. 2.3.4. Классификация САР по типу ошибки:
а – статическая САР;
б – астатическая САР

Пользуясь переходной характеристикой системы, вызванной единичным ступенчатым возмущающим воздействием (рис. 2.3.4), сформулируем основные параметры качества регулирования.

Временем регулирования ($t_р$) называется время, в течение которого, начиная с момента приложения воздействия на систему, отклонение значений регулируемой величины $y(t)$ от ее установившегося значения $y(t) = y(\infty)$ будет меньше наперед заданного значения Δ_0. Время регулирования определяет быстродействие переходного процесса. Обычно время регулирования отсчитывают с момента возникновения возмущающего воздействия до момента, когда отличие регулируемого параметра от заданной величины составляет не более ±5 %. Если заданная величина равна нулю, то берут ±5 % от величины динамической ошибки.

Перерегулированием (δ) называется максимальное отклонение регулируемой величины Y_{max} от установившегося значения $Y_{уст}$, выраженное в процентах по отношению к $Y_{уст}$. По сути это динамическая ошибка, отнесенная к номинальной величине регулируемого параметра:

$$\delta = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} \cdot 100\,\% = \frac{\Delta_{дин}}{Y_{уст}} \cdot 100\,\% \qquad (2.3.1)$$

Колебательность системы характеризуется числом колебаний регулируемой величины за время регулирования $t_р$. Если за это время переходной процесс в системе совершит число колебаний меньше заданного, то считается, что система имеет требуемое качество регулирования в части ее колебательности.

Для оценки колебательности в ряде случаев удобно пользоваться показателем степени затухания, который показывает, на сколько уменьшается амплитуда колебаний выходного сигнала системы за один период колебаний:

$$\Psi = \frac{\Delta_n - \Delta_{n+1}}{\Delta_n} \cdot 100\,\% \qquad (2.3.2)$$

Для характеристики затухания процесса регулирования также применяют показатель, называемый ***декрементом затухания***:

$$D = \ln(\Delta_n / \Delta_{n+1}). \qquad (2.3.3)$$

Часто пользуются интегрированным показателем качества. Для определения его величины вычисляют интеграл изменения выходного сигнала системы за период времени регулирования:

$$I = \int_0^{t_p} [y(t)]^2 dt. \qquad (2.3.4)$$

Этот показатель учитывает как динамическую и статистическую ошибки, так и время регулирования. Чем они меньше, тем меньше величина интеграла I и выше качество работы САР.

На практике требования к качеству работы системы автоматического регулирования часто задаются не в виде величин отдельных показателей качества, а в виде требования реализации оптимального режима регулирования. Наиболее часто используются три вида таких процессов:

- апериодический;
- с 20-процентным перерегулированием;
- с минимальным интегральным показателем качества.

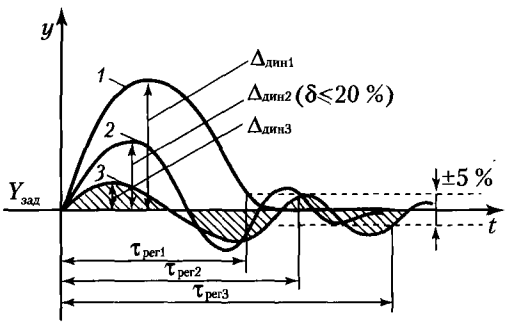


Рис. 2.3.5. Сравнение процессов регулирования:
1 – апериодический;
2 – с 20%-процентным перерегулированием;
3 – с минимальным интегральным показателем

Сравнение этих процессов показано на рис. 2.3.5.

В апериодическом процессе время регулирования минимальное, но динамическая ошибка максимальная. При 20-процентном перерегулировании динамическая ошибка меньше по сравнению с апериодической, но больше время регулирования. При процессе регулирования по интегральному показателю он сводится к минимальному значению:

$$I = \int_0^{\tau_p} [y(\tau)]^2 d\tau \to \min. \qquad (2.3.5)$$

В таком процессе будет минимальная динамическая ошибка, но время регулирования максимальное.

Выбор одного из этих процессов обычно производится на основе анализа автоматизируемого процесса как объекта управления. Например, при управлении работой давления компрессора даже кратковременная динамическая ошибка может быть очень опасна. Естественно, для такого объекта процесс с перерегулированием неприемлем.

IBIK

2.4. МЕТОДЫ АНАЛИЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

При создании САР вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо знать переходные характеристики как определенных элементов СКВ, так и системы в целом. Только по переходным характеристикам можно оптимально выбрать регулятор, датчики, исполнительные механизмы и построить САР. Длительное время в технике кондиционирования использовались методы физического моделирования, основанные на изучении того или иного процесса, воспроизводимого в разных масштабах. Физическое моделирование имеет высокую степень достоверности и наглядности. Однако небольшой допустимый диапазон варьирования параметров и высокая стоимость ограничивают этот метод.

Более широко используются методы математического моделирования, когда создаются математические описания, отражающие взаимосвязь входных и выходных параметров объекта.

Следует отметить, что математические модели представляют систему дифференциальных уравнений, решение которых значительно упрощается при использовании операционного исчисления. В основе операционных методов лежат прямое и обратное преобразования Лапласа, с которыми детально можно ознакомиться в [1].

Основные этапы решения дифференциальных уравнений методами операционного исчисления сводятся к следующему:

1. Функция $y(t)$ вещественной переменной t преобразуется в функцию $W(p)$ комплексной переменной p.
2. Находится решение для функции $W(p)$.
3. Найденное решение для $W(p)$ преобразуется в $y(t)$.

СКВ представляют сложную динамическую систему, поэтому описание связей между основными переменными должно отражать как установившиеся во времени процессы (статический режим), так и переходные процессы от одного состояния к другому (динамический режим).

В теории автоматического регулирования обычно используют 6–7 основных уравнений взаимосвязи входных и выходных сигналов (передаточных функций). Эти модели называют типовыми динамическими звеньями (ТДЗ). Передаточные функции типовых динамических звеньев описываются как в функции времени (оригинал), так и в функции оператора Лапласа (изображение).

Из-за того, что процессы кондиционирования воздуха отличаются большой сложностью, математические модели составляют для

отдельных типовых функциональных звеньев системы. Компоновка полной системы управления СКВ производится путем различного соединения типовых звеньев. Существуют правила определения суммарной передаточной функции при различном соединении звеньев. Так, передаточная функция последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций отдельных звеньев. При параллельном соединении звеньев передаточная функция равна их сумме. При встречно-параллельном соединении звеньев или соединении с обратной связью на вход звена с пере-даточной функцией $W_1(p)$ одновременно с входной величиной подается ее выходная величина, прошедшая через звено обратной связи с передаточной функцией $W_{ос}(p)$. Передаточная функция такого соединения

$$W(p)=\frac{W_1(p)}{1\pm W_1(p)W_{ос}(p)}. \qquad (2.4.1)$$

Знак в знаменателе «+» относится к отрицательной обратной связи, когда $x_{вх1}=x_{вх}-x_{ос}$, знак «–» относится к положительной обратной связи, когда $x_{вх1}=x_{вх}+x_{ос}$. В системах регулирования для обеспечения устойчивости их работы обычно применяется отрицательная обратная связь

Кроме передаточной функции каждое типовое звено характеризуется рядом типовых частотных характеристик:

- АЧХ – амплитудно-частотная характеристика;
- ФЧХ – фазово-частотная характеристика;
- КЧХ или АФХ – комплексная частотная (амплитудно-фазовая) характеристика;
- ЛАЧХ – логарифмическая амплитудно-частотная характеристика;
- ЛФЧХ – логарифмическая фазо-частотная характеристика.

На практике чаще всего применяют КЧХ – комплексную частотную характеристику – аналитическое выражение которой $W(j\omega)$ легко получить, заменяя в передаточной функции $W(p)$ оператор Лапласа p на выражение $j\omega$, где $\omega = 2\pi/T$ (частота колебаний с периодом T).

АФХ показывает, как будет меняться амплитуда и фаза колебаний выходного сигнала при изменении частоты колебаний входного сигнала от 0 до ∞. То есть АФХ – это вектор, а график АФХ – годограф этого вектора.

Наиболее распространенная методика анализа объекта управления с помощью ТДЗ состоит в следующем (рис 2.4.1).

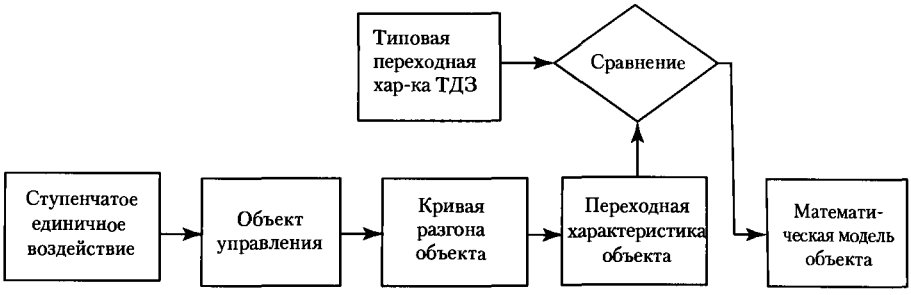


Рис. 2.4.1. Алгоритм методики исследования объектов управления

1. На вход исследуемого объекта подается одно из трех типовых возмущающих воздействий (рис. 2.3.3). На практике чаще всего используется возмущение типа ступенчатого единичного скачка.

2. Снимается реакция объекта на это возмущение (график изменения во времени выходного сигнала после нанесения ступенчатого воздействия, часто называемого ***кривой разгона***).

3. Строится переходная характеристика объекта $h(t)$ путем нормирования кривой разгона относительно максимального отклонения выходного сигнала.

4. Сравнивают переходную характеристику объекта $h(t)$ с характеристиками ТДЗ, и при совпадении характера переходной характеристики объекта и характеристики ТДЗ или их соединений последняя(ие) принимается за математическую модель данного объекта.

2.5. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

1. Апериодическое (инерционное, статическое) звено

Уравнение взаимосвязи между входным и выходным сигналами во времени имеет вид:

$$T\frac{dy(t)}{dt}+y(t)=kx(t). \qquad (2.5.1)$$

Физический смысл коэффициентов T и k будет рассмотрен далее.

Передаточная функция апериодического звена в форме оператора Лапласа $W(p)$ имеет вид – (2.5.2), а комплексная $W(j\omega)$ – (2.5.3):

$$W(p)=\frac{k}{T\cdot p+1}; \qquad (2.5.2)$$

$$W(j\omega)=\frac{k}{T(j\omega)+1}. \qquad (2.5.3)$$

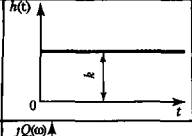
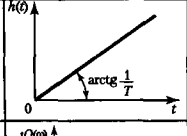
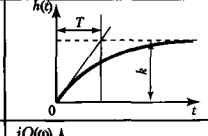
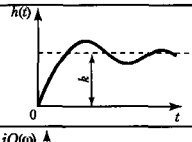
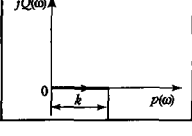
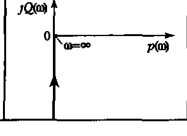
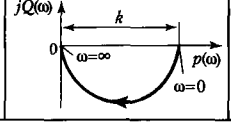
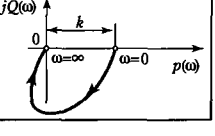
Переходная характеристика апериодического звена (табл. 2.5.1) есть экспонента со следующим свойством. Если к любой точке экспоненты провести касательную, а затем точку касания и точку пересечения касательной с асимптотой (линия, к которой стремится экспонента) спроецировать на ось времени, то получим всегда один и тот же отрезок. Этот отрезок называют «постоянной времени», которая численно равна коэффициенту T в передаточной функции (2.5.1). Ордината амплитуды экспоненты равна коэффициенту k.

Примером реализации апериодического звена может служить процесс регулирования уровня воды в баке с одновременной подачей воды Q_1 (возмущающее воздействие) и расходом воды Q_2. При единичном скачке Q_1 уровень H (регулируемый параметр) начинает повышаться, увеличивая гидростатическое давление. Сначала Q_2 возрастает, а затем уровень H стабилизируется (экспонента приближается к асимптоте). Эта способность звена (объекта) восстанавливать равновесие называется самовыравниванием, которое качественно определяется коэффициентом, равным $1/k$, где k – коэффициент в передаточной функции апериодического звена. Часто это звено называют также статическим или инерционным первого порядка. Это звено описано нами подробно, чтобы раскрыть аппарат и методику получения характеристик ТДЗ.

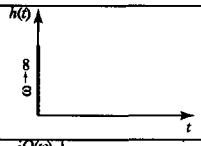
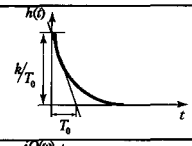
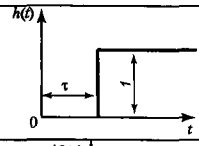
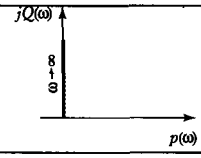
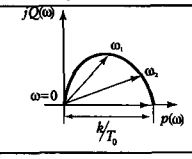
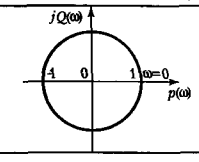
2. Интегрирующее (астатическое) звено

Переходная характеристика этого звена – прямая линия с углом наклона $\alpha = \mathrm{arctg}\ 1/T$. Коэффициент T в передаточной функции астатического звена определяется как $T = 1/\mathrm{tg}\alpha = \mathrm{arctg}\alpha$.

Таблица 2.5.1. Характеристики типовых динамических звеньев

Вид характеристики	Тип звена			
	Пропорциональное (усилительное, безынерционное)	Интегрирующее	Апериодическое (инерционное)	Колебательное
Уравнение	$y(t) = kx(t)$	$T\dfrac{dy(t)}{dt} = x(t)$	$T\dfrac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$	$T_1^2\dfrac{d^2y(t)}{dt^2} + T_2\dfrac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$
Передаточная функция $W(p)$	k	$\dfrac{1}{Tp}$	$\dfrac{1}{Tp+1}$	$\dfrac{k}{T_1^2p^2+T_2p+1}$
Переходная характеристика $h(t)$				
КЧХ $W(j\omega)$				

окончание **табл. 2.5.1**

Вид характеристики	Тип звена		
	Идеальное дифференцирующее	**Реальное дифференцирующее**	**Запаздывающее**
Уравнение	$y(t)=k\dfrac{dx(t)}{dt}$	$y(t)=k\left[T_0\dfrac{dx(t)}{dt}+x(t)\right]$	$y(t)=x(t-\tau)$
Передаточная функция $W(p)$	kp	$\dfrac{kT_0p}{T_0p+1}$	$e^{-p\tau}$
Переходная характеристика $h(t)$			
КЧХ $W(j\omega)$			

Пример интегрирующего звена – бак с притоком Q_1 и постоянным расходом воды Q_2 при регулируемом параметре H. Равновесие (постоянство уровня) возможно только при $Q_1 = Q_2$. В остальных случаях будет непрерывное наполнение или опорожнение по типовой кривой разгона. Такие объекты называют астатическими объектами. Они не обладают свойствами самовыравнивания.

3. Колебательное звено второго порядка

Это звено характеризуется тем, что оно становится колебательным только при определенном соотношении коэффициентов T_1 и T_2 в исходном типовом дифференциальном уравнении.

Если $T_2^2 < 4T_1$, то система ведет себя как колебательное звено, при $T_2^2 \geq 4T_1$ – как апериодическое звено второго порядка [5]. Вид кривой разгона позволяет считать такое звено самовыравнивающимся, т. е. способным самостоятельно восстанавливать равновесие после нанесения возмущающего воздействия. Пример такого звена – система из двух баков, где регулирующий параметр Y – уровень воды H_2 во втором баке. По графику разгона легко определяется коэффициент k. Что касается коэффициентов T_1 и T_2, то их определение несколько сложнее.

4. Пропорциональное (усилительное, безынерционное) звено

КЧХ такого звена не зависит от изменения частоты ω, поэтому годограф вектора КЧХ превращается в точку, находящуюся на действительной положительной полуоси на расстоянии k от начала координат. Это звено мгновенно (без инерции) реагирует на возмущающее воздействие. Коэффициент пропорциональности k (ордината выходного сигнала на кривой разгона) иногда еще называют коэффициентом усиления звена.

5. Дифференцирующее звено имеет два подтипа: идеальное и реальное

Конец вектора КЧХ идеального дифференцирующего звена из начала координат перемещается по положительной линии полуоси, уходя в бесконечность при $\omega = \infty$. Переходная характеристика при этом выглядит, как мгновенный импульс с бесконечной амплитудой. Примером реализации идеального дифференцирующего звена может быть электрическая цепь, состоящая из конденсатора C и сопротивления R со сверхпроводимостью ($R=0$). Реально в такой цепи ($R \neq 0$) АФХ – полуокружность в первом квадранте комплексной плоскости с диаметром, равным k/T_0, а кривая разгона – своеобразный импульс. Амплитуда этого импульса в момент подачи «единичного скачка» мгновенно увеличивается до величины k/T_0, а затем по экспоненте приближается к нулю. Таким образом, коэффициенты T_0 и k в передаточной функции легко находятся по кривой разгона.

6. Запаздывающее звено (чистое или транспортное запаздывание)

Примером реализации такого звена может служить ленточный транспортер длиной l, перемещающийся со скоростью V с потоком сырья Q_1 на входе и Q_2 на выходе. Естественно, при скачкообразном единичном изменении Q_1 такое же изменение Q_2 мы получим только через время $\tau_{зап} = l/V$. Следовательно, выходной сигнал запаздывающего звена повторяет сигнал со сдвигом на время запаздывания $\tau_{зап}$. Графиком АФХ запаздывающего звена будет бесконечное число окружностей радиусом 1 вокруг начала координат комплексной плоскости. При этом первая окружность замкнется при частоте $\omega = 2\pi \cdot \tau_{зап}$.

Представив систему в виде отдельных типовых звеньев, с помощью простых математических вычислений можно получить передаточную функцию не только объекта, но и всей САР.

2.6. ТИПОВЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИХ РЕАЛИЗАЦИЯ

2.6.1. ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

В зависимости от задающего воздействия и параметров объекта регулирования подбирают регулятор с определенным видом $W_р$. Изменение $W_р$ адекватно ведет к изменению коэффициентов дифференциального уравнения общего передаточного звена (регулятор-объект) и тем самым достигается необходимое качество регулирования. В промышленных регуляторах эти величины называются параметрами настройки. Параметрами настройки могут быть: коэффициент усиления, зона нечувствительности, постоянная времени интегрирования, постоянная времени дифференцирования и т. д. Для изменения параметров настройки в регуляторах имеются органы настройки (управления).

Кроме органов настройки основных параметров, регуляторы имеют также органы настройки, косвенно влияющие на эти коэффициенты или режимы его работы, например, органы настройки, изменяющие чувствительность регулятора, демпфирование входного сигнала и др.

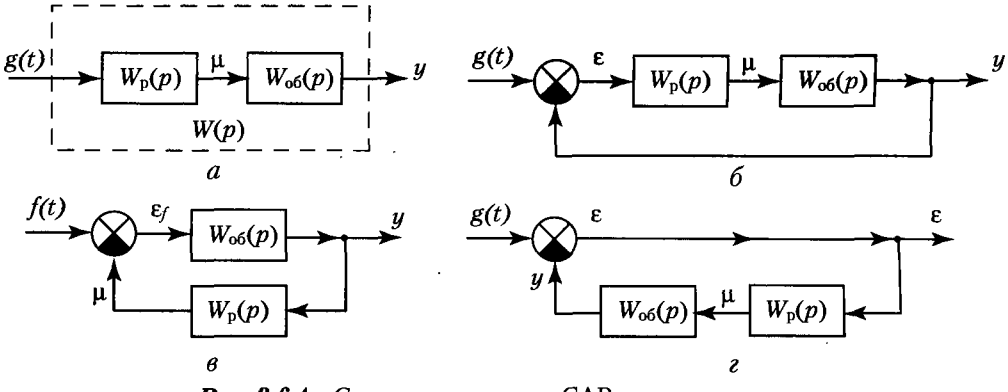


Рис. 2.6.1. Структурные схемы САР:
а – разомкнутой системы по каналу задающего воздействия;
б – то же, но замкнутой системы;
в – замкнутой системы, но по каналу возмущающего воздействия;
г – замкнутой системы, но по каналу ошибки регулирования

Обобщенная структурная схема САР (рис. 2.2.3) может быть представлена в частных случаях (рис. 2.6.1).

Для системы регулирования, показанной на рис. 2.6.1, *а*, АФХ определяется выражением:

$$W(j\omega) = W_р(j\omega) \cdot W_{об}(j\omega), \qquad (2.6.1)$$

где $W_р(j\omega)$ – АФХ регулятора;

$W_{об}(j\omega)$ – АФХ объекта регулирования.

Если комплексная частотная характеристика регулятора будет

$$W_р(j\omega) = k_р, \qquad (2.6.2)$$

то АФХ всей системы запишется в виде:

$$W(j\omega) = k_р \cdot W_{об}(j\omega). \qquad (2.6.3)$$

Следовательно, при подключении к объекту регулятора с АФХ (2.6.3) АФХ системы на каждой частоте увеличивается в $k_р$ раз.

Такие регуляторы называются пропорциональными (П-регуляторы) и имеют один параметр настройки – коэффициент передачи $k_р$.

Переходные процессы в П-регуляторе описываются выражением

$$\mu = k_р\varepsilon, \qquad (2.6.4)$$

где ε – входное воздействие на регулятор, равное отклонению регулируемой величины от заданного значения;

μ – воздействие регулятора на объект, направленное на ликвидацию отклонения регулируемой величины от заданного значения.

На рис. 2.6.2 приведен пример контура регулирования температуры приточного воздуха в канальном кондиционере. Температура воздуха поддерживается водяным калорифером, через который пропускается теплоноситель. Воздух, проходя через калорифер, нагревается. Температура воздуха после водяного калорифера измеряется датчиком (*Т*), далее ее величина поступает на устройство сравнения (*УС*) измеренного значения температуры и температуры уставки. В зависимости от разности между температурой уставки ($T_{зад}$) и измеренным значением температуры ($T_{изм}$) устройство управления (*Р*) вырабатывает сигнал, воздействующий на исполнительный механизм (*М* – электропривод трехходового клапана). Электропривод открывает или закрывает трехходовой клапан до положения, при котором ошибка $\varepsilon = T_{зад} - T_{изм}$ будет стремиться к нулю.

Выходным сигналом регулятора может быть напряжение в определенном диапазоне (например, постоянное напряжение в диапазоне от 0 до 10 В), ток 0–20 мА и т. д.

Диапазон изменения выходного сигнала называется диапазоном регулирования (рис. 2.6.3).

Диапазон изменения сигнала ошибки называют пропорциональным диапазоном.

В П-регуляторах имеется возможность изменять диапазон регулирования и пропорциональный диапазон.

IBIK

Из графика (рис. 2.6.3) видно, что чем меньше пропорциональный диапазон, тем круче характеристика регулирования. Кривая (*1*) соответствует диапазону изменения температуры 0–10 °С, а кривая (*2*) – диапазону 0–4 °С.

Величина $k_р = \frac{\Delta U}{\varepsilon}$ есть коэффициент регулирования. В первом случае $k_р = 1$, а во втором $k_р = 2{,}5$.

При больших значениях $k_р$ в контуре регулирования могут возникнуть колебания (рис. 2.6.4). Так, если во время включения системы температура воздуха $T_{изм}$ ниже температуры воздуха $T_{зад}$, устройство управления выдает большой сигнал на открытие трехходового клапана. Температура водяного калорифера и приточного воздуха начнет повышаться.

Когда температура приточного воздуха после водяного калорифера достигает $T_{зад}$, устройство управления выдает команду на закрытие трехходового клапана (рис. 2.6.4, точка t_1).

Однако из-за того, что калорифер разогрет, температура приточного воздуха до времени t_2 еще будет расти, а затем начнет снижаться. Этот процесс имеет вид затухающих колебаний, и через определенное время (t_3) процесс стабилизируется.

После стабилизации из-за инерционности системы всегда будет существовать статическая ошибка $\Delta_{стат} = T_{зад} - T_{изм}$.

Сигнал на выходе устройства управления будет иметь вид:

$$y(t) = U_0 + k_р \cdot \varepsilon, \qquad (2.6.5)$$

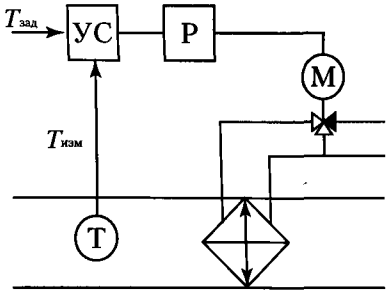


Рис. 2.6.2. Контур регулирования температуры приточного воздуха в канале центрального кондиционера

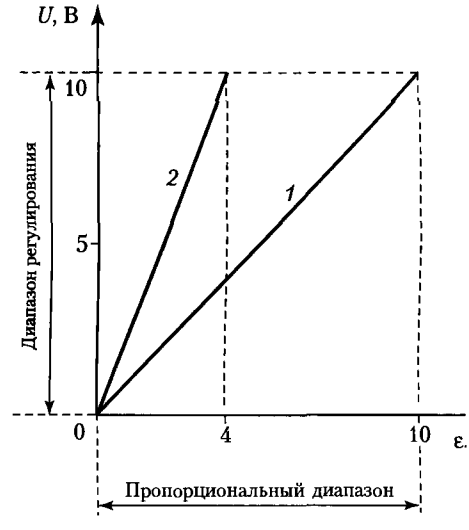


Рис. 2.6.3. График пропорционального регулирования

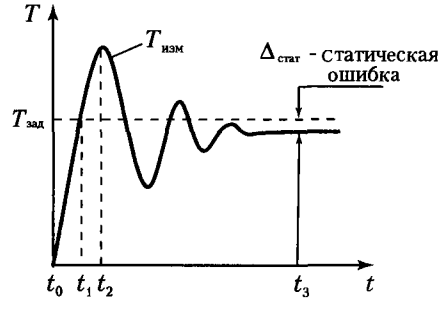


Рис. 2.6.4. Переходной процесс при пропорциональном (П) регулировании

где U_0 – сигнал на выходе устройства управления при $\varepsilon = 0$.

Чем большим выбран пропорциональный диапазон регулирования, тем большей будет величина статистической ошибки. При малой величине пропорционального диапазона увеличивается время переходных процессов, и при некоторых условиях может возникнуть автоколебательный (незатухающий) процесс в контуре регулирования.

Из рис. 2.6.2 видно, что в цепочке регулирования в реальном регуляторе установлено еще одно звено – исполнительный механизм (M). В данном случае – это электродвигатель привода трехходового клапана. Электрический привод является интегрирующим звеном и его влияние необходимо по возможности уменьшить. Для этого используются обратные связи. Это связано с тем, что динамические свойства участка, охваченного обратной связью, не зависят от динамических свойств прямого участка, а определяются в основном динамическими свойствами звена обратной связи. Эта особенность широко используется на практике при разработке автоматических регуляторов.

Исходя из этого, для устранения влияния исполнительного механизма его необходимо охватить отрицательной обратной связью. Для повышения коэффициента передачи прямого канала этой отрицательной обратной связью нужно охватить и усилительное звено регулятора. Такие П-регуляторы, называемые позиционерами, можно представить в виде последовательного соединения собственно П-регулятора с передаточной функцией

$$W_{\text{п}}(p) = k_{\text{п}} = 1/k_{\text{ос}} \tag{2.6.6}$$

и некоторого балластного звена с передаточной функцией [5]

$$W_{\text{б}}(p) = \frac{1}{T_{\text{б}} \cdot p + 1}, \tag{2.6.7}$$

где $T_{\text{б}}$ – постоянная времени балластного звена.

Тогда передаточная функция П-регулятора будет равна:

$$W_{\text{р}}(p) = W_{\text{п}}(p) \cdot W_{\text{б}}(p). \tag{2.6.8}$$

Так, реальный промышленный регулятор имеет усилительное звено с передаточной функцией $W_{\text{у}}(p) = k_{\text{у}}$ и электрический исполнительный механизм с передаточной функцией $W_{\text{им}}(p) = \frac{1}{T_{\text{им}} \cdot p}$. Передаточная функция такого регулятора будет равна:

$$W_{\text{р}}(p) = \frac{1}{k_{\text{ос}}} \cdot \frac{1}{\frac{T_{\text{им}} \cdot p}{k_{\text{у}} k_{\text{ос}}} + 1} = \frac{k_{\text{ос}}}{T_{\text{им}} \cdot p + k_{\text{у}} k_{\text{ос}}}. \tag{2.6.9}$$

IBIK

На рис. 2.6.5 представлены структурная схема такого П-регулятора по (2.6.9), а на рис. 2.6.6 – реализуемый закон регулирования.

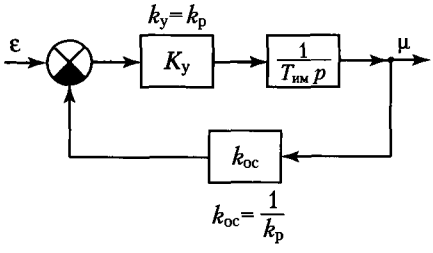


Рис. 2.6.5. Структурная схема П-регулятора

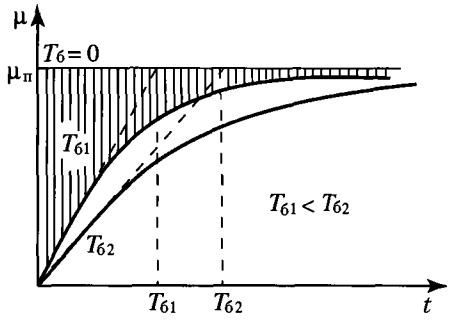


Рис. 2.6.6. Закон П-регулирования

Параметром настройки такого регулятора является коэффициент передачи устройства обратной связи $k_{ос}$. Коэффициент передачи регулятора $k_п$ тем больше, чем меньше $k_{ос}$. Однако следует иметь в виду, что чем больше $k_п$, тем больше постоянная времени балластного звена и тем больше искажается идеальный закон П-регулирования (рис. 2.6.6).

2.6.2. ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Путем выбора параметров регулирования П-регулятора можно существенно уменьшить установившуюся ошибку регулирования, однако ее полное устранение не представляется возможным даже теоретически.

Статическую ошибку, возникающую при пропорциональном регулировании, можно исключить путем постоянного суммирования ε за определенный промежуток времени и формирования сигнала управления, пропорционального полученной величине.

Математически этот процесс может быть описан следующей зависимостью:

$$\mu = k_и \int_0^t \varepsilon \, dt, \qquad (2.6.10)$$

где $k_и$ – коэффициент пропорциональности интегральной составляющей.

Если $k_и \neq 0$, то даже при незначительных отклонениях регулируемой величины сигнал со временем может достичь любой величины, что приведет к перемещению регулирующего органа до момента, пока ε не станет равным 0.

В форме оператора Лапласа передаточная функция (2.6.10) может быть представлена в виде:

$$W_и(p) = \frac{1}{T_и \cdot p}, \qquad (2.6.11)$$

IBIK

где $T_и = \frac{1}{k_и}$ – постоянная времени интегрирования, параметр настройки регулятора.

Рассмотрим физический смысл постоянной времени интегрирования. Предположим, что на вход регулятора поступил сигнал $\varepsilon = \varepsilon_0$. При этом выходной сигнал в соответствии с (2.6.10) будет меняться по закону $\mu = \varepsilon_0 \cdot t/T_и$.

По истечении времени $t = T_и$ значение выходного сигнала будет равно $\mu = \varepsilon_0$ (рис. 2.6.7, *а*).

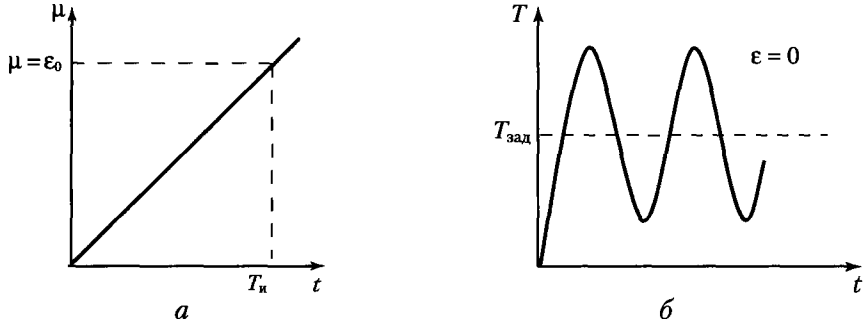


Рис. 2.6.7. Работа И-регулятора:
а – закон регулирования;
б – переходной процесс

Таким образом, постоянная времени интегрирования И-регулятора равна времени, в течение которого с момента поступления на вход регулятора постоянного сигнала на выходе регулятора сигнал достигнет значения, равного значению входного сигнала.

Переходной процесс в И-регуляторе показан на рис. 2.6.7. Устраняя статическую ошибку, интегральный регулятор, однако, ухудшает качество переходного процесса. Поэтому на практике применяют комбинированные регуляторы.

2.6.3. ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Для исключения недостатков П- и И-регуляторов в системах автоматического регулирования широко используется их совместная работа (ПИ-регуляторы). При этом используется как параллельное их соединение (рис. 2.6.8, *а*), так и последовательное (рис. 2.6.8, *б*).

ПИ-регулятор оказывает воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению и интегралу от отклонения регулируемой величины:

$$\mu = k_р\varepsilon + \frac{1}{T_и}\int_0^t \varepsilon dt. \qquad (2.6.12)$$

IBIK

Передаточная функция ПИ-регулятора по схеме (рис. 2.6.8, *а*):

$$W_{\text{пи}}(p) = k_{\text{р}} + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot p}. \qquad (2.6.13)$$

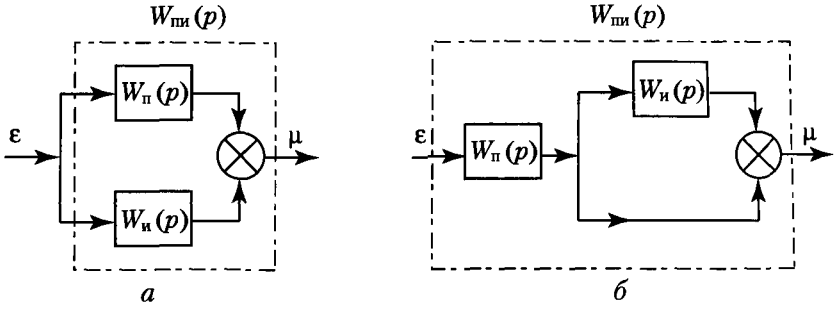


Рис. 2.6.8. Структурная схема идеальных ПИ-регуляторов:
а – с передаточной функцией (2.6.13);
б – с передаточной функцией (2.6.15)

При скачкообразном изменении регулируемой величины на значение ε_0 ПИ-регулятор со скоростью, определяемой быстродействием привода, перемещает исполнительный механизм на величину $(k_{\text{р}} \cdot \varepsilon_0)$, после чего исполнительный механизм дополнительно перемещается в ту же сторону со скоростью $\varepsilon_0/T_{\text{и}}$, пропорциональной отклонению регулируемой величины. Следовательно, в ПИ-регуляторе при отклонении регулируемой величины от заданного значения мгновенно срабатывает пропорциональная (статическая) составляющая регулятора, а затем постепенно увеличивается интегральная (астатическая) составляющая регулятора.

Переходная характеристика ПИ-регулятора с передаточной функцией (2.6.13) показана на рис. 2.6.9 (прямая *1*).

Параметрами настойки являются независящие друг от друга коэффициент усиления $k_{\text{р}}$ и постоянная времени интегрирования $T_{\text{и}}$.

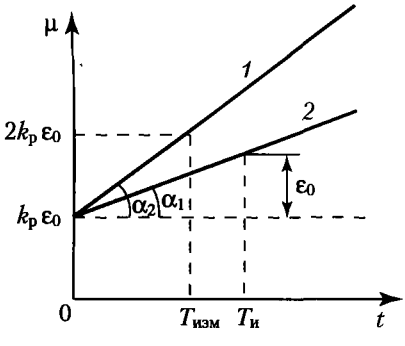


Рис. 2.6.9. Переходная характеристика ПИ-регуляторов:
1 – с передаточной функцией (2.6.13);
2 – с передаточной функцией (2.6.15)

Схема на рис. 2.6.8, *б* реализует закон регулирования:

$$\mu = k_{\text{р}}\left(\varepsilon + \frac{1}{T_{\text{из}}}\int_0^t \varepsilon dt\right), \qquad (2.6.14)$$

где $T_{\text{из}}$ – постоянная времени изодрома.

Передаточная функция ПИ-регулятора по схеме рис. 2.6.8, *б* имеет вид:

$$W_{\text{пи}}(p) = k_{\text{р}} \cdot \frac{T_{\text{из}} \cdot p + 1}{T_{\text{из}} \cdot p}. \qquad (2.6.15)$$

ПИ-регулятор со структурной схемой, приведенной на рис. 2.6.8, *б*, имеет взаимосвязанные параметры настройки статической и астатической частей по коэффициенту $k_{\text{р}}$. Так, при изменении коэффициента усиления $k_{\text{р}}$ будет изменяться и постоянная времени интегрирования:

$$T_{\text{и}} = T_{\text{из}}/k_{\text{р}}. \qquad (2.6.16)$$

Рассмотрим физический смысл постоянной времени изодрома $T_{\text{из}}$. Предположим, что на вход регулятора поступил постоянный сигнал ε_0. Тогда выражение (2.6.8) преобразуется к виду:

$$\mu = k_{\text{р}} \cdot \varepsilon_0 \, (1 + t/T). \qquad (2.6.17)$$

При поступлении на вход регулятора сигнала ε_0 в начальный момент сработает пропорциональная составляющая и на выходе регулятора появится сигнал $\mu_1 = k_{\text{р}} \cdot \varepsilon_0$. В дальнейшем по закону (2.6.13) линейно начинает нарастать выходной сигнал от интегральной составляющей и при $t = T_{\text{из}}$ достигнет значения $\mu_2 = 2k_{\text{р}} \cdot \varepsilon_0$.

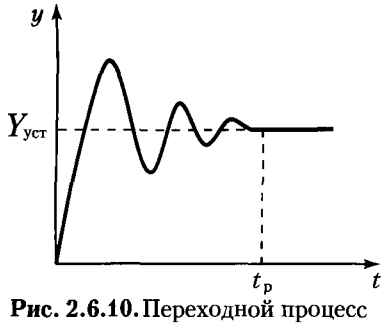


Рис. 2.6.10. Переходной процесс при пропорционально-интегральном (ПИ) регулировании

Таким образом, $T_{\text{из}}$ – это время, в течение которого от начала действия интегральной (астатической) составляющей регулятора пропорциональная (статическая) составляющая удваивается.

Переходной процесс при ПИ-регулировании показан на рис. 2.6.10.

Варианты структурных схем ПИ-регуляторов приведены на рис. 2.6.11 (*а*, *б*, *в*, *г*), а их особенности можно найти в [5].

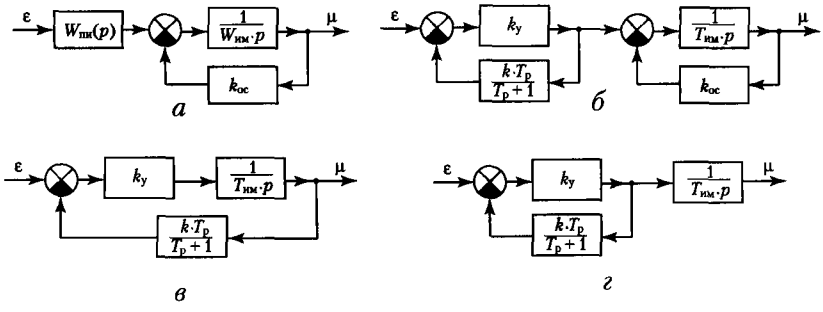


Рис. 2.6.11. Структурные схемы промышленных ПИ-регуляторов

2.6.4. ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

П- и И-регуляторы не могут упреждать ожидаемое отклонение регулируемой величины, реагируя только на уже имеющееся отклонение.

Возникает необходимость создания регулятора, который вырабатывал бы регулирующее воздействие, пропорциональное скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения:

$$\mu = k_{д}\frac{d\varepsilon}{dt}. \qquad (2.6.18)$$

В форме оператора Лапласа выражение (1.6.12) будет иметь вид:

$$W_{д}(p) = T_{д} \cdot p. \qquad (2.6.19)$$

К сожалению, практическая реализация этого выражения затруднительна. Поэтому применяется пропорционально-дифференциальные регуляторы (ПД), которые описываются уравнением

$$\mu = k_{р} \cdot \varepsilon + T_{д}\frac{d\varepsilon}{dt} \qquad (2.6.20)$$

и передаточной функцией

$$W_{д}(p) = \frac{k_{д} \cdot T_{д} \cdot p}{T_{д} \cdot p + 1}, \qquad (2.6.21)$$

где $T_{д}$ – постоянная времени дифференцирования, определяющая величину составляющей регулирующего воздействия по скорости изменения ε.

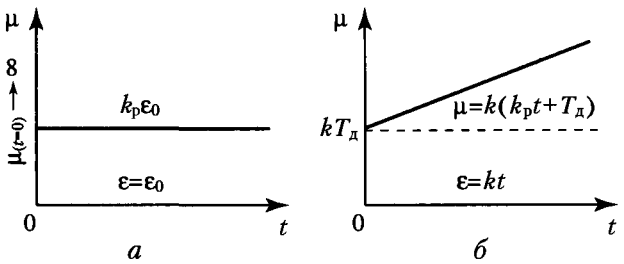


Рис. 2.6.12. Закон ПД-регулирования:
а – при поступлении на вход регулятора постоянного сигнала;
б – при поступлении сигнала $\varepsilon(t) = kt$

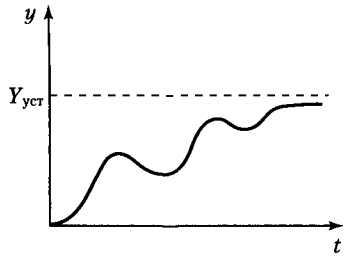


Рис. 2.6.13. Переходной процесс при ПД-регулировании

В ПД-регуляторах при поступлении на вход объекта возмущающего воздействия в связи с инерционностью объекта отклонение регулируемой величины от заданного значения нарастает постепенно, и при дифференцировании этого отклонения получается его конечное значение и по абсолютному значению, и по длительности.

2.6.5. ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

По возможностям настройки пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (ПИД-регуляторы) являются универсальными; используя их можно получить любой закон регулирования. ПИД-регуляторы воздействуют на регулируемый параметр пропорционально отклонению ε регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины:

$$\mu = k_{\text{р}} \cdot \varepsilon + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \varepsilon dt + T_{\text{д}} \frac{d\varepsilon}{dt}. \qquad (2.6.22)$$

Передаточная функция ПИД-регулятора имеет вид:

$$W_{\text{пид}}(p) = k_{\text{р}} + \frac{1}{T_{\text{и}} \cdot p} + T_{\text{д}} \cdot p. \qquad (2.6.23)$$

Структурная схема и закон регулирования идеального ПИД-регулятора при поступлении на вход регулятора постоянного сигнала $\varepsilon(t) = \varepsilon_0$ приведены на рис. 2.6.14.

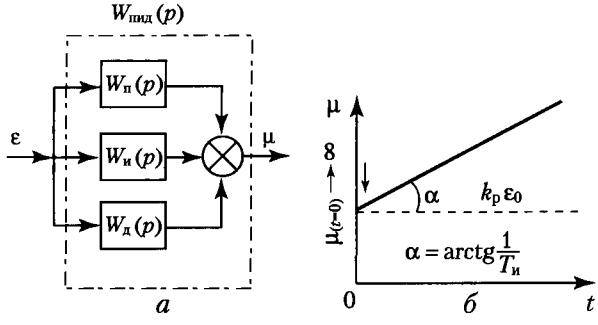


Рис. 2.6.14. ПИД-регулятор:
а – структурная схема;
б – закон ПИД-регулирования

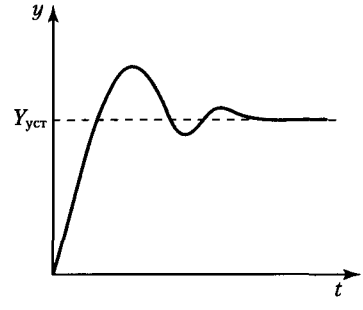


Рис. 2.6.15. Переходной процесс при ПИД-регулировании

При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД-регулятор в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое воздействие на объект регулирования, затем величина воздействия резко падает до значения, определяемого пропорциональной составляющей, после чего постепенно начинает оказывать влияние астатическая составляющая регулятора. Переходной процесс при этом имеет минимальные отклонения по амплитуде и по времени (рис. 2.6.15).

IBIK

Параметрами настройки ПИД-регуляторов являются коэффициент пропорциональности регулятора $k_р$, постоянная времени интегрирования $T_и$ и постоянная времени дифференцирования $T_д$.

Структурные схемы промышленных ПИД-регуляторов приведены на рис. 2.6.16 (*а*, *б*, *в*), а их особенности можно найти в [5].

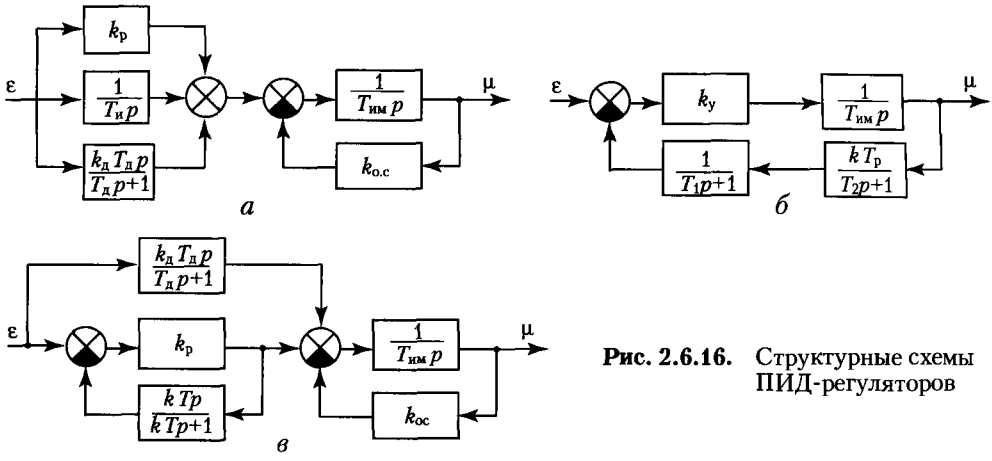


Рис. 2.6.16. Структурные схемы ПИД-регуляторов

2.6.6. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

В последнее время для управления системами кондиционирования воздуха активно развиваются принципиально новые законы регулирования, получившие название «нейротехнология и нечеткая логика» (Neuro&Fuzzy logic).

Нейротехнология – это новая технология управления, в которой в качестве модели используется нейронная система.

Данный способ заключается в использовании параметров PMV (Predicted Mean Voice – предсказанное усредненное голосование), определяющих для человека комфорт окружающей среды по величине индексов дискомфорта D_n.

Система измеряет параметры воздуха в помещении и автоматически выбирает режим работы. Выбор основывается на практическом анализе – за эталон берутся стандартные предпочтения людей, пользующихся системой. Величины D_n отражают уровни различных факторов, от значения которых зависит комфорт человека: температура, влажность, интенсивность воздушных потоков, тип одежды (летняя/зимняя) и др.

Приведем пример учета воздействия влажности на состояние человека.

Ощущение теплоты или прохлады является следствием не только температуры воздуха, но его влажности. Температура воздуха 26 °С и влажность 50–60 % считаются комфортными летом, тогда как температура 22 °С будет комфортной зимой. Однако даже температура 29 °С будет находиться в зоне комфортности, если влажность составляет 50 %, тогда как эта же температура при влажности 70 % будет казаться высокой и вызывать ощущение «паркости». Для оценки совместного влияния температуры и влажности на ощущение дискомфорта введен индекс:

$$D_n = 0{,}72\,(t_c + t_{вл}) + 40{,}6, \qquad (2.6.24)$$

где t_c – температура сухого термометра;

$t_{вл}$ – температура влажного термометра.

Таблица 2.6.1. Таблица степени дискомфорта

Индекс дискомфорта D_n	Степень дискомфорта
70 или менее	Комфортно
70–75	Некоторые люди чувствуют себя некомфортно
75–80	50 % людей чувствуют себя некомфортно
80–85	Все чувствуют себя некомфортно
86 и более	Невыносимый дискомфорт

Такой подход хорошо согласуется с логической системой обработки информации «нечеткая логика» (fuzzy logic), которая применяется в нечетких логических регуляторах (НЛР). Нечеткая логика имеет преимущества по сравнению с использованием ПИД-регуляторов при обработке очень сложных процессов, нелинейных процессов высоких порядков, обработке экспертных (лингвистически сформулированных) данных.

Нечеткая логика оперирует не цифровыми, а лингвистическими понятиями. В качестве примера представим лингвистическую оценку возраста человека. Человек может быть «очень молодой», «молодой», «старый» и т. д. До 16 лет человек еще даже не «очень молодой», но можно определить его как и «очень молодой» с некоторым коэффициентом – рангом. Так, возраст 14 лет может быть оценен как «ребенок» с рангом 0,3 или «очень молодой» с рангом 0,7, а возраст 17 лет может быть оценен как «очень молодой» с рангом 1,0 (рис. 2.6.17). После 30 лет человек считается уже не молодым, но еще и не старым. Здесь ранг термина «молодой» может принимать значения от 0 до 1. Чем больше возраст человека, тем меньше становится его принадлежность к соответствующему термину (терму), т. е. ранг будет стремиться к нулю.

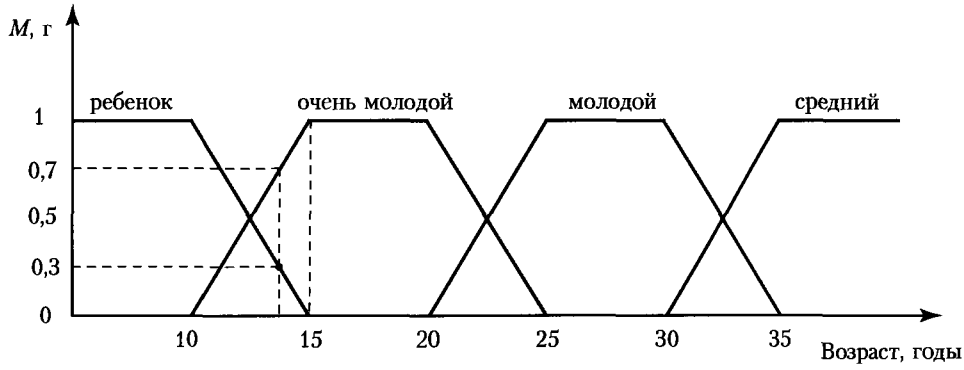


Рис. 2.6.17. Нечеткое множество для определения возраста человека

Таким образом, может быть получено некоторое множество, описывающее понятие молодости для всего диапазона возрастов человека.

Ключевыми понятиями нечеткой логики являются:

- ***фаззификация*** – преобразование множества значений аргумента (x) в некоторую функцию принадлежности $M(x)$, т. е. перевод значений (x) в нечеткий формат;
- ***дефаззификация*** – процесс обратный фаззификации.

Системы с нечеткой логикой функционируют по следующему принципу: показания измерительных приборов фаззифицируются (переводятся в нечеткий формат), обрабатываются, дефаззируются и затем в виде обычных сигналов подаются на исполнительные устройства.

Рассмотрим принцип управления холодопроизводительностью кондиционера с использованием нечеткой логики.

Холодопроизводительность, которую должен обеспечить кондиционер, определяется разностью между температурой в помещении и температурой, которую мы хотели бы получить (температура уставки). Эта переменная лингвистически может быть сформулирована как «разность температур» и может принимать значения «малая», «средняя» и «большая». Естественно, чем больше разность температур в данный момент, тем больше должна быть холодопроизводительность.

Второй лингвистической переменной определим «скорость изменения температуры» в помещении, которой также дадим лингвистические значения «малая», «средняя» и «большая». Если скорость изменения температуры большая, то требуется большая холодопроизводительность. По мере приближения температуры в помещении к температуре уставки скорость изменения температуры в помещении будет уменьшаться, а холодопроизводительность кондиционера снижаться.

Холодопроизводительность является выходной переменной, которой присваиваются следующие термы: «очень малая», «малая», «средняя», «большая» и «очень большая».

Связь между входом и выходом занесем в таблицу нечетких правил (табл. 2.6.2).

Таблица 2.6.2. Зависимость холодопроизводительности от разности температур и скорости ее изменения

Скорость изменения температуры	Разность температур		
	малая	**средняя**	**большая**
малая	очень малая	малая	средняя
средняя	малая	средняя	большая
большая	средняя	большая	очень большая

Каждая запись соответствует своему нечеткому правилу. Например, если разность температур средняя, а скорость изменения большая, то холодопроизводительность должна быть большая.

Кондиционер с нечеткой логикой работает по следующему принципу: сигналы от датчиков будут фаззифицированы, обработаны, дефазифицированы, и полученные данные в виде сигналов поступят на частотный регулятор двигателя компрессора, скорость вращения которого (а, следовательно, и производительность) будут меняться в соответствии со значением функции принадлежности.

Построим две функции принадлежности. В одном случае аргументом является разность температур (Δt) (рис. 2.6.18), а во втором – скорость изменения температуры (V_t) (рис. 2.6.19). Для первой функции диапазон температур составляет от 0 до 30 К, для второй – от 0 до 0,3 К/мин.

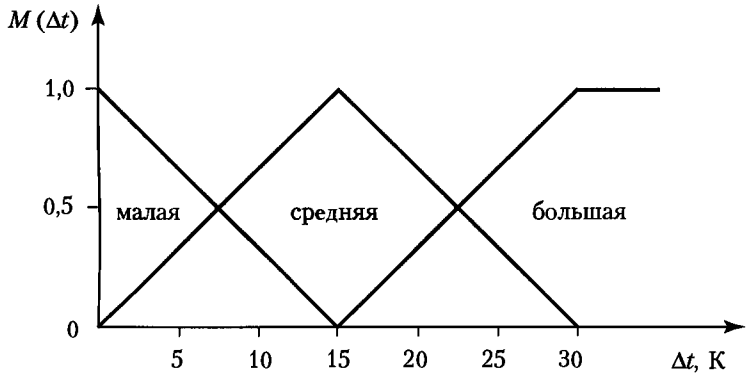


Рис. 2.6.18. Функция принадлежности для лингвистического аргумента «разность температур»

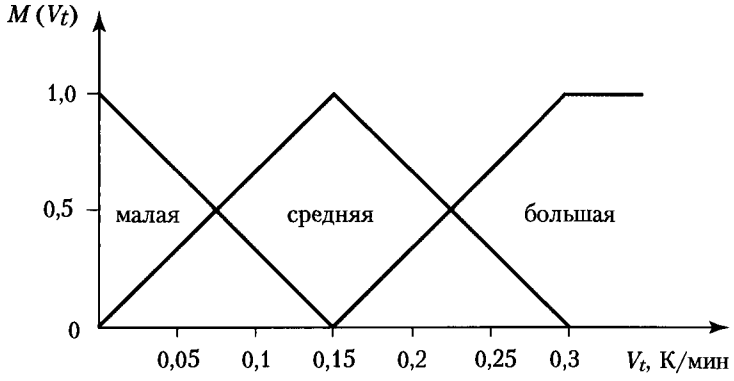


Рис. 2.6.19. Функция принадлежности для лингвистического аргумента «скорость изменения температуры»

Результат совместного влияния двух функций принадлежности $M_\Sigma = f\,[M(\Delta t), M(V_t)]$ на значение выходного параметра «холодопроизводительность» определяется соответствующей программой, заложенной в логическое устройство.

Учитывая, что холодопроизводительность пропорциональна частоте вращения компрессора, можно построить зависимость результирующей функции принадлежности M_Σ от частоты вращения компрессора, придав лингвистическим термам скорость вращения компрессора с рангом 1,0 следующие значения (рис. 2.6.20): малая – 37 Гц; средняя – 62 Гц; большая – 87 Гц; очень большая – 115 Гц.

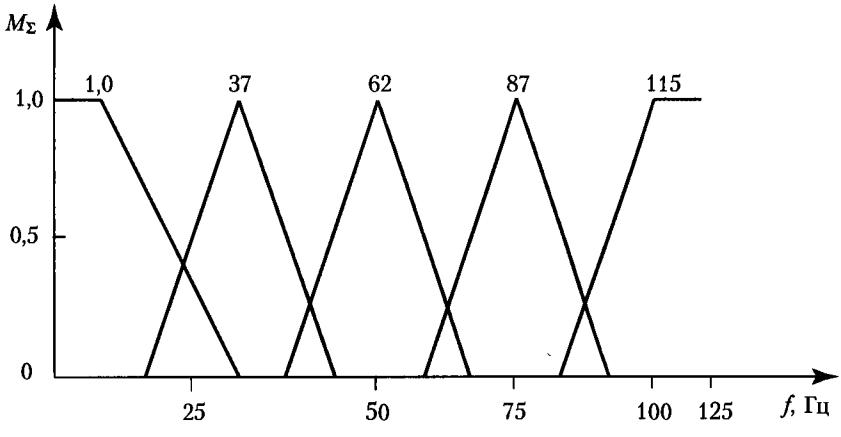


Рис. 2.6.20. Зависимость параметра «частота вращения компрессора» от значения суммарной функции принадлежности

Таким образом, найдя лингвистическим методом суммарную функцию принадлежности, после дефаззификации можно перейти к четкому значению выходного параметра – частоте вращения компрессора или холодопроизводительности.

IBIK

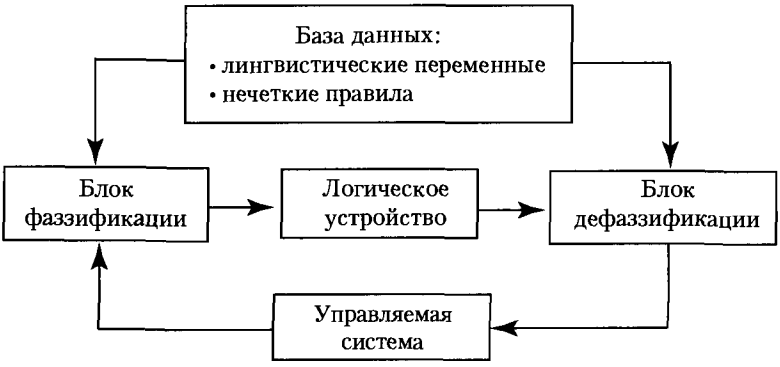


Рис. 2.6.21. Блок-схема микроконтроллера, реализующего нечеткую логику

Микроконтроллер, реализующий нечеткую логику, состоит из следующих частей: блок фаззификации, база данных, логическое устройство, блок дефаззификации (рис. 2.6.21).

Блок фаззификации преобразует четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, описываемые лингвистическими переменными.

Логическое устройство использует нечеткие условные правила, заложенные в базе данных, для преобразования нечетких входных данных в управляющие воздействия, которые также носят нечеткий характер.

Блок дефаззификации преобразует нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, которая используется для управления объектом.

В системе управления fuzzy logic температура уставки постоянно корректируется, исходя из текущих значений температуры и влажности помещения. Колебания температуры уменьшаются даже по сравнению с ПИД-регуляторами (рис. 2.6.22). Поддерживаемая температура в помещении находится на уровне минимального допуска, благодаря чему снижается энергопотребление.

Управление кондиционером с применением нечетких логических регуляторов обеспечивает:

- изменение температуры в соответствии с санитарными нормами (отсутствие резкого перепада температур в помещении, поддержание допустимой скорости потока воздуха и др.);
- установку необходимой холодопроизводительности;
- выбор режима работы и уставку температуры, исходя из температуры и влажности в помещении;
- выбор оптимального (комфортного) распределения и интенсивности потока воздуха;
- минимальное время выхода на заданный режим;
- уменьшение расхода электроэнергии на 20–40 %.

IBIK

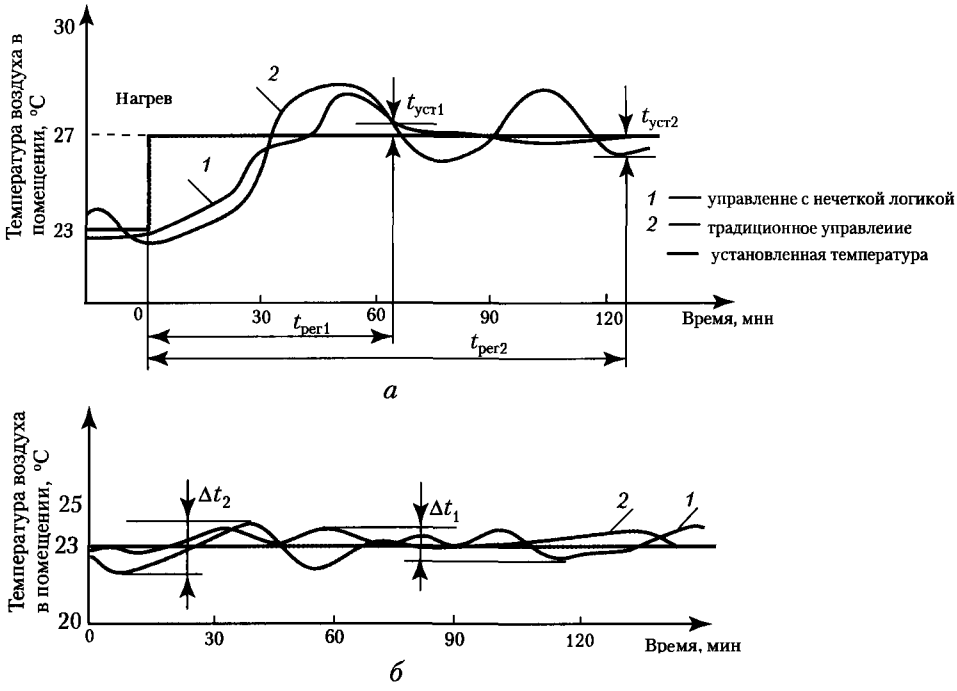


Рис. 2.6.22. Графики изменения температуры в помещении:
а – кривая разгона;
б – изменение температуры в помещении

2.7. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СКВ КАК ОБЪЕКТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

2.7.1. ОБСЛУЖИВАЕМЫЕ ПОМЕЩЕНИЯ

Основным элементом СКВ является обслуживаемое помещение, в котором постоянно совершается переход воздуха из одного состояния в другое. Для поддержания заданных параметров в обслуживаемое помещение подается приточный воздух с параметрами, отличными от параметров внутри помещения. Перемешиваясь с внутренним воздухом и вытесняя его, приточный воздух ассимилирует избыточное тепло и влагу или подогревает и увлажняет воздух помещения.

Обслуживаемое помещение характеризуется рассредоточенными показателями воздуха. Учет рассредоточенных характеристик затруднен, поэтому помещение при решении задач автоматического регулирования рассматривается как объект с сосредоточенными параметрами, т. е. температура и влажность воздуха определяются в наиболее типичной (рабочей) зоне. Именно в такой зоне должны быть установлены датчики регулируемых параметров. Некоторые помещения

IBIK

могут характеризоваться зонами с разными параметрами, что требует применения многозональной СКВ или использование местных доводчиков (автономные кондиционеры, увлажнители, фэнкойлы и др.).

На функциональной схеме обслуживаемого помещения (рис. 2.7.1) выделены внешние возмущающие воздействия (тепловая $Q_н$, влажностная $W_н$ и аэродинамическая $G_н$ нагрузки) и внутренние (тепловая $Q_{пом}$, влажностная $W_{пом}$ и газовая $C_{пом}$ нагрузки). Входными параметрами являются: температура $t_{пр}$, влажность $d_{пр}$ и расход подаваемого в помещение воздуха $G_{пр}$, и соответственно регулируемыми: $t_{пом}$, $d_{пом}$ и $C_{пом}$. В системах комфортного кондиционирования для стабилизации заданного состояния воздуха, т. е. двух независимых переменных $t_{пом}$ и $d_{пом}$, можно использовать, в общем случае, три управляющие воздействия: $t_{пр}$, $d_{пр}$ и $G_{пр}$. Особенности применения каждого определяются исходными условиями, ограничениями, накладываемыми на систему, а также экономическими соображениями.

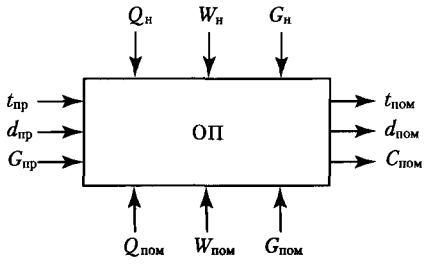


Рис. 2.7.1. Обобщенная функциональная модель обслуживаемого помещения (ОП) как объекта регулирования

Обычно в кондиционируемых помещениях переменная тепловая нагрузка, влажностная – относительно постоянна, а газовая требует некоторого минимального расхода наружного воздуха.

Для такого объекта возможны три вида систем стабилизации температуры: с постоянным или переменным расходом воздуха и смешанные.

Возможные функциональные схемы стабилизации температуры в помещении показаны на рис. 1.5.5, 1.5.7, 1.5.8, 1.5.10.

Управление температурой помещения с помощью изменения расходов приточного и удаляемого воздуха (количественное регулирование), несмотря на преимущества, связанные с экономией теплоты, воды и электроэнергии, реализуется редко. Это связано с относительно высокими капитальными затратами и сложностью управления, особенно в многозональных системах. Поэтому наиболее распространенными являются системы стабилизации температуры в помещении по каналу изменения температуры приточного воздуха (качественное управление). Такие системы наиболее полно исследованы как объекты автоматизации: выведены аналитически и экспериментально подтверждены передаточные функции, значения коэффициентов передач и постоянных времени.

IBIK

Динамические свойства помещения зависят от кратности воздухообмена $K_в$, обобщенного размера помещения l_V (отношение объема помещения $V_{пом}$ к площади поверхности ограждений F), коэффициентов теплопередачи ограждений $K_{огр}$ и постоянной времени ограждения $T_{огр}$ [8]. Аналитически передаточная функция по каналу температуры приточного воздуха получена в виде:

$$W_{tпр}(p) = \frac{T_{огр} \cdot p + 1}{T_{пом} \cdot p + 1} \cdot K_{пом}, \qquad (2.7.1)$$

где $K_{пом}$ и $T_{огр}$ могут быть определены по показателям $K_в$, l_V, $K_{огр}$, теплопроводности $c_в$ и плотности $\rho_в$ воздуха;

$T_{пом}$ – постоянная времени помещения – может быть определена как $T_{пом} \approx K_в^{-1}$.

Анализ кривых переходного процесса, построенных на основании приведенной передаточной функции и экспериментальных данных, показывает, что процесс изменения температуры в помещении имеет два явно выраженных участка (рис. 2.7.2). На первом (A) – процесс изменения температуры происходит быстро, скорость изменения температуры при этом зависит от кратности воздухообмена $K_в$. По литературным данным этот отрезок времени составляет (3–4) $K_в^{-1}$. По мере поглощения теплоты ограждением и оборудованием скорость изменения температуры воздуха замедляется (участок B), проявляется инерционность ограждений ($T_{огр}$ может составлять порядка десятка часов). Поэтому, теоретический конец переходного процесса может быть достигнут через несколько суток.

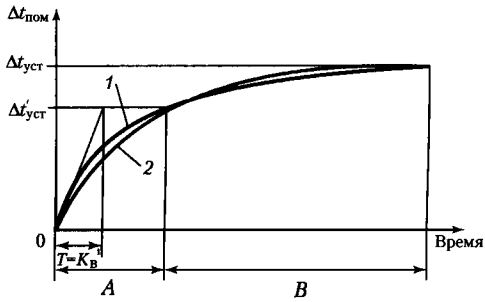


Рис. 2.7.2. Процесс изменения температуры в помещении:
1 – эксперимент
2 – расчет

Учитывая, что для помещений характерны периоды изменения составляющих тепловой нагрузки от нескольких минут до часов, в задачах с такими периодами колебаний можно пренебречь инерционностью ограждений и представить помещение апериодическим звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W_{пом}(p) = \frac{K_{пом}}{T_{пом} \cdot p + 1}. \qquad (2.7.2)$$

2.7.2. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Теплообмен между твердыми телами и газами или жидкостями, которые имеют различные температуры, может происходить тремя разными способами: излучением, теплопроводностью и конвекцией.

При излучении тепло передается от одного тела к другому с помощью электромагнитных волн, без прямого контакта между излучающим и поглощающим телами. При теплопроводности тепло распространяется внутри тела от частицы к частице, причем эти частицы остаются неподвижными. При конвекции перенос тепла осуществляется жидкой или газообразной средой к твердому телу или наоборот. Как правило, эти три механизма действуют одновременно.

В холодильных машинах теплообмен осуществляется теплообменными аппаратами, состоящими из теплообменников и вентиляторов. В холодильных машинах применяются два вида теплообменников: испарители и конденсаторы.

В ***центральных кондиционерах*** применяются теплообменники «фреон-воздух», «жидкость-воздух» и «воздух-воздух». Последние позволяют использовать тепло (холод) потока воздуха, удаляемого из помещения, для изменения температуры свежего воздуха, подаваемого в помещение. Такие теплообменники называются теплоутилизаторами и подразделяются на три типа:

- перекрестнопоточные (рекуперативные);
- вращающиеся (регенеративные);
- с промежуточным теплоносителем.

В чиллерах используются пластинчатые теплообменники «хладагент-жидкость» и «жидкость-жидкость».

По процессам, происходящим внутри испарителя, разделяют испарители с перегревом (сухие испарители) и затопленные испарители.

В ***испарителях с перегревом*** испарение хладагента происходит таким образом, что количество жидкого хладагента, подаваемое в этот испаритель, в точности соответствует тому количеству, которое может в нем испариться. Регулировка количества хладагента в испарителе производится терморегулирующим вентилем по величине перегрева хладагента на выходе испарителя.

В ***затопленных испарителях*** всегда находится такое количество хладагента, которое необходимо, чтобы поверхность теплообмена постоянно была в контакте с жидким хладагентом. Главное преимущество этого типа испарителей состоит в том, что их коэффициент теплообмена гораздо выше, следовательно, и производительность выше. В то же время их регулирование должно быть очень точным, что-

бы компрессор вышел из строя из-за гидравлического удара. В такие системы необходимо устанавливать докипатели жидкости с подогревом, а для возврата масла в компрессор – маслоотделители. Кроме того, предъявляются особые требования к монтажу и расположению докипателя, маслоотделителя, трубопроводов по отношению к испарителю и компрессору.

По конструктивному исполнению испарители подразделяются на кожухотрубные, панельные, с оребренными трубами.

Кожухотрубные испарители используются в основном как охладители жидкости (вода, вино, молоко и др.). Охлаждаемая жидкость циркулирует внутри пучка труб, а кипящий хладагент заполняет большую часть пространства между трубами, омывая трубы снаружи.

В холодильных машинах систем кондиционирования в основном применяют ***змеевиковые испарители с оребренными трубами*** (рис. 2.7.3). Обычно применяется труба медная, а ребра – алюминиевые толщиной 0,1–0,2 мм. Коэффициент теплоотдачи таких испарителей зависит от скорости воздуха, отношения поверхностей теплообмена со стороны воздуха и со стороны хладагента, эффективности ребер и др. При температуре поверхности испарителя ниже точки росы часть паров воды, содержащейся в воздухе, конденсируется, оседая на его поверхность. Если температура теплообменника по каким-либо причинам снизится ниже 0 °С, на нем образуется иней. В результате уменьшится коэффициент теплоотдачи, процесс образования инея ускорится.

Для исключения этого явления необходимо при проектировании правильно выбирать расстояние между пластинами и в процессе эксплуатации периодически проводить оттаивание инея. Оттаивание, как правило, выполняется автоматически.

В ***перекрестно-поточных (рекуперативных)*** теплообменниках, применяемых в центральных кондиционерах, удаляемый из помеще-

Рис. 2.7.3. Змеевиковый теплообменник с оребренными трубами

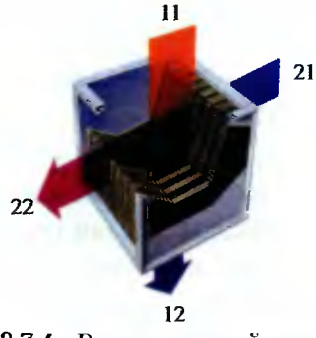


Рис. 2.7.4. Рекуперативный теплообменник «воздух-воздух»

ния воздух и приточный воздух проходят через один теплообменник, не контактируя друг с другом (рис. 2.7.4).

В чиллерах применяются пластинчатые теплообменники типа «хладагент-жидкость» и «жидкость-жидкость» (рис. 2.7.5.). Внутри теплообменника создаются два независимых контура циркуляции хладагента и воды, движущихся в противоположных направлениях.

Рис. 2.7.5. Внешний вид пластинчатых теплообменников

Рис. 2.7.6. Внешний вид вращающегося регенеративного теплообменника(вырезы условные)

Вращающиеся (регенеративные) теплообменники – это устройства, в которых теплообмен происходит в результате аккумуляции тепла вращающимся барабаном (рис. 2.7.6).

Барабан представляет собой гофрированный стальной лист, свернутый так, чтобы были созданы горизонтальные каналы для протекания воздуха.

Барабан приводится во вращение электродвигателем через ременную передачу. Удаляемый воздух проходит через нижнюю часть барабана, нагревая его. Вращаясь, нагретые части барабана попадают на путь прохождения приточного воздуха и отдают ему тепло.

Эффективность теплоутилизации регенеративных теплообменников может достигать 80 %. Регулировка эффективности теплообмена осуществляется изменением скорости вращения барабана (1–15 мин$^{-1}$).

Барабаны изготавливаются двух типов:

- негигроскопичные, позволяющие утилизировать только явную теплоту;
- гигроскопичные, когда поверхность ротора покрыта слоем, поглощающим влагу из воздуха (в этом случае утилизируется также скрытая теплота, а приточный воздух не только нагревается, но и увлажняется).

Основным недостатком вращающихся теплообменников является наличие взаимного перетекания воздушных потоков, что не позволяет их применять на объектах, где требуется полное разделение приточного и удаляемого воздуха.

IBIK

В поверхностных теплообменниках типа «воздух-жидкость», «воздух-хладагент» в качестве возмущающих воздействий выступают температура жидкости на входе $t_{w\text{вх}}$, расход воздуха $G_{\text{в}}$, температура воздуха на входе $t_{\text{вх}}$ (рис. 2.7.7). Управляющими воздействиями могут быть расход жидкости G_w, температура жидкости $t_{w\text{вх}}$, расход воздуха $G_{\text{в}}$, а регулируемый параметр $t_{\text{вых}}$.

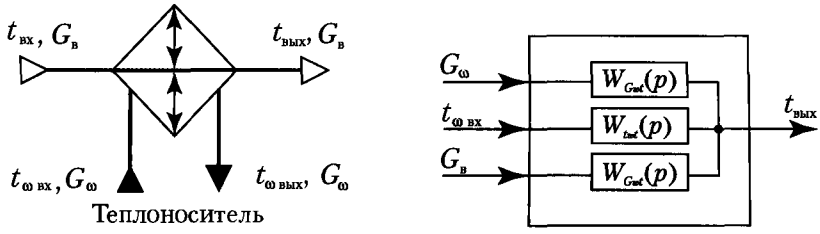


Рис. 2.7.7. Функциональная и структурная схемы теплообменника типа «жидкость-воздух»

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что в первом приближении передаточная функция такого аппарата вне зависимости от канала управления описывается типовым апериодическим звеном первого порядка вида [8]:

$$W(p) = \frac{K}{T_{\text{то}} \cdot p + 1}, \qquad (2.7.3)$$

где K – статический коэффициент передачи аппарата;

$T_{\text{то}}$ – постоянная времени теплообменного аппарата.

При этом оказалось, что при разных возмущениях постоянная времени для такого вида аппаратов не зависит от вида возмущения и определяется только расходами сред. Ниже приведена одна из нескольких возможных зависимостей, позволяющая приближенно оценить инерционность аппаратов такого вида:

$$T_{\text{то}} = (c_{\text{м}} M_{\text{м}} + c_w M_w) / [c_w G_w + (\frac{2}{kF} + \frac{1}{c_w G_w})^{-1}], \qquad (2.7.4)$$

где $c_{\text{м}}$, c_w – теплоемкости металла и воды;

$M_{\text{м}}$, M_w – массы металла и воды;

G_w – расход воды;

k – коэффициент теплопередачи аппарата;

F – поверхность аппарата.

Статическая характеристика аппарата, описываемая коэффициентом передачи K, может быть также получена расчетным путем, хотя эта зависимость еще более сложная, чем для у постоянной времени. Поэтому для оценки пользуются статическими характеристиками, полученными графоаналитическим методом. Кроме этого, при анализе необходимо учитывать ограничения, связанные с тем, что при температуре наружного воздуха ниже нуля и определенных скоростях потока (<0,1 м/с) создается угроза замораживания аппарата.

Управления поверхностными жидкостными теплообменниками может осуществляться по трем каналам: расходом теплоносителя, температурой теплоносителя и байпасированием (перепуском) воздуха. Возможные варианты их технической реализации, а также вид статических характеристик показаны на рис. 2.7.8.

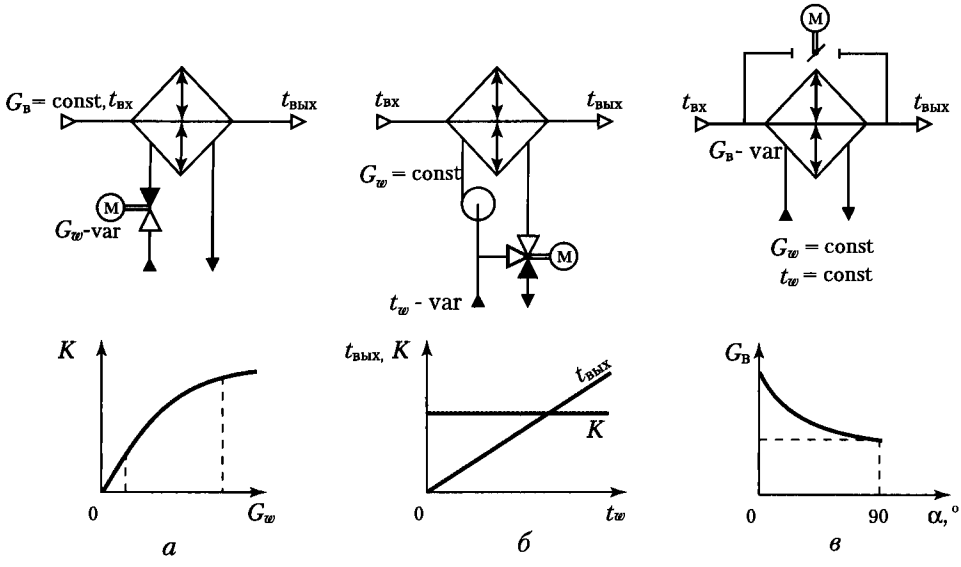


Рис. 2.7.8. Способы управления поверхностными теплообменниками типа «жидкость-воздух»:
а – двухходовым клапаном;
б – трехходовым клапаном;
в – байпасированием воздуха

Управление расходом теплоносителя (рис. 2.7.8, *а*) – самый распространенный способ, как наиболее простой и дешевый (может быть реализован с помощью одного двухходового клапана). Однако регулировочная характеристика этого канала – зависимость выходной величины $t_{вых}$ от расхода жидкости – нелинейна. При малых расходах и скоростях воды $t_{вых}$ сильно меняются, при больших скоростях происходит так называемое «насыщение» регулировочной характеристики. Таким образом, статический коэффициент передачи K меняется во всем диапазоне регулирования. Это же относится к постоянной

IBIK

времени T, сильно зависящей от расхода жидкости (2.7.4). Следовательно, как динамические, так и статические характеристики аппарата по этому каналу управления – нелинейны, что затрудняет настройку регулятора. В ряде случаев можно несколько спрямить статическую характеристику за счет выбора «обратной» характеристики регулировочного клапана.

Еще одним недостатком управления расходом является опасность замерзания воды в трубах при малых скоростях воды и отрицательной температуре наружного воздуха. Нижняя граница температуры окружающей среды, при которой возможно применение указанного метода, определяется расходом ($G_{w\text{зам}}$) и скоростью воды в трубах ($V \geq 0{,}2$ м/с).

Управление температурой теплоносителя (рис. 2.7.8, *б*) осуществляется с помощью двух двухходовых клапанов или одного трехходового, а также циркуляционного насоса. Регулировочная характеристика при этом линейна, коэффициент передачи постоянен. Если выбрать клапаны с линейной характеристикой, то управляемый аппарат по этому каналу представляется линейным объектом. При этом динамические характеристики при постоянном расходе воздуха также остаются неизменными, а при переменном расходе – меняются незначительно. По выбранной скорости воды (обычно 0,3–0,5 м/с) с учетом обвязок теплообменника определяется расход воды через аппарат и подбирается насос. При таком подходе гарантируется защита от замерзания в рабочем режиме и безопасность повышения температуры горячей воды. Таким образом, схема управления температурой теплоносителя является лучшей по своим техническим характеристикам.

Управления с помощью байпасирования воздуха (рис. 2.7.8, *в)* представлено как технически возможное, но качество регулирования, присущее такому методу, невысоко: расход теплоты или холода нельзя снизить до нуля, регулировочная характеристика нелинейная и т. д. Поэтому на практике для автоматического регулирования этот метод не применяется.

Следует остановиться на параметре $t_{w\text{вых}}$ – температуре воды на выходе из теплообменника. Она не является регулируемым параметром, но ее контроль необходим. Именно ее минимальная величина совместно с температурой наружного воздуха является определяющей для установки критерия срабатывания защиты от замерзания теплообменника.

Роторный рекуператор как объект управления – одноканальный, т. е. используется только одно управляющее воздействие – изменение частоты вращения ротора, при регулируемом параметре – температуре приточного воздуха $t_{\text{пр}}$. Однако данные по анализу статических

IBIK

и динамических характеристик роторных рекуператоров отсутствуют. Можно предположить, что при неизменных расходах приточного и удаляемого воздуха передаточная функция роторного рекуператора $W(p)$ постоянна и соответствует типовому апериодическому звену первого порядка с инерционностью в несколько минут (при диапазоне скоростей ротора 3–11 мин$^{-1}$ и максимальных скоростях воздуха до 4,0 м/с).

Возможность замерзания также присуща этому виду аппаратов. Поэтому для защиты, кроме стандартных мер, снижают скорость вращения ротора, что позволяет увеличить интенсивность его нагрева теплым воздухом.

Поверхностный теплообменник с использованием электрического нагрева – теплоэлектронагреватель (ТЭН) – иногда используется при отсутствии централизованного горячего водоснабжения и для нагрева локальных зон кондиционирования и вентиляции (рис. 2.7.9). Мощность ТЭН, как правило, не превышает 40–50 кВт. В качестве управляющего воздействия в этом случае используется изменение мощности электронагрева. ТЭН при постоянном расходе воздуха представляется апериодическим звеном первого порядка с неизменными коэффициентом K и постоянной времени T.

$$W_p(p) = \frac{K}{T \cdot p + 1}. \qquad (2.7.5)$$

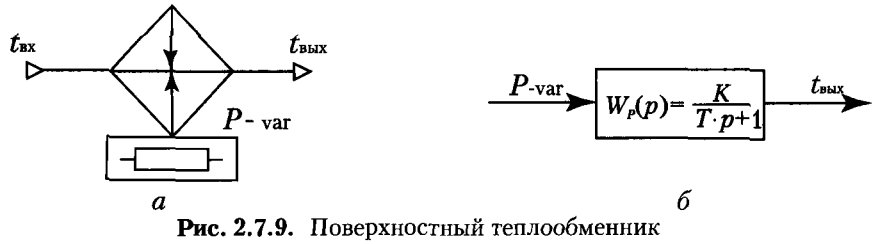


Рис. 2.7.9. Поверхностный теплообменник с электрическим нагревом:
а – функциональная схема;
б – структурная схема

2.7.3. КОНТАКТНЫЕ ТЕПЛО-МАССООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

Контактные аппараты (оросительные камеры, пароувлажнители) наиболее сложные с точки зрения их представления как объектов управления. В них одновременно и взаимосвязано происходит тепло- и массообмен, а следовательно, меняется как температура, так и влажность воздуха. Внутри камеры находится группа форсунок, распыляющих воду навстречу потоку воздуха (рис. 2.7.10). Подача воды осуществляется насосом. Для исключения уноса капель воды на выходе секции увлажнения устанавливается каплеуловитель.

IBIK

Циркуляционный насос размещается в поддоне, который одновременно выполняет функцию емкости для воды. По мере испарения остатки воды периодически сливаются, а поддон заполняется свежей водой. Уровень воды регулируется с помощью поплавка, открывающего питательный трубопровод, а циркуляционная вода выпускается шаровым клапаном, расположенным на нагнетательной стороне насоса.

Рис. 2.7.10. Камера орошения

В некоторых кондиционерах увлажнение воздуха осуществляется сухим перегретым паром. Пар подается от отопительной системы и распыляется инжекционными соплами.

В таких увлажнителях имеются конденсатоотводчики, фильтр пара, регулятор уровня конденсата.

Увлажнение паром имеет ряд преимуществ:

- высокая точность поддержания влажности воздуха;
- сухой перегретый пар не содержит минеральных солей и бактерий;
- минимальные эксплутационные расходы.

В последнее время чаще применяются электрические парогенераторы.

Повышение влажности осуществляется с помощью парогенераторов, которые встраиваются в прецизионные кондиционеры (рис. 2.7.11) или в воздухораспределительную сеть.

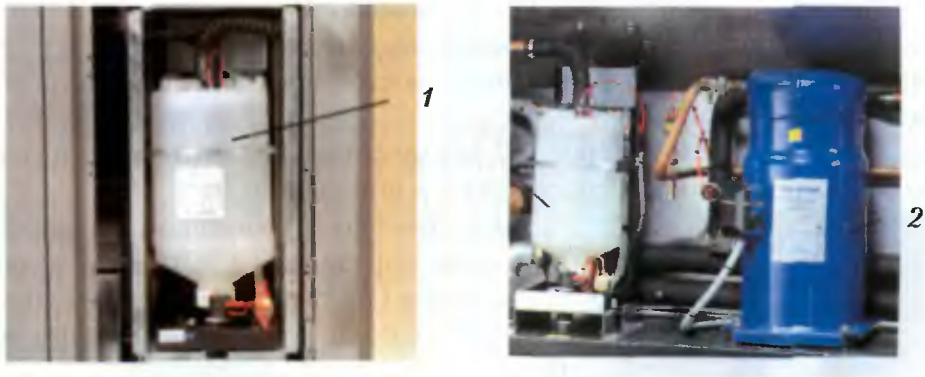


Рис. 2.7.11. Парогенераторы, вмонтированные в прецизионные кондиционеры:
а – парогенератор;
б – компрессор

Парогенератор (рис. 2.7.12) состоит из разборного парового бака (*5*) и (*9*), в который при открытии клапана (*16*) поступает вода из водопроводной сети (*17*).

Давление водопроводной сети должно быть в пределах от 1,0 до 10,0 бар. В паровом баке располагаются электроды (*6*), к которым подается переменное напряжение от стандартной однофазной или трехфазной электрической сети. Благодаря электропроводности воды между электродами проходит электрический ток.

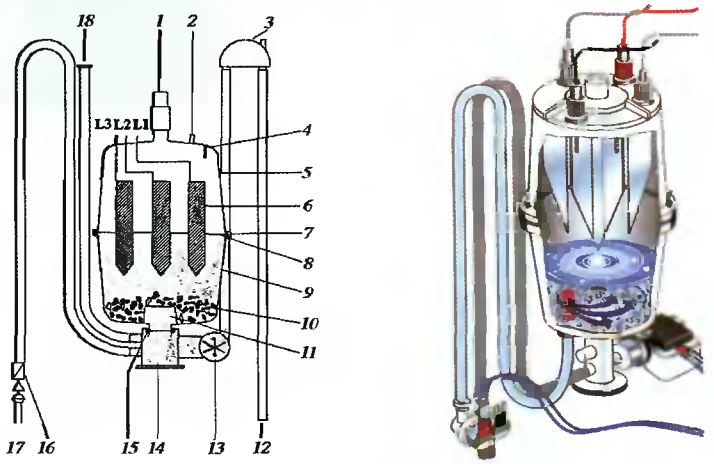


Рис. 2.7.12. Схема и конструкция парогенератора

Вода закипает, выделяя пар. Образовавшийся при кипении пар, деминерализуется, освобождается от бактерий и подается по трубе (*1*) в область потока воздуха, подаваемого из кондиционера в помещение. По мере выкипания воды на дне парового цилиндра накапливаются соли (*10*). Проводимость воды увеличивается, а производительность увлажнителя уменьшается. Поэтому осадок солей и шлаков периодически сбрасывается в канализацию насосом (*13*) по трубе (*12*). Этот процесс позволяет поддерживать постоянную проводимость воды в паровом цилиндре.

Датчик влажности (рис. 2.7.13) может располагаться как в воздухораспределительном тракте, так и в помещении.

Рис. 2.7.13. Датчик влажности

Максимальный уровень воды в паровом цилиндре определяется датчиком аварийного уровня (*4*). Если уровень воды достигнет предельно допустимого значения, клапан (*16*) закроется.

В камере смешения воздуха и пара может образовываться конденсат. Возврат конденсата в паровой цилиндр осуществляется через трубку (*2*).

IBIK

Таблица. 2.6.1. Технические характеристики парогенераторов HyLine HY1-HY7

Тип	HY1.05	HY1.08	HY2.13	HY2.17	HY3.23
Паропроизводительность, кг/ч	5	8	13	17	23
Напряжение питания	3 ф, 380 В, 50Гц				
Потребляемая мощность, кВт	3,8	6,0	9,8	12,8	17,3
Рабочий ток, А	5,4	8,7	14,1	18,4	24,9
Фазный предохранитель, А	6	10	16	20	35
Напряжение питания устройства управления	220/230 В				
Размеры штуцера пара, мм	25×1	25×1	25×1	25×1	40×1
Размеры штуцера конденсата, мм	12×1	12×1	12×1	12×1	12×1
Масса, кг	13	13	20	20	22
Габаритные размеры Высота, мм Ширина, мм Глубина, мм	 480 441 225	 480 441 225	 650 507 293	 650 507 293	 650 507 293
Давление воды	от 1 до 10 бар в трубе диаметром 10 мм				
Тип вентилятора	VG08	VG08	VG17	VG17	VG30
Расход воздуха, м^3/ч	185	185	185	185	350
Паропроизводительность, кг/ч	30	45	60	90	166
Напряжение питания	3ф, 380 В, 50 Гц				
Потребляемая мощность, кВт	22,5	33,8	22,5×2	33,8×2	43,5×2
Рабочий ток, А	32,5	48,8	32,5×2	48,8×2	62,8×2
Фазный предохранитель, А	35	63	35	63	63
Напряжение питания устройства управления	230В				
Размеры штуцера пара, мм	40×1	40×2	40×2	40×4	40×4
Размеры штуцера конденсата, мм	12×1	12×2	12×2	12×4	12×4
Масса, кг	28	39	47	70	70
Габаритные размеры Высота, мм Ширина, мм Глубина, мм	 707 550 336	 785 634 404	 707 944 336	 785 4078 404	 785 1078 404
Давление воды	от 1 до 10 бар в трубе диаметром 10 мм				
Тип вентилятора	VG30	2×VG30	2×VG30	3×VG30	4×VG30
Расход воздуха, м^3/ч	350	2×350	2×350	3×350	4×350

Парогенератор периодически должен подвергаться профилактике, для чего вручную сливается вода (трубка (*18*) опускается вниз), цилиндр снимается с основания (*14*) и очищается моющими средствами. При необходимости меняются уплотнительные кольца (*7*, 8, *15*).

При увлажнении паром процесс идет изотермически в отличии от адиабатического процесса при увлажнении водой. Изотермическое увлажнение паром проще реализуется аппаратно, но отличается большим энергопотреблением. Так, для образования 1кг/ч пара необходимо затратить 750 Вт, а в оросительной камере потребуется от 20 до 100 Вт. Эта энергия затрачивается только на работу насоса, подающего воду в распылительные форсунки. Дополнительная энергия на переход

аэрозоля в пар происходит за счет снижения температуры воздуха на 3–5 °С. Эту особенность распылительных систем выгодно использовать там, где требуется скомпенсировать тепловые избытки, например, в производственных цехах. В тех случаях, когда после понижения температуры воздуха при адиабатическом увлажнении его необходимо вторично подогревать, расход электроэнергии может быть соизмерим с изотермическим увлажнением. Как правило, паровые увлажнители целесообразно применять при потребности пара менее 100 кг/ч [27].

Снижение влажности производится включением холодильной машины в режим осушения. При необходимости удаления большого избытка влаги, поступающей в помещение (более 3 кг/ч), используются специальные осушители воздуха. Они представляют собой моноблочную холодильную машину, устанавливаемую внутри помещения. Влажный воздух помещения центробежным вентилятором всасывается в кондиционер, проходит через фильтр и поступает на испаритель холодильной машины, температура которого 4–5 °С. При охлаждении воздуха на испарителе осаждается влага, которая удаляется по дренажному трубопроводу. Охлажденный и осушенный воздух поступает на конденсатор, нагревается и возвращается в помещение. Температура воздуха, возвращаемого в помещение, на несколько градусов выше температуры воздуха в помещении. На рис. 2.7.14 показан осушитель воздуха Fricostar F800 фирмы GEA. Производительность осушителя воздуха Fricostar F800 – 3,9 кг/ч; отопительная мощность – 1,5 кВт; мощность, затрачиваемая на удаление влаги, – 2,9 кВт.

Осушитель Fricostar F800 способен обеспечить нормальную влажность (40–60 %) в бассейне с площадью зеркала воды 40 м².

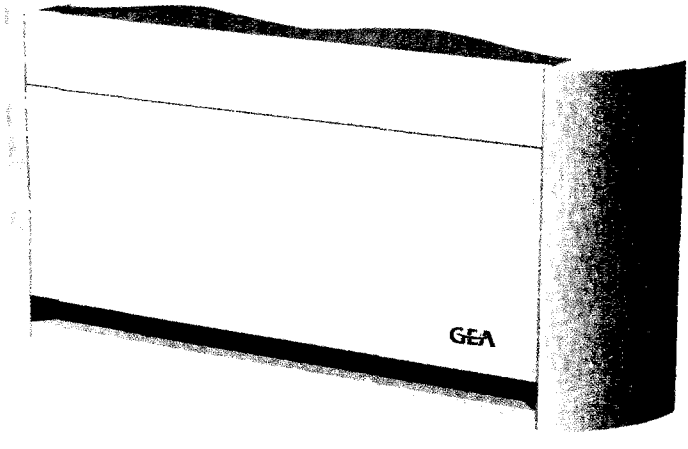


Рис. 2.7.14. Осушитель воздуха GEA-Fricostar F800

IBIK

Управляющими воздействиями для оросительной камеры являются температура орошающей воды t_w, расход воздуха $G_в$ и расход воды G_w, а возмущающими воздействиями – $t_{вх}$ и $d_{вх}$. Режимы использования воды зависят от требуемых процессов тепловлажностной обработки воздуха. При изоэнтальпийном процессе, используется только рециркуляционная вода, если пренебречь подпиткой из водопровода не более 0,5–3,0 % испарившейся воды. В этом процессе теплосодержание (энтальпия) воздуха практически не меняется, т. к. температура воздуха близка к температуре орошающей воды, однако относительная влажность не достигает 100 % из-за кратковременности пребывания воздуха в камере.

При политропном процессе, когда происходит не только увлажнение, но и меняеться теплосодержание воздуха за счет разности $t_{вх}$ и t_w, оросительная камера работает на переменной смеси холодной и рециркуляционной воды. В летний период при температуре наружного воздуха, превышающей расчетные, в камеру подается только холодная вода.

Сложность процессов тепломассообмена в оросительных камерах затрудняет получение их однозначных динамических и статических характеристик, причем у разных исследователей отличаются не только расчетные зависимости для оценки коэффициентов передачи и постоянных времени, но и виды передаточных функций. Наиболее наглядной интерпретацией динамических процессов, происходящих в оросительной камере, является ее представление в виде двух звеньев. Первое звено – дождевое пространство оросительной камеры, то есть объем, где размещены форсунки и происходит тепломассообмен. Его можно считать усилительным звеном с переменным коэффициентом передачи, зависящим от начальных параметров воздуха и воды, выбранного канала управления и т. д., то есть нелинейным звеном. Второе звено – поддон – может быть представлено апериодическим звеном с постоянной времени $T_п = V_п \cdot \rho_w / G_w$, где $V_п$ – объем поддона. В зависимости от условий работы динамические характеристики могут приближаться либо к апериодическому (в изоэнтальпийном процессе), либо к усилительному (в политропном процессе) звеньям.

Рассмотрим основные функциональные схемы, соответствующие технической реализации управления оросительной камерой по каналам t_w, G_w и $G_в$ (рис. 2.7.15).

Управление расходом воды G_w производят либо дросселированием с помощью клапана, либо позиционно – скважностью подачи воды (скважность q – отношение времени включенного насоса $\tau_{вкл}$ к суммарному времени включенного и выключенного состояния насоса $\tau_{вкл} + \tau_{выкл}$) (рис. 2.7.15, *а*).

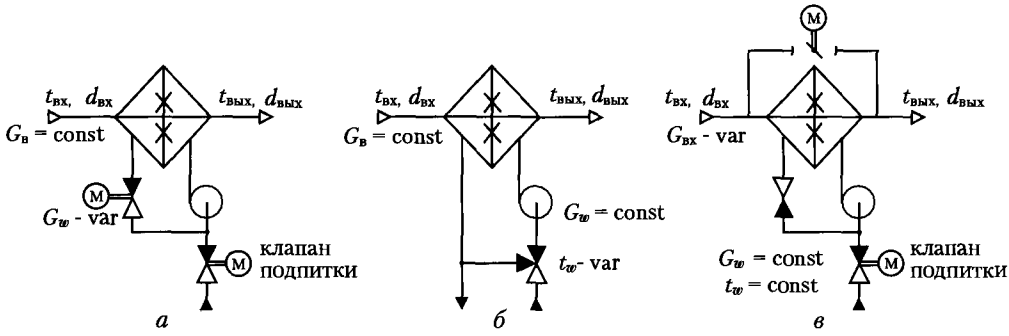


Рис. 2.7.15. Методы управления оросительной камерой:
а – расходом воды;
б – изменением температуры воды;
в – изменением расхода воздуха

Управление расходом воздуха $G_в$, проходящим через оросительную камеру, осуществляют с помощью байпасной линии аналогично поверхностным теплообменникам (рис. 2.7.15, *в*). Обычно эти две схемы используются для осуществления изоэнтальпийного процесса. С уменьшением G_w при $G_в$ =const эффективность увлажнения падает, а с сокращением расхода воздуха $G_в$ при неизменном G_w эффективность растет. Кроме того, при определенном снижении G_w может иметь место «сворачивание» факела воды на выходе из форсунки, что уменьшает эффективность увлажнения до нуля. Это ограничивает использование дросселирования при управлении изменением G_w.

Что касается регулировочных характеристик, то при управлении скважностью (q) характеристика линейна, а при изменении $G_в$ и G_w – нелинейна.

Для политропных процессов, управление обычно ведут ***изменением температуры воды*** t_w (рис. 2.7.15, *б*) с помощью двух синхронно управляемых проходных клапанов или одного смесительного в трубопроводах холодной и рециркуляционной воды. В этом случае при $G_в$ = const регулировочная характеристика (зависимость между конечной температурой воздуха и начальной температурой воды) линейна.

Технологической и конструктивной особенностью оросительных камер является наличие поддона, в связи с чем возникает задача управления уровнем воды в нем. Это независимый контур управления, необходимость которого следует учитывать при построении системы управления.

Передаточная функция оросительной камеры при управлении изменением параметров воды может быть представлена в виде

$$W(p) = K\frac{T \cdot p + 1}{-\alpha e^{p\tau} + T \cdot p + 1}. \qquad (2.7.6)$$

Значение K и T, а также коэффициентов α и τ можно найти в работе [28].

IBIK

2.7.4. КАМЕРЫ СМЕШЕНИЯ

Камеры смешения выполняют функции соединения потоков наружного и рециркуляционного воздуха. В них изменяется как расход воздуха, так и его термодинамическое состояние.

Регулировка количества подаваемого воздуха осуществляется воздушными заслонками (клапанами), состоящими из параллельных пластмассовых или металлических лопаток.

Лопатки поворачиваются вокруг своей оси синхронно (механическая связь) с помощью электропривода. В системе может быть 3 заслонки: наружного, рециркуляционного и удаляемого воздуха.

Угол поворота лопаток каждой из трех заслонок определяется необходимым количеством свежего и рециркуляционного воздуха. Электропривод заслонок управляется командами от автоматической системы регулирования кондиционером.

Рис. 2.7.16. Камера смешения

Как звено САР смесительная камера является безинерционным усилительным звеном, характеризуемым коэффициентом передачи $K_{см}$, который находится из уравнений теплового и массового балансов:

$$K_{см}=\frac{G_н}{G_н+G_{рц}}, \qquad (2.7.7)$$

где $G_н$ и $G_{рц}$ – расходы наружного и рециркуляционного воздуха соответственно.

На *d-h* диаграмме (рис. 1.4.2) точка $d_{см}$ однозначно определяется соотношением расходов $G_н$ и $G_{рц}$ на прямой процесса смешения, соединяющей точки *X* и *Y*.

Управление соотношением расходов $G_н$ и $G_{рц}$ должно производится синхронно (рис. 2.7.17, *а*). Переменное количество наружного воздуха достигается тем, что клапаны наружного и рециркуляционного воздуха имеют противоположное направление движения створок, а клапан удаляемого воздуха движется в одном направлении с клапаном наружного воздуха. При таком алгоритме управления клапанами обеспечивается подача санитарной нормы наружного воздуха, компенсация утечек воздуха в неплотностях ограждений помещений и постоянство производительности приточного и вытяжного вентиляторов.

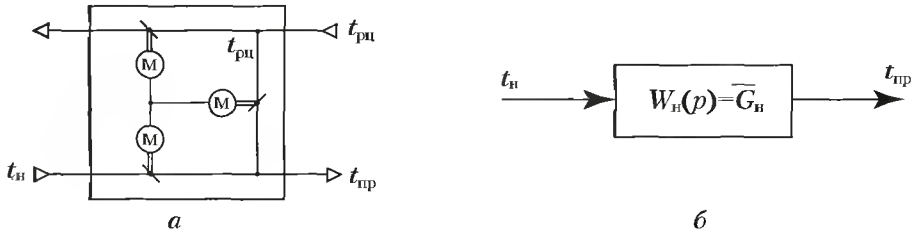


Рис. 2.7.17. Камера смешения как объект управления:
а – функциональная схема;
б – структурная схема

2.7.5. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СЕТИ

В состав вентиляционной сети входят вентиляторы, воздуховоды, регуляторы расхода воздуха и датчики.

Расход воздуха составляет от 1 000 до 200 000 м³/ч. Скорость движения потока воздуха в живом сечении установки не должна превышать 5 м/с. Рекомендуемая скорость при нагреве и вентиляции – от 2,5 до 3 м/с, в режиме охлаждения – от 2 до 2,5 м/с. При выборе более высокой скорости необходимо предусматривать каплеуловители и шумоглушители.

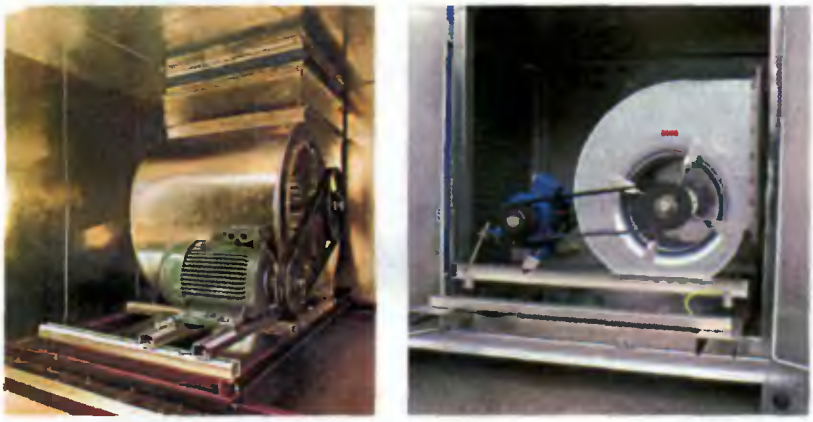


Рис. 2.7.18. Вентиляторные секции центральных кондиционеров

Этот вид элементов СКВ как объекта управления относится к транспортным звеньям САР, в которых может происходить изменение температуры воздуха и воды, а иногда и влагосодержания воздуха. Отсутствие или низкое качество изоляции, большая длина, малые скорости движения сред, большой перепад параметров движущейся среды и окружающего воздуха могут привести к колебательности процесса и к неустойчивости процесса регулирования. Эти же факторы оказывают влияние на величину транспортного запаздывания $\tau_з$, которое определяется как отношение длины воздуховода l к средней ско-

рости движения воздуха $V_в$. На рис. 2.7.19 показаны разгонная характеристика изменения температуры в воздуховоде и передаточная функция этого звена.

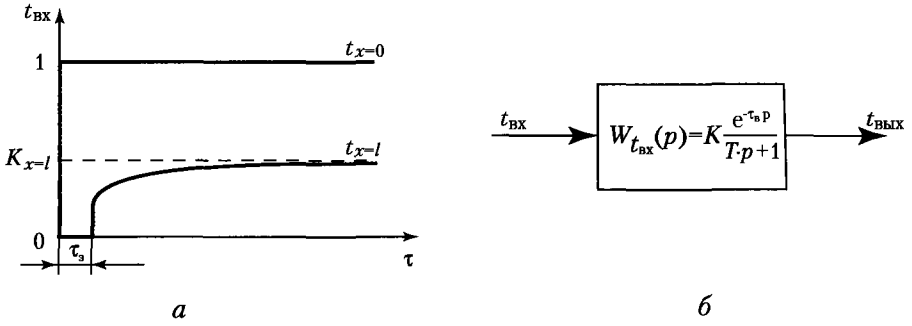


Рис. 2.7.19. Характеристика воздуховода как объекта управления:
а – переходной процесс изменения температуры;
б – передаточная функция

При скачкообразном изменении $t_{вх}$ в начале воздуховода на выходе температура спустя время $\tau_з$ изменится небольшим скачком, а затем плавно приблизится к установившемуся значению. Таким образом, передаточная функция такого звена есть сложная трансцендентная функция, которая упрощено может быть представлена в виде:

$$W_{t_{вх}}(p)=\frac{K\cdot e^{-\tau_з p}}{T\cdot p+1}. \qquad (2.7.8)$$

Для практического использования построены зависимости коэффициента передачи K от длины l, диаметра d и скорости воздуха $V_в$ [8].

При больших длинах воздуховодов их влиянием на температуру воздуха пренебречь нельзя. При низкочастотных колебаниях температуры наружного воздуха (период $\tau_н$ = 24 ч) воздуховод становится простейшим усилительным звеном. Для изолированных воздухо- и трубопроводов инерционность процесса теплопередачи в них необходимо учитывать. Оценка постоянной времени в этом случае может быть получена из выражения $T=0{,}04\tau_з\sqrt[3]{d^2}$, где d – диаметр воздухо- и трубопровода, м.

При управлении процессом изменения температуры влияние транспортного запаздывания также подлежит уточнению. Особенно это существенно при длинных воздухо- и трубопроводах. В последних скорость воды может снижаться до 0,03–0,1 м/с и запаздывание $\tau_з$ может составлять от нескольких минут до часов. Отсюда понятны и практические рекомендации по установке датчиков и управляющих органов поближе к управляющему звену. При управлении расходом воздуха или воды при неизменной температуре влияние $\tau_з$ несущественно.

2.7.6. ДАТЧИКИ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

Кроме рассмотренных выше аппаратов и устройств СКВ как звеньев систем регулирования, необходимо учитывать датчики и регулирующие органы.

Датчики параметров воздуха и тепловлагоносителей можно рассматривать как апериодическое звено первого порядка. Их инерционность (постоянная времени) зависит от конструкции и массы чувствительного элемента. Еще в более сильной степени инерционность зависит от скорости воздуха. При неподвижном воздухе постоянная времени датчиков достигает десятки минут и для помещений может оказаться самой большой постоянной среди звеньев объекта. Поэтому с целью снижения инерционности применяют локальное повышение скорости воздуха вблизи датчика, установку датчиков в приточном или рециркуляционном воздуховодах и другие приемы.

Регуляторы расхода (клапаны) изменяют расход воздуха $G_в$ или воды G_w при повороте створок на угол α или перемещении плунжера h. При мгновенном изменении α или h расход воздуха или воды также меняется мгновенно. Поэтому клапаны являются обычными усилительными звеньями, в которых входная и выходная величины связаны коэффициентом передачи. Для воздушного клапана $K_{Gв} = \Delta G_d/\Delta\alpha = f(\alpha, F_{кл})$, где $F_{кл}$ – сечение клапана. Для водяного клапана при данном диаметре клапана и типе плунжера $K_{Gw} \approx \Delta h = f(h)$. Функции $f(\alpha, F_{кл})$ и $f(h)$ обычно нелинейны, и коэффициенты передачи при разных положениях α или h могут меняться значительно, если клапаны поставлены без расчета.

Обычно клапаны выбираются специалистами по вентиляции и кондиционированию, однако со стороны специалиста по автоматизации требуется проверка выбора по управляемости.

Характеристики и методы выбора клапанов, обеспечивающих относительное постоянство коэффициентов передачи, подробно рассматриваются в разделе 3.6.

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

Раздел 3 Технические средства систем автоматизации СКВ

3.1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

3.1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Функционально схему измерения можно представить в виде, показанном на рис. 3.1.1.

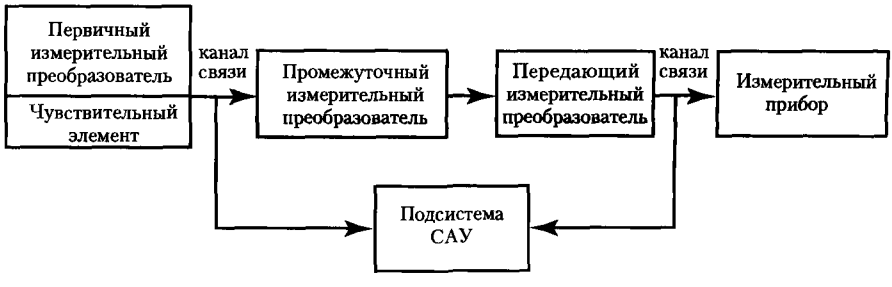


Рис. 3.1.1. Функциональная схема измерения контролируемого параметра

Важнейшим элементом любой системы измерения является ***измерительный преобразователь (ИП)*** – устройство, преобразовывающее информацию к виду, удобному для последующей обработки.

Первичный ИП включает ***чувствительный элемент***, который непосредственно связан с измеряемой величиной и находится под ее воздействием.

В сложных системах измерения может быть несколько преобразований. Например, изменение давления может быть преобразовано в перемещение упругого элемента, перемещение – в изменение электрического сопротивления, а последнее – в электродвижущую силу – напряжение. Такие ИП являются промежуточными.

Для дистанционной передачи информации на измерительный прибор служат каналы (линии) связи.

Конструктивно законченное устройство, включающее один или несколько ИП и расположенное непосредственно на объекте управления, называется ***датчиком***.

По принципу действия датчики можно разделить на две группы: ***параметрические*** и ***генераторные*** (рис. 3.1.2). В параметрических датчиках контролируемая величина преобразуется в параметр электрической цепи: сопротивление, емкость, индуктивность, электрический контакт (датчики-реле) и т. п.

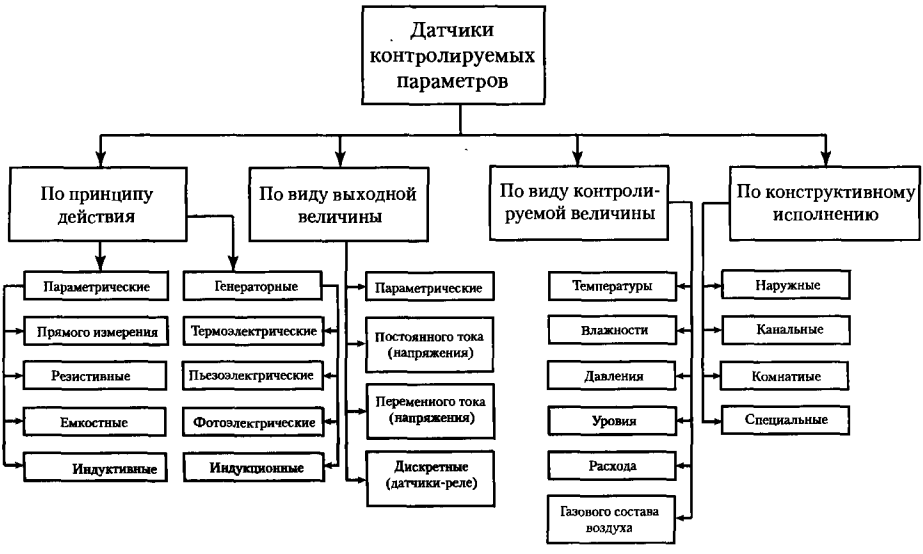


Рис. 3.1.2. Классификация датчиков контролируемых параметров в системах автоматизации СКВ

В генераторных датчиках различные виды энергии преобразуются в электрическую. Это термоэлектрические (термопары), индукционные, пьезо- и фотоэлектрические датчики.

По виду выходной величины датчики классифицируются в зависимости от того, в какую величину преобразуется контролируемый параметр:

- параметрические (омическое сопротивление, емкость, индуктивность);
- переменный ток (напряжение);
- постоянный ток (напряжение);
- дискретные (датчики-реле).

Из параметрических датчиков наиболее распространены датчики омического сопротивления, так как измерение или передача значений емкости и индуктивности по каналам связи технически трудная задача. На выходе датчика обычно получают ***унифицированный сигнал*** постоянного напряжения (тока) или состояние электрического контакта (замкнут/разомкнут). Наличие унифицированного сигнала на выходе датчика позволяет упростить стыковку его с регулирующими устройствами и исполнительными механизмами. Наибольшее распространение получили унифицированные электрические сигна-

IBIK

лы постоянного тока (0–5 мА, 4–20 мА) и напряжения (0–5 В, 0–10 В). Они используются не только для передачи данных от датчиков к регуляторам, от регуляторов к исполнительным механизмам, но и для обмена информацией устройств управления между собой.

По виду контролируемой величины можно выделить датчики: температуры, влажности, давления, уровня, расхода, состава вещества.

По конструктивному исполнению датчики подразделяются в зависимости от места их установки:

- наружные, устанавливаемые на открытом воздухе, вне помещения;
- канальные, устанавливаемые в трубопроводах и воздуховодах;
- комнатные, устанавливаемые в помещениях;
- специальные, которые учитывают специфические условия измерения и эксплуатации в различных технологических помещениях (поверхностные, точечные, накладные, совмещенные и т. д.).

При выборе датчиков по конструктивному исполнению необходимо учитывать исполнение по степени защиты от воздействия внешних факторов (см. приложение 5).

Основными характеристиками датчиков являются:

- вид функциональной зависимости между измеряемой x и выходной y величинами: $y = f(x)$;
- чувствительность, определяемая как отношение приращения выходной величины Δy к вызвавшему его изменению измеряемой величины Δx ($s = \Delta y/\Delta x$);
- погрешность измерения.

3.1.2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТЕМПЕРАТУРЫ

3.1.2.1. МАНОМЕТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

В технике автоматизации СКВ температура жидкостей и газов является одним из основных контролируемых параметров. Ее измерение основано, как правило, на измерении физических свойств тел, функционально связанных с температурой в точке измерения.

По принципу действия датчики температуры подразделяются на датчики расширения (термометры), манометрические, термоэлектрические и термометры сопротивления (рис. 3.1.3).

Датчики температуры, работающие ***по принципу расширения***, делятся на жидкостные и твердотельные. Жидкостные датчики расши-

Рис. 3.1.3. Классификация датчиков температуры

рения – это электроконтактные термометры, выполненные из стеклянных трубок, заполненных ртутью и снабженных одним, двумя или тремя парами контактов. Работа датчиков основана на том, что при изменении температуры, а, следовательно, уровня ртутного столба, происходит замыкание или размыкание контактов. Диапазон измерения таких датчиков обычно 0–300 °С, цена деления шкалы 1–2 °С, а допустимые отклонения температуры срабатывания контактного устройства 1–5 °С. Как видим, точность этих датчиков очень мала, поэтому, как правило, они используются только в простейших системах, где требования к точности невысоки.

Более высокую точность срабатывания обеспечивают датчики-реле, использующие принцип расширения твердых тел (дилатометрические и биметаллические). В качестве чувствительных элементов в этих датчиках используются материалы со значительно отличающимися коэффициентами линейного расширения.

В дилатометрических датчиках (рис. 3.1.4, *а*) используется линейное расширение (изменение длины) чувствительной латунной трубки относительно стержня из инвара (сплав никеля и железа), происходящее при изменении температуры. При этом, т. к. коэффициент температурного расширения инвара очень мал, стержень перемещается вместе с чувствительной трубкой. Вследствие перемещения стержня через рычажную систему размыкается или замыкается контакт (или перемещается стрелка прибора (на схеме не показан)). Дилатометрические датчики применяются для измерения температуры 0–500 °С и имеют класс точности 1,5; 2,5; 4,0.

Биметаллический датчик (рис. 3.1.4, *б*) представляет собой пластину, сваренную из двух металлов с различными температурными коэффициентами расширения. Наиболее часто используется пара «сталь-инвар». При изменении температуры окружающей среды незакрепленный конец пластины перемещается, что приводит через рычажную

IBIK

систему к замыканию или размыканию контактов или перемещению стрелки, если датчик выполнен в виде измерительного прибора (на схеме не показан). Точность срабатывания таких датчиков не более ±0,5 °С. Эти датчики просты и надежны в работе, однако из-за недостаточной точности и инерционности применяются, где необходимы несложные и дешевые датчики без усилителей-преобразователей.

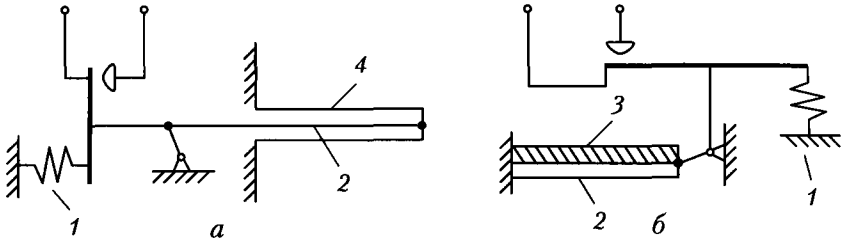


Рис. 3.1.4. Схема механических датчиков температуры:
а – дилатометрический; *б* – биметаллический;
1 – узел настройки уставок; *2* – инвар;
3 – сталь; *4* – латунь

Наибольшее применение в системах кондиционирования и вентиляции получили датчики и измерительные приборы, выполненные на основе манометрических термометров. Манометрические термометры широко используются не только для измерения и дистанционной передачи показаний температуры в трубопроводах, а также как сигнализаторы достижения определенной температуры.

Принцип действия манометрических термометров основан на зависимости давления жидкости или газа, находящихся в замкнутом объеме, от температуры. Основным элементом манометрических термометров является герметичная сильфонная система (рис. 3.1.5), состоящая из чувствительного элемента – термобаллона (*3*), соединенного капиллярной трубкой (*1*) с упругим элементом – сильфоном (*2*). При изменении температуры термобаллона изменяется давление внутри манометрической системы и происходит деформация упругого элемента.

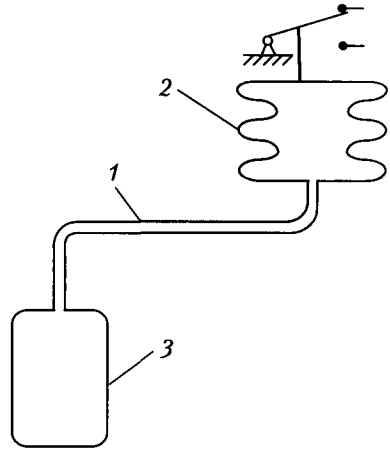


Рис. 3.1.5. Схема манометрического термометра

В зависимости от конструкции упругого элемента могут быть реализованы показывающие приборы, датчики-реле или регуляторы.

Капиллярные трубки манометрических термометров изготавливают из меди или стали с наружным диаметром 2,5 мм и внутренним – 0,35 мм. Их длина колеблется от 0,6 до 60 м.

Наличие капиллярной трубки позволяет осуществить дистанционные измерения без дополнительной энергии, а конструкция манометрических датчиков проста и надежна в эксплуатации.

В зависимости от вида рабочего вещества манометрические термометры подразделяются на газовые, жидкостные и конденсационные. Основные характеристики манометрических термометров приведены в таблице 3.1.1.

Таблица 3.1.1. Основные характеристики манометрических термометров

Вид манометрического термометра	Наполнители термосистемы	Диапазон температур, °С	Класс точности	Зависимость $\Delta P = f(\Delta T)$	Макс. длина капилляра L, м	Наличие компенсатора температур окружающей среды
Газовые	аргон, азот, гелий	–200...+600	1,0; 1,5; 2,5	линейная	60,0	да
Жидкостные	ртуть, метаксилол, полиэтилсилаксан	–150...+300	1,0; 1,5; 2,5	линейная	10,0	да
Конденсационные (парожидкостные)	фреон, ацетон, этиловый спирт	–50...+300	1,0; 2,5; 4,0	нелинейная	10,0	нет

Рис. 3.1.6. Датчик-реле типа ИТ72 на базе манометрического термометра

Особенности различных видов манометрических термометров:

- газовые – малая температурная погрешность и наибольшая длина соединительной капиллярной трубки;
- жидкостные – малая инерционность и небольшие размеры термобаллона;
- парожидкостные – малая температурная погрешность при изменении температуры окружающей среды и сравнительно малый размер термобаллона.

Технические характеристики датчиков-реле фирмы Danfoss, выполненных на базе манометрических термометров (рис. 3.1.6), приведены в табл. 3.1.2.

IBIK

Таблица 3.1.2. Технические характеристики датчиков-реле фирмы Danfoss на базе манометрических термометров

Тип	Диапазон уставки, °С	Дифференциал, К	Размер термобаллона, $D \times l$, мм	Длина капиллярной трубки, м	Температура окружающей среды, °С
КР73	-25...+15	3,5...20	10 x 15	2,0	-30...+65
КР61	-30...+15	1,5...25	9,5 x 70 (змеевик)	2,0	
КР62	-30...+15	2...20	2,5 x 67	–	
ИТ72	-30...+30	2,3	–	1,5	-30...+55

3.1.2.2. ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Различают металлические и полупроводниковые термометры сопротивлений (термосопротивления).

Металлические термосопротивления изготавливают из чистых металлов, большей частью из меди или платины, реже – из никеля, вольфрама или железа. Температурный коэффициент электрического сопротивления (ТКС) для чистых металлов составляет примерно $(4–6,5)\cdot10^{-3}$ °С$^{-1}$, т. е. при изменении температуры на 1 °С сопротивление металлического терморезистора изменится на 0,4–0,65 %. Некоторые характеристики чистых металлов, используемых в термосопротивлениях, приведены в таблице 3.1.3.

Таблица 3.1.3. Характеристики чистых металлов, используемых в термосопротивлениях

Материал	ТКС, в диапазоне 0–100 °С, °С$^{-1}$	Удельное сопротивление при 20 °С, Ом·мм²/м
Платина	$3,94\cdot10^{-3}$	0,105
Медь	$4,27\cdot10^{-3}$	0,017
Никель	$6,50\cdot10^{-3}$	0,080
Вольфрам	$4,80\cdot10^{-3}$	0,055

Применение в термосопротивлениях главным образом меди или платины связано с такими свойствами никеля и вольфрама, как тугоплавкость, повышенная окисляемость, разброс параметров от образца к образцу.

Конструктивно чувствительные элементы термосопротивления из платины или меди (рис. 3.1.7), выполненные в форме спирали (*4*), помещают в керамические трубки (*2*), заполненные керамическим порошком (*3*). К обмотке чувстви-

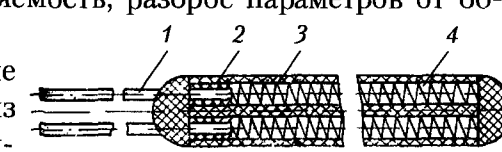


Рис. 3.1.7. Чувствительный элемент термометра сопротивления:
1 – выводы;
2 – керамическая трубка;
3 – керамический порошок;
4 – платиновая спираль

тельных элементов крепятся выводы (*1*). Чувствительный элемент помещают в корпус защитной арматуры, конструкция которого зависит от условий измерения и, как правило, выполнена из нержавеющей стали.

На рис. 3.1.8 показана конструкция канального термопреобразователя сопротивления. Чувствительный элемент (*3*) помещен в корпус (*4*), выводы термосопротивления проходят через керамические бусы (*5*) и подсоединяются к зажимам (*1*) головки преобразователя. К линии связи преобразователь подсоединяется через сальниковое уплотнение (*6*). На технологических трубо- и воздуховодах преобразователь вставляют в гнездо и укрепляют штуцером (*2*). Монтажная длина (*L*) и диаметр защитного корпуса могут быть соответственно от 10 до 1 350 мм и от 10 до 30 мм.

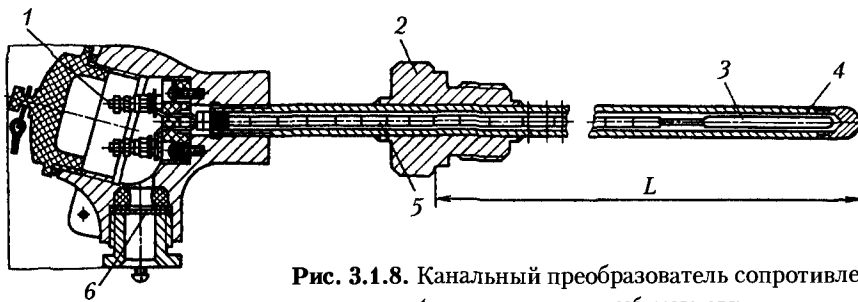


Рис. 3.1.8. Канальный преобразователь сопротивления:
1 – зажимы головки преобразователя;
2 – штуцер;
3 – чувствительный элемент;
4 – корпус;
5 –керамические бусы;
6 – сальниковое уплотнение

Серийно выпускаются медные (ТСМ) и платиновые (ТСП) термопреобразователи. Сравнительные характеристики ТСМ и ТСП преобразователей приведены в табл. 3.1.4, а варианты различного конструктивного исполнения – на рис. 3.1.9.

Таблица 3.1.4. Технические характеристики термопреобразователей сопротивления ТСП и ТСМ

Тип преобразователей	Диапазон измерений, °С	НСХ	Класс допуска	Показатель тепловой инерции, с	Степень защиты
ТСП	200...600	50П	А, В	20, 40	IP20, IP55
		100П			IP55
ТСМ	50...180	50П	В, С	8, 20,30, 40	IP20, IP55
		100П		8, 30	IP55

Примечания:

1. Обозначение номинальных статических характеристик (НСХ) платиновых и медных термопреобразователей – 50 М, 100 М, 50 П, 100 П, где число означает сопротивление при 0 °С, а буква – материал чувствительного элемента.

2. А = ±0,05 %; В = ±0,1 %; С = ±0,2 %.

ЙВК

Ряд зарубежных фирм выпускает платиновые терморезисторы Pt 500 и Pt 1000 с сопротивлением 500 и 1 000 Ом при 0 °С соответственно, что повышает чувствительность датчиков и снижает погрешность от сопротивлений соединительных проводов.

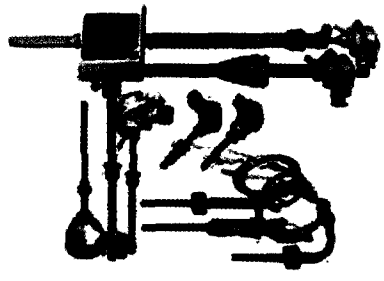


Рис. 3.1.9. Конструктивное исполнение термопреобразователей сопротивления типа ТСП и ТСМ

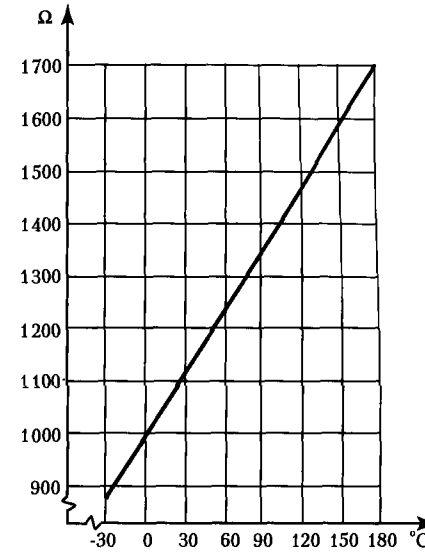


Рис. 3.1.10. Характеристика датчика Pt 1000 фирмы Danfoss

Таблица 3.1.5. Технические характеристики платиновых термопреобразователей сопротивления Pt1000 фирмы Danfoss

Тип	Назначение	Диапазон уставки, °С	Степень защиты	Постоянная времени
ЕСМ-10	Датчик температуры наружного и внутреннего воздуха	-30...+50	IP54	8 мин
ЕСМ-11	Поверхностный датчик	0...100	IP32	3 с
ЕСМ-10В	Универсальный датчик	0...100	IP54	20 с
ЕСМИ 100/250	Погружной (канальный) датчик	0...100	IP54	2 с (в воде)
				7 с (в воздухе)

Сопротивление полупроводниковых термосопротивлений (термисторов) резко уменьшается с ростом температуры. Однако, так как ТКС термисторов на порядок больше, чем у металлических (>$4 \cdot 10^{-2}$ °C^{-1}), их чувствительность значительно выше. Основной недостаток термисторов заключается в нелинейности их характеристики и плохой взаимозаменяемости из-за технологического разброса параметров.

Различные виды конструктивного исполнения термисторов показаны на рис. 3.1.11.

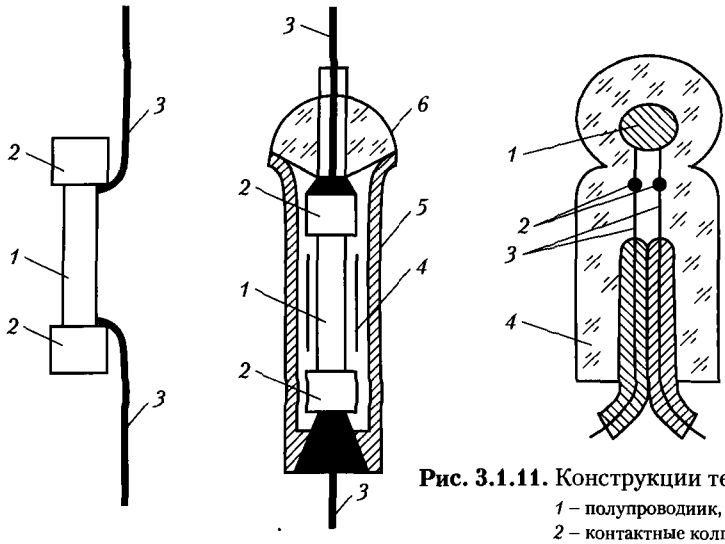
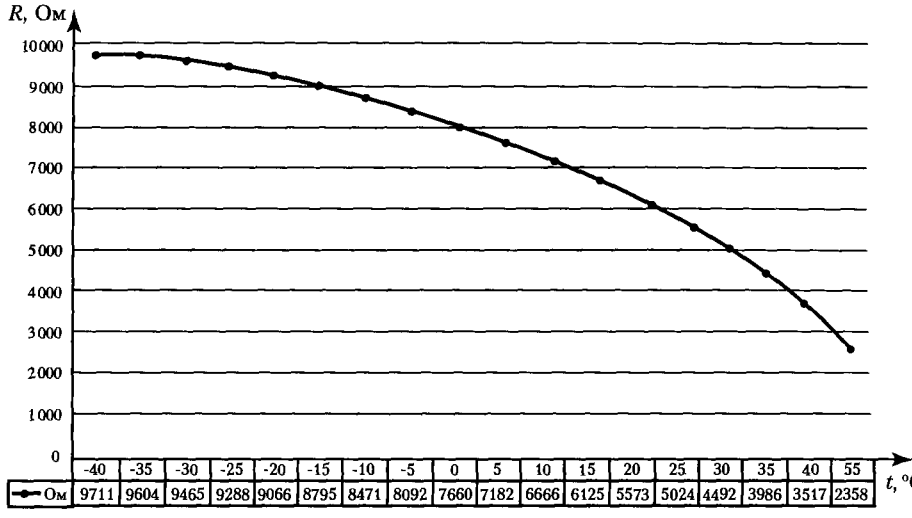


Рис. 3.1.11. Конструкции термисторов:
1 – полупроводник,
2 – контактные колпачки,
3 – выводы, *4* – фольга,
5 – металлический чехол,
6 – изолятор

На базе термисторов различные производители выпускают применительно к автоматизации СКВ датчики температуры как резистивные, так и активные – с унифицированным выходным сигналом 0–10 В или 4–20 мА. Технические характеристики датчиков температуры на основе термисторов приведены в табл. 3.1.6, а зависимость сопротивления от температуры термистора типа ДОТ представлена на рис. 3.1.12.

Таблица 3.1.6. Основные характеристики датчиков температуры на основе термисторов

Исполнение	Фирма	Тип	Диапазон измерения, °С	Выходной сигнал	Степень защиты	Габаритные размеры, мм
Канальные	Satchwell	DDT	–5 . +100	$R_t=f(T)$	IP43	D=40, l=100...300
	Honeywell	LF20	–20...+100	$R_t=f(T)$	IP54	l=200
	Regin	TLT	0...50	0–10 В, 4–20 мА	IP65	l=300
Наружные	Satchwell	ДОТ	–40...+55	$R_t=f(T)$	IP65	85x63x42
	Honeywell	T7416A	–30...+70	$R_t=f(T)$	IP65	72x49x37
	Carel	ASET	–30...+90	4–20 мА	IP65	–
Комнатные	Satchwell	DRT	–5...+40	$R_t=f(T)$	IP20	86x83x30
	Carel	ASWC	0...50	4–20 мА	IP30	–
	Regin	TRT	0...50	0–10 В, 4–20 мА	IP30	86x86x30
Поверхностные (накладные)	Satchwell	DWT	–10...+120	$R_t=f(T)$	IP43	85x63x42
	Honeywell	VF20A	0...110	$R_t=f(T)$	IP30	84x60x32



	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	55
Ом	9711	9604	9465	9288	9066	8795	8471	8092	7660	7182	6666	6125	5573	5024	4492	3986	3517	2358

Рис. 3.1.12. Зависимость сопротивления термистора ДОТ от температуры (Satchwell, Великобритания)

Для измерения сопротивления указанных датчиков обычно используются мостовые схемы, встроенные во вторичные приборы. Наиболее простой и самой распространенной является схема неуравновешенного моста (рис. 3.1.13), в одно из плеч которого включено термосопротивление R_t, а в другие – резисторы $R1$, $R2$, $R3$. В одну из диагоналей моста подключается источник напряжения U, а в другой диагонали снимают напряжение $U_{вых}$, пропорциональное изменению сопротивления R_t.

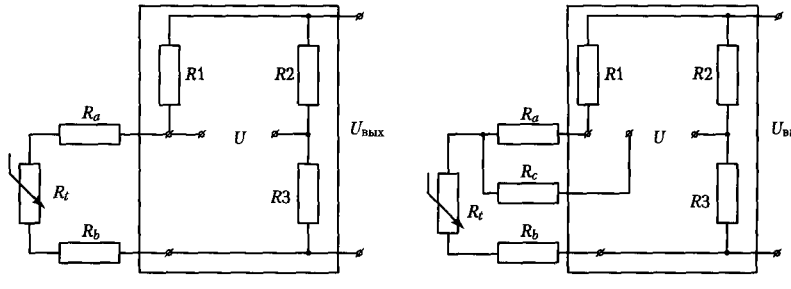


Рис. 3.1.13. Схема неуравновешенного моста для измерения сопротивления терморезистора:
а – двухпроводное подключение;
б – трехпроводное подключение

Погрешность измерения такого моста зависит от колебания напряжения U (требуется источник стабилизированного напряжения), теплового воздействия тока (ток, проходящий через R_t, не должен превышать 5 мА) и величины сопротивления соединительных проводов. Влияние последнего особенно существенно при использовании низкоомных датчиков.

IBIK

Различают двух-, трех- и четырехпроводные схемы подключения термосопротивлений (ТС).

При двухпроводной схеме подключения ТС сопротивление датчика R_t и сопротивление соединительных проводов R_a и R_b (рис. 3.1.13, *а*) последовательно включены в одну из ветвей моста, поэтому при таком подключении возникают погрешности из-за несоответствия сопротивления соединительных проводов градуировочному значению (обычно указывается на паспорте ТС). Двухпроводная схема используется для подключения термисторов, величина сопротивления которых на два порядка больше сопротивлений R_a и R_b, а влияние последних пренебрежительно мало. Для низкоомных ТС при двухпроводной схеме включения сопротивление соединительных проводов должно быть подогнано до градуировочного значения.

При трехпроводной схеме подключения ТС соединительные провода от головки датчика идут к измерительной ветви (R_b), к сравнительной ветви (R_a) и источнику питания (R_c). То есть сопротивления измерительной ветви ($R_t + R_c$) и сравнительной цепи ($R_a + R1$) изменяются на одну и ту же величину, что уменьшает погрешность измерения. Такая схема подключения по сравнению с двухпроводной допускает значительно большее удаление вторичного прибора от ТС.

Четырехпроводная схема подключения ТС позволяет полностью исключить влияние изменения сопротивления проводов на показания прибора. Такая схема применяется в основном при компенсационном методе сверхточного измерения сопротивлений.

3.1.2.3. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТЕРМОМЕТРЫ

Термоэлектрические термометры (термопары) реализуют эффект Пельтье, который состоит в следующем. Если спаять два стержня из различных металлов, а спаянный и свободные холодные концы поместить в среды с различными температурами, то между свободными концами стержней возникает разность потенциалов. Свободные концы соединяют с измерителем тока. Термоэлектродвижущая сила (ТЭДС) в цепи будет зависеть от разности температур, в которые помещены свободные и спаянные концы преобразователя и от свойства металлов, из которых изготовлены стержни.

В промышленности в основном применяют преобразователи из следующих сплавов: хромель-копель (ХК), хромель-алюмель (ХА) и платинородий-платина (ПП). Каждый тип преобразователя имеет свою градуировочную характеристику – зависимость ТЭДС от разницы температур горячего и холодных концов (табл. 3.1.7).

IBIK

Таблица 3.1.7. Зависимость термоЭДС от температуры для стандартных термопар (при температуре свободных концов 0 °С)

Температура, °С	ТермоЭДС, мВ		
	Термопара платинородий–платина, (ПП)	Термопара хромель–алюмель, (ХА)	Термопара хромель–копель, (ХК)
–50	–	–	–03,11
–20	–0,109	–0,77	–1,27
0	0	0	0
50	0,301	2,02	3,35
100	0,640	4,10	6,95
200	1,421	0,13	14,66
300	2,311	12,21	22,91
400	3,244	16,40	31,49
600	5,214	24,91	49,02
800	7,323	33,32	–
1000	9,569	41,32	–
1100	10,745	45,16	–
1300	13,152	–	–
1500	15,563	–	–

Как следует из таблицы, термопары хромель-копель имеют самую высокую чувствительность (6,95 мВ на 100 °С), однако диапазон измеряемых температур (от –50 до 600 °С) несколько ниже, чем термопар хромель-алюмель. Самый большой диапазон измерения имеют термопары платинородий-платина (от –20 до 1 500 °С), они же наиболее стабильны по параметрам и часто используются как образцовые. Конструктивно термопары выполнены аналогично канальным (погружаемым) датчикам ТСП или ТСМ (рис. 3.1.9).

Сложность измерения термопарами состоит в необходимости стабилизации температуры свободных (холодных концов). Самым действенным способом исключения такой погрешности является способ, при котором соединительную линию между преобразователем и вторичным прибором монтируют специальным компенсационным проводом. При этом между выводами холодных концов преобразователя и концами компенсационных проводов образуется дополнительная ТЭДС. Однако материалы проводов подбираются таким образом, чтобы эти ТЭДС были равны между собой и включены встречно. В этом случае суммарная ТЭДС будет зависеть только от разности температур горячего спая и свободных концов компенсационных проводов, подключаемых на вход вторичного прибора. Обычно во вторичных приборах есть устройство, которое автоматически вносит поправку в значение ТЭДС в зависимости от температуры свободных концов компенсационных проводов внутри прибора.

3.1.3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ

Вторым по значимости физическим параметром, характеризующим состояние воздуха, является влажность.

Классическим методом измерения влажности, особенно для технологических СКВ, является психометрический способ, основанный на измерении температуры двумя термометрами – сухим t_c и влажным $t_{вл}$. При создании условий адиабатного испарения воды влажного термометра их показаниям соответствует определенная относительная влажность. Для измерения температуры t_c и $t_{вл}$ применяют металлические или полупроводниковые сопротивления, которые должны быть идентичными по точности и быстродействию. Основная погрешность измерения по этому методу не превышает ±3 %, а дополнительная за счет погрешности вторичных преобразований и колебаний температуры окружающего воздуха увеличивается на ±2 %.

При измерении влажности методом точки росы определяют температуру поверхности $t_{т.р}$, при которой устанавливается равновесие между количеством влаги, испаряющейся с поверхности (например, зеркала) и осаждающейся из воздуха. Равновесие достигается с помощью терморегулятора, который следит за тем, чтобы количество конденсата не изменялось. При относительно высокой точности этого метода (±2 %) сложность реализации и большая дополнительная погрешность (загрязнение зеркала содержащимися в воздухе примесями) не позволяют использовать его для промышленных систем автоматики.

Обычно в системах кондиционирования воздуха применяется сорбционный метод измерения, основанный на применении гигроскопических тел, свойства которых изменяются в зависимости от количества поглощенной влаги. Датчики, использующие этот метод, подразделяются на деформационные, электрические, весовые и цветовые.

Наибольшее распространение получили деформационные и электрические гигрометры.

К первой группе относятся волосные гигрометры, гигрометры на основе бруска канадской сосны, капрона, вискозной нити и др. материалов, которые могут удлиняться до 2,5 % при изменении относительной влажности от 0 до 100 %. Они просты по конструкции, однако становятся инерционными с понижением температуры и при десорбции чувствительного элемента. Погрешность таких преобразователей составляет ±(3–5 %).

Во второй группе гигрометров (электрические) используют зависимость электрических свойств (емкость, сопротивление) чувстви-

IBIK

тельных элементов от влажности. В свою очередь, эти гигрометры делятся на подогревные и неподогревные.

Неподогревные датчики имеют чувствительный элемент из гигроскопического материала, нанесенного между электродами, электрическое сопротивление или емкость которого изменяется при изменении влажности (рис. 3.1.14). Точность измерения таких преобразователей составляет ±3 % в диапазоне температур: от –40 до 50 °С при приемлемой инерционности (10–20 с).

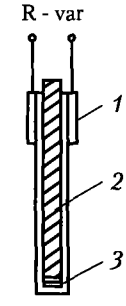


Рис. 3.1.14. Датчик влажности на основе сорбционного электрического метода:
1 – напыленные электроды (золото, платина);
2 – полистирол;
3 – влагочувствительная пленка (хлористый литий, окись цинка, окись алюминия)

Более точными являются подогреваемые датчики (рис. 3.1.15). Это термометр сопротивления (*2*), помещенный внутрь трубки-изолятора (*1*). Снаружи – влагочувствительный элемент (*3*), пропитанный хлористолитиевым раствором, с навитыми на него электродами (*4*), которые подключены к источнику переменного напряжения (*5*). При прохождении тока через чувствительный элемент он нагревается, в результате чего за счет испарения уменьшается плотность электролита. Как следствие, возрастает сопротивление, уменьшаются ток и температура датчика. Таким образом, в датчике устанавливается колебательный процесс изменения температуры около среднего значения $t_{т.р}$, которая фиксируется термосопротивлением (*2*). По сути, такой метод измерения является разновидностью метода точки росы и позволяет измерять влажность с точностью ±2 %.

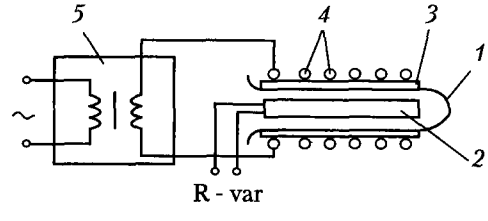


Рис. 3.1.15. Подогреваемый хлористолитиевый датчик влажности

Однако большая инерционность таких датчиков (до нескольких минут) и необходимость регенерации соли при отключении электропитания ограничивают их применение в системах автоматики СКВ. Для таких систем используются, в основном, сорбционные, деформационные и электрические методы измерения. При этом практически все промышленные преобразователи влажности выполнены с унифицированным выходным сигналом 0–10 В или 4–20 мА.

Основные технические характеристики и конструктивное исполнение датчиков влажности фирм, специализирующихся на автоматизации СКВ, представлены в табл. 3.1.8.

Таблица 3.1.8. Технические характеристики комнатных датчиков влажности различных фирм

Фирма	Тип	Диапазон измерения, %	Выходной сигнал	Степень защиты	Точность измерения, %	Габаритные размеры, мм
Carel	ASWH	10–90	4–20 мА	IP30	±6 %	–
Satchwell	DRH	0–100	0–10 В	IP20	±(2–3) %	85×63×42
Regin	HRT	10–90	0–10 В 4–20 мА	IP20	±3 %	86×86×30
Honeywell	H7012F	5–95	0–1 В 0–10 В	IP30	–	130×80×34

3.1.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДАВЛЕНИЯ, РАСХОДА, УРОВНЯ И ГАЗОВОГО СОСТАВА СРЕДЫ

Наиболее простым и распространенным методом измерения давления является метод, использующий деформацию упругого элемента – сильфона, мембраны или трубчатой пружины, соответственно для малого, среднего и большого давления (рис. 3.1.16).

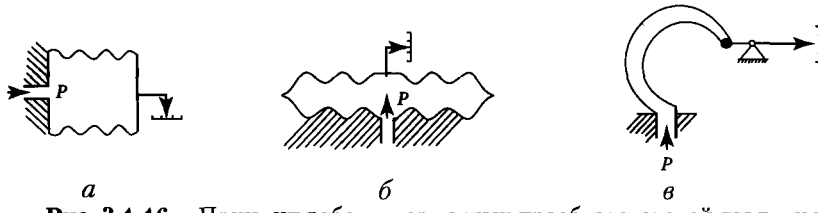


Рис. 3.1.16. Принцип работы первичных преобразователей давления: *а* – сильфонный; *б* – мембранный; *в* – пружинный

Сильфонный чувствительный элемент (рис. 3.1.16, *а*) представляет собой гофрированную цилиндрическую емкость, которая изменяет свои линейные размеры при перепаде давлений внутри и вне ее.

Мембрана (рис. 3.1.16, *б*) – обычно круглая пластина, закрепленная по контуру и изгибаемая под действием разности давления внутри и снаружи.

Пружинный чувствительный элемент (рис. 3.1.16, *в*) выполнен в виде трубки овальной формы, которая под действием избыточного давления стремится разогнуться. Механическое перемещение чувствительного элемента преобразовывают в движение стрелки показывающего прибора или в электрический сигнал, используемый для управления.

Применяют также электрические методы измерения давления с использованием термосопротивлений, пьезоэлектрических, тензорезисторных и др. чувствительных элементов.

В системах кондиционирования и вентиляции датчики и измерители давления используются для контроля загрязненности фильтров и работы вентиляторов по перепаду давления (дифференциальные датчики), выравнивания и поддержания давления в помещениях, контроля давления в кондиционерах.

IBIK

Технические данные датчиков и преобразователей давления приведены в табл. 3.1.9.

Таблица 3.1.9. Преобразователи давления, используемые в системах кондиционирования и вентиляции

Фирма	Тип, марка	Чувствительный элемент	Диапазон измерений	Выходной сигнал	Степень защиты	Габаритные размеры, мм	Назначение
GEA	902.044 902.045	мембрана	20–200 Па	контакт 4 А/250 В АС	IP54	диаметр: 110 *H*: 70	Контроль фильтра и работы вентилятора
Honeywell	DPS	–	20–200... 500–2500 Па	1,5 А/250 В	IP54	180×80×45	–
	SK, SKV	мембрана + пьезорезистор	0–2000 Па	0–10 В	IP65	98×70×60	Регулирование максимального давления газообразной среды
	DDCM	мембрана	4–25... 3000-16000 мбар	контакт 8 А/250 В	IP54	110×108×102	Контроль и регулирование давления пара, горячей и холодной воды
REGIN	DSG	мембрана	40–200... 100–500... 200–1000	0–10 В	IP54	диаметр: 60 *H*: 45	Регулирование давления газообразиой среды
	D233A	–	50–400 Па	контакт 5 А/250 В	IP54	72×72×52	Контроль фильтра и работы вентилятора
Satchwell	SPA	–	0,2–0,3... 1,0–10 мбар	1 А/250 В	IP54	диаметр: 80 *H*: 45	–
	DDP	мембрана + пьезорезистор	0–10... 3–10... 0–25 мбар	0–10 В	IP54	100×80×10	Регулирование давления газовой среды
Trafag	ECOS8498	пьезорезистор	0–10 ... 0-400 мбар	4–20 мА 0–20 В	IP54	диаметр: 29 *L*: 41,5	–
«Орлекс»	ДЭМ 102 ДЭМ 202	мембрана	0,02–0,06 МПа Δ = ± 0,03	контакт 6 А/380 В	IP64	80×63×165	Контроль и регулирование давления газообразной и жидкой сред
«Сапфир-MNS»	МИДА-01П	пьезорезистор	0,01–0,06... 0–160 МПа Δ = ± 0,25	4–20 мА 0–5 В	IP54	диаметр: 40 *L*: 110	–

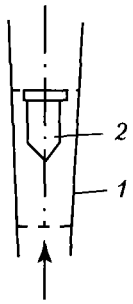


Рис. 3.1.17. Схема ротаметра

При эксплуатации систем кондиционирования все больше внимания уделяется технике измерения расхода (тепло- и холодоносителей, массы перемещаемого воздуха).

По принципу действия расходомеры можно классифицировать четырьмя группами:

- постоянного перепада давления;
- переменного перепада давления;
- турбинные;
- ультразвуковые.

К первой группе относятся ротаметры (рис. 3.1.17), принцип действия которых основан на зависимости перемещения тела, воспринимающего динамическое давление потока, от расхода протекающей среды. В этих приборах чувствительный элемент – поплавок (*2*), вертикально перемещающийся относительно корпуса (*1*) – в зависимости от расхода изменяет площадь проходного отверстия таким образом, что перепад давлений на обе его стороны остается постоянным.

При всей простоте конструкции этот способ не нашел применения в технике автоматизации из-за сложности дистанционной передачи показаний и большой инерционности.

Расходомеры переменного перепада давлений основаны на взаимосвязи расхода и перепада давлений, создаваемого потоком при протекании через неподвижное сужающееся устройство (калиброванное сопротивление) (рис. 3.1.18).

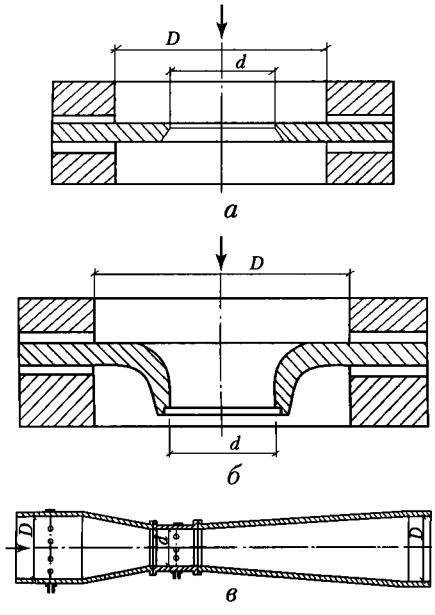


Рис. 3.1.18. Сужающие устройства:
а – нормальная диафрагма;
б – сопло;
в – трубка Вентури

Измеряя перепад давлений ΔP (например, с помощью дифференциального манометра), можно судить по величине расхода:

$$\Delta P = kQ^2, \qquad (3.1.1)$$

где k – коэффициент, зависящий от свойств протекающей среды и геометрических размеров устройства (d, D);

Q – расход среды.

Применение сужающихся устройств ограничено: для трубопроводов – их диаметром ($d > 50$ мм) и, следовательно, расходом (не ниже 25 м³/ч), а для воздуховодов – трудностями конструктивного характера и повышением аэродинамического сопротивления воздуховода.

Турбинные датчики основаны на зависимости частоты вращения или угла поворота устройства, установленного в трубо- или воздухопроводе, от расхода протекающего вещества. Простейшими датчиками такого типа, широко используемыми в технике автоматизации СКВ, являются сигнализаторы расхода, схема действия которых показана на рис. 3.1.19.

Конкретным примером таких датчиков являются датчики расхода фирмы Honeywell с использованием в качестве чувствительного элемента крыльчатки (рис. 3.1.19). Такие чувствительные элементы используются также в переносных измерительных приборах. Фактически крыльчатый анемометр измеряет скорость движения воздуха. Зная поперечное сечение воздуховода, легко высчитать объемный расход.

Наибольшее распространение получили датчики и преобразователи четвертой группы расходомеров, использующие изменение показателей других физических процессов при изменении расхода: электромагнитные, тепловые, ультразвуковые.

IBIK

Рис. 3.1.19. Датчик потока воды фирмы Honeywell:
а – конструкция; *б* – внешний вид:
1 – преобразователь; *2* – магнит; *3* – ротор

Принцип действия ***электромагнитных расходомеров*** основан на измерении ЭДС, индуктируемой в потоке электропроводной жидкости, пересекающем магнитное поле. Эта ЭДС пропорциональна скорости движения жидкости. Схема действия такого преобразователя показана на рис. 3.1.20. Электромагнит (*1*) создает внутри намагниченной трубы (*2*), покрытой изоляционным материалом, магнитное поле. ЭДС, образующаяся в жидкости, снимается электродами (*3*), введенными диаметрально противоположно в одном поперечном сечении в стенке трубы преобразователя расхода.

Использование ***теплового принципа*** измерения расхода показано на рис. 3.1.21, где автоматическое измерение скорости газового потока проводится с помощью терморезистора. К терморезистору (*1*), представляющему собой тонкую платиновую проволоку, припаяны манганиновые стержни (*2*), закрепленные на изоляционной втулке (*3*). Через терморезистор пропускается ток, вызывающий его нагрев. При этом температура, а, следовательно, и сопротивление терморезистора будет определяться скоростью газового потока, в который помещен датчик. Чем больше скорость, тем интенсивнее будет отводиться теплота от терморезистора.

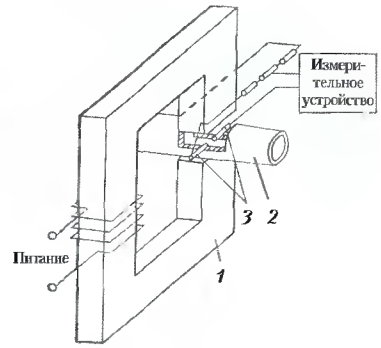


Рис. 3.1.20. Принцип действия электромагнитного расходомера

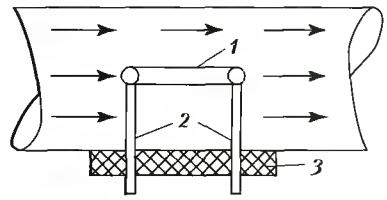


Рис. 3.1.21. Принцип действия теплового расходомера

Наибольшее распространение в последнее время получили расходомеры, основанные на применении ультразвука. Ультразвук (механические колебания с частотой более 20 000 Гц) распространяется в различных средах с различной скоростью (например, для жидкостей – от 1 100 до 2 000 м/с) и имеет различные коэффициенты отражения на границе раздела двух сред. Изменение параметров ультразвуковых колебаний служит информацией о различных неэлектрических величинах. Принцип действия ультразвукового датчика расхода показан на рис. 3.1.22. Здесь используется эффект сложения скоростей распространения ультразвука со скоростью движения среды. Пьезоэлементы (*1*) и (*2*) расположены вдоль трубопровода и возбуждаются от генератора (*3*) на частоте в несколько сотен килогерц. Каждый из пьезоэлементов поочередно работает то излучателем, то приемником, что достигается изменением положения переключателя (*4*). В первом случае скорость потока и колебаний складывается, во втором – вычитается.

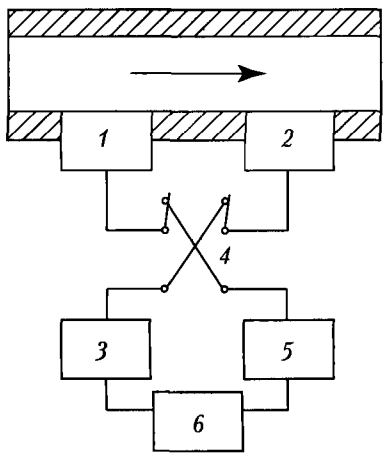


Рис. 3.1.22. Принцип действия ультразвукового датчика расхода

Считанные и усиленные усилителем (*5*) сигналы передаются на измеритель (*6*). Разность фаз принятых колебаний будет пропорциональна скорости среды. В некоторых случаях в такие преобразователи встраиваются регуляторы, что позволяет одновременно регулировать расход.

Технические характеристики расходомеров-счетчиков некоторых фирм представлены в табл. 3.1.10.

Таблица 3.1.10. Технические характеристики расходомеров-счетчиков

Фирма	Тип, марка	Принцип действия	Диапазон измерений, м³/ч	Температура носителя, °С	Степень защиты	Погрешность
Danfoss	SONOCAL 500	ультразвук	0,6; 1,5; 2,5; 3,5	20–120	IP54	±1,0 %*
Danfoss	SONOCAL 2000	ультразвук	0,007–80	0–150	IP54	±1,0 %
ASWEGA	SA–94	электромагнит	0,1–5000	3–140	–	±2,0 %
НПП «Техноприлад» (Украина)	S0N0HEAT-T	ультразвук	0,6–60	0–150	IP54	±2,0 %
«Измерительные технологии» (Украина)	X12	ультразвук	0,06–200	0–150	IP65	±1,5 %

Для ***контроля и поддержания уровня жидкостей*** широко используются ***датчики и преобразователи уровня***. По принципу действия датчики могут быть поплавковыми, манометрическими и электрическими.

В ***поплавковых датчиках*** (рис. 3.1.23) чувствительным элементом является поплавок, плавающий на поверхности и перемещающийся вместе с изменением уровня.

Манометрические датчики позволяют контролировать уровень жидкостной среды на границе раздела двух сред: жидкостной и газообразной. Повышение уровня жидкости вызывает интенсивный отвод тепла от термобаллона и, как следствие, изменение усилия, действующего на мембрану или сильфон.

Этот метод использован в первичном преобразователе сигнализаторов и регуляторов уровня типа RT280A для жидкостных испарителей и сепараторов (рис. 3.1.24). Принцип действия датчика основан на разности в теплопроводности между жидкой и газовой фазами хладагента.

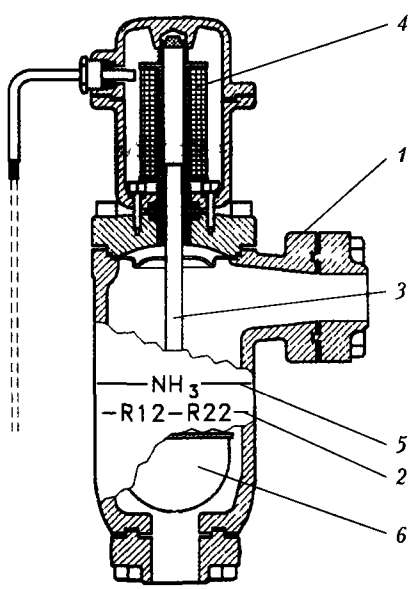


Рис. 3.1.23. Поплавковый преобразователь уровня регулятора 38Е фирмы Danfoss1:

1 – корпус, *2* – уровень для R12 и R22; *3* – якорь, *4* – катушка; *5* – уровень для R717; *6* – поплавок

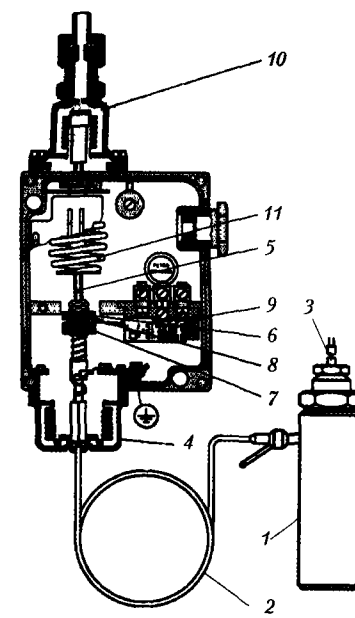


Рис. 3.1.24. Манометрические сигнализатор уровня RT280A фирмы Danfoss

Термобаллон (*1*) с электроподогревателем (*3*), постоянно подключенным при работе системы, через капиллярную трубку (*2*) соединен с сильфоном (*4*), который, в свою очередь, через шток (*5*), направляющие втулки (*6*) и (*7*) и контактную площадку (*8*), связан с реле (*9*). При изменении заданного уровня жидкости начинается интенсивный съем тепла (или нагрев), что приводит к изменению давления и перемещению штока (*5*) сильфона (*4*). Во встречном направлении, через сильфон (*10*) и пружину (*11*) действует сигнал опорного давления. Сравнение этих двух усилий преобразуется в электрический импульс (срабатывание реле (*9*)).

Чувствительные элементы ***электрических датчиков*** фиксирует изменение параметров электрических свойств жидкости при изменении ее уровня. Изменение уровня жидкости относительно погруженных в нее электродов специальной конструкции вызывает изменение электрической величины, например, сопротивления или емкости.

Такой принцип применен в датчике AKS41, который может измерять уровень жидкости в контейнерах с хладагентом (рис. 3.1.25). Датчик монтируется в вертикальном положении. Стержень датчика состоит из двух трубок, наружной и внутренней, между стенками которых вверх течет жидкость. Уровень заполнения жидкости определяется измерением емкости между трубками, которая в самом датчике преобразовывается в унифицированный сигнал постоянного тока: от 4 мА до 20 мА (4 мА – когда жидкость отсутствует, 20 мА – когда стержень полностью заполнен жидкостью).

Используют также ***ультразвуковые методы измерения уровня*** на эффекте отражения ультразвука на границе двух сред (аналогично рассмотренному ранее методу измерения расхода).

Датчики и измерительные преобразователи для контроля газовой среды называются газоанализаторами. Для систем автоматизации СКВ обычно используются датчики CO_2, основанные на тепловом методе, с применением платиновых или полупроводниковых терморезисторов (рис. 3.1.26). Так как теплопроводность воздуха в камерах (*2*) с углекислым газом CO_2 меняется при изменении концентрации последнего, то будет меняться сопротивление резисторов (*1*), включенных в мостовую схему измерения. При этом сопротивление резисторов (*3*) в герметических камерах (*4*) не изменится.

Технические характеристики некоторых промышленных датчиков-преобразователей для измерения концентрации CO_2 при автоматизации систем кондиционирования и вентиляции приведены в табл. 3.1.11.

ІВІК

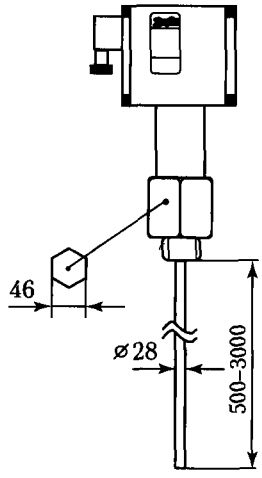


Рис. 3.1.25. Электрический датчик уровня AKS41 фирмы Danfoss

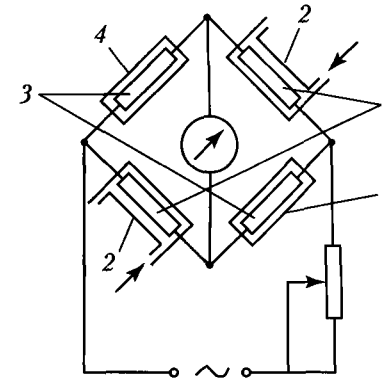


Рис. 3.1.26. Схема измерения содержания CO_2 с использованием термосопротивлений

Таблица 3.1.11. Технические характеристики некоторых датчиков для измерения концентрации CO_2

Фирма	Тип	Диапазон измерения, ppm	Выходной сигнал	Питание	Постоянная времени, с	Исполнение	Степень защиты
Honeywell	AQS51 AQS51/KAM	0-3000 0-3000	0-10 В 0-10 В, 4-20 мА	24 В (AC), 24 В (DC) 24 В (AC), 24 В (DC)	120 10 (0,2 м/с)	комнатный канальный	IP 20 IP 54
REGIN	CO2RT CO2DT	0-2000 0-5000	0-10 В, 4-20 мА 0-10 В	24 В (AC) 24 В (AC)		комнатный канальный	IP 20 IP 54

3.2. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

3.2.1. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Коммутационные элементы автоматики предназначены для включения, отключения и переключения цепей. Различают коммутационные элементы электромеханического и автоматического управления. Элементы механического управления используются, как правило, для местного управления и подачи сигналов о достижении каких-либо положений механизма. Коммутационные автоматические элементы переключаются сигналами управления и используются для регулирования, управления, а также в системах защиты и блокировок.

Кроме того, различают коммутационные элементы силовых цепей (подключение электродвигателей, трансформаторов, нагревателей и т. п.) и элементы коммутации цепей управления (обмотки релейно-

IBIK

контакторной аппаратуры, датчики, устройства регулирования, защиты и сигнализации). Это связано с различным значением тока и напряжений в коммутируемых цепях.

К механическим коммутационным элементам относятся кнопки управления, микропереключатели, тумблеры, переключатели различных типов, а также концевые и путевые выключатели*.

Кнопки управления – аппараты, подвижные контакты которых перемещаются и срабатывают при нажатии на толкатель кнопки.

Используемые в схемах автоматики кнопки управления различают по числу и типу контактов (размыкающие и замыкающие), форме толкателя (цилиндрический, прямоугольный и грибовидный), степени защиты (от IP20 по IP55). Долговечность и надежность кнопок оценивается гарантированным числом циклом включений/отключений под нагрузкой. Этот показатель (коммутационная устойчивость) для медных контактов составляет $0{,}25 \cdot 10^6$ циклов, для биметаллических – $2{,}5 \cdot 10^6$, а серебряных – $4{,}0 \cdot 10^6$ циклов.

На основе кнопок изготавливают кнопочные посты (станции) различного исполнения, которые собираются на общей панели или в одном корпусе.

Для переключения цепей управления используют также ***тумблеры*** и двух-, трехпозиционные ***переключатели***, которые могут быть как с фиксацией положения, так и без, а также снабжены запирающим устройством, что исключает бесконтрольное переключение. Для коммутации нескольких цепей и при необходимости выбора нескольких режимов работы используются пакетные переключатели.

Для коммутации в цепях содержащих микроэлектронику необходимы кнопки и переключатели, которые обеспечивали бы надежное прохождение слабых токов (микроамперы) при пониженном напряжении (до 5 В). Рассмотренные выше переключатели такими свойствами не обладают. В этом случае применяют специальные кнопки и переключатели или перемычки (джамперы).

Путевые и конечные выключатели – коммутационные элементы, связанные кинетически с рабочим механизмом и срабатывающие при перемещении его подвижной части (путевые в промежуточных точках перемещения, а концевые – в крайних). В зависимости от устройства, осуществляющего замыкание, путевые и конечные выключатели делятся на кнопочные, рычажные и вращающиеся.

В технике автоматизации систем кондиционирования и вентиляции конечные выключатели используются в электроприводах исполнительных механизмов – воздушных и водяных клапанов.

* Силовые коммутационные элементы типа рубильников и разъединителей в данной работе не рассматриваются

IBIK

3.2.2. АВТОМАТИЧЕСКИЕ КОММУТАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

К автоматическим коммутационным элементам относятся реле, контакторы, автоматические выключатели, магнитные пускатели, предохранители.

Одним из наиболее распространенных элементов в системах автоматики является ***реле*** – устройство, в котором при плавном изменении входного управляющего сигнала X выходной сигнал Y изменяется скачкообразно (рис. 3.2.1).

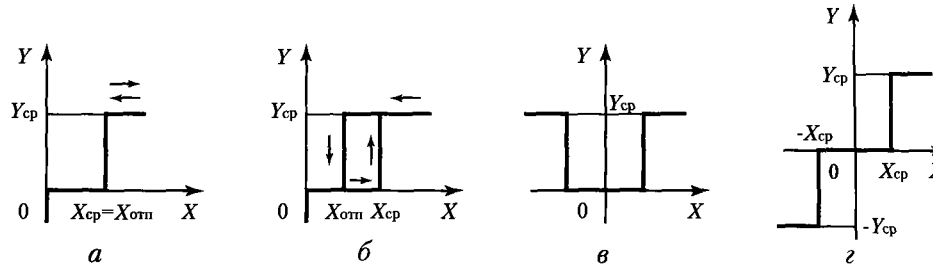


Рис. 3.2.1. Характеристики реле:
а – идеальная;
б – реальная;
в – нейтрального реле;
г – поляризованного реле

Реле используются практически во всех схемах управления, регулирования, сигнализации, защиты и блокировок.

По принципу действия различают реле электромеханические, полупроводниковые, фотоэлектрические, тепловые.

По воздействию на управляющую цепь – контактные и бесконтактные.

По виду входного сигнала – реле тока, напряжения, скорости, давления и т. д.

По времени срабатывания – реле времени, задержки и др.

Независимо от типа реле имеют характеристики, показанные на рис. 3.2.1. Значение входного сигнала $X_{ср}$, при котором выходной сигнал скачком изменяется от 0 до $Y_{ср}$, называется сигналом срабатывания, а значение входного сигнала $X_{отп}$, при котором выходной сигнал скачком изменяется от $Y_{ср}$ до 0, называется сигналом отпускания. В идеальном случае $Y_{ср} = X_{отп}$ (рис. 3.2.1, *а*), в реальном $X_{отп} < X_{ср}$, поэтому при увеличении X изменение Y происходит по одному графику, а при уменьшении X – по другому (рис. 3.2.1, *б*), т. е. характеристика имеет петлю гистерезиса. Если при изменении полярности ($-X$) полярность Y не меняется, такое реле называется нейтральным (рис. 3.2.1, *в*). В поляризованном реле изменение полярности X ведет к изменению знака Y (рис. 3.2.1, *г*).

Основными параметрами электромагнитных реле являются:

- ток срабатывания $I_{ср}$;
- рабочий ток $I_р$ ($I_р > I_{ср}$);
- ток отпускания $I_{отп}$ ($I_{отп} > I_{ср}$);
- допустимый ток через контакты $I_{к\ доп}$;
- допустимое напряжение между контактами $U_{к\ доп}$.

Последние два параметра обычно указываются в параметрах устройств, имеющих релейный выход, что позволяет правильно подобрать нагрузку устройства.

Кроме того, реле характеризуется временем срабатывания $t_{ср}$ (промежуток с момента подачи напряжения на обмотку реле до переключения контактов) и временем отпускания $t_{отп}$ (промежуток с момента снятия напряжения с обмотки до момента отпускания). По этому показателю реле могут быть быстродействующими ($t_{ср}$ < 50 мс), нормальными ($t_{ср}$ = 50–150 мс) и замедленными ($t_{ср}$ = 0,15–1 с).

Серийно выпускаются реле разных типов и конструктивного исполнения, от устанавливаемых на специальных колодках и рейках до встраиваемых (впаеваемых) в печатные платы.

В технике автоматизации систем кондиционирования и вентиляции широко используются ***реле времени***, позволяющие путем установки заданного времени срабатывания управлять включением (отключением) установок или переходом на другой технологический режим с определенной задержкой. Для регулирования времени задержки обычно используют либо изменение инерционности самого электромагнита, либо приводится в действие какое-либо инерционное механическое, электронное или пневматическое устройство, часовые механизмы или электродвигатели – моторные реле. Последние два вида позволяют получать выдержки времени до нескольких суток.

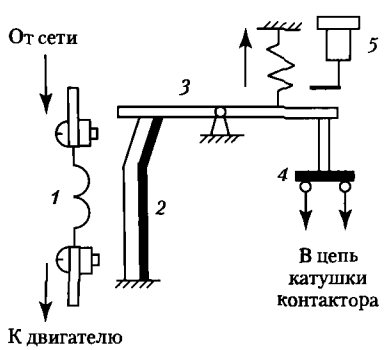


Рис. 3.2.2. Схема теплового реле для защиты электродвигателя от перегрева

Для коммутации электрических цепей в зависимости от температуры чувствительного органа используются ***тепловые реле***. С помощью таких реле осуществляется не только контроль температуры, но и токовая защита различных электроустановок (двигателей, трансформаторов, электронагревателей и т. д.). В этом случае используется тепловое действие электрического тока, т. е. нагрев спирали, по которой прохо-

дит ток. Схема такого реле, используемого для защиты электродвигателя от перегрева, показана на рис. 3.2.2.

Ток одной из фаз цепи питания электродвигателя проходит через нагревательную спираль (*1*) и в случае его увеличения выше допустимых пределов биметаллическая пластина (*2*), изгибаясь влево, освобождает защелку спускового механизма (*3*). При этом контакт (*4*), находящийся в цепи управления электродвигателем, размыкается, тем самым останавливая двигатель. Возврат контакта (*4*) реле и спускового механизма (*3*) в исходное положение выполняется вручную нажатием на кнопку (*5*) после остывания биметаллической пластины.

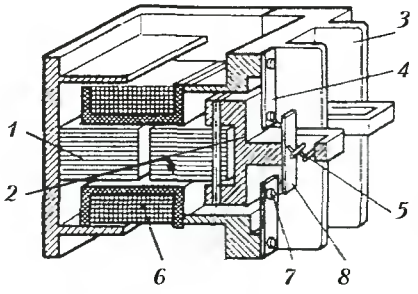
Такой прием осуществляется специально, чтобы обратить внимание обслуживающего персонала на неисправность.

Биметаллические реле обладают большой инерционностью и поэтому не реагируют на большие кратковременные пусковые токи электродвигателя. В некоторых конструкциях реле используют не косвенный нагрев пластины с помощью спирали, а прямой – пропусканием тока непосредственно через пластину. Несмотря на низкую точность биметаллические реле имеют ряд преимуществ (простота и низкая стоимость), что обеспечило им широкое применение.

Для пуска и останова электродвигателей и подключения других мощных потребителей энергии (осветительных и нагревательных установок и др.) используют коммутационный прибор – контактор. Это мощное электромагнитное реле, контактный узел которого рассчитан на токи в десятки и сотни ампер при напряжении в сотни вольт. При разрыве таких токов возникает электрическая дуга, для гашения которой применяют специальные устройства (дугогасительные камеры, магнитное дутье и т. п.). Различают контакторы переменного и постоянного тока. Контакторы переменного тока обычно выполняются трехполюсными. Их основное назначение – включение трехфазных асинхронных электродвигателей. Магнитные системы контакторов могут быть поворотного типа или прямоходовые (рис. 3.2.3, *а*) Такие контакторы обычно используются для управления асинхронными двигателями небольшой мощности. Сердечник (*1*) и якорь (*2*) контактора собраны из пластин электротехнической стали, при этом часть пластин охвачена короткозамкнутым витком для предотвращения вибраций якоря.

Катушка (*6*) охватывает как сердечник, так и якорь, на котором закреплены подвижные контакты (*8*) мостикового типа для повышения надежности отключения. Неподвижные контакты (*4*) и (*7*) установлены в пластмассовом корпусе. Возврат контактов (*8*) в исходное положение осуществляется с помощью пружины (*5*). Контактные пары каждой фазы отделены друг от друга пластмассовыми перемычками (*3*). Для цепей управления имеются дополнительные блокировочные контакты (на рисунке не показаны).

IBIK



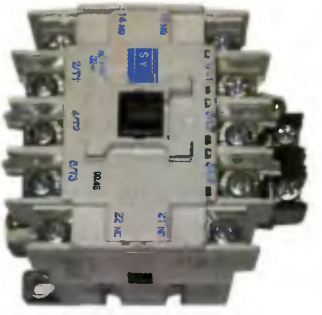


Рис. 3.2.3. Контактор переменного тока:
а – конструкция; *б* – общий вид

Более комплектным устройством является ***магнитный пускатель***, который предназначен не только для пуска двигателей переменного тока, но и его защиты от перегрузок. Конструктивно магнитный пускатель состоит из контактора и теплового реле, размещенных в одном корпусе. При блочном исполнении тепловое реле может быть присоединено к контактору с помощью специального разъема. Управление пускателем производится кнопочным постом, расположенным в удобном для оператора месте, или автоматически. Иногда в конструкцию пускателя включают кнопки управления и световую сигнализацию включенного состояния.

Магнитные пускатели подразделяются на нереверсивные и реверсивные. Последние позволяют изменить направление вращения двигателя и состоят из двух контакторов с блокировкой возможности их одновременного включения.

Предохранители – элементы автоматики, предназначенные для защиты электрических цепей от коротких замыканий и больших перегрузок. Конструктивно предохранители могут быть выполнены разборными и неразборными.

Более совершенным и многофункциональным устройством защиты является ***автоматический выключатель***, предназначенный для защиты электрических установок от перегрузок, коротких замыканий, повышенного и пониженного напряжения, от токов утечки и других аварийных режимов. Некоторые автоматические выключатели используют для нечастых оперативных включений и отключений. Но в основном это – защитный аппарат, который не может быть использован для автоматического управления. Наиболее часто применяют автоматы, выполняющие функции защиты от короткого замыкания и тепловой перегрузки цепи.

Устройства и общий вид такого автоматического выключателя показаны на рис. 3.2.4.

IBIK

Некоторые автоматические выключатели снабжаются также расцепителями минимального напряжения, срабатывающими при напряжении в сети ниже допустимого.

Автоматические выключатели различаются по:

- числу полюсов (1–3);
- типу расцепителя (тепловой, электромагнитный или комбинированный);
- номинальному току ($I_н$)расцепителя (от 1,6 до сотен ампер);
- характеристике отключения – зависимости времени срабатывания от тока;
- отключающей способности – максимальному току короткого замыкания, отключение которого гарантирует дальнейшую работоспособность автомата.

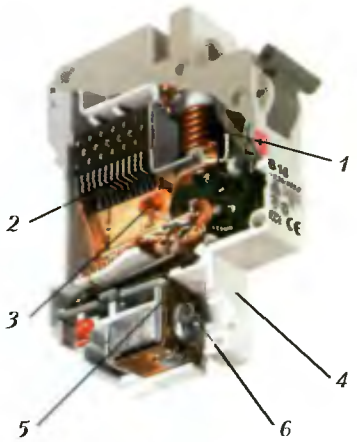


Рис. 3.2.4. Автоматический выключатель:
1 – катушка электромагнитного расцепителя;
2 – дугогасительная камера;
3 – главные контакты;
4 – корпус;
5 – клемма подключения;
6 – биметаллическая пластина теплового расширителя

В соответствии со стандартом IEC 898 (стандарт международной электротехнической комиссии) и EN 60898 (европейская норма) по характеристике срабатывания автоматические выключатели бывают следующих типов.

Тип B – величина тока срабатывания магнитного расцепителя $I_{ср} = K \cdot I_{ном} = (3–5)\ I_{ном}$ (K – кратность срабатывания).

Бытовое применение:

- для осветительных ламп накаливания;
- при длинных линиях питающего напряжения;
- при малом токе короткого замыкания, который может попасть в зону работы теплового, а не электромагнитного расцепителя.

Тип C – величина тока срабатывания магнитного расцепителя – $I_{ср} = (5–10)\ I_{ном}$. Бытовое и промышленное применение: для двигателей со временем пуска до 1 с, нагрузки с малыми индуктивными токами (рекомендуются для холодильных машин и кондиционеров).

Тип D – величина тока срабатывания магнитного расцепителя – более 10 $I_{ном}$. Применение: двигатели с затяжным временем пуска, сварочное оборудование.

Характеристики автоматических выключателей с учетом разброса параметров показаны на рис. 3.2.5.

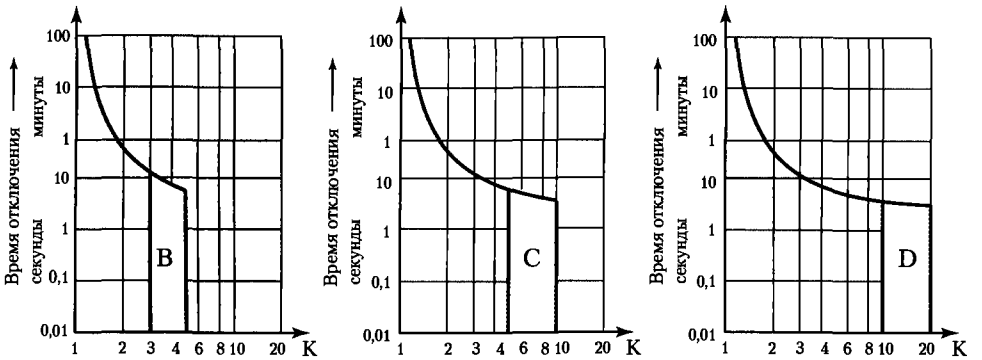


Рис.3.2.5. Характеристики автоматических выключателей

Для выбора автоматического выключателя по отключающей способности необходимо выполнить расчет тока короткого замыкания. Как показывает практика, для большинства сетей этот ток не превышает 4,5 кА.

Краткие характеристики отдельных автоматических выключателей производства концерна ABB (Швеция, Германия) приведены в табл. 3.2.1.

Таблица 3.2.1. Характеристика автоматических выключателей ABB

Серия	Отключающая способность, кА	Варианты
S230R	4,5	1, 2, 3-полюсный, характеристика C,D 1–40A
S240	4,5	1, 2, 3-полюсный, характеристика C, D 1–40A
S250 (S260)	6,0	1, 2, 3-полюсный, характеристика B-C 0,5–63A
S280	25,0	1, 2, 3-полюсный, характеристика B, C, D 10–25A

Аналогичные характеристики имеют автоматические выключатели фирм SIEMENS и KNOPP (Германия), которые также могут быть рекомендованы к применению.

Если установлено рядом несколько однофазных автоматических выключателей, нагрузочная способность каждого уменьшается из-за ухудшения условий охлаждения. В этом случае выбор автоматического выключателя необходимо производить с учетом графиков (рис. 3.2.6, 3.2.7).

IBIK

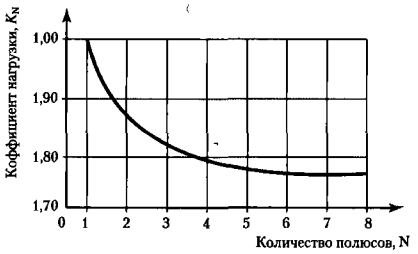


Рис. 3.2.6. Нагрузочная способность автоматических выключателей при их размещении рядом

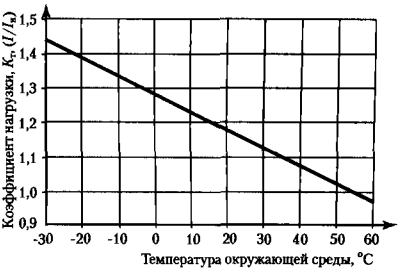


Рис. 3.2.7. Нагрузочная способность автоматических выключателей в зависимости от температуры окружающей среды

Кроме максимального и теплового расцепителей, автоматические выключатели могут быть оснащены расцепителями, выполняющими функции ***устройства защитного отключения*** (УЗО). Однако большей частью УЗО выполняется в виде отдельного аппарата.

УЗО – коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые разрывают цепь при превышении дифференциального тока утечки в рабочей цепи (тока, протекающего через тело человека или через некачественную изоляцию).

В соответствии со стандартами производители электротехнической продукции выпускают УЗО со срабатыванием при токах утечки 10 мА, 30 мА (для защиты человека) и 300 мА (для противопожарной защиты).

В каталогах зарубежных фирм УЗО называется ***дифференциальным реле***. В основе действия УЗО лежит принцип ограничения продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к токоведущим частям и частям, на которых оказывается напряжение. Схема подключения УЗО приведена на рис. 3.2.8.

Электромеханические УЗО – дифференциальные реле и автоматические выключатели с дифференциальным реле – выпускаются рядом ведущих европейских фирм, таких как Siemens, ABB, Legrand и др. Последнее время появились УЗО и отечественных производителей, например, фирмы «Контактор».

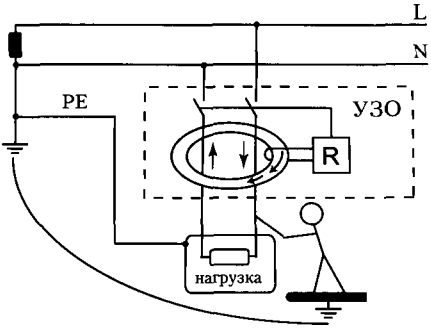


Рис. 3.2.8. Схема подключения УЗО

В связи с тем, что во многих приборах и устройствах, в том числе и кондиционерах, имеются силовые электронные компоненты (электронные

коммутаторы, полупроводниковые контакторы, преобразователи частоты), при пробое изоляции на корпус могут создаваться несинусоидальные, однонаправленные постоянные пульсирующие токи. В связи с этим УЗО выпускаются трех типов.

Тип АС – УЗО, размыкание которого гарантировано в случае, если разностный синусоидальный ток внезапно возникает или медленно увеличивается.

Тип А – УЗО, размыкание которого гарантировано в случае, если синусоидальный или пульсирующий разностный ток внезапно возникает или медленно увеличивается. УЗО типа А универсального применения могут быть рекомендованы для защиты цепей с кондиционерами.

Тип В – УЗО, размыкание которого гарантировано в случае, если синусоидальный, пульсирующий или сглаженный постоянный (коэффициент пульсации не выше 10 %) разностный ток внезапно возникает или медленно увеличивается.

3.2.3. ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

3.2.3.1. ОПЕРАЦИОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Основные современные схемные решения непрерывных систем регулирования выполнены с использованием двух главных элементов: операционных усилителей и тиристорных преобразователей.

Операционные усилители (ОУ) – многокаскадные транзисторные усилители, выполненные в микроэлектронном исполнении (микросхемы).

Упрощенная принципиальная электрическая схема и условное обозначение операционного усилителя приведена на рис. 3.2.9, *а*. При подаче на входы схемы сигналов x и y на выходе будет сигнал $U_p = k_p \times \times (y - x)$, где k_p – коэффициент усиления, который регулируется сопротивлением обратной связи ($R_{ос}$). На рис. 3.2.9, *б*, *в*, *г* приведены схемы реализации интегрального, дифференциального и суммирующего усилителей соответственно.

IBIK

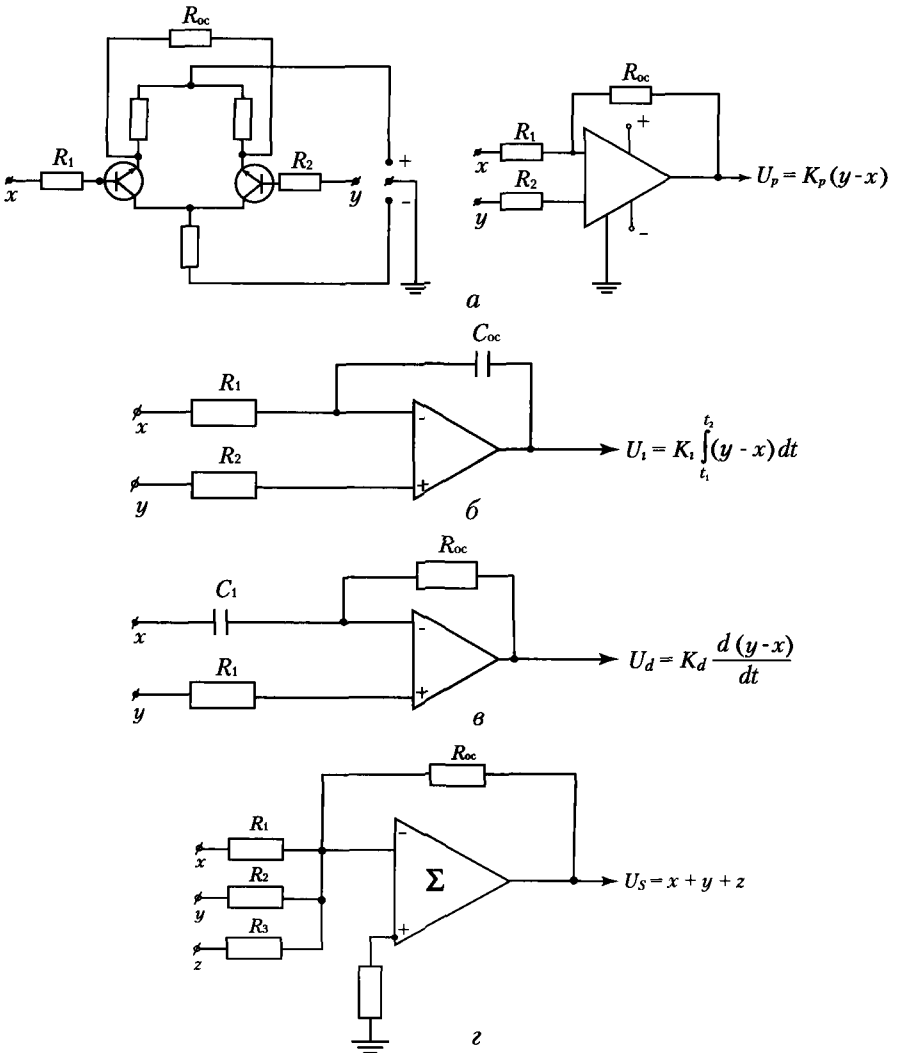


Рис. 3.2.9. Реализация математических операций с помощью операционного усилителя

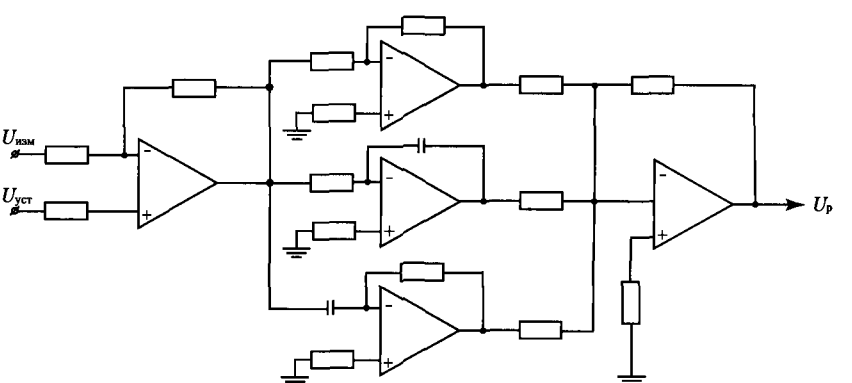


Рис. 3.2.10. Принципиальная схема аналогового ПИД-регулятора

Исходя из приведенных схем, реализация функции регулирования с пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющими (ПИД-регулятор) может быть осуществлена схемой, приведенной на рис. 3.2.10.

Комбинируя сочетания различных схем ОУ, можно реализовать любые законы регулирования, описанные в разделе 2.6.

На базе операционных усилителей могут быть выполнены компараторы – устройства, предназначенные для сравнения непрерывно изменяющихся сигналов. Если входные сигналы компаратора ($U_{вх}$ – анализируемый сигнал и $U_{оп}$ – опорный сигнал) являются аналоговыми, то выходной сигнал компаратора – дискретный:

$$U_{вых} = \begin{cases} U_{вых\,min} \text{ при } U_{вх} - U_{оп} > 0 \\ U_{вых\,max} \text{ при } U_{вх} - U_{оп} < 0 . \end{cases} \qquad (3.2.1)$$

3.2.3.2. ТИРИСТОРЫ И УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

Тиристор – полупроводниковый прибор, выполненный на основе четырехслойной структуры, способный пропускать ток только в одну сторону. Тиристор открывается, т. е. начинает пропускать ток, при подаче сигнала на управляющий электрод и продолжает оставаться открытым после снятия сигнала. В открытом состоянии сопротивление тиристора близко к нулю (падение напряжения 0,5–1,5 В), потери энергии незначительны и напряжение сети $U_с$ практически полностью приложено к нагрузке (рис. 3.2.11, *а*): $U_с \approx U_н$. Если тиристор закрыть, то его внутреннее сопротивление становится весьма высоким (порядка десятков МОм), ток практически равен нулю, а напряжение сети – падению напряжения на тиристоре ($U_с \approx U_а$). Переход из одного состояния в другое происходит почти мгновенно (несколько микросекунд). Из вольтамперной характеристики тиристора видно (рис. 3.2.11, *б*), что с увеличением тока управления $I_{упр}$ напряжение, при котором тиристор открывается $U_{откр}$, уменьшается. То есть, чем больше сигнал управления, тем раньше (по мере возрастания $U_а$) откроется тиристор. Обычно напряжения сети $U_с$ меньше $U_{откр}$ и тиристор открывается только при подаче определенного сигнала управления. Однако открыв тиристор, закрыть его можно только специальными мерами. Самый простой способ – уменьшение анодного тока до некоторого значения $I_{отк}$, т. е. естественная коммутация. В цепях переменного тока это происходит автоматически при переходе тока через ноль, поэтому запирание тиристора затруднено только в цепях постоянного тока. Существует несколько решений запирания тиристора: кратковременное размыкание цепи выключателем, шун-

IBIK

тирование тиристора с последующим размыканием, подача обратного напряжения и др. [14].

Напряжение открывания тиристора зависит от величины управляющего сигнала, что используется при создании тиристорных устройств управления.

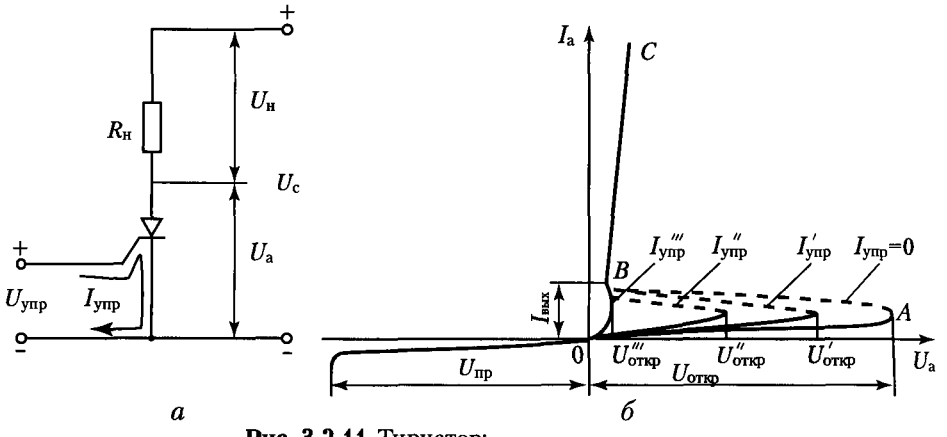


Рис. 3.2.11. Тиристор:

а – схема включения;

б – вольт-амперная характеристика при различных токах управления $I_{упр}$

Рассмотрим основные способы управления тиристорами. Суть управления тиристором наглядно демонстрируется на временной диаграмме (рис. 3.2.12).

Кривая открывания $U_{упр\ min}=f(\omega t)$ (зеленая линия) показывает, как изменяется минимальный управляющий сигнал, при котором открывается тиристор. Так, при подаче постоянного управляющего сигнала $U_{упр\ 1}$ тиристор откроется в точке *A* при угле открытия α_1, при этом среднее значение напряжения на нагрузке $U_{ср}$ будет определяться обрезанной полуволной сетевого напряжения от точки *A* до 180° (синяя линия).

При подаче $U_{упр2}$ тиристор открывается в точке *B* и $U_{ср2}$ будет уже определяться обрезанной полуволной сетевого напряжения от точки *B* до 180° (красная линия). Аналогично будет изменяться средний ток, протекающий через тиристор – с уменьшением угла α средний ток будет увеличиваться.

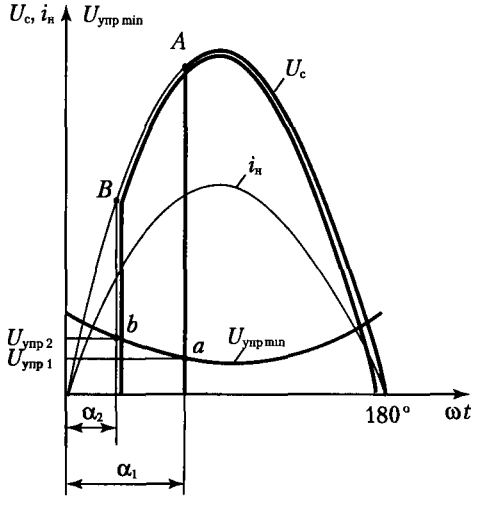


Рис. 3.2.12. Диаграмма открывания тиристора

Существуют следующие способы управления тиристорами: амплитудное, фазовое, амплитудно-фазовое и фазоимпульсное.

Принцип амплитудного управления тиристором поясняет диаграмма, приведенная на рис. 3.2.13, *а*. Управляющий сигнал может быть постоянным (прямые *1* и *2*) или переменным синусоидальным (кривые *3* и *4*).

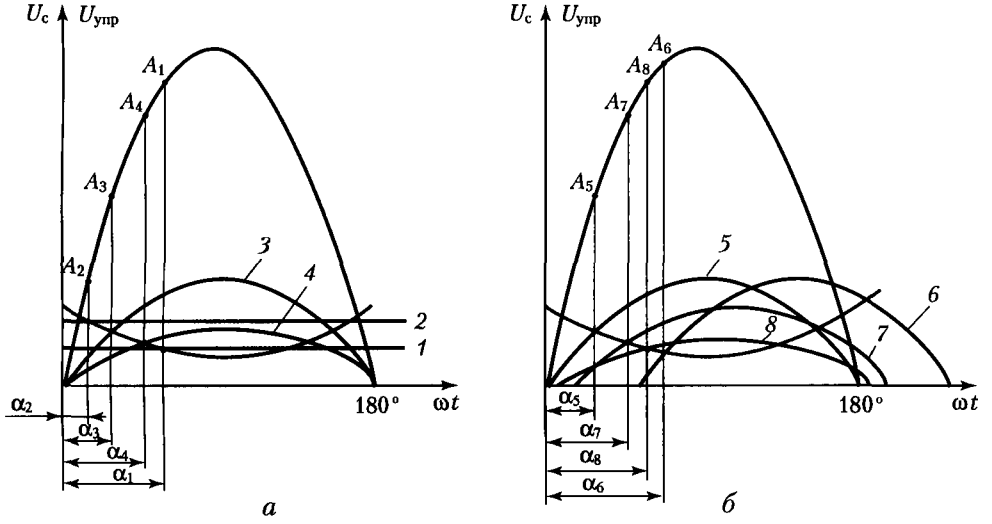


Рис. 3.2.13. Управление тиристорами:
а – амплитудное,
б – фазовое и амплитудно-фазовое

Фазовое управление (рис. 3.2.13, *б*) достигается смещением управляющего сигнала по фазе (кривые *5* и *6*) относительно анодного напряжения тиристора (например, с помощью фазорегулятора или сельсина). Используя *R-C* и *R-L* цепи с переменными параметрами можно изменять управляющий сигнал и по амплитуде и по фазе (кривые *7* и *8*). Рассмотренные способы управления обладают недостатком (нестабильность угла управления α), возникающего вследствие того, что кривая открывания и свойства тиристора могут изменяться под влиянием внешних воздействий.

Более точным методом управления является фазоимпульсное управление тиристором, принцип действия которого поясняет диаграмма напряжений на рис. 3.2.14. Тиристор управляется кратковременным сигналом $U_{упр}$, который имеет постоянную амплитуду, благодаря чего тиристор можно открыть в любой момент времени даже в начале полупериода. Управляющие импульсы подаются периодически с интервалами $T/2$. Если сдвигать импульс по фазе относительно анодного напряжения, то можно открыть тиристор в любой момент полупериода и тем самым обеспечить регулирование напряжения на нагрузке.

IBIK

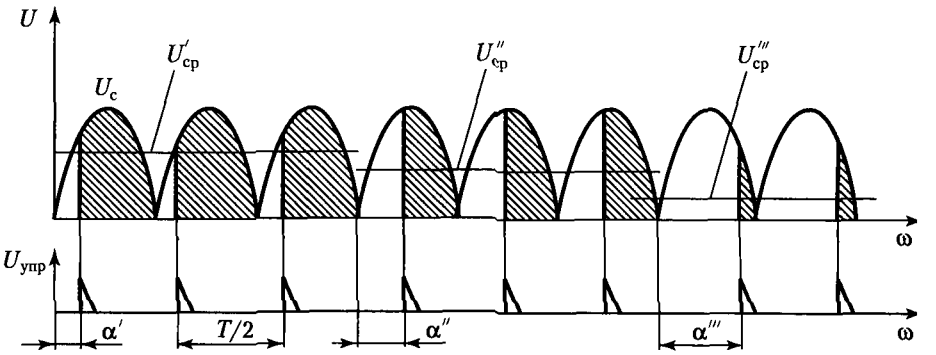


Рис. 3.2.14. Фазоимпульсное управление тиристором

Конструктивно тиристоры выпускаются как в одиночном исполнении, так и сборками (модулями), основные виды которых показаны на рис. 3.2.15.

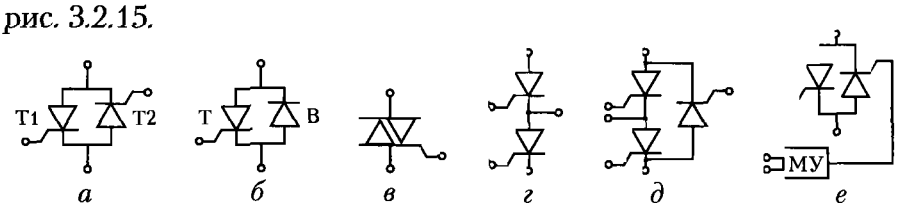


Рис. 3.2.15. Основные виды сборок тиристоров:
а – симметричный встречно-параллельный модуль;
б – вентильно-тиристорный модуль; *в* – симистор;
г – последовательный тиристорный модуль;
д – треугольный модуль;
е – модуль с микросхемой управления (МУ)

Аналогичные модули выпускаются и в трехфазном исполнении. Особый интерес представляют модули, показанные на рис. 3.2.15, *в* и *е*. Первый из них (*в*) – симистор, выполняющий функции симметричного встречно-параллельного модуля, но свойство пропускать ток в обе стороны сконцентрировано в одном приборе.

Второй модуль (*е*) со встроенной управляющей микросхемой может иметь разный набор тиристоров. Встроенная микросхема обеспечивает выполнение всех функций устройства фазоимпульсного управления.

На базе представленных модулей могут быть выполнены любые управляемые преобразователи постоянного тока, бесконтактные коммутационные аппараты для включения, отключения или торможения двигателя, регуляторы напряжения нагревательных или осветительных приборов и др. Основное применение тиристоров в средствах автоматики – регулирование скорости асинхронных двигателей и двигателей постоянного тока. В первом случае с помощью тиристоров переменный или постоянный ток преобразовывается (инвертируется) в переменный с регулируемой частотой. Такие устройства называются частотными преобразователями или инверторами.

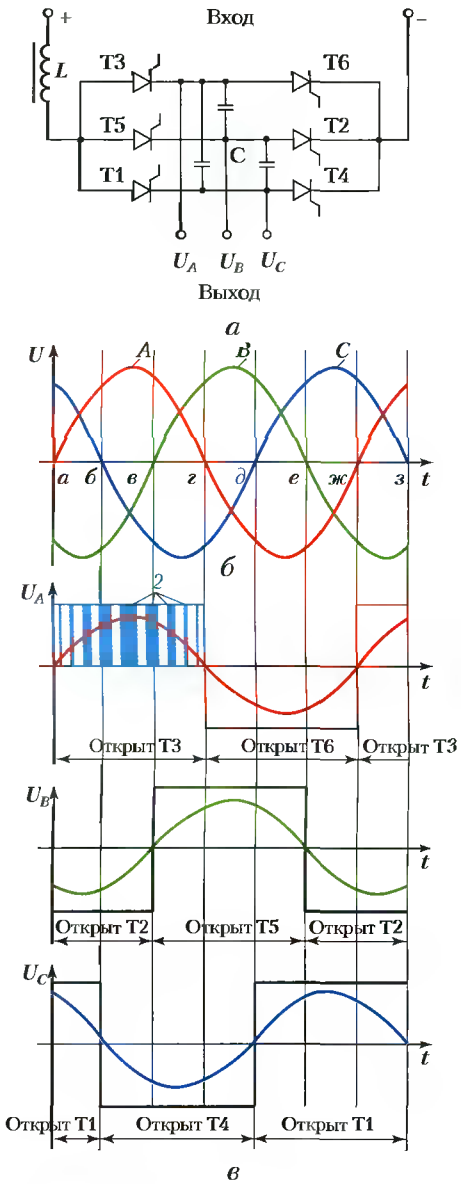


Рис. 3.2.16. Принцип работы частотного преобразователя:
а – схема принципиальная;
б – диаграмма трехфазного синусоидального напряжения;
в – диаграмма инвертированного напряжения для фаз *A*, *B*, *C*

Общее представление о принципе построения преобразователей частоты дает схема и диаграммы напряжений, представленные на рис. 3.2.16. На вход трехфазного инвертора подается постоянное напряжение обычно после выпрямителя, работающего от сети частотой 50 Гц. Для получения синусоидального напряжения на фазах U_A, U_B, U_C от схемы управления на тиристоры должны поступать сигналы, открывающие тиристоры T1–T6 по следующей схеме:

- Для фазы U_A (красная линия):
  - на участках *а-г* и ж-з открыт тиристор T3;
  - на участке *г-ж* открыт тиристор T6.
- Для фазы U_B (зеленая линия):
  - на участках *а-в* и *е-з* открыт тиристор T2;
  - на участке *в-е* открыт тиристор T5.
- Для фазы U_C (синяя линия):
  - на участках *а-б* и *д-з* открыт тиристор T1;
  - на участке *б-д* открыт тиристор T4.

Для изменения амплитуды напряжения соответствующие тиристоры должны открываться с переменной скважностью. Можно изменять длительность открывания каждого тиристора (длительность импульсов 2) в периоды их повторения).

Можно длительность импульсов оставлять неизменной, а частоту следования подчинять по синусоидальному закону.

Такие способы позволяют регулировать частоту синусоиды от нуля до любого значения. Однако частота следования импульсов открывания тиристоров должна быть в шесть и более раз выше частоты инвертированного напряжения. Недостатками всех способов управления тиристорами являются:

- несинусоидальность напряжений на нагрузке, которая частично сглаживается за счет применения дросселей и конденсаторов;
- наличие высших гармоник тока и напряжения, что отрицательно сказывается на работе асинхронных двигателей;
- прохождение помех в питающую сеть.

Промышленные преобразователи частоты выпускаются как отдельным законченным изделием, так и встраиваются в электрооборудование машин и механизмов. По номенклатуре и техническим характеристикам выпускаемые тиристорные преобразователи частоты позволяют удовлетворить практически любые требования к средствам автоматизации.

3.2.4. ОПТРОНЫ

Оптронами называют оптоэлектронные приборы, в которых имеются источник и приемник излучения (светоизлучатель и фотоприемник) с тем или иным видом оптической и электрической связи, конструктивно связанные друг с другом.

Принцип действия оптронов основан на следующем. В излучателе энергия электрического сигнала преобразуется в световую, в фотоприемнике, наоборот, световой сигнал вызывает электрический отклик.

Можно выделить две группы оптронов: оптронная пара и оптоэлектронная интегральная микросхема.

Оптронная пара – оптоэлектронный полупроводниковый прибор, состоящий из светоизлучающего и фотоприемного элементов. Между этими элементами имеется только оптическая связь, обеспечивающая гальваническую развязку между входом и выходом оптрона.

Оптоэлектронная интегральная микросхема состоит из одной или нескольких оптронных пар и соединенных с ними согласующих или усилительных устройств. В электронных дискретных цепях такие элементы выполняют функцию ключа, в котором в то же время осуществлена электрическая (гальваническая) развязка входа и выхода.

В качестве элементов гальванической развязки оптроны применяются: для связи блоков аппаратуры, между которыми имеется значительная разность потенциалов, для защиты цепей управления от помех и наводок и т. д. Другая важнейшая область применения оптронов – бесконтактное управление сильноточными и высоковольтными цепями (например, запуск мощных тиристоров). На рис. 3.2.17 показаны условные обозначения основных видов оптопар.

Важнейшими параметрами оптопар является коэффициент передачи тока K_i и максимально допустимое пиковое напряжение между входом и выходом $U_{\text{п max}}$. Последний параметр определяет электрическую прочность оптопары и ее возможности как элемента гальванической развязки.

Подключение к диодной оптопаре тех или иных усилительных элементов большого выигрыша по коэффициенту усиления не дает. В транзисторных оптопарах коллекторным током можно управлять как по цепи светодиода (оптически), так и по базовой цепи (электрически), а выходная цепь может работать и в линейном, и в ключевом режиме. Механизм внутреннего усиления обеспечивает получение больших значений коэффициента передачи тока K_i, так что последующие усилительные каскады не всегда необходимы. Тиристорные оптопары обычно используются в качестве бесконтактных ключевых элементов в различных радиоэлектронных схемах: в цепях управления, усилителях мощности, формирователях импульсов и т. п. В основе принципа действия резисторных оптопар лежит эффект фотопроводимости, т. е. изменение сопротивления полупроводника.

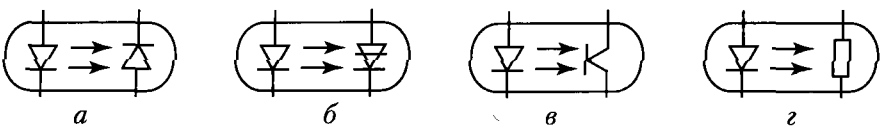


Рис. 3.2.17. Условные обозначения оптопар:
а - диодная; *б* – тиристорная;
в – транзисторная; *г* – резисторная

3.2.5. ИНДИКАТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Наиболее распространенными в системах автоматики являются оптические индикаторы, так как более трех четвертей объема информации, используемой в производстве и в быту, человек воспринимает с помощью зрения.

Оптические индикаторы подразделяются на активные и пассивные. К пассивным оптическим индикаторам относятся индикаторы, которые сами не излучают свет (шкалы приборов, механические счетчики, жидкокристаллические индикаторы). Активные индикаторы сами излучают свет в видимой части спектра (лампы накаливания, газоразрядные приборы, кинескопы, светодиоды и др.).

Наиболее часто в схемах автоматики используют лампы накаливания, неоновые лампочки, светодиоды и жидкокристаллические индикаторы (ЖКИ).

Как неоновые, так и лампы накаливания выпускаются различных форм и размеров с разнообразной светосигнальной арматурой, а также встроенными в кнопки и другие коммутационные устройства.

Другими активными световыми индикаторами являются светодиоды. Принцип их действия тот же, что и в светоизлучателях оптронов – электролюминесценция, световое излучение кристалла полупроводника при протекании через него тока. Быстродействие светодиодов

IBIK

достаточно высокое: при подаче скачкообразного входного сигнала, яркость диода изменяется в течение сотой доли миллисекунды.

Входным сигналом для светодиодов является постоянный ток. От его величины зависит и яркость свечения. Обычно при постоянном токе 10–20 мА обеспечивается хорошая видимость даже при дневном свете. При этом падение напряжения на светодиоде составляет 0,7–1,5 В. По этим параметрам светодиоды хорошо согласуются с транзисторными и интегральными схемами.

Рис. 3.2.18. Светодиоды и индикаторы на их основе

Конструктивно светодиоды выпускаются в различном исполнении: точечном, линейном, цифро-знаковом, матричном. Наиболее распространенные – семисегментные светодиодные индикаторы (рис. 3.2.18).

Для получения буквенной информации используют матричные точечные светодиодные индикаторы. Управление матрицами осуществляется с помощью специальных микросхем.

В технической литературе светодиоды часто называют LED-индикаторами (от англ. light-emitting diode – светоизлучающий диод), а матричные светодиодные индикаторы – LED-дисплеями.

Из пассивных индикаторов наибольшее распространение в настоящее время получили жидкокристаллические индикаторы (рис. 3.2.19).

Рис. 3.2.19. Жидкокристаллический индикатор:
а – структура;
б – пульт управления на его основе

ЖКИ состоит из двух прозрачных пластин (*1*), разделенных по периметру тонкой прокладкой (*2*). Образованный между пластинами промежуток (10–20 мкн) заполняется жидкокристаллическим веществом. На одну из внутренних сторон пластин нанесены прозрачные электроды (*3*) необходимой формы (буквы, символы, графики и др.), на другую – сплошной электрод. Подавая на электроды напряжение переменного тока (4–15 В) можно менять прозрачность или отражающую способность жидкокристаллического вещества. В первом случае ЖКИ работают на пропускание света, во втором – на отражение.

С использованием жидких кристаллов созданы индикаторные панели и экраны – LCD-дисплеи (от англ. liquid-crystal display), позволяющие отображать большой объем информации.

3.3. РЕГУЛИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

3.3.1. РЕГУЛЯТОРЫ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

Регулирующие устройства (регуляторы) – это технические средства САР, реализующие законы регулирования. Функциональная схема регулирующего устройства приведена на рис. 3.3.1. Назначение датчиков и преобразователей, их конструкции описаны в разделе 3.1.

Задатчик формирует величину требуемого значения регулируемого параметра *g(t)*. Он может быть совмещен с датчиком или вынесен за пределы регулятора и выполнен в виде отдельного устройства.

Устройство сравнения предназначено для определения разности сигналов датчика $Y(t)$ и задатчика

$$\varepsilon(t) = Y(t) - g(t). \qquad (3.3.1)$$

Формирователь управляющего воздействия включает вычислительные и логические элементы, с помощью которых вырабатывается управляющий сигнал $U_р = f[\varepsilon(t)]$.

Выходное устройство служит для передачи управляющих сигналов на исполнительный механизм. Выходные устройства могут быть дискретного и аналогового типов. Одни функциональные элементы регулятора могут быть совмещены с другими элементами или выполнены в виде отдельных конструктивно независимых блоков (например, усилитель мощности выходного сигнала). Все это определяется типом регулятора и элементной базой, на которой он выполнен.

Классификация регуляторов практически совпадает с классификацией САР (рис. 3.1.2). Однако есть разновидности систем регулирования, которые определяются особенностями исполнения регуляторов. Это регуляторы прямого действия, позиционные, импульсные и аналоговые.

Ниже рассмотрены основные виды регулирующих устройств, применяемых в технике автоматизации СКВ.

В регулирующих устройствах прямого действия измерительный элемент осуществляет воздействие на регулирующий орган непосредственно, без привлечения добавочного источника энергии. Классическим примером регулятора прямого действия является терморегулирующий вентиль холодильных машин.

Регуляторы прямого действия отличаются простотой конструкции и надежностью, работают без источника вспомогательной энергии, что обуславливает их применение в различных областях техники. К недостаткам таких регуляторов следует отнести невысокую точность и ограниченную мощность сигнала на выходе.

IBIK

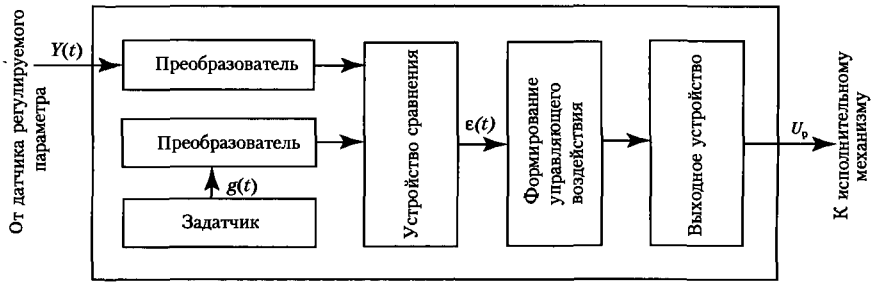


Рис. 3.3.1. Обобщенная функциональная схема регулирующего устройства

3.3.2. ПОЗИЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Позиционные регуляторы реализуют пропорциональный закон регулирования при $k_п \to \infty$. В отличие от аналоговых регуляторов позиционные регуляторы формируют выходной сигнал $U_р$, имеющий определенное число постоянных значений, например, два или три, соответствующие двух- или трехпозиционным регуляторам.

В двухпозиционных регуляторах при переходе выходной величины Y через заданное значение $Y_{зад}$ изменяется регулирующее воздействие $U_р$, которое переводит регулирующий орган из одного крайнего положения в другое: «открыт» – «закрыт», «включен» – «выключен». Работа идеального двухпозиционного регулятора может быть записана в следующем виде:

$$U_р = \begin{cases} U_{р\,max} & \text{при} \quad \varepsilon(t) > 0\,; \\ U_{р\,min} & \text{при} \quad \varepsilon(t) < 0\,. \end{cases} \qquad (3.3.2)$$

В графической форме работа двухпозиционного регулятора соответствует характеристике идеального реле (рис. 3.2.1).

В трехпозиционном регуляторе, кроме крайних значений регулирующего значения $U_р$, есть среднее значение $U_{р\,0}$, которое характеризует состояние – «норма».

Характеристика трехпозиционного регулятора описывается выражением:

$$U_р = \begin{cases} U_{р\,max} & \text{при} \quad \varepsilon(t) > \varepsilon\,; \\ U_{р\,0} & \text{при} \quad \varepsilon(t) < |\Delta\varepsilon|\,; \\ U_{р\,min} & \text{при} \quad \varepsilon(t) < -\varepsilon\,, \end{cases} \qquad (3.3.3)$$

где $\Delta\varepsilon$ – зона нечувствительности (параметр настройки позиционных регуляторов).

Схематический и графические алгоритмы трехпозиционного регулятора показаны на рис. 3.3.2.

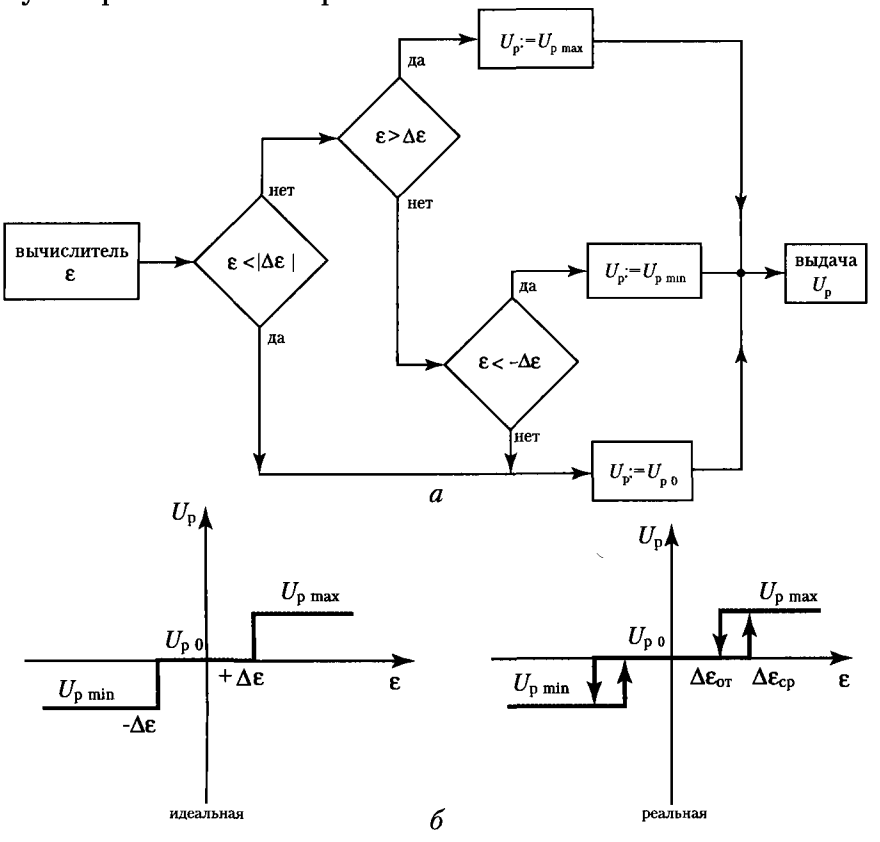


Рис. 3.3.2. Алгоритм действия трехпозиционного регулятора:
а – схематическая форма; *б* – графическая

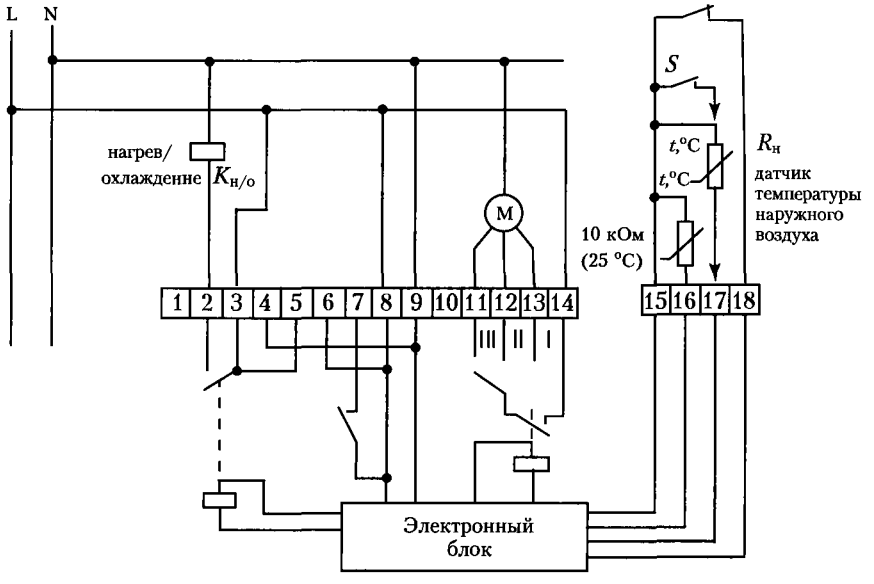
Введение зоны нечувствительности особенно важно при реализации двух противоположно направленных управляющих воздействий, например, нагрева и охлаждения. При отсутствии зоны нечувствительности процесс регулирования будет иметь ярко выраженный автоколебательный характер. Выражения (3.3.2) и (3.3.3) представляют характеристики идеальных позиционных регуляторов. В реальных регуляторах из-за наличия зазоров, сухого трения, гистерезиса и т. п. могут появляться зоны неоднозначности $U_р$ при срабатывании и отпускании регулятора.

В технике автоматизации систем кондиционирования и вентиляции двухпозиционные регуляторы в виду простоты и надежности нашли широкое применение при регулировании температуры (термостаты), давления (прессостаты) и других параметров состояния процесса. Двухпозиционные регуляторы используются также в системах автоматической защиты, блокировок и переключения режимов

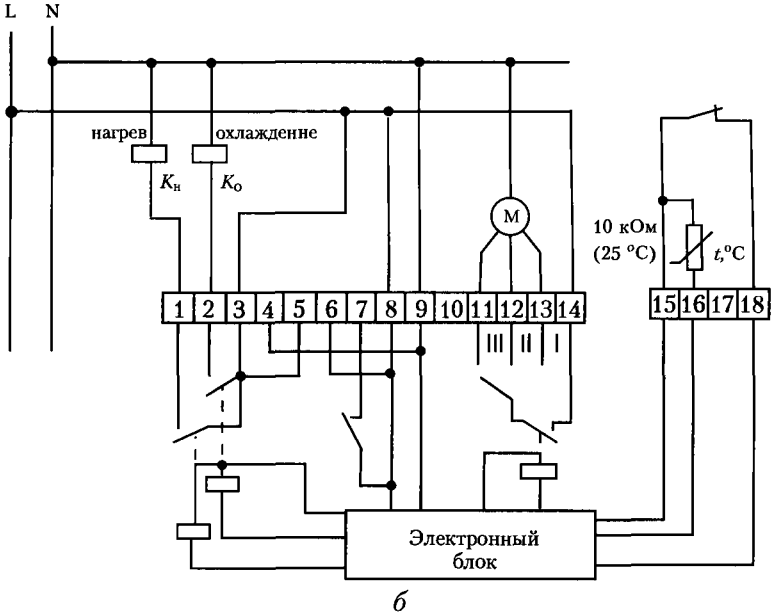
IBIK

работы оборудования. В этом случае их функции выполняют датчики-реле.

Для примера рассмотрим термостат типа MCR 2000 фирмы GEA для управления двух- и четырехтрубными фэнкойлами (рис. 3.3.3).



а



б

Рис. 3.3.3. Схема принципиальная электрическая термостата MCR 2000 для управления фэнкойлами:
а – двухтрубным; *б* – четырехтрубным

Двухпозиционное регулирование осуществляется в двухтрубных фэнкойлах с помощью электромагнитного клапана $K_{н/о}$. Выбор режима нагрев/охлаждение может производиться ручным способом (переключатель S) или с помощью датчика температуры наружного воздуха $R_н$. Трехпозиционное регулирование для четырехтрубного фэнкойла осуществляется клапанами $K_н$ и $K_о$. Кроме того, термостат позволяет пользователю выбрать одну из трех скоростей вентилятора фэнкойла. Конструктивно термостат выполнен в пластмассовом корпусе, на передней панели которого размещены органы управления: задатчик температуры, выключатель термостата и переключатель скоростей вентилятора. Диапазон задатчика 5–30 °С может быть изменен с помощью ограничителей, расположенных под рукояткой задатчика (рис. 3.3.4).

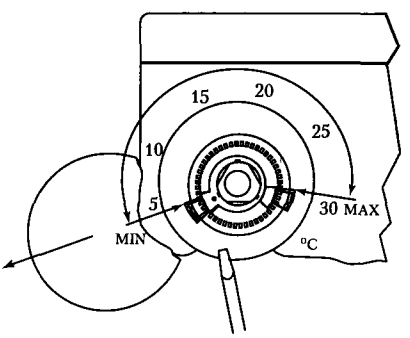


Рис. 3.3.4. Механизм изменение диапазона задатчика термостата MCR 2000

Внутри корпуса расположен электронный блок, на котором установлены два переключателя (джампера) и потенциометр настройки зоны нечувствительности (рис. 3.3.5).

Джампер JP1 – наличие датчика наружного воздуха, джампер JP2 – выбор типа фэнкойла: двух- или четырехтрубный. Зона нечувствительности может быть выбрана в диапазоне от ±0,3 К до ±3 К.

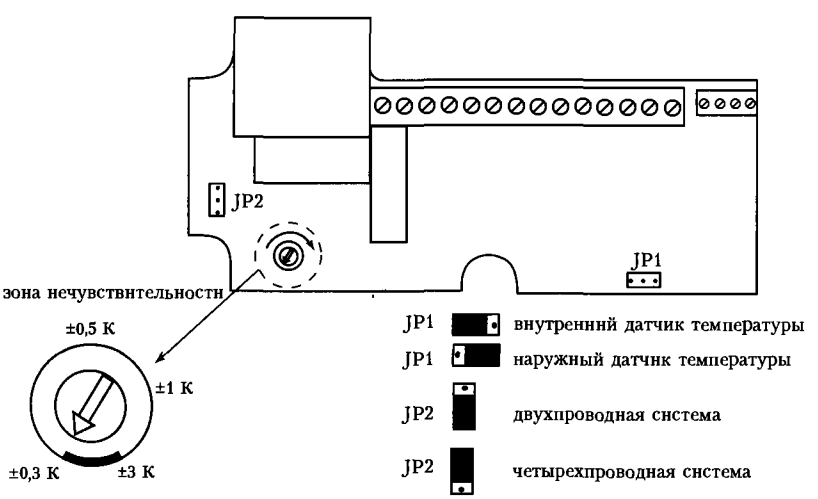


Рис. 3.3.5. Электронный блок термостата MCR 2000

3.3.3. ИМПУЛЬСНЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Повышение качества регулирования позиционных регуляторов может быть достигнуто путем преобразования величины выходного сигнала $U_р$ в длительность выходных импульсов относительно периода их следования:

$$T_и = \bar{U}_р \frac{T_k}{100\,\%}, \qquad (3.3.4)$$

где $T_и$ – длительность управляющего импульса;

$T_к$ – период следования импульса (период квантования).

То есть максимальные $U_{р\,max}$ (или минимальные $U_{р\,min}$) значения напряжения на выходе позиционного регулятора формируются не в течение всего времени наличия рассогласования $\varepsilon(t)$ регулируемого параметра, а периодически. Это позволяет с известной степенью точности реализовать любой закон регулирования, если длительность управляющего импульса будет пропорциональна комбинации П, И и Д-составляющих. Достигается это с помощью широтно-импульсной модуляции (ШИМ-регуляторов). Смысл широтно-импульсной модуляции заключается в преобразовании уровня выходного сигнала $U_р$ в соответствующую ему длительность выходного сигнала (рис. 3.3.6).

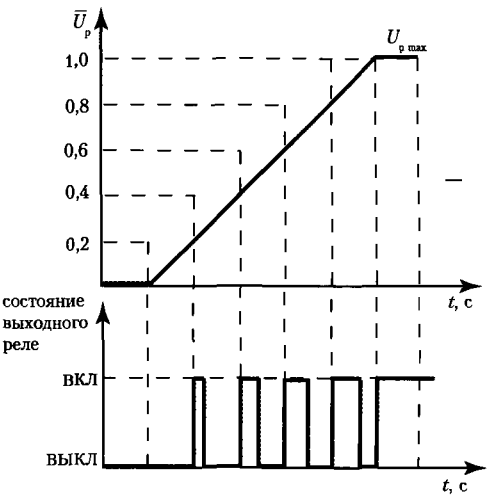


Рис. 3.3.6. Принцип широтно-импульсной модуляции (ШИМ)

При П-законе регулятор выдает импульсы, в которых присутствует только пропорциональная составляющая величины отклонения регулируемого параметра (рис. 3.3.7, *а*). При реализации ПИ-закона ШИМ-регулятор с появлением $\varepsilon(t)$ выдает импульсы, длительность которых постепенно увеличивается. В каждом импульсе присутствует как пропорциональная составляющая (не заштрихованная часть импульса), так и интегральная (заштрихованная часть), которая зависит от $T_и$ (рис. 3.3.7, *б*).

При управлении исполнительным механизмом трехходового клапана или заслонки необходимо две пары контактов. При подаче управляющих импульсов на первую пару контактов механизм перемещается в одну сторону, например, открывается, при подаче импульсов на вторую пару – закрывается.

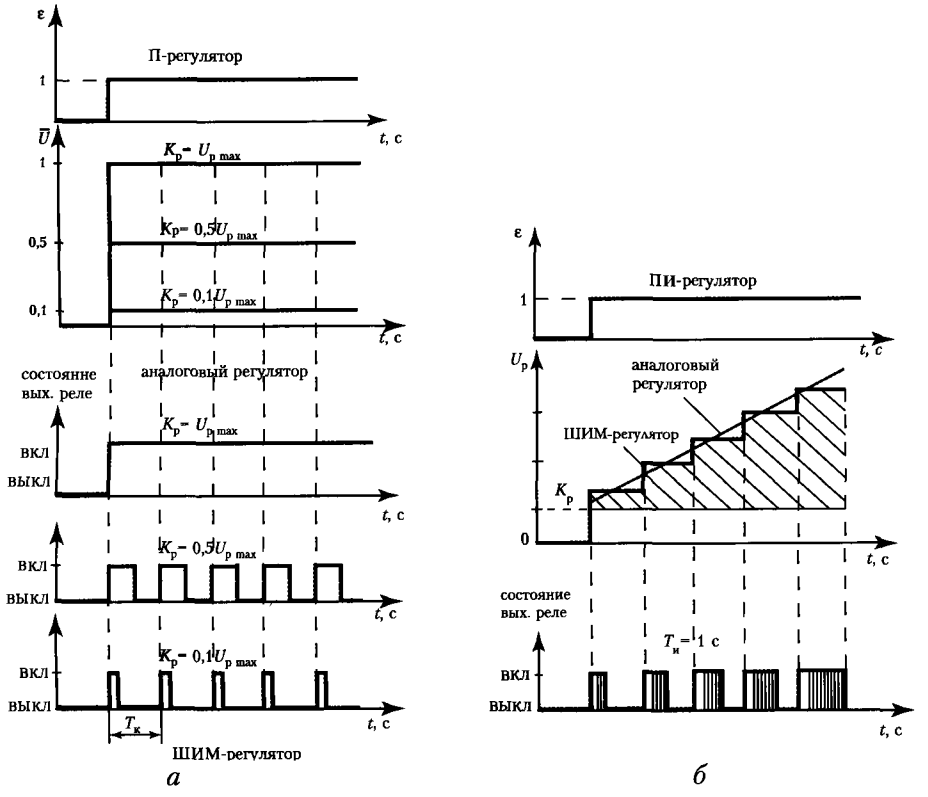


Рис. 3.3.7. Реализация законов регулирования с помощью ШИМ-регуляторов: *а* – П-регулятор; *б* – ПИ-регулятор

Если исполнительный механизм имеет датчик положения, то регулятор вычисляет выходной сигнал $U_р$ и перемещает задвижку в нужное положение (до совпадения $U_р$ с сигналом датчика положения). Такие регуляторы иногда еще называют позиционерами.

Если датчик положения отсутствует, то регулятор вычисляет среднюю скорость перемещения задвижки $V_{ср}$, которую затем преобразует в относительную длительность импульса $T_и$. В этом случае реализуется только ПИ-закон регулирования.

Классическим примером импульсного регулятора является регулятор ТРМ 12 (Россия). ТРМ 12 – одноканальный трехпозиционный ПИД-регулятор, имеющий один вход для подключения датчика и два выхода на исполнительные устройства (рис. 3.3.8). Тип подключаемого датчика (термосопротивление, термопара) и выходных устройств (реле, оптотранзистор, оптосимистор) определяются при заказе. Регулятор может работать в двух режимах: как ПИ-регулятор при управлении задвижками или трехходовыми клапанами без учета их исполнения или как ПИД-регулятор, при управлении системой «нагрев-охлаждение».

Элементы индикации и управления регулятора ТРМ 12 показаны на рис. 3.3.9.

IBIK

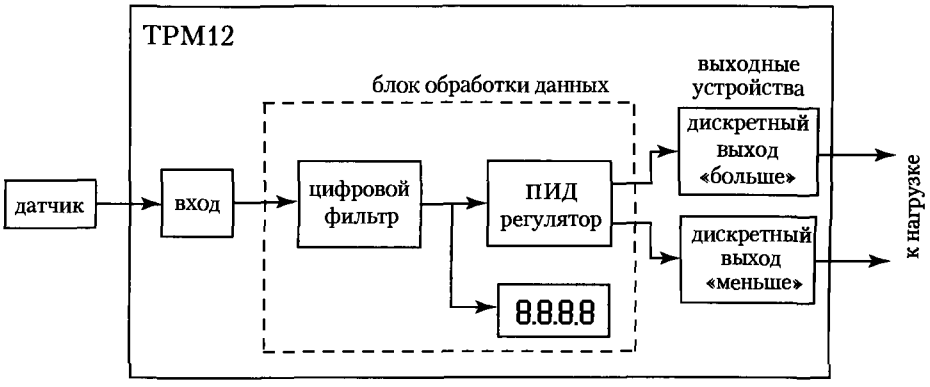


Рис. 3.3.8. Функциональная схема регулятора ТРМ 12

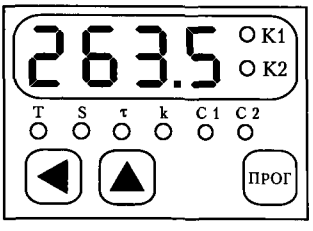


Рис. 3.3.9. Органы управления и индикации регулятора ТРМ 12

Аналогичный принцип импульсного управления использован и в регуляторах температуры фирмы REGIN, предназначенных для поддержания заданной температуры с помощью изменения мощности электрических нагревателей. Регулирование мощности происходит за счет изменения времени включения и выключения полной мощности нагревателя. Переключение нагрузки осуществляется с помощью симисторов в тот момент, когда ток и напряжение на нагревателе равны нулю. Это уменьшает потребление электроэнергии, исключает возникновение электромагнитных помех и увеличивает время безотказной работы.

Регуляторы автоматически изменяют закон управления в зависимости от динамических свойств объекта. При быстро изменяющейся температуре (например, при регулировании температуры приточного воздуха) регуляторы работают в режиме ПИ-регулирования с фиксированной зоной пропорциональности 20 К и временем интегрирования равным 6 мин. При медленно изменяющейся температуре (например, при регулировании температуры в помещении) они работают в режиме П-регулирования с фиксированной зоной пропорциональности 2 К.

В случае повышения потребляемой мощности нагревателя свыше допустимой величины нагрузку можно разделить на несколько ступеней. Для этого имеются вспомогательные блоки TT SLAV, которые управляют дополнительными ступенями в позиционном режиме ВКЛ/ВЫКЛ. Технические характеристики регуляторов температуры для управления нагревателями фирмы REGIN приведены в табл. 3.3.1, а конструктивное исполнение показаны на рис. 3.3.10.

Таблица 3.3.1. Технические характеристики симисторных регуляторов фирмы REGIN

Тип регулятора	Pulser		TTC	TTC25		TT SLAV
Напряжение, В/Гц	220/50, 1 ф	380/50, 3 ф	380/50, 3 ф	380/50, 3 ф		220/50, 1 ф
Максимальная мощность управления, кВт	3,6	6,0	17	17	25	30
Макс./мин. нагрузка на фазу, А	16/1		25/3	25/3	40/3	
Степень защиты	IP20		IP20	IP20	IP20	IP20
Диапазон регулирования, °С	0–30		0–30	0–30	0–30	–
Длительность цикла, с	~60		~60	6–60	6–60	–
Сигналы управления, В, мА	Встроенный термодатчик		0–10 2–10 0–20 4-20	0–10	0–10	От регулятора TTC
Размеры, мм	94×50×43		16×250×122	192×198×95	192×222×95	122×122×56
Вес, кг	0,3		2,1	1,9	2,0	

а *б* *в*

Рис. 3.3.10. Конструктивное исполнение симисторных регуляторов температуры фирмы REGIN:
а – Pulser; *б* – TTC; *в* – TTC 25/40

Что касается регуляторов непрерывного действия, то они в настоящее время на практике в чистом виде реализуются редко (например, регуляторы серии AQUALINE фирмы REGIN). Большей частью термин «аналоговый регулятор» подразумевает наличие аналоговых сигналов, как на входе, так и на выходе регулятора, хотя внутри последнего обработка сигнала может производиться в цифровом виде с помощью микропроцессорных устройств. При этом быстродействие таких регуляторов не уступает аналоговым, и для них в полной мере сохраняются теоретические положения, изложенные во второй главе.

3.3.4. УПРАВЛЯЮЩИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ

Современные САУ в качестве средств управления используют, как правило, электронные цифровые устройства на базе микропроцессоров. В цифровых устройствах представление и обработка информации осуществляется в двоичной (бинарной) системе счисления, в которой информация передается двумя цифрами («0» и «1»). Физически им соответствуют два уровня напряжения.

Например, «0» соответствует 0–0,8 В, «1» соответствует 2,4–5,0 В – стандартные уровни для транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ).

IBIK

В устройствах, основанных на «жесткой» (аппаратно реализованной) логике, каждый элемент выполняет одну функцию, определяемую базовыми операциями («И», «ИЛИ», «НЕ»). Микропроцессоры – устройства, реализующие последовательную во времени обработку данных с помощью фиксированного количества аппаратно реализованных логических функций. При этом порядок выполняемых микропроцессором операций определяется записанной в память последовательностью команд (алгоритмом), под управлением которых устройство управления микропроцессора задействует те или иные аппаратно реализованные логические функции.

Для выполнения микропроцессором регулирующих функций необходимо преобразовать непрерывные (аналоговые) сигналы от измерительных датчиков (например, датчик температуры) в двоичный код. Для адекватного представления аналоговой величины в двоичном виде производится измерение величины (напряжения) в определенный момент времени (***квантование по времени***) с последующим сопоставлением ее с ближайшим условным уровнем, жестко определенным двоичным кодом (***квантование по уровню***).

Процессы квантования и кодирования аналоговой величины показаны на рис. 3.3.11. Они основаны на теореме В. А. Котельникова. В ней доказано, что, если функция $f(t)$ непрерывна и ее частотный спектр не содержит частот более F, то она полностью определяется совокупностью ординат, отстоящих друг от друга на расстоянии $1/2F$. Поэтому, если в моменты времени $t_1, t_2, ..., t_i$ (при $t_i - t_{i-1} < 1/2F$) произвести выборку сигнала $U(t_1), U(t_2), ..., U(t_i)$, то функция $U = f(t)$ однозначно будет определяться этими сигналами без потери информации. Этот процесс и есть квантование по времени.

При квантовании по уровню сигнал округляется до ближайшего разрешенного уровня, который преобразуется в цифровой код (двоичное число). Эта операция называется ***кодированием***. Совокупность двоичных чисел представляет собой цифровой сигнал, соответствующий аналоговому сигналу $U = f(t)$. Ошибки преобразования зависят от числа разрешенных уровней. На рис. 3.3.11 показан четырехразрядный двоичный код, число уровней которого составляет 16. На практике для повышения точности используют 8–12-разрядные двоичные коды, соответственно с количествами разрешенных уровней 256–4096. Например, при применении восьмиразрядного кода и при преобразовании унифицированного сигнала постоянного напряжения 0–10 В относительная погрешность составит не менее 0,4 %, а в случае с десятиразрядным – менее 0,1 %.

Основным устройством, которое способно запомнить элементарную единицу цифровой информации – один разряд (бит), является

IBIK

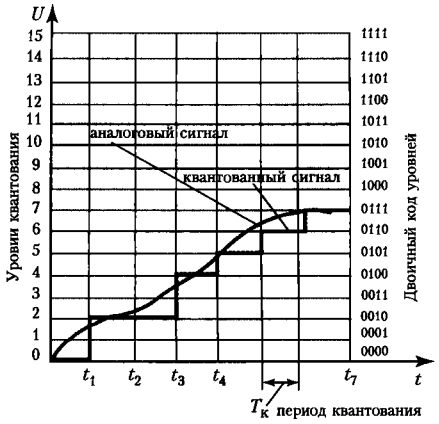


Рис. 3.3.11. Квантование и кодирование аналоговой величины

триггер – устройство из двух, определенным образом соединенных элементарных логических ячеек «И» либо «ИЛИ», имеющее два устойчивых состояния, одно из которых принимается за «1», а второе – за «0».

Для хранения многоразрядного двоичного числа используют несколько триггеров, по одному на каждый разряд. Такую группу триггеров называют ***регистром***. На базе триггеров построены и другие элементы цифровых устройств, осуществляющие логические и математические операции: счетчики, сумматоры, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры и демультиплексоры, преобразователи аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП). Подробное описание назначения и принцип действия указанных элементов можно найти, например, в [12].

Сами микропроцессоры, объединяющие заданный набор цифровых устройств, выполнены в виде больших интегральных микросхем (БИС), делящихся на два основных класса:

- микропроцессоры общего применения – БИС, не имеющие встроенных дополнительных средств и периферии и обладающие большой гибкостью проектирования готовых устройств управления и регулирования (контроллеров);
- однокристальные микро-ЭВМ – сложные и дорогие БИС, содержащие в одном корпусе, помимо ядра микропроцессора общего применения, встроенную память (постоянное запоминающее устройство – ПЗУ), память данных (оперативное запоминающее устройство – ОЗУ) и широкий набор периферийных средств: 8–12-разрядные АЦП, один-два 6–10-разрядных ЦАП, десятки двунаправленных линий ввода-вывода дискретных сигналов, приемопередатчики для обмена информацией по последовательному каналу и др.

Современные микропроцессоры, микро-ЭВМ и контроллеры по своим техническим возможностям позволяют обеспечить управление множеством параметров, таких как пуск и остановка отдельных устройств и всей системы в целом, блокировка и защита оборудования в аварийных ситуациях, индикация, переход с режима на режим и т. д.

Устройства, комплексно решающие функции управления и регулирования, называются ***управляющими контроллерами***. При их использовании в большинстве случаев исключается необходимость

IBIK

применения таких элементов автоматики, как реле, преобразователи, переключатели, счетчики, индикаторы, измерительные приборы и т. п. Это в свою очередь позволяет:

- повысить точность поддержания регулирующих параметров и надежность работы системы;
- уменьшить габариты средств управления;
- упростить монтаж и сократить сроки его выполнения;
- облегчить эксплуатацию системы.

В ряде случаев за счет перечисленных достоинств можно уменьшить фактическую стоимость средства автоматики с учетом капитальных и эксплуатационных затрат.

Упрощенная структурная схема контроллера показана на рис. 3.3.12. Основными функциональными частями управляющего контроллера является:

- устройство ввода-вывода;
- арифметико-логическое устройство (АЛУ);
- постоянное запоминающее устройство (ПЗУ);
- перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ);
- индикатор;
- пульт управления.

Устройство ввода-вывода обеспечивает прием, обработку сигналов от датчиков, преобразование их в цифровой код и передачу в АЛУ для дальнейшей обработки. Полученные в цифровом виде управляющие сигналы также преобразовываются устройством ввода-вывода в аналоговые или дискретные для передачи на исполнительные механизмы. Устройство ввода-вывода выполняется на базе элементов: мультиплексоров, демультиплексоров, ЦАП и АЦП.

Арифметико-логическое устройство (АЛУ) предназначено для выполнения команд, поступающих с пульта управления и запоминающих устройств, выполнения математических и логических операций и выработки управляющих сигналов в цифровом виде.

Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) включает программы, которые обычно записываются заводом-изготовителем контроллера или производителем оборудования. Такие программы могут состоять из одного или нескольких управляющих алгоритмов, ориентированных на работу с теми или иными конфигурациями систем (например, приточной вентсистемой, вентиляторным доводчиком (фэнкойлом) или небольшим холодильным агрегатом. Контроллеры с такими ПЗУ предназначены для выполнения четко определенных задач. Например, в автоматической стиральной машине пользователем задается вид ткани, которую необходимо постирать, масса, степень загрязнен-

ности, а контроллер из разнообразных алгоритмов обработки выбирает оптимальный. В данном случае пользователь или механик сервисной службы не могут изменить алгоритм работы машины. Такие контроллеры называют **жестко программируемыми**.

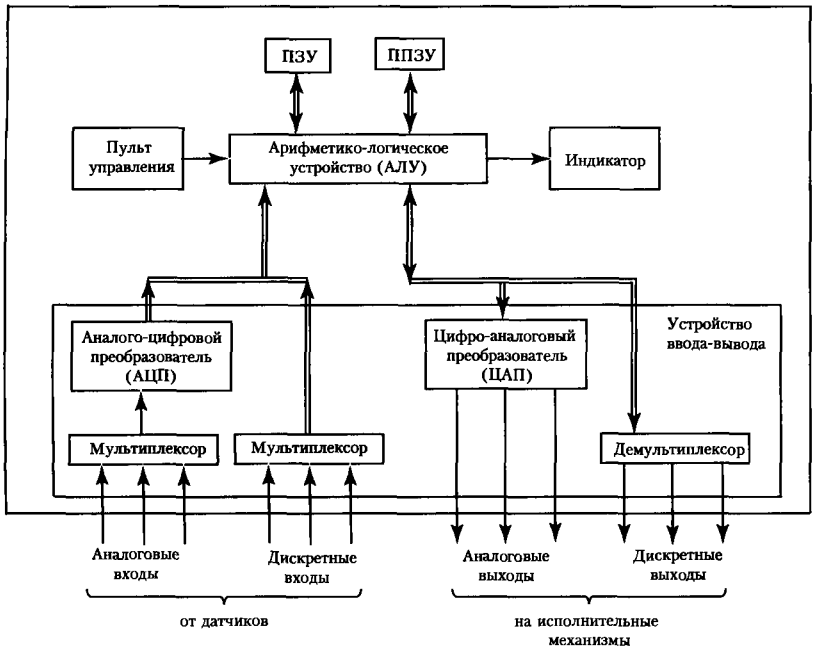


Рис. 3.3.12. Упрощенная структурная схема управляющего контроллера

Часть памяти данных, выполненная на основе ***электрически перепрограммируемого запоминающего устройства***, служит для настроек параметров управляющего алгоритма наладчиком, а также значений счетчиков статистики (общее количество циклов включений установки, причины и время отказов и т. п.) и параметров автонастройки «самообучающихся» алгоритмов.

Более широкие возможности открываются перед технологом (наладчиком) систем автоматизации при работе с ***программно-аппаратными комплексами*** в составе:

- свободно программируемых контроллеров с памятью программ, часть которой выполнена на основе электрически перепрограммируемого запоминающего устройства с доступом через последовательный порт для программирования;
- программного обеспечения, предоставляющего среду разработки управляющих алгоритмов в виде мнемосхем, которые содержат функциональные блоки различной сложности, соединенные линиями функциональных связей.

В этом случае неизменяемая (на основе ПЗУ) часть памяти программ контроллера содержит только программу связи с компьютером,

IBIK

для управления процессом загрузки алгоритма управления. Данный подход позволяет инженеру-технологу, специализирующемуся на конкретных типах управляемых систем (например, системы вентиляции) и не знакомому с какими-либо языками программирования, создавать собственноручно требуемые алгоритмы управления оборудованием без инженера-программиста. Среда разработки автоматически переводит созданный в графическом виде алгоритм в язык машинных кодов, специфичный для конкретного контроллера, и осуществляет загрузку готового исполняемого кода в контроллер.

Кроме того, среда разработки большинства программных комплексов предоставляет дополнительные средства:

- программная симуляция работы созданного алгоритма с целью проверки правильности функционирования и выявления ошибок без подключения к контроллеру;
- конфигурирование систем меню локальных интерфейсов пользователя: определение групп параметров, доступных пользователям под разными паролями, размещение их в иерархии меню панели управления и др.
- конфигурирование локальной сети контроллеров: распределение сетевых адресов, размещение контроллеров по сегментам сети, определение сетевых переменных, предназначенных для передачи отдельных параметров между контроллерами и др.

Пример структуры свободно программируемого контроллера Satchwell MN440, построенного на базе микропроцессора общего применения, показан на рис. 3.3.13.

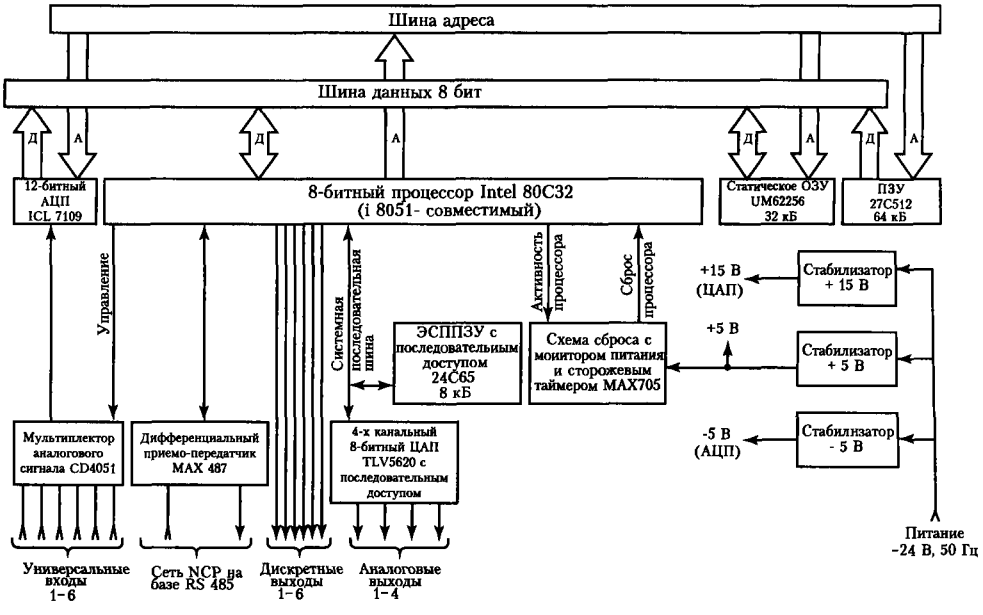


Рис. 3.3.13. Структурная схема контроллера MN440 Satchwell

Пользователь с персонального компьютера загружает в контроллер управляющий алгоритм, созданный и автоматически откомпилированный с помощью специальной программы. При этом работа контроллера в сети и загрузка управляющего алгоритма обеспечивается неизменяемой частью программы, записанной в ПЗУ контроллера. Сама программа пользователя записывается в ППЗУ, в котором также хранятся константы индивидуальной (заводской) калибровки шести аналоговых входов. При пуске контроллера или в процессе работы часть программы с алгоритмом пользователя выгружается из ППЗУ в ОЗУ, после чего программа пользователя начинает циклически исполняться (период цикла и, соответственно, время реакции на воздействия – 100–400 мс).

Подробное описание автоматизации СКВ на базе некоторых жестко и свободно программируемых контроллеров приведено в разделах 8 и 9.

3.4. ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

3.4.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электродвигатели в системах вентиляции и кондиционирования воздуха используются для вращения вентиляторов, компрессоров, терморегулирующих вентилей, воздушных заслонок, водяных вентилей и т. д.

Электродвигатели относятся к классу электрических машин, в которых происходит преобразование одного вида энергии в другой вследствие процесса электромагнитной индукции.

По назначению электрические машины разделяют на:

- генераторы, преобразующие механическую энергию в электрическую;
- электродвигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую;
- специальные машины, преобразующие один вид энергии в другой (трансформаторы, магнитные усилители и др.).

По устройству электрические машины принято разделять на коллекторные и бесколлекторные.

Коллекторные машины используются чаще всего для работы на постоянном токе, бесколлекторные машины работают на переменном токе.

Параметры режима, определяющие работу машины в условиях, для которых она предназначена, называются номинальными.

К номинальным параметрам электрических машин относятся напряжение, мощность, ток, частота, число фаз, скорость вращения, пус-

IBIK

ковой ток, коэффициент мощности, коэффициент полезного действия, пусковой и номинальный моменты. Основные номинальные величины указываются на заводском щитке.

3.4.2. УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины имеют две основные части (рис. 3.4.1): статор (*1*) и вращающийся ротор (*2*), разделенные зазором (*5*). На статоре и роторе размещаются стальные сердечники, которые служат для проведения магнитного потока. Для уменьшения потерь на вихревые токи при переменном магнитном поле сердечники выполняются из изолированных друг от друга листов электротехнической стали толщиной 0,35–0,5 мм. На внутренней окружности листов имеются пазы, в которые укладываются обмотки.

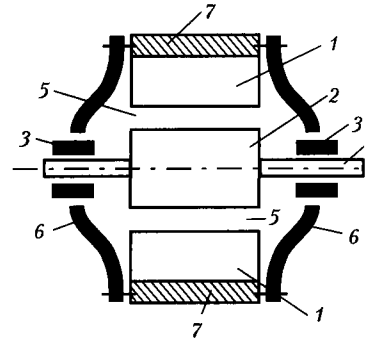


Рис. 3.4.1. Конструктивная схема электрической машины:
1 – статор; *2* – ротор;
3 – подшипники; *4* – вал;
5 – воздушный зазор;
6 – торцевые щиты; *7* – корпус

Сердечники ротора крепятся на валу (*4*). Вал вращается в подшипниках (*3*), встроенных в торцевые щиты (*6*). Обмотки и сердечники для охлаждения в большинстве случаев обдуваются воздухом. В герметичных компрессорах охлаждение осуществляется хладагентом.

На рис. 3.4.2 показан статор с 12 пазами, в каждый из которых условно уложено по одному проводнику. Части обмотки, уложенные в пазах (активная часть обмотки), показаны в виде стержней, а соединения между проводниками (лобовые соединения) условно показаны сплошной линией

Обмотка ротора также укладывается в пазы. Выводы обмотки выводятся на коллекторные кольца. Такой ротор называется фазным. Фазный ротор имеет, как правило, трехфазную обмотку, выполняемую аналогично статорной.

Через щетки, укрепленные на неподвижной части машины и скользящие по контактным кольцам, к ротору подключается трехфазный пусковой или регулируемый реостат, т. е. в каждую фазу ротора вводится активное сопротивление. Двигатели с фазным ротором применяются там, где требуется регулирование скорости приводимого в движение механизма, а также при частых пусках под нагрузкой.

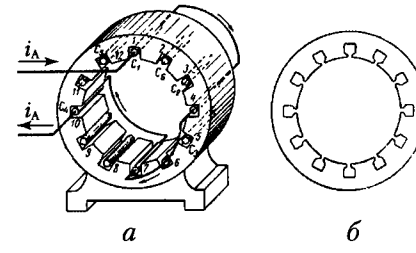


Рис. 3.4.2. Статор электрической машины:
а – статор в сборе;
б – штампованный лист

Чаще применяется короткозамкнутый ротор (рис. 3.4.3).

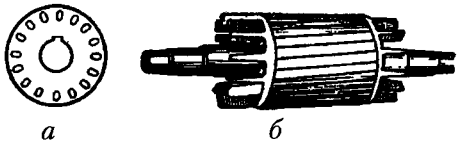


Рис. 3.4.3. Короткозамкнутый ротор:
а – штампованный лист;
б – ротор в сборе

Штампованные листы с отверстиями вблизи наружной окружности набираются на валу. В пазы листов заливают алюминий. После его застывания образуются продольные токопроводящие стержни. По обоим торцам ротора также отливаются алюминиевые кольца, замыкающие накоротко алюминиевые стержни. Полученные таким образом токопроводящие системы называют «беличьей клеткой». На торцах ротора видны вентиляционные лопатки, отливаемые вместе с короткозамкнутыми кольцами. «Беличья клетка» проста, не имеет скользящих контактов, поэтому электродвигатели с короткозамкнутым ротором наиболее дешевы, просты и надежны. В электродвигателе с короткозамкнутым ротором на обмотки статора подается напряжение, которое создает вращающееся электромагнитное поле, движущееся по окружности вдоль статорных пластин. В обмотке ротора при этом возникают токи, магнитное поле которых взаимодействует с полем статора. Ротор начинает следовать за вращающимся полем статора, но при этом несколько отстает от него. Ротор, вращаясь, «скользит» относительно поля статора.

Образование вращающегося момента, возникающего в роторе, показано на рис. 3.4.4. Полюса магнитного поля статора, вращающиеся со скоростью n_0, показаны пунктиром, чтобы подчеркнуть, что статор не имеет конструктивно оформленных полюсов. Проводники ротора показаны кружками. Указанные направления ЭДС и токов в них могут быть определены по правилу правой руки. Направление силы f, действующей на проводники ротора в результате взаимодействия токов в проводниках ротора с магнитным полем статора, может быть найдено по правилу левой руки.

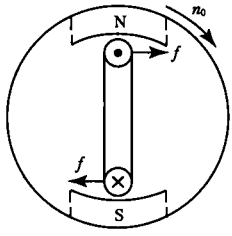


Рис. 3.4.4. Направление сил, действующих на проводники ротора

Для оценки скорости вращения ротора вводится понятие скольжения:

$$s = \frac{n_0 - n}{n_0}, \qquad (3.4.1)$$

где n_0 – скорость вращения магнитного поля статора или синхронная скорость;

n – скорость вращения ротора.

Синхронная скорость равна:

$$n_0 = \frac{60f}{p}, \text{ мин}^{-1}, \qquad (3.4.2)$$

IBIK

где f – частота переменного тока;

p – число пар полюсов.

Число пар полюсов может быть только целым, поэтому при частоте 50 Гц синхронная частота может быть 3 000 мин$^{-1}$, 1 500 мин$^{-1}$, 1000 мин$^{-1}$ и т. д.

Поскольку условием возникновения токов в роторе является неравенство скоростей, ротор двигателя не может вращаться со скоростью, равной синхронной. Поэтому такой электродвигатель называется ***асинхронной электрической машиной***.

Скорость асинхронного двигателя находится в пределах $0 < n < n_0$, а скольжение – в пределах $0 < s < 1$.

Применяются трехфазные, двухфазные и однофазные асинхронные машины. В системах вентиляции наиболее широко применяются однофазные и трехфазные асинхронные двигатели.

3.4.3. ОДНОФАЗНЫЕ АСИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ С ПУСКОВОЙ ОБМОТКОЙ

Однофазные асинхронные двигатели с пусковыми обмотками имеют статоры по конструкции такие же, как у трехфазных машин, но здесь в пазах сердечника размещены две однофазные обмотки, смещенные друг относительно друга на 90 электрических градусов. Одна из этих обмоток – рабочая – занимает 2/3 пазов статора. Она остается включенной на все время работы двигателя. Вторая обмотка – пусковая – включается только на время пуска и после разгона двигателя отключается. Пусковая обмотка занимает 1/3 пазов в статоре. Пусковая обмотка однофазного асинхронного двигателя рассчитана на кратковременное включение (0,5–3 с), поэтому она выполняется из более тонкого провода и обладает большим сопротивлением.

Для создания вращающегося магнитного поля должен быть создан сдвиг между векторами токов в рабочей и пусковой обмотках. Это достигается включением последовательно с пусковой обмоткой сопротивления R или емкости C. При включении сопротивления сдвиг между токами в обмотках будет меньше 90°, поэтому вращающееся магнитное поле при пуске образуется не круговым, а эллиптическим, что ухудшает пусковые свойства двигателя. Если последовательно с пусковой обмоткой двигателя включается конденсатор (пусковая емкость $C_п$), то сдвиг между токами обмоток будет близок к 90°, а магнитное поле – практически круговым.

3.4.4. КОНДЕНСАТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

В конденсаторных электродвигателях обе однофазные обмотки статора остаются включенными на все время работы машины. На рис. 3.4.5 показана схема включения однофазного конденсаторного двигателя с рабочей емкостью $C_р$, обеспечивающей при номинальной нагрузке сдвиг между векторами токов в обмотках статора, близкий к 90°.

Создаваемое обмотками вращающееся магнитное поле будет при этом практически круговым, поэтому двигатель имеет довольно высокие энергетические характеристики: КПД – 60–70 % и cosα – 0,8–0,95. Однако пусковой момент здесь невелик.

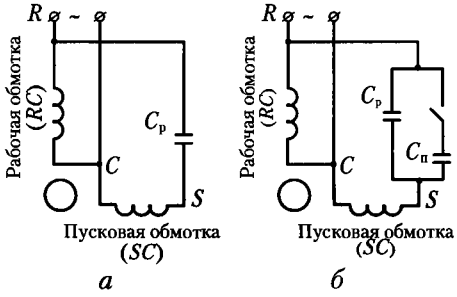


Рис. 3.4.5. Схема включения однофазных конденсаторных двигателей:
а – с рабочей емкостью $C_р$;
б – с рабочей емкостью Ср и пусковой емкостью $C_п$

На импортных компрессорах выводы обмоток обычно обозначают следующим образом:
C (Common) – обозначение общей точки соединения пусковой и рабочей обмоток двигателя; *S* (Start) – второй вывод пусковой обмотки; *R* (Run) – второй вывод рабочей обмотки. В компрессорах бытовых кондиционеров используются в основном однофазные конденсаторные двигатели с рабочей емкостью. Сопротивление рабочей обмотки (*CR*) двигателя компрессоров малой мощности (до 5 кВт) составляет 1–5 Ом. Сопротивление пусковой обмотки (*CS*) – 5–15 Ом.

При проверке электродвигателей и повторном монтаже недопустимо перепутать местами рабочую и пусковую обмотки, так как это приведет к выходу из строя (перегоранию) пусковой обмотки.

Сопротивление изоляции обмоток электродвигателя у нового двигателя должно быть не менее 10 мОм, у электродвигателя после годичной эксплуатации – не менее 1,0 мОм.

При сопротивлении изоляции обмоток электродвигателя менее 500 кОм эксплуатация его не допускается. Измерение изоляции производится мегомметром при подаче между обмоткой и корпусом электродвигателя постоянного напряжения 500 В.

Сопротивление обмоток однофазных электродвигателей составляет:

- вентиляторов, используемых во внутренних блоках бытовых кондиционеров: 250–300 Ом;
- вентиляторов наружных блоков: 50–150 Ом;
- привода жалюзи внутренних блоков: 250–300 Ом.

IBIK

Для улучшения пусковых характеристик двигателя в момент пуска параллельно рабочему конденсатору включают пусковой конденсатор $C_п$, емкость которого примерно вдвое больше. После пуска конденсатор $C_п$ отключается. Электродвигатели, схема которых показана на рис. 3.4.5, *б*, имеют лучшие пусковые характеристики.

3.4.5. СИНХРОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Синхронные электрические машины в основном используются в качестве генераторов трехфазного тока в дизель-генераторах, гидроэлектростанциях и др.

Достаточно широкое применение получили и синхронные электродвигатели, хотя они обычно сложнее и дороже асинхронных. Основная причина их использования – способность работать на реактивную нагрузку и повышать cosφ нагрузки. Синхронные электродвигатели применяются в приводах, не требующих регулирования частоты, частых пусков, реверсов.

Конструкция синхронных машин существенно зависит от назначения и способа возбуждения. На рис. 3.4.6 показано устройство дизель-генератора.

Статор по конструкции не отличается от статора асинхронной машины. Он имеет литой корпус (*1*), куда вставлен набранный из тонких штампованных листов электротехнической стали сердечник (*2*), который имеет форму пустотелого цилиндра с расположенными по внутренней поверхности продольными пазами (*3*). В пазы уложена трехфазная обмотка (*4*) из изолированного медного провода. Статор является якорем машины, т. е. той ее частью, в которой наводится (индуктируется) ЭДС и по которой протекает основной ток машины (ток нагрузки).

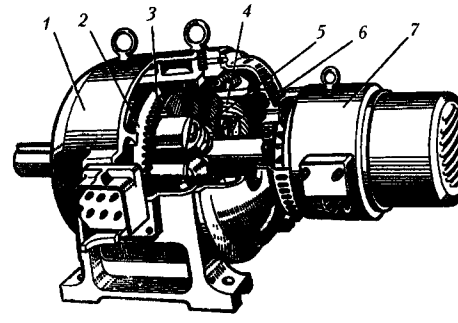


Рис. 3.4.6. Трехфазный синхронный генератор:
1 – корпус статора; *2* – сердечник статора; *3* – пазы сердечника статора; *4* – трехфазная обмотка статора; *5* – полюс ротора; *6* – обмотка возбуждения; *7* – возбудитель

Ротор синхронных машин является индуктором, т. е. той частью, которая создает (индуцирует) основное магнитное поле. В небольших машинах специального назначения для этой цели используют постоянные магниты, однако такой способ возбуждения имеет весьма ограниченное применение, так как делает затруднительной регулировку частоты вращения машины при ее работе.

Наиболее широко используется электромагнитный способ возбуждения, при котором ротор синхронной машины представляет собой электромагнит, имеющий стальной сердечник с выступами (полюсами) (*5*), на которые надеты катушки обмотки возбуждения, питаемые постоянным током от специальной машины – возбудителя (*7*).

Имеются также синхронные машины с самовозбуждением, у которых питание обмотки возбуждения осуществляется от основной обмотки статора, а для преобразования переменного тока в постоянный используются полупроводниковые выпрямители.

В системах кондиционирования и вентиляции в электроприводах воздушных заслонок и регулирующих вентилей применяются синхронные машины малой мощности (до 10–15 Вт) с индукторами, выполненными на основе постоянных магнитов.

3.4.6. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электродвигатели постоянного тока применяют в тех случаях, когда необходимо получить плавное регулирование частоты вращения в широком диапазоне частот, а также большой пусковой вращающий момент. Выполненные обычно как коллекторные, такие машины имеют достаточно сложные якорную и коллекторную обмотки и щеточный узел, что делает эти машины более дорогими и менее надежными, чем бесколлекторные машины.

Устройство коллекторной машины показано на рис. 3.4.7.

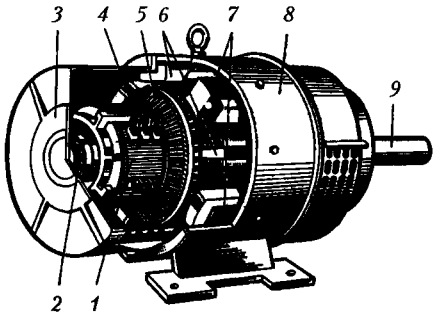


Рис. 3.4.7. Устройство машины постоянного тока:
1 – коллектор; *2* – подшипник;
3 – подшипниковый щит;
4 – щеткодержатель со щетками;
5 – якорь;
6 – добавочные полюсы;
7 – главные полюсы; *8* – станина;
9 – вал

Статор машины одновременно служит индуктором, т. е. создает основное магнитное поле, а также является частью магнитопровода. На внутренней поверхности станины (*8*) укреплены главные полюсы (*7*), создающие основное поле машины, а катушки этих полюсов образуют обмотку возбуждения. Между основными расположены добавочные полюса (*6*) со своими катушками. Назначение добавочных полюсов — уменьшение искрения под щетками. В торцевых частях станины закреплены подшипниковые щиты (*3*) с подшипниками (*2*), в которых вращается вал (*9*) ротора (*5*), служащего якорем машины. На подшипниковом щите, расположенном со стороны коллектора (*1*), укреплены щеткодержатели со щетками (*4*).

IBIK

Ротор (якорь) машины (рис. 3.4.8) состоит из вала (*4*), сердечника (*3*), обмотки (*2*) и коллектора (*1*).

Обмотка якоря, расположенная в пазах сердечника, выполняется из изолированного медного провода и состоит из секций (*6*), укладываемых в предварительно изолированные пазы. Концы секций якорной обмотки присоединяют (припаивают) к коллекторным пластинам. Обмотку закрепляют в пазах текстолитовыми или гетинаксовыми клиньями. Иногда обмотку якоря укрепляют дополнительными бандажами.

Лобовые части обмоток якоря в большинстве случаев крепят к специальному обмоткодержателю (*8*) при помощи бандажей.

Коллектор машины (рис. 3.4.9) состоит из медных пластин (*1*), отделенных друг от друга изоляционными прокладками (*2*).

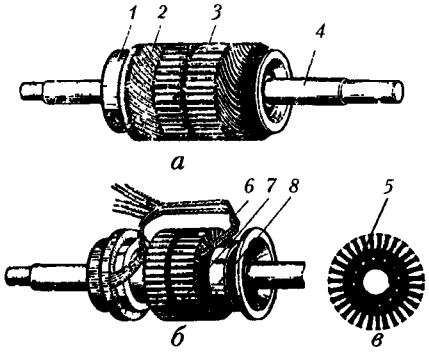


Рис. 3.4.8. Якорь (ротор) машины постоянного тока:
а – в сборе;
б – в процессе намотки;
в – штампованный лист якоря;
1 – коллектор; *2* – обмотка;
3 – сердечник; *4* – вал;
5 – вентиляционные отверстия;
6 – секции обмотки;
7 – место для бандажа;
8 – обмоткодержатель

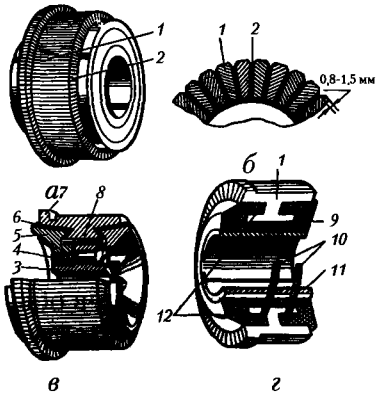


Рис. 3.4.9. Коллектор:
а – общий вид; *б* – коллекторные пластины; *в* – коллектор арочного типа; *г* – коллектор, *1* – коллекториая пластина (ламель),
2 – изоляционная прокладка;
3 – втулка; *4* – стяжной болт;
5 – конусная шайба; *6* – миканитовая манжета; *7* – «петушок» коллекторной пластины;
8 – «ласточкин хвост» коллекторной пластины; *9* – пластмасса;
10 – армировочные кольца;
11 – центральная втулка;
12 – хвостовик

Материал пластин — холоднокатаная коллекторная медь, прокладок — миканит (пластинки слюды, склеенные смолой).

В коллекторе арочного типа медные коллекторные пластины (*1*) и прокладки (*2*) имеют форму ласточкина хвоста и скрепляются в единую конструкцию с помощью стальных конусных шайб (*5*), стягиваемых болтами (*4*). Конусные шайбы изолированы от коллекторных пластин при помощи миканитовых манжет и миканитового цилиндра. В верхней части коллекторных пластин со стороны, обращенной к сердечнику якоря, имеются выступы, называемые «петуш-

ками» (*7*), к которым присоединяют концы секций якорной обмотки. В коллекторе на пластмассе набор медных коллекторых пластин (*1*) и миканитовых изоляционных прокладок (*2*) скрепляется пластмассой (*9*), запрессованной между ними и центральной стальной цилиндрической втулкой (*11*). Для увеличения механической прочности коллектора пластмассу армируют стальными кольцами (*10*), которые опираются на выступающие «хвостовики» миканитовых изоляционных прокладок (*12*). Это исключает возможность замыкания армирующими кольцами коллекторных пластин.

Щеточное устройство (рис. 3.4.10) машины состоит из траверсы (*1*), пальцев (бракетов) (*2*) и щеткодержателей, куда вставляется контакт с пластинами коллектора. Траверса обычно крепится к подшипниковому щиту. Пальцы электрически изолируют от траверсы.

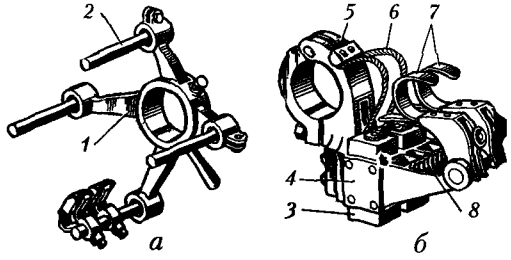


Рис. 3.4.10. Щеточное устройство коллекторной машины:
а – траверса с пальцами;
б – сдвоенный щеткодержатель;
1 – траверса; *2* – палец;
3 – щетка; *4* – обойма;
5 – зажим; *6* – гибкий токопроводящий тросик щетки;
7 – курки; *8* – пружина

Количество пальцев обычно равно числу главных полюсов машины. На каждом пальце крепится комплект щеткодержателей. Показанный на рисунке сдвоенный щеткодержатель состоит из обойм (*4*), куда помещают щетки (*3*), курков (*7*), передающих давление пружин (*8*) на щетки, и зажима (*5*) для крепления щеткодержателя на пальце. Щеткодержатели одной полярности (плюс или минус) соединяются между собой сборными шинами, подключенными к выводам машины.

Коробка выводов располагается, как правило, на станине, а выводы в ней маркируются следующим образом: Я1 и Я2 – обмотка якоря, Д1 и Д2 – обмотка дополнительных полюсов, К1 и К2 – компенсационная обмотка, С1 и С2 – сериесная обмотка возбуждения. Цифрой 1 обозначают начало обмотки, цифрой 2 – конец.

Основной недостаток коллекторных машин постоянного тока (наличие электромеханического коллектора и, как следствие, малая надежность и взрывобезопасность) устранен в бесконтактном двигателе постоянного тока, называемом вентильным двигателем. В этом двигателе (рис. 3.4.11) щеточный коллектор заменен полупроводниковым (вентильным) коммутатором (ПК), обмотка якоря (ОЯ) находится на статоре, а ротор представляет собой двухполюсный (реже четырехполюсный) постоянный магнит (ПМ). Существенным элементом такого двигателя является датчик положения ротора (ДПР). Он может быть основан на разных принципах (фотоэлектрические, емкостные,

IBIK

индуктивные и т. д.). ДПР дискретно фиксирует различные положения ротора, в соответствии с которыми ПК коммутирует обмотки статора так, что его магнитный поток отстает от магнитного потока ПМ. В результате взаимодействия этих магнитных потоков создается вращающий момент, который стремится развернуть ротор, чтобы потоки совпадали. При повороте ротора срабатывание ДПР вызывает следующие переключения обмоток и т. д.

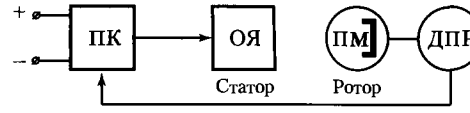


Рис. 3.4.11. Структурная схема вентильного двигателя постоянного тока

Вентильные двигатели имеют на 50 % больше крутящий момент, в 15 раз больше ускорение и на 30 % меньше размеры по сравнению с коллекторными двигателями. Кроме того, они не требуют дополнительного обслуживания после установки. Вентильные двигатели имеют высокую номинальную скорость вращения до 4 000 мин$^{-1}$ и могут развивать скорость до 10 000 мин$^{-1}$

3.5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ

3.5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Привод – совокупность устройств, преобразовывающих различные виды энергии в механическую энергию движения. Привод состоит из двигателя, устройства передачи движения (редуктор, ременная, цепная или зубчатая передачи) и устройства управления.

Электропривод – это система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющих устройств, которая предназначена для приведения в движение рабочих органов машины, а также управления этим движением.

При работе любого механизма в нем возникает противодействующее усилие, которое надо преодолеть, чтобы выполнить конкретную работу. Так, для подъема груза следует преодолеть силу тяжести, при фрезеровании – силу трения и т. д. Такую силу называют ***статической силой сопротивления*** $F_{ст}$, а момент, вызванный ею – ***статическим моментом сопротивления*** $M_{ст}$.

Если электрический двигатель будет создавать момент вращения $M > M_{ст}$, то к механизму будет приложен динамический момент $M_{дин}$, равный

$$M_{дин} = M - M_{ст} \qquad (3.5.1)$$

Выражение (3.5.1) и является основным уравнением движения электропривода.

В зависимости от знаков составляющих в уравнении (3.5.1) будет определяться режим работы электродвигателя. Например:

$M_{дин} = M - M_{ст} > 0$ – работа электропривода в двигательном режиме с ускорением при уменьшении нагрузки;

$M_{дин} = M - M_{ст} < 0$ – работа электропривода в двигательном режиме с замедлением при увеличении нагрузки;

$M_{дин} = -M + M_{ст}$ – работа электропривода в тормозном режиме, хотя вращение самого механизма с ускорением (например, спуск тяжелого груза);

$-M_{дин} = -M - M_{ст}$ – работа электропривода в тормозном режиме и статическом моменте, препятствующем движению (движение электропоезда при подходе к станции).

На практике выбор правильного сочетания электродвигателя и механизма производят на основе сопоставления их механических характеристик.

Механическая характеристика – зависимость между моментом и угловой скоростью: $\omega = f(M)$. Иногда используется зависимость $n = f(M)$, где $n = 30\omega/\pi \approx 9{,}55\omega$, мин$^{-1}$.

Основные виды механических характеристик исполнительных механизмов приведены на рис. 3.5.1, *а*.

Механическая характеристика подъемного механизма изображается прямой линией *1*, так как при постоянном весе груза момент $M_{ст}$ всегда постоянен и не зависит от скорости вращения.

Вентиляторы, центробежные насосы, компрессоры создают статический момент сопротивления в результате трения о воздух или жидкость с силой, пропорциональной квадрату скорости вращения. Поэтому механическая характеристика таких механизмов – парабола (кривая *2*).

Прямолинейную характеристику имеет генератор постоянного тока (кривая *3*), а металлорежущие станки и транспортные средства имеют гиперболическую характеристику (кривая *4*), так как с ростом статического момента сопротивления скорость уменьшается.

Механические характеристики основных видов электродвигателей показаны на рис. 3.5.1, *б*. Синхронный двигатель не изменяет скорость при изменении момента (прямая *5*). У асинхронного электродвигателя и двигателя постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением в рабочей части характеристики скорость незначительно уменьшается с ростом момента (соответственно кривые *6* и *7*). У двигателя постоянного тока смешанного возбуждения с увеличением нагрузки скорость резко уменьшается (кривая *8*).

IBIK

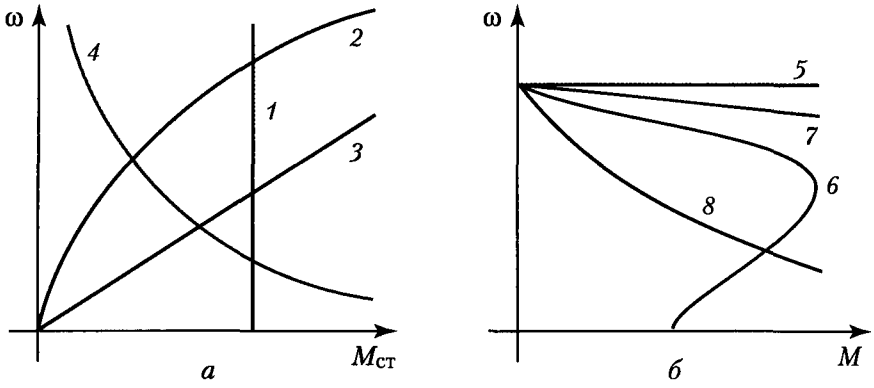


Рис. 3.5.1. Механические характеристики:
а – исполнительных механизмов; б – электродвигателей
1 – подъемные механизмы; *2* – вентиляторы, насосы и т. п.;
3 – генератор постоянного тока; *4* – металлорежущие станки и транспортные средства; *5* – синхронный двигатель;
6 – асинхронный двигатель; *7* – двигатель постоянного тока с независимым возбуждением; *8* – двигатель постоянного тока со смешанным возбуждением

Для проверки совместимости работы механизма и двигателя на основе выражения (3.5.1) строят их совместную характеристику. При этом механическую характеристику двигателя рассматривают в первом квадранте, а характеристику механизма – во втором.

Для примера на рис. 3.5.2 показана совместная характеристика вентилятора и асинхронного двигателя, полученная путем вычитания абсцисс. Участок *АБ* характеризуется устойчивой работой электропривода с установившейся частотой ω_3 ($M = M_{ст}$). На участке *БВ* работа становится неустойчивой, так как при снижении частоты двигатель остановится.

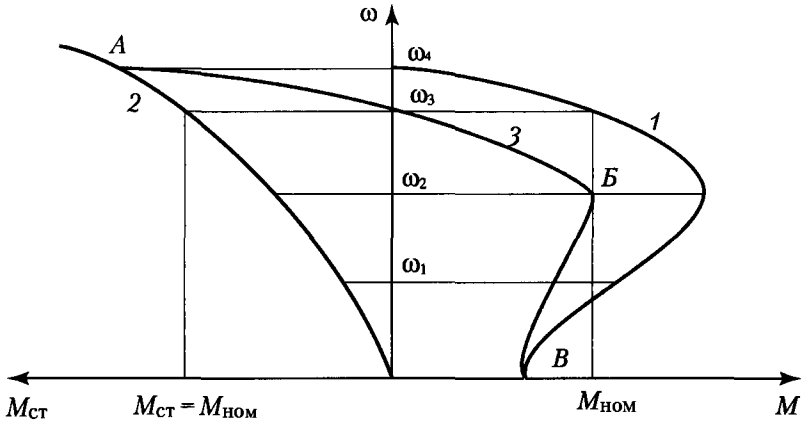


Рис. 3.5.2. Совместная характеристика асинхронного двигателя и вентилятора:
1 – характеристика асинхронного двигателя;
2 – характеристика вентилятора;
3 – совместная характеристика

Механические характеристики двигателя отличаются друг от друга жесткостью, которая определяется углом ее наклона α к оси абсцисс (рис. 3.5.3).

Коэффициентом жесткости механической характеристики называется тангенсом этого угла $K_ж = tg\alpha = \overline{\Delta M}/\Delta\omega$, где M и ω – значения соответственно момента и частоты вращения двигателя относительно номинальных значений.

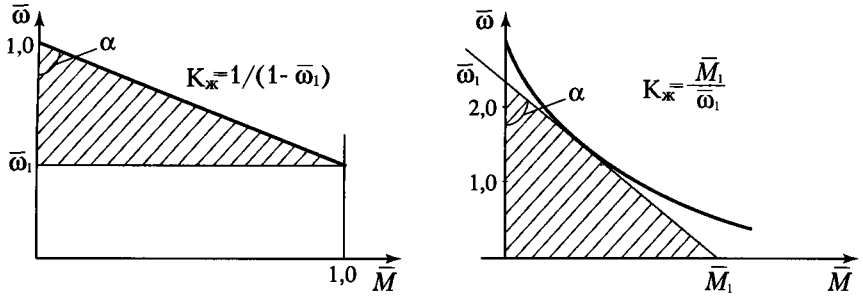


Рис. 3.5.3. К определению жесткости механических характеристик:
а – прямолинейная; *б* – криволинейная

Важным показателем работы электропривода является ***инерционность*** – свойство привода сохранять состояние движения при отсутствии внешней силы. Инерционность при поступательном движении определяется массой тела, а при вращательном – моментом инерции I. Например, момент инерции сплошного цилиндрического тела, вращающегося вокруг своей оси, равен:

$$I = \frac{mD_j^2}{4}, \text{ кг}\cdot\text{м}^2, \qquad (3.5.2)$$

где Dj – диаметр тела инерции, м;
m – масса тела, кг.

При этом надо различать геометрический диаметр тела $D_г$ и D_j. В приведенном примере $D_j = \frac{D_г}{\sqrt{2}}$. Момент инерции играет важную роль при пуске, торможении, регулирование скорости. При переходных процессах в электроприводе чем больше I, тем дольше будет двигаться тело по инерции. Зная момент инерции I можно определить динамический момент:

$$M_{дин} = I\frac{d\omega}{dt}. \qquad (3.5.3)$$

Необходимая мощность двигателя $P_{дв}$ определяется как:

IBIK

$$P_{дв} = M \cdot \omega = \frac{M \cdot n}{9,55}, \qquad (3.5.4)$$

где n – скорость вращения двигателя, $с^{-1}$.

Редуктор или ременная передача, понижающие частоту вращения в i раз, одновременно во столько же раз повышают момент. С учетом КПД передаточного устройства (η) момент, приведенный к валу двигателя, равен

$$M = \frac{M_{мех}}{i \cdot \eta}, \qquad (3.5.5)$$

где $M_{мех}$ – момент на валу механизма.

Аналогично к валу двигателя приводятся и моменты инерции. При этом момент инерции, приведенный к валу двигателя, будет равен

$$I_{дв} = \frac{I_{пр}}{i^2}. \qquad (3.5.6)$$

Общий момент инерции равен сумме всех приведенных моментов.

Важными показателями работы электроприводов являются их регулировочные свойства, которые оцениваются несколькими параметрами:

1. Диапазон регулирования

$$Д = \omega_{max}/\omega_{min}, \qquad (3.5.7)$$

где ω_{max} и ω_{min} – верхний и нижний пределы регулирования.

Малым считается диапазон 2:1, большим – 10:1. В специальных системах получают диапазон 100:1 и выше. Диапазон регулирования определяется как возможностью самого двигателя, так и способом регулирования скорости.

2. Плавность регулирования

Характеризуется коэффициентом плавности

$$К_{пл} = \omega_n/\omega_{n-1}, \qquad (3.5.8)$$

где ω_n – частота вращения на n-ой скорости;

ω_{n-1} – на ближайшей ступени регулирования.

Например, двухскоростной асинхронный двигатель имеет коэффициент плавности $К_{пл} = 2$. В зависимости от требований к исполнительному механизму может быть получен $К_{пл}$, близкий к единице.

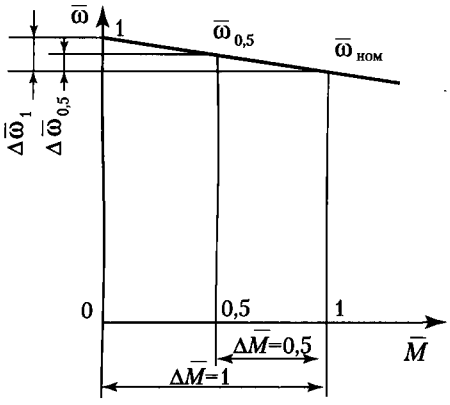


Рис. 3.5.4. К определению стабильности (погрешности) электропривода

3. Стабильность скорости

Изменение частоты вращения при изменении нагрузки определяется жесткостью механических характеристик. Так, у двигателей постоянного тока параллельного или независимого возбуждения, а также асинхронных двигателей с увеличением нагрузки скорость изменяется незначительно (рис. 3.5.1, кривые *6* и *7*). Синхронный двигатель обладает абсолютной стабильностью. Обычно стабильность оценивается погрешностью относительно $\omega_{ном}$ при заданном диапазоне изменения нагрузки $\Delta\bar{M}$ (рис. 3.5.4).

Так, при изменении нагрузки от нуля до номинальной ($\Delta\bar{M}$ = 1) погрешность составит $\Delta\bar{\omega}_1 = \frac{\Delta\bar{M}}{K_ж}$, а при $\Delta\bar{M}$ = 0,5 погрешность $\Delta\bar{\omega}_{0,5} = \Delta\bar{M}_{0,5}/K_ж$.

4. Регулирования скорости

Регулирование скорости может быть «вверх» (увеличение) или «вниз» (уменьшение) относительно номинального значения. Однако ряд механизмов, в первую очередь это относится к вентиляторам, насосам, компрессорам, не допускают регулирование скорости вверх от номинальной скорости по следующей причине: момент растет пропорционально квадрату скорости, а мощность – пропорционально кубу скорости, что приводит к недопустимым перегрузкам двигателя.

5. Нагрузочная способность электропривода

Паспортная характеристика двигателя задается номинальными значениями мощности и момента или тока. В процессе работы мощность и момент, развиваемые двигателем, могут меняться, но в любом случае они не должны превышать номинальные значения во избежание перегрева обмоток двигателя.

В технике автоматизации СКВ наибольшее распространение получили регулируемые исполнительные механизмы на базе асинхронных двигателей, а в последнее время – и на базе двигателей постоянного тока.

IBIK

3.5.2. УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

3.5.2.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ И СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Работа асинхронного электродвигателя в двигательном режиме имеет две граничные точки на механической характеристике (рис. 3.5.5, кривая *1*): идеального холостого хода (*д*) и короткого замыкания (*а*). В режиме идеального холостого хода (n_0) двигатель не потребляет энергию от сети, так как отсутствует момент сопротивления механизма. На практике такой режим невозможен и небольшой момент сопротивления присутствует – режим реального холостого хода ($n_{хх}$, рис. 3.5.5, точка *г*). Короткое замыкание (к. з.) получается при заторможенном роторе ($n = 0$) и включенном в сеть статоре. Практически режим к. з. возникает каждый раз при пуске двигателя.

Кроме этих граничных точек, есть промежуточные: *б* – критическая (разделяющая устойчивые и неустойчивые режимы работы), *в* – номинальная.

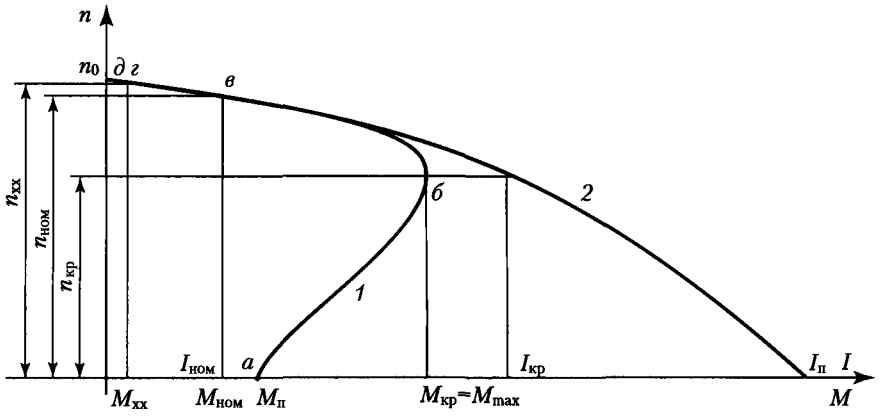


Рис. 3.5.5. Характеристики асинхронного электродвигателя:
1 – механическая; *2* – скоростная

Точка *б* механической характеристики соответствует положению неустойчивого равновесия, так как при любом малом снижении скорости, момент двигателя не растет, а падает, в результате чего двигатель останавливается. Вся нижняя часть механической характеристики, лежащая ниже точки *б*, является областью неустойчивой работы двигателя.

Максимальный момент M_{max} называется ***опрокидывающим моментом*** асинхронной машины. Момент $M_{ном}$, соответствующий номинальному режиму (точка *в*), называется ***номинальным моментом***.

Соответствующее ему номинальное скольжение для асинхронных двигателей средней мощности составляет 0,02–0,06, т. е. номинальная скорость $n_{ном}$ находится в пределах:

$$n_{ном} = n_0(1 - s_{ном}) = (0{,}94 - 0{,}98)n_0. \qquad (3.5.9)$$

Отношение максимального момента к номинальному называется ***перегрузочной способностью асинхронного двигателя***:

$$K_м = \frac{M_{max}}{M_{ном}}. \qquad (3.5.10)$$

Отношение пускового момента $M_п$, развиваемого двигателем в неподвижном состоянии, к номинальному моменту называется кратностью пускового момента:

$$K_{пм} = \frac{M_п}{M_{ном}}. \qquad (3.5.11)$$

Для двигателей с короткозамкнутым ротором $K_{пм}$ = 1,1–1,8.

Работа машины на верхней устойчивой части механической характеристики с моментом, превышающим номинальный, возможна лишь кратковременно. В противном случае срок службы электродвигателя сокращается из-за его перегрева.

Кривая *2* на рис. 3.5.5 является скоростной характеристикой электродвигателя – зависимость $n = f(I)$, где I – ток статора. На скоростной характеристике видно значительное превышение пускового тока $I_п$ над номинальным $I_{ном}$, что необходимо учитывать при выборе схемы пуска асинхронных двигателей.

Соотношение

$$K_{пт} = \frac{I_п}{I_{ном}} \qquad (3.5.12)$$

называется кратностью пускового тока и для двигателей с короткозамкнутым ротором лежит в пределах 5,0–8,0.

Максимальный момент пропорционален квадрату напряжения сети, т. е. асинхронные двигатели чувствительны к понижению напряжения сети. Так, при понижении напряжения сети на 10 % вращающийся момент уменьшится на 19 %.

3.5.2.2. РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

1. Регулирование скорости вращения изменением числа полюсов

Скорость вращения асинхронных двигателей можно регулировать изменением скорости вращения поля статора, что осуществляется изменением числа полюсов.

IBIK

Асинхронный двигатель, допускающий ступенчатое изменение скорости вращения переключением обмоток на различное число полюсов, называется ***многоскоростным***.

Чтобы обеспечить возможность изменения числа полюсов в соотношении 1:2, каждую фазу обмотки выполняют из двух частей, имеющих одинаковое число катушечных групп. Использование обмоток с переключателем полюсов требует сложной коммутационной аппаратуры. При переключении необходимо сохранять направление вращения двигателя. В некоторых случаях выполняются отдельные обмотки для разных скоростей вращения.

На рис. 3.5.6 показана схема переключателя числа полюсов многоскоростного двигателя при постоянном моменте, а на рис. 3.5.7 – при постоянной мощности.

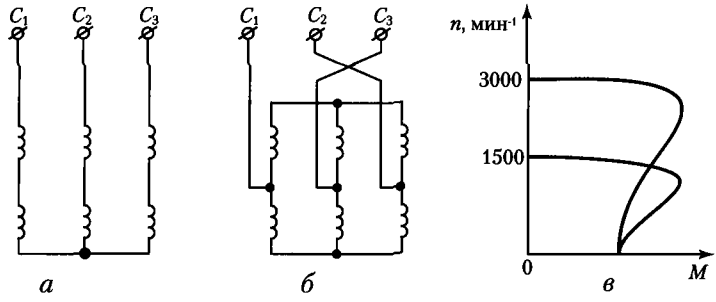


Рис. 3.5.6. Переключение числа полюсов многоскоростного двигателя при постоянном моменте:
а – схема соединения обмотки при $2p = 4$;
б – соединение обмотки при $2p = 2$;
в – механические характеристики

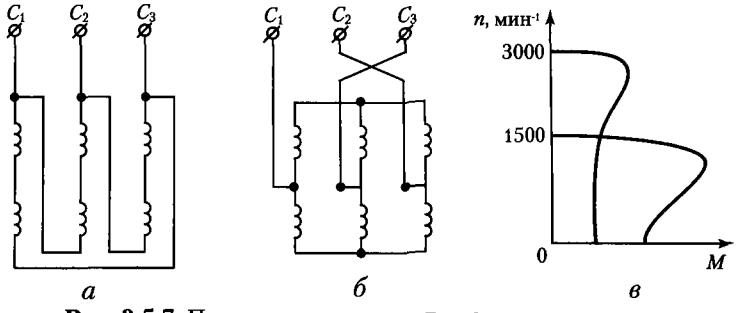


Рис. 3.5.7. Переключение числа полюсов многоскоростного двигателя при постоянной мощности:
а – схема соединения обмотки при $2p = 4$;
б – соединение обмотки при $2p = 2$;
в – механические характеристики

Многоскоростные двигатели выпускаются на 2, 3 и 4 скорости вращения.

Недостатком многоскоростных двигателей является ступенчатое изменение скорости вращения и уменьшение мощности при тех же

габаритах, а также повышенная стоимость и необходимость применения сложной коммутационной аппаратуры.

2. Регулировка скорости вращения путем введения активного сопротивления в цепь ротора

Максимальный момент двигателя не изменяется при изменении активного сопротивления ротора, однако при этом изменяется критическое скольжение.

Указанные свойства асинхронных двигателей широко используются для регулирования частоты их вращения. При введении в цепь ротора сопротивления ток и момент двигателя уменьшаются, в результате чего двигатель начинает тормозиться. Увеличение скольжения вызывает увеличение ЭДС ротора и его тока до тех пор, пока не будет достигнуто прежнее значение момента при пониженной скорости. Этим способом можно осуществить плавную регулировку скорости вращения нагруженного двигателя до 70 % от синхронной.

Существенным недостатком этого способа регулирования является его неэкономичность, так как возникают потери на введенном сопротивлении. К недостаткам можно отнести также зависимость диапазона регулирования от величины нагрузки, в частности при холостом ходе регулирование скорости практически невозможно.

Кроме того, указанный способ применим только для асинхронных двигателей с фазным ротором, и осуществляется включением трехфазного реостата $R_{доб}$ в цепь ротора (рис. 3.5.8, *а*). Механические характеристики такого двигателя для различных значений $R_{доб}$ показаны на рис. 3.5.8, *б*.

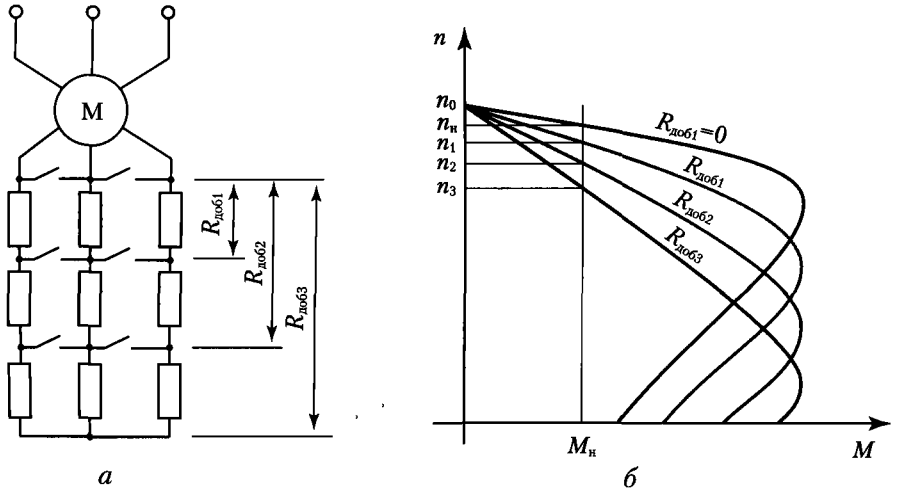


Рис. 3.5.8. Асинхронный двигатель, управляемый изменением сопротивления в цепи ротора:
а – схема электрическая; *б* – механические характеристики

3. Регулировка скорости вращения изменением напряжения питающей сети

Такая регулировка применима для двигателей с мягкой механической характеристикой. Понижением напряжения питания можно менять вид характеристики момента. При этом максимальный момент уменьшается пропорционально квадрату напряжения, а, следовательно, изменяется и скорость вращения.

Рассмотрим реализацию этого метода на примере вентиляторов и регулирующей аппаратуры фирмы Systemair.

Все вентиляторы Systemair (за исключением серии EX 140-180 и серии MZ) могут регулироваться путем изменения подаваемого на вентилятор напряжения. Это обеспечивается электродвигателем с высоким сопротивлением ротора.

На рис. 3.5.9 показаны характеристики стандартного асинхронного двигателя при пяти различных напряжениях. Характеристика *5* – при номинальном напряжении, другие (*1–4*) – при напряжениях меньших номинального. На рисунке также приведена механическая характеристика вентилятора. Частота вращения вентилятора при каждом напряжении может быть определена как точка пересечения кривых момента двигателя и момента вентилятора. При уменьшении напряжения, подаваемого на асинхронный электродвигатель, сначала частота вращения изменяется незначительно, но при определенном напряжении она резко падает до нуля (полная остановка). Из этого следует, что стандартные асинхронные двигатели нельзя регулировать путем уменьшения подаваемого напряжения.

На рис. 3.5.10 приведены зависимости момента электродвигателя от частоты вращения для пяти напряжений питания (кривые *1–5*) для электродвигателей Systemair, а также нагрузочная характеристика (момент сопротивления) вентилятора. Все пять кривых имеют точки пересечения с нагрузочной характеристикой вентилятора, при этом обеспечивается нормальная работа электродвигателя. Частота вращения электродвигателя при изменении напряжения питания будет изменяться от 550 до 1 400 мин$^{-1}$.

Таким образом, благодаря большому сопротивлению ротора электродвигателя обеспечивается регулировка частоты его вращения (плавная или дискретная).

Частота вращения электродвигателя может регулироваться путем изменения напряжения в диапазоне от 20 % до 100 % от номинального. Регулировка осуществляется плавно с помощью тиристорных и симисторных регуляторов или ступенчато – трансформаторами. Трансформатор имеет ряд преимуществ: он прост и компактен, а также не создает никаких помех (шум двигателя, радиопомехи). Недостатком является ограничение числа фиксированных позиций регулятора.

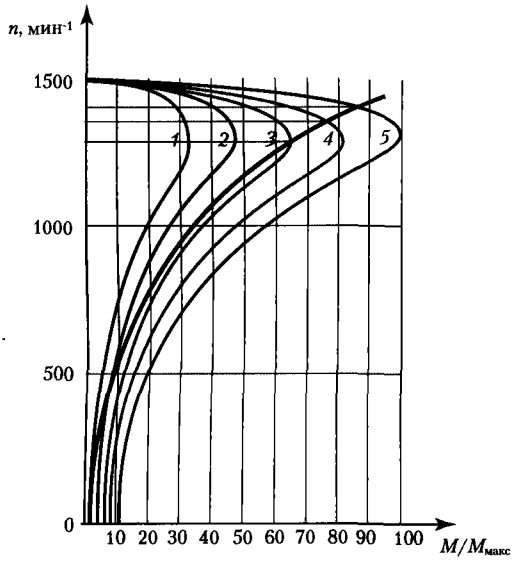


Рис. 3.5.9. Характеристика стандартного асинхронного электродвигателя при изменении напряжения питания

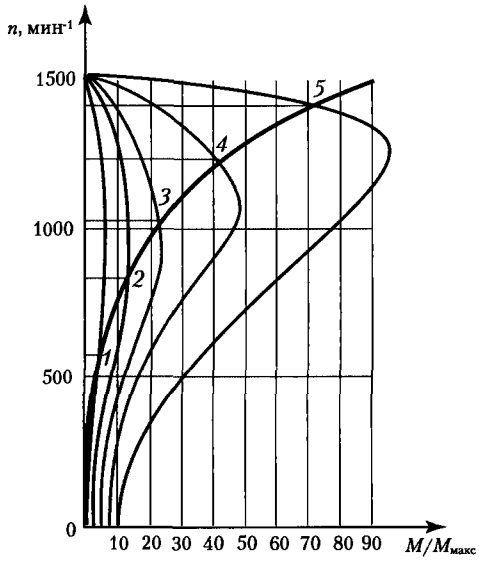


Рис. 3.5.10. Характеристика асинхронного регулируемого электродвигателя (Systemair)

Таким образом, благодаря большому сопротивлению ротора электродвигателя обеспечивается регулировка частоты его вращения (плавная или дискретная).

Пять кривых на графике характеристик электродвигателей вентиляторов (рис. 5.3.10) соответствуют пяти различным напряжениям, выдаваемым трансформаторами Systamair (табл. 3.5.1).

Таблица 3.5.1. К рис. 3.5.10

№ кривой / Напряжение	1	2	3	4	5
однофазное	80	105	130	160	230
трехфазное	90	140	180	230	400

Трансформатор RTRE имеет встроенное термоконтактное реле, которое отключает питание вентилятора при размыкании термоконтакта, расположенного в электродвигателе. Термоконтактное реле возвращается в исходное состояние установкой пятиступенчатого переключателя в нулевое положение на 5 с.

В трансформаторе REU имеется два независимых переключателя, с помощью которых можно выставить разные скорости. Переключение с одного трансформатора на другой можно производить, например, с помощью реле времени для ночного и дневного режимов работы.

IBIK

RTRE

REU

RTRD

Рис. 3.5.11. Трансформаторы Systemair

Таблица 3.5.2. Технические характеристики трансформаторов фирмы Systamair

Тип трансформатора / Техническая хар-ка	RTRE	REU	RTRD
Напряжение, $U_{ном}$, В	230	230	440
Количество фаз	1	1	3
Ток $I_{ном}$, А	1,5/3,0/5,0/7,0	1,5/3,0/5,0/7,0	2,0/4,0/7,0/14,0
Количество переключателей	1	2	1
Количество ступеней	5		
Степень защиты	IP 54	IP 54	IP 54/ IP 21/ IP 21

Электронные регуляторы напряжения (табл. 3.5.3) позволяют не только осуществить одно- и трехфазную плавную регулировку напряжения в ручном режиме (при настройке), но и в автоматическом (например, по сигналам датчиков температуры или давления в канале воздуховода). Кроме того, параллельно к одному регулятору могут быть подключены несколько двигателей. При этом нельзя превышать значение номинального тока регулятора, а каждый двигатель должен иметь собственную защиту от перегрева.

Применение электронных регуляторов может привести к некоторому шуму двигателя, особенно в однофазных вентиляторах при малых частотах вращения. Помимо этого, тиристорные регуляторы создают высокочастотные электрические помехи, которые могут влиять на радио- и телеприемники. Поэтому обычно все тиристорные регуляторы, в т. ч. и фирмы Systemair, имеют устройство подавления помех.

MTY-AU

REPT

PKDT

Рис. 3.5.12. Электронные регуляторы скорости вращения электродвигателей, используемых в вентиляторах фирмы Systemair

Таблица 3.5.3. Технические характеристики регуляторов напряжения фирмы Systamair

Тип регулятора / Техническая хар-ка	MTY–AU	REPT	PKDT
Напряжение, $U_{ном}$, В	230	230	400
Диапазон регулирования, %	0–100		
Ток $I_{ном}$, А	1,0/2,0/4,0	6,0/10,0	5,0/12,0
Количество фаз	1	1	3
Режим регулирования	ручной	автоматический (0–10 В)	ручной/автомат. (0–10 В)
Способ регулирования	аналоговый	цифровой	цифровой
Исполнительный элемент	тиристор	симистор	симистор
Выход (0–10 В)	–	+	+
Степень защиты	IP 54		IP 54

Кроме того, электродвигатели, работающие при изменяемом напряжении сети, защищают от перегрузок не с помощью устройств токовой защиты, которые контролируют потребляемый двигателем ток, а с помощью встроенных термоконтактов или термоконтактных реле.

Большинство вентиляторов Systemair также имеют встроенные термоконтакты, предотвращающие перегрев двигателя. Термоконтакт представляет собой прерывающий контакт, который располагается на обмотках двигателя. Если температура обмотки превышает допустимое значение (по классу изоляции F – 155 °С, по классу изоляции В – 135 °С), контакт размыкает силовую цепь непосредственно (для двигателей с рабочим током до 0,45 А) или через термоконтактное реле (рис. 3.5.13).

Рис. 3.5.13. Термоконтактные реле Systemair

4. Регулировка скорости вращения двигателя изменением частоты питающей сети

Скорость вращения двигателя определяется частотой сети f и числом пар полюсов p.

$$n = \frac{60f}{p}.$$

При $f = 50$ Гц и $p = 1$ двигатель имеет $n = 3\,000$ мин$^{-1}$. При изменении частоты питающей сети меняются индуктивные сопротивления обмоток, а, следовательно, и момент. Для сохранения момента при из-

менении частоты необходимо изменять напряжение питания двигателя. Регулирование нужно вести таким образом, чтобы магнитный поток двигателя оставался неизменным, а напряжение питания изменялось пропорционально частоте. При таком способе регулирования рабочие характеристики двигателя меняются незначительно (рис. 3.5.14).

Недостатком этого способа является необходимость иметь генератор напряжения с регулированием частоты и напряжения.

В последнее время широкое применение находят электронные преобразователи (инверторы), позволяющие преобразовывать напряжение постоянной частоты и амплитуды в напряжение, требуемое для частотной регулировки скорости двигателя.

Принцип работы инверторного преобразователя описан в разделе 3.2.3.2.

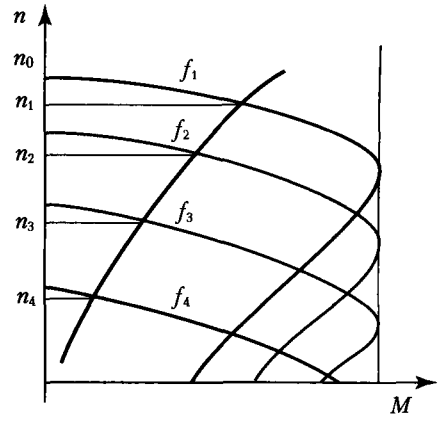


Рис. 3.5.14. Механические характеристики асинхронного двигателя при частотном управлении

Конструктивно инверторные преобразователи могут быть выполнены как встроенными в системы кондиционирования, так и в виде самостоятельных изделий для управления отдельно стоящими двигателями.

Так, в кондиционерах типа КХ фирмы MHI встроенный инвертор обеспечивает изменение частоты вращения ротора двигателя компрессора 15 до 120 Гц (число оборотов от 750 до 7 200 мин$^{-1}$) в зависимости от производительности (частоты), затребованной внутренними блоками системы. Затребованная частота зависит от температуры уставки, действительной температуры в помещении и скорости изменения температуры в помещении.

Инверторное управление компрессором кондиционера позволяет исключить циклы включения-выключения, уменьшить пусковые токи, увеличить надежность, повысить точность поддержания температуры в помещении, обеспечить быстрый выход на заданный режим.

Для управления отдельно стоящими асинхронными двигателями (например, вентиляторами приточных и вытяжных систем и центральных кондиционеров) существует большая гамма частотных преобразователей различных фирм в диапазоне от 0,2 кВт до 450 кВт. В табл. 3.5.3 представлены основные технические характеристики некоторых маломощных частотных преобразователей передовых зарубежных фирм, специализирующихся на средствах автоматики для СКВ.

Таблица 3.5.4. Основные технические характеристики некоторых маломощных частотных преобразователей

Производитель / Параметр	MITSUBISHI ELECTRIC	DANFOSS	HONEYWELL
Тип	FR–E 520/540	VLT 600 HVAC	Exel VRL
Диапазон мощности, кВт	0,4–2,2/0,4–7,5	1,1–7,5	0,25–4,0
Номинальные токи, А	2,5–17,0	6 6–16,0	3,9–10,0
Диапазон частоты, Гц	0,2–400	0–120 (0–1000)	0–120 (0–240, 480, 960)
Входящее напряжение, В	1,200–240 (3,380–480)	1,200–240±10 % (3,380–460±10 %)	1220±10 % (3380±10 %)
Задание скорости	аналоговое (RS 485)	аналоговое	аналоговое (RS 485)
Класс защиты	IP 20		

3.5.3. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Существует несколько способов регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока:

- изменением сопротивления в цепи якоря;
- изменением магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения;
- изменением напряжения, подводимого к якорю.

Применяют и другие способы, являющиеся разновидностью или комбинацией перечисленных.

Схемы регулирования скорости изменением сопротивления в цепи якоря с помощью регулировочных реостатов и механические характеристики показаны на рис. 3.5.15.

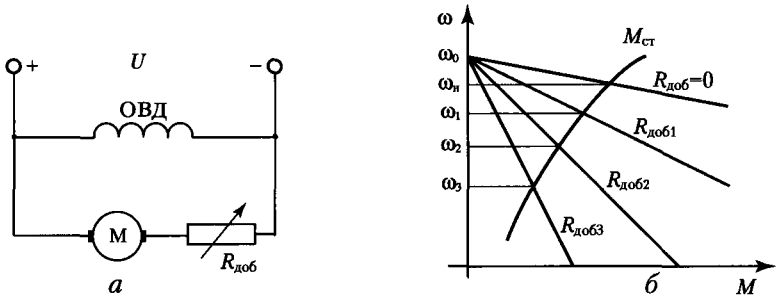


Рис. 3.5.15. Регулирование скорости двигателя постоянного тока методом изменения сопротивления якорной цепи:
а – схема регулирования, *б* – механические характеристики

Чем больше добавочное сопротивление $R_{доб}$, тем меньше скорости ($\omega_{ном} > \omega_1 > \omega_2 > \omega_3$), установившиеся значения которых получаются в точках пересечения с механической характеристикой механизма.

Достоинство этого способа – надежность и простота. Недостатки:

- неэкономичность (нагрев добавочных резисторов);

- громоздкость аппаратуры управления и уменьшение жесткости характеристик.

На рис. 3.5.16 изображена схема и механические характеристики двигателя постоянного тока при уменьшении тока возбуждения (ослабления поля). Если увеличивать добавочное сопротивление $R_{доб}$ в цепи обмотки возбуждения (ОВД), то уменьшится ток возбуждения, а скорость двигателя возрастет. Такой способ регулирования прост и экономичен (ток возбуждения мал и потери энергии на добавочном сопротивлении $R_{доб}$ незначительны).

Недостатки:

- малый диапазон регулирования (2:1);
- возможность регулирования только «вверх» (при увеличении тока возбуждения магнитная система близка к насыщению);
- резкое уменьшение допустимого момента статического сопротивления, что приводит к остановке двигателя.

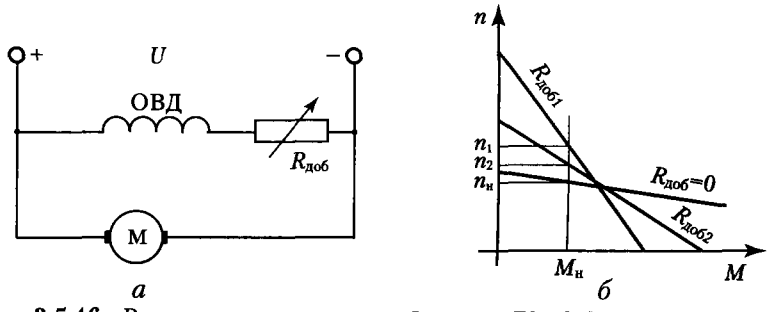


Рис. 3.5.16. Регулирование скорости двигателя постоянного тока изменением тока возбуждения:
а – схема регулирования; *б* – механические характеристики

Если же уменьшать напряжение, подводимое к якорю, то пропорционально уменьшается и частота вращения холостого хода. Такая особенность выгодно отличает этот способ регулирования от предыдущих, так как жесткость характеристик двигателя при этом не изменяется (рис. 3.5.17, *а*).

Напряжение, подаваемое на якорь, можно изменять отдельным генератором (система генератор-двигатель), регулировочным трансформатором с выпрямителем, магнитными усилителями или тиристорными преобразователями. Последние и получили наибольшее распространение в регулируемых электроприводах постоянного тока. Их применение обеспечивает экономичность регулирования, широкий диапазон и получение любых механических характеристик с помощью использования обратных связей.

Схема управления двигателем постоянного тока с помощью однополупериодного тиристорного преобразователя показана на рис. 3.5.17, *а*.

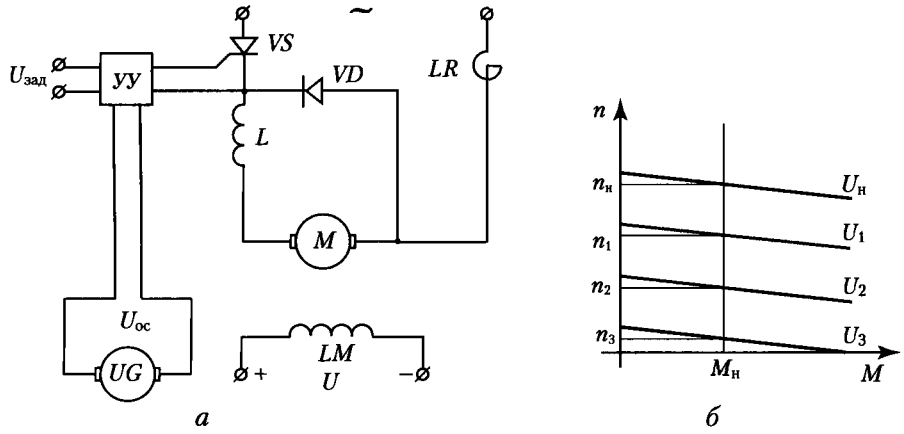


Рис. 3.5.17. Регулирование скорости двигателя постоянного тока изменением напряжения с помощью тиристорного преобразователя:
а – схема регулирования; *б* – механические характеристики

Двигатель *M* с независимым возбуждением питается от сети переменного тока. Выпрямление и регулирование осуществляется тиристором *VS*. Реактивное сопротивление *LR* ограничивает ток якоря при коротком замыкании. Дроссель *L* и вентиль *VD* поддерживают ток в якоре при отрицательной полуволне сетевого напряжения. Управление тиристором производится импульсами, генерируемыми устройством управления *УУ* на основе сравнения задающего напряжения $U_{зад}$ и сигнала обратной связи $U_{ос}$, снимаемого с тахогенератора *UG*.

Промышленностью выпускается большой ассортимент тиристорных преобразователей для управления двигателями постоянного тока в диапазоне мощностей от нескольких Вт до сотен кВт. Однако в практике автоматизации СКВ их внедрение началось только в последнее время для управления двигателями компрессоров автономных кондиционеров. Таким тиристорными преобразователями (или как их еще называют DC-инверторами) оснащены последние модели кондиционеров передовых зарубежных фирм таких как MHI и Daikin (Япония). Их использование позволяет:

- уменьшить энергопотребление;
- увеличить холодо- и теплопроизводительность при тех же габаритах;
- повысить точность регулирования.

Повышение технического уровня электродвигателей ведется по трем направлениям: разработка новых схемных решений, технологических процессов и создание новых материалов. Эффективность последнего направления можно проиллюстрировать на двигателях

IBIK

постоянного тока, в роторе которых используется новый материал – неодимий. Этот материал имеет высокую магнитную проницаемость (больше, чем у ферритов) и большое сопротивление для магнитного потока, благодаря чему их КПД достигает 90 % (рис. 3.5.18).

Расположение пакета неодимия в роторе вентильного двигателя постоянного тока показано на рис. 3.5.19 (по материалам компании Daikin).

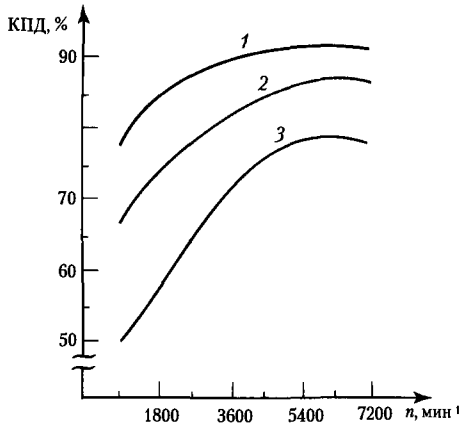


Рис. 3.5.18. Эффективность электродвигателей различного типа:
1 – двигатель постоянного тока с неодимиевыми магнитами;
2 – двигатель постоянного тока с ферритовыми магнитами;
3 – двигатель переменного тока

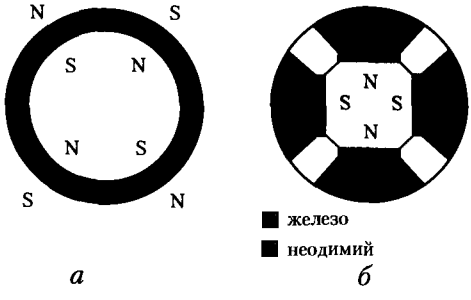


Рис. 3.5.19. Схема расположения магнитов в электродвигателях постоянного тока:
а – стандартный двигатель с ферритовыми магнитами;
б – вентильный двигатель с неодимиевыми магнитами

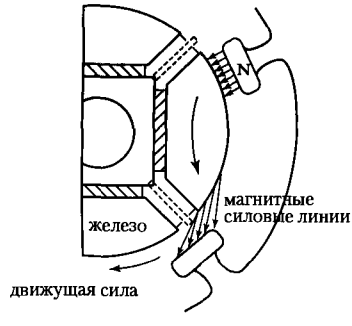


Рис. 3.5.20. Распределение магнитного потока в двигателе с неодимием

Конструкция выполнена таким образом, что магнитные силовые линии, замыкаясь через ротор, направлены по отношению к нему тангенциально (рис. 3.5.20).

По своей природе эти линии стремятся к нормальному (перпендикулярному) направлению, благодаря чему создается вращательный момент ротора.

3.6. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СКВ

3.6.1. ВОЗДУШНЫЕ КЛАПАНЫ

Регулируемые воздушные клапаны в СКВ используют для управления расходами приточного, рециркуляционного, удаляемого и байпасируемого воздуха. Кроме того, применяют нерегулируемые воздушные клапаны (открыт/закрыт) для выполнения функций защиты или блокировки, а также клапаны с ручным управлением для выравнивания и отсечения потоков воздуха при наладке и испытании систем.

Конструктивно воздушные клапаны подразделяются по форме, количеству створок и взаимному направлению вращения смежных створок (рис. 3.6.1).

Общий вид воздушных многопластинчатых клапанов показан на рис. 3.6.2.

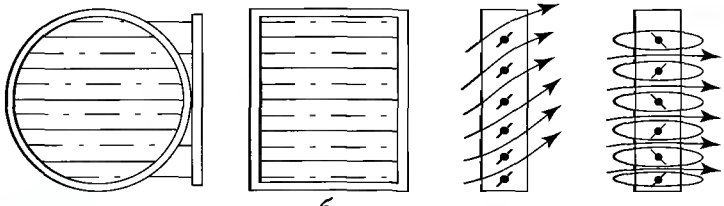


Рис. 3.6.1. Основные разновидности воздушных створчатых клапанов: *а* – круглый; *б* – прямоугольный; *в* – параллельностворчатый; *г* – оппозитный

Регулировочные характеристики воздушного клапана – зависимость расхода воздуха G от угла поворота створки φ – показаны на рис. 3.6.3. Прямая *2*, соединяющая две точки (φ = 0, G = 1 и φ = 90°, G = 0), является идеальной характеристикой. Она обеспечивает постоянство коэффициента передачи $K_{кл} = \Delta G/\Delta\varphi$ и может быть реализована при точном расчете и выборе сечения клапана и специальном сочленении исполнительного механизма с тягой клапана, исключающем люфты и зазоры. В противном случае характеристики клапана на прямом и обратном ходе могут не совпадать.

Рис. 3.6.2. Воздушный многопластинчатый клапан

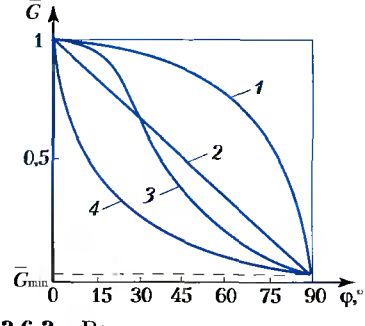


Рис. 3.6.3. Регулировочная характеристика воздушного клапана

IBIK

Если площадь сечения клапана больше требуемого, то регулировочная характеристика будет иметь вид кривой *1*. В этом случае при начальных углах поворота створки расход практически не меняется, а при углах, близких к закрытию, расход резко падает. Если сечение клапана занижено, наблюдается обратная картина – кривая *4*. Особенно важен расчет и выбор площади сечения воздушных клапанов при синхронном управлении двумя или тремя клапанами. Так, например, сопротивление участка рециркуляционного воздуха при минимальном расходе на этом участке (закрытой створке) должно быть уравнено суммой сопротивлений участков наружного и удаляемого воздуха при максимальном расходе (открытых створках). Если это не будет соблюдаться, то при управлении клапанами рециркуляционный воздух пойдет в количестве больше требуемого, а наружный воздух – в количестве меньше требуемого. В этом случае при наладке и испытаниях системы необходимо выровнять сопротивления и уменьшить сечение рециркуляционного клапана. Кроме того, при синхронном управлении указанными клапанами необходимо соблюдать определенный алгоритм: клапаны приточного и удаляемого воздуха должны двигаться в одном направлении, а рециркуляционный клапан – в противоположном. При этом должна обеспечиваться подача санитарной нормы наружного воздуха с учетом компенсации утечек воздуха в неплотностях ограждений, а также постоянство производительности вентиляторов.

3.6.2. ВОДЯНЫЕ КЛАПАНЫ

В качестве регулирующих органов при управлении процессами, протекающими в тепломассообменных аппаратах, применяют ***водяные клапаны***. Водяные клапаны подразделяют на ***проходные*** и ***смесительные***.

Проходные (двухходовые) изменяют расход тепло- или хладоносителя, дросселируя поток перемещением золотника клапана.

Смесительные (трехходовые) изменяют расходы двух потоков воды с разной температурой.

Различные варианты схем размещения водяных клапанов для управления поверхностными аппаратами в системах тепло- и хладоснабжения приведены на рис. 3.6.4. Двухходовые клапаны обычно устанавливают в обратном трубопроводе, что позволяет уменьшить температурное воздействие на уплотнительные устройства. Трехходовые клапаны могут устанавливаться как в подающих, так и в обратных трубопроводах, в зависимости от типа применяемого контура. Наиболее предпочтителен контур с подмешиванием (рис. 3.6.4, *д*). В крайних положениях закрывается один из двух входов *А* или *В*

(рис. 3.6.5, *а*). В положении, когда закрыт вход *А*, весь теплоноситель пройдет через байпасную линию, не попадая в теплообменник. В положении, когда закрыт вход *В*, весь теплоноситель поступит в теплообменник. Если по каким-либо причинам будет перекрыта линия подачи теплоносителя, путь его рециркуляции под действием циркуляционного насоса замыкается через обратный клапан, что исключает возможность замерзания теплообменника при низких температурах наружного воздуха.

Двухходовые клапаны применяют большей частью при питании теплообменника от сети центрального отопления, при этом предпочтителен вариант с циркуляционным насосом и обратным клапаном (рис. 3.6.4, *б*).

2-ходовой клапан		3-ходовой клапан		
Дросселирование	Подмешивание с дросселированием	Отклоняющий контур	Смешивающий контур	Контур с подмешиванием

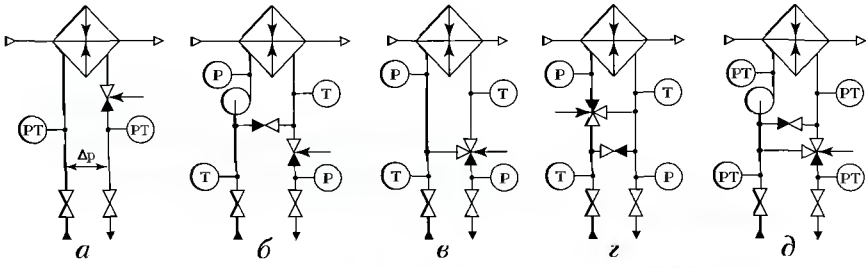


Рис. 3.6.4. Варианты схем размещения водяных клапанов для управления теплообменниками

Клапаны характеризуются условным диаметром $D_у$ и максимальной пропускной способностью k_{vs}, которая определяется расходом жидкости с плотностью $\rho = 1$ кг/дм³ при открытом клапане и падении давления на нем 1 бар. Значение k_{vs} указывается заводом-изготовителем в паспорте клапана.

Зависимость пропускной способности G_{vm} от хода золотника h называется ***пропускной характеристикой***.

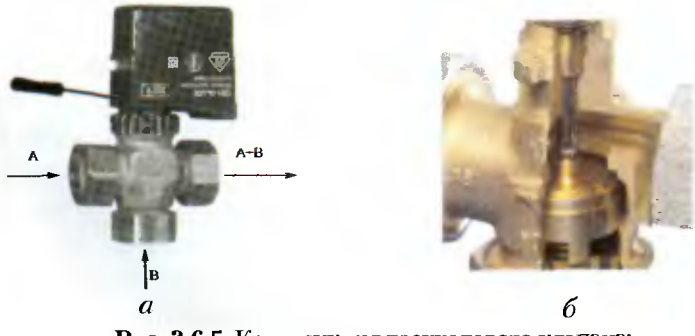


Рис. 3.6.5. Конструкция трехходового клапана:
а – общий вид трехходового клапана;
б – регулировочный узел трехходового клапана

На рис. 3.6.6 приведены такие характеристики в относительных единицах ($\bar{G}_w$, $\bar{h}$). Эти характеристики могут быть линейными или логарифмическими (равнопроцентными). Линейная характеристика обеспечивает линейную зависимость между расходом воды и ходом золотника. Логарифмическая характеристика обеспечивает зависимость, при которой перемещение золотника на единицу хода (независимо от положения золотника) вызывает изменение расхода воды, составляющий один и тот же процент от расхода воды перед началом перемещения золотника.

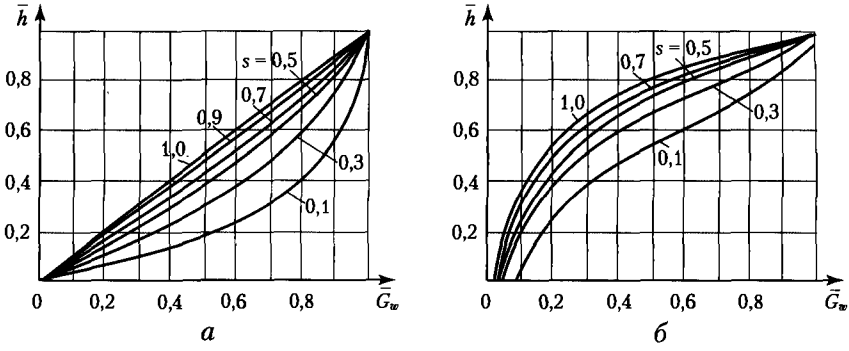


Рис. 3.6.6. Регулировочные характеристики клапана в зависимости от коэффициента s:
а – для клапана с линейной характеристикой;
б – для клапана с логарифмической характеристикой

Выбор вида характеристики производится с учетом сопротивления регулируемого участка, на котором установлен клапан, при расчетном расходе воды. Если потери давления на прямых участках и местных сопротивлениях трубопроводов малы по сравнению с перепадом давления на клапане $\Delta p_к$, то должен быть выбран клапан с линейной характеристикой. В случае, когда потери в трубопроводе велики, клапан будет существенно изменять расход в зоне закрытия клапана и практически становиться нечувствительным в зоне подхода к полному открытию. Для этого соотношения сопротивлений необходимо выбирать клапаны с логарифмической (равнопроцентной) характеристикой. Правильность выбора характеристики клапана оценивают с помощью коэффициента *s*:

$$s = \frac{\Delta p_к}{\Delta p} = \frac{\Delta p_к}{\Delta p_к + \Delta p_{ру}}, \qquad (3.6.1)$$

где $\Delta p_{ру}$ – перепад давления на регулируемом участке;

$\Delta p_к$ – падение давления на клапане.

Если перепад давления на регулируемом участке неизвестен, то можно принять для калориферов $\Delta p_{ру}$ от 3 до 10 кПа, для охладителей $\Delta p_{ру}$ – от 20 до 100 кПа.

Влияние коэффициента s на регулировочные характеристики клапана показано на рис. 3.6.6. При $s = 1$ пропускная характеристика становится предельной ($\Delta p_{ру} = 0$).

Обычно выбор клапана осуществляется с помощью диаграмм, разработанных фирмами-изготовителями для данного типа клапанов. Эти диаграммы связывают падение давления на клапане с расходом теплоносителя для различных типоразмеров ($D_у$, k_{vs}) клапана данного типа. Например, на рис. 3.6.7 приведена диаграмма для выбора клапанов типа *VF* и *VR* фирмы Danfoss.

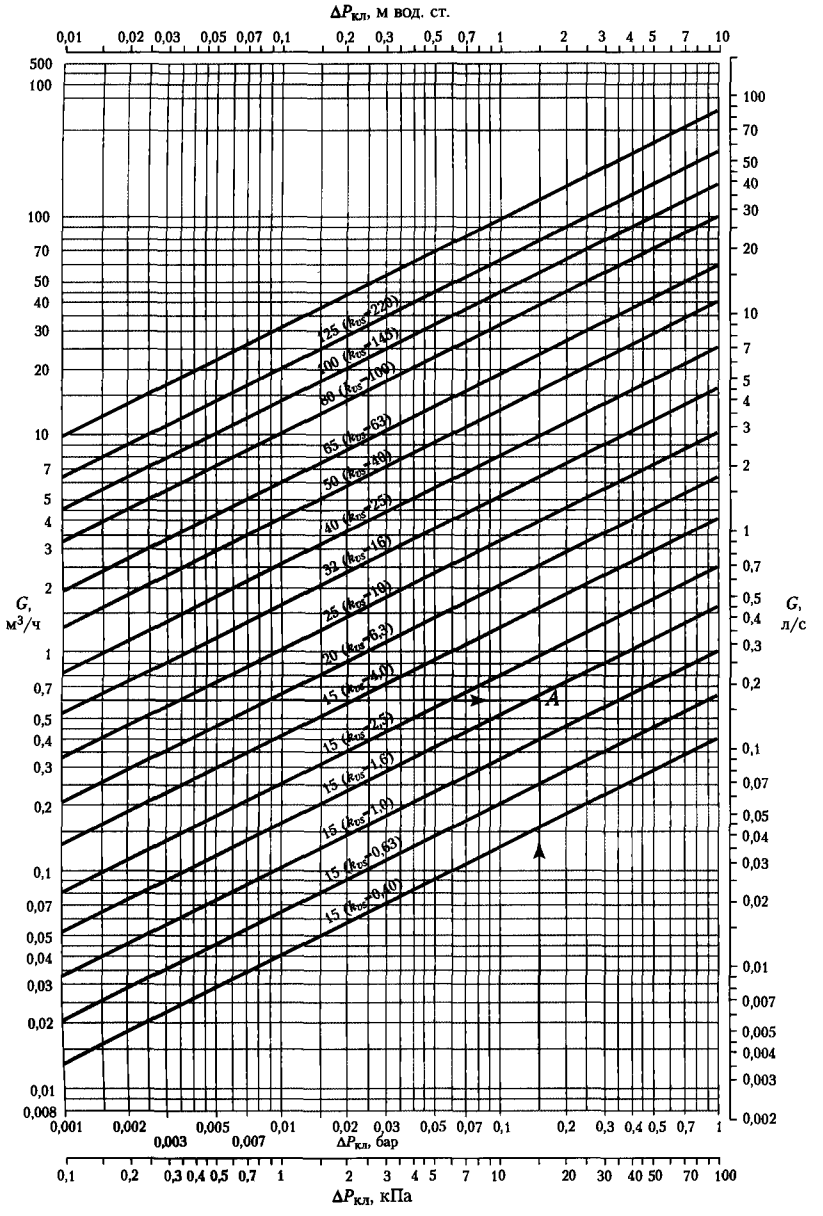


Рис. 3.6.7. Диаграмма для выбора клапанов типа *VF* и *VR* фирмы Danfoss

IBIK

Обычно задается расчетное значение расхода воды G_w (м³/ч) и перепад давления на регулируемом участке $\Delta p_{ру}$ (кПа). При заданной мощности теплообменника Q (кВт) расчетное значение расхода определяется как

$$G_w = \frac{0{,}86 \cdot Q}{\Delta T}, \qquad (3.6.2)$$

где ΔT – перепад температур в системе (отопления ≈20 °С, в чиллерах ≈7 °С).

Задаваясь значением s и расчитав $\Delta p_{ру}$, по (3.6.1) находят падение давления на клапане $\Delta p_{кл}$. Затем, откладывая значение G_w и $\Delta p_{кл}$ на диаграмме, определяют требуемую пропускную способность клапана и ближайший его типоразмер (точка A на рис. 3.6.7). В данном примере это – клапан с диаметром $D_у$ = 15 мм и максимальной пропускной способностью k_{vs} = 1,6 м³/ч.

По способу соединения с трубопроводом клапаны подразделяются на ***фланцевые*** и ***резьбовые***.

По конструкции клапаны подразделяются на ***седельчатые*** и ***шаровые***.

В седельчатых клапанах дросселирование или распределение потоков осуществляется перемещением седла относительно внутренней перегородки корпуса с помощью золотника (рис. 3.6.8). Вращательное движение золотника осуществляется исполнительным механизмом.

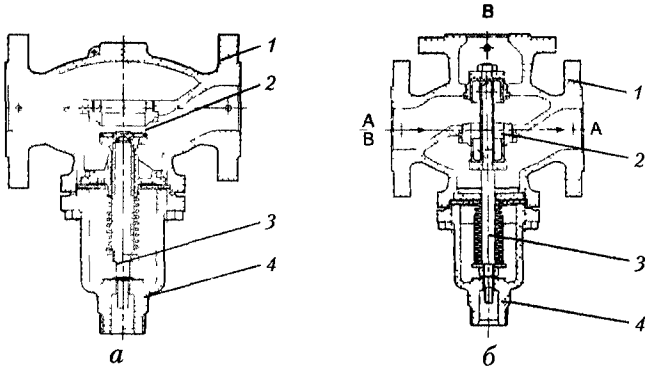


Рис. 3.6.8. Конструкция седельчатых клапанов:
а – двухходовой, *б* – трехходовой;
1 - корпус клапана, 2 – седло клапана,
3 – золотник, *4* – крышка

В шаровых клапанах изменение расхода достигается поворотом шара с проходными отверстиями относительно входов и выходов корпуса клапанов (рис. 3.6.9).

Шаровые клапаны обычно не используются в качестве регулируемых, так как они обладают высокой пропускной способностью

по сравнению с номинальным размером крана, и изменения потока неадекватны управляющим воздействиям.

Равнопроцентная характеристика клапана обеспечивается установкой на входных отверстиях коррекционных дисков, которые соприкасаются с поверхностью шара таким образом, что поток определяется не только отверстием в шаре, но и V-образным отверстием в коррекционном диске. К недостаткам шаровых регулирующих клапанов следует отнести наличие «мертвого» хода (до 15 °С) и ограниченного потока байпаса (В–АВ) до 70 % от основного потока (А–АВ).

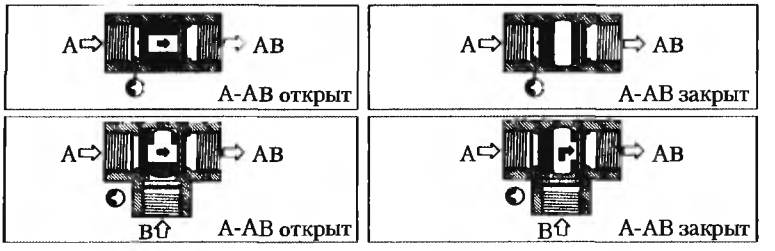


Рис. 3.6.9. Направление потоков в шаровых регулируемых клапанах

В таблице 3.6.1 приведены технические характеристики некоторых типов регулируемых водяных клапанов.

Таблица 3.6.1. Технические характеристики водяных клапанов

Фирма	Тип	Диаметр D_y, (мм)	Максимальная пропускная способность, k_{vs}, м³/ч	Температура среды, °С	Максимальное давление P_{max}, бар	Ход штока, мм	Характеристика потока	Величина утечки, %*
BELIMO	H	15–150	0,63–320	5–120	16	10–40	линейная/логарифмическая	0,05/1,0
	R (шаровые)	15–50	0,63–40	5–100	16	15°–90°	логарифмическая	герметич.
Danfoss	VF, VR	15–150	0,63–320	5–200	16, 25, 40	15–40	линейная/логарифмическая	0,05/1,0
Honeywell	V 5823	15–20	0,25–2,5	2–120	16	6,5		0,05/0,1
	V 5050	15–150	2,5–360	2–200	16, 25, 40	20, 38		0,05/0,1
REGIN	VB	15–50	0,63–320	5–200	16	12		0,05/0,1

* В числителе приведена величина утечки относительно значения k_{vs} на участке А–АВ, а в знаменателе – на участке В–АВ.

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

3.6.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ КЛАПАНОВ

В качестве исполнительных механизмов воздушных и водяных клапанов СКВ применяются электрические приводы, выполненные на базе синхронных электродвигателей. Электроприводы выпускаются как законченное комплектное устройство, которое легко сопрягается со штоком клапана, регулируя его положение вращательным или возвратно-поступательным движением.

Существуют модели приводов для двухпозиционного (открыт–закрыт), трехпозиционного (ШИМ-регулирование) и пропорционального (0–10 В) регулирования.

Схемы электрических соединений различных типов приводов показаны на рис. 3.6.10.

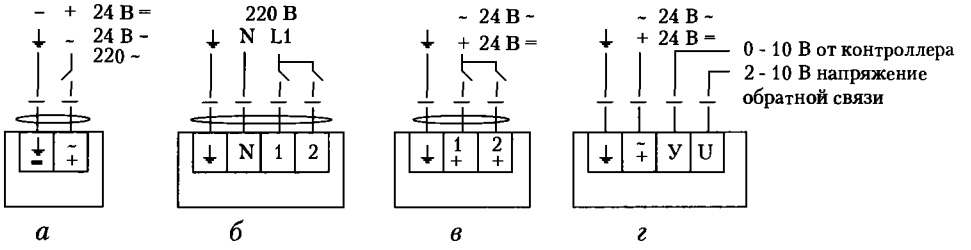


Рис. 3.6.10. Схемы электрических соединений электроприводов для воздушных и водяных клапанов:
а – двухпозиционный; *б*, *в* – трехпозиционный; *г* – пропорциональный

Практически все электроприводы оснащаются:

- системой позиционирования (механическое или электрическое перемещение штока в безопасную позицию при исчезновении питания);
- системой отключения двигателя в крайних положениях штока (или с помощью конечных выключателей или защитой двигателя от перегрузок);
- потенциометром обратной связи для регуляторов с жесткой обратной связью или для дистанционной индикации положения клапана;
- системой ручного управления (возможность механического перемещения штока при отсутствии питания).

Электроприводы воздушных клапанов (рис. 3.6.11) выпускаются с номинальными моментами вращения от 4 до 32 Н·м (табл. 3.6.2), что соответствует возможности управления заслонками площадью от 0,8 до 8,0 м^2.

Электроприводы водяных клапанов предназначены для управления двух- и трехходовыми клапанами, регулирующими подачу горячей, охлаждающей воды или пара низкого давления. Эти электроприводы

развивают усилие на штоке до 800 Н, а направление их открытия настраивается в зависимости от типа используемого клапана. Электроприводы выпускаются для использования с клапанами условных диаметров ($D_у$) от 15 до 80 мм. Основные технические характеристики некоторых электрических приводов водяных клапанов передовых зарубежных фирм представлены в таблице 3.6.3.

а *б*

Рис. 3.6.11. Электропривод воздушного клапана:
а – общий вид электропривода;
б – установка электропривода на воздушном клапане

Таблица 3.6.2. Технические характеристики электроприводов для воздушных клапанов

Характеристика	Фирма-изготовитель							
	Belimo	Polar Beer	Belimo	Belimo	Belimo	Polar Beer	Belimo	Honeywell
Марка, тип	LM-24/ LM-230	DAF-1/ DAF-2	NM-24/ NM-230	SM-24/ SMD-230	AM24/ AM-230	DAL/ DML	GM-24/ GM-220	ML 61
Момент вращения, Н · м	4	6	8	15	18	24	30	34
Площадь заслонки, м²	0,8	1,1	1,5	3,0	3,6	6,0	6,0	6,0
Потребляемая мощность, Вт	2/1	6,9/10,7	2	1,8/8	2,5/3,0	4,0/5,5	3/10	4,0/2,5
Время срабатывания, с	80–110	35–70	75–150	90–150	100–150	125–160	135–180	110
Угол поворота, градусы	95							90
Степень защиты	IP54	IP42	IP54					
Температура эксплуатации, °С	-30...+50	-32...+60	-20...+50	-30...+50	-30...+50	-25...+50	-30...+50	-25...+50
Уровень шума, дБ (А)	35	55	35	45				

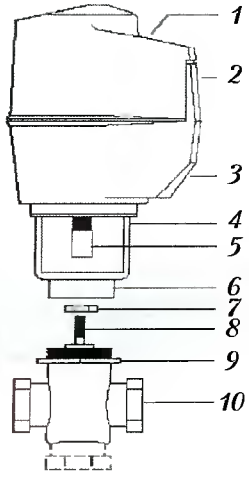
Электроприводы поставляются заводами-изготовителями как в комплекте с клапанами, так и отдельно. В связи с наличием большого количества клапанов различных производителей с различными присоединительными размерами передовыми фирмами поставляются монтажные комплекты (адаптеры) наиболее популярных клапанов. В табл. 3.6.4 приведены типы адаптеров для приводов серии NV фирмы Belimo, позволяющие сопрягать их с клапанами различных фирм.

IBIK

Таблица 3.6.3. Технические характеристики электроприводов для водяных клапанов

Характеристика	Фирма-изготовитель				
	Belimo	Regin	Neptronic	Danfoss	Honeywell
Марка, тип	NV-24/ NV-230	AQT/AQM	AQM/AM000	AMV 25/35	ML 7420/25
Усилие, Н	800	700	450	1000/600	600
Ход штока, мм	20,0	12,0	25,4	165/45	20
Время хода штока, с	150	108/216	120	7,0	60/108
Потребляемая мощность, Вт	3,0/6,0	2,9/2,0	6,0		5,5
Управление сигналом	ШИМ	ШИМ, 0–10 В	ШИМ, 0–10 В	ШИМ, 0–10 В	ШИМ, 0/2–10 В
Температура окружающей среды, °С	0...+50	0...+50	–18...+50	0...+55	0...+50
Степень защиты	IP54	IP20	IP54	IP54	IP54
Уровень шума, дБ (А)	35	–	–	–	–

а



б

Рис. 3.6.12. Водяной клапан с электроприводом:

а – общий вид; *б* – конструкция;
1 – верхняя крышка; *2* – кабельные вводы;
3 – нижняя крышка; *4* – кронштейн; *5* – накидная гайка;
6 – муфта с внутренней резьбой; *7* – контргайка;
8 – шток клапана; *9* – накидная гайка крепления клапана;
10 – клапан

Последние модификации электроприводов передовых зарубежных фирм выполнены со встроенными контроллерами, что позволяет изменять в широком диапазоне параметры внутренней конфигурации привода при производстве или инсталляции на объекте. На рис. 3.6.13 показана блок-схема электропривода марки NV24-MFT фирмы Belimo.

Таблица 3.6.4. Адаптеры привода серии NV фирмы Belimo для клапанов различных производителей

№	Тип	Код	Тип клапана
1	UNV 001	АП 07-01-001	Siebe
2	UNV 002	АП 07-01-002	Belimo, Danfoss
3	UNV 003	АП 07-01-003	L&S
4	UNV 012	АП 07-01-004	Cazzaniga
5	UNV 015	АП 07-01-005	Honeywell
6	UNV 017	АП 07-01-006	TA
7	UNV 018	АП 07-01-007	Sauter
8	UNV 019	АП 07-01-008	Johnson EU
9	UNV 023	АП 07-01-009	Satchwell
10	UNV 024	АП 07-01-0010	HORA
11	UNV 025	АП 07-01-0011	OSBY
12	UNV 027	АП 07-01-0012	ARI
13	UNV 030	АП 07-01-0013	Johnson EU
14	UNV 034	АП 07-01-0014	Johnson Control

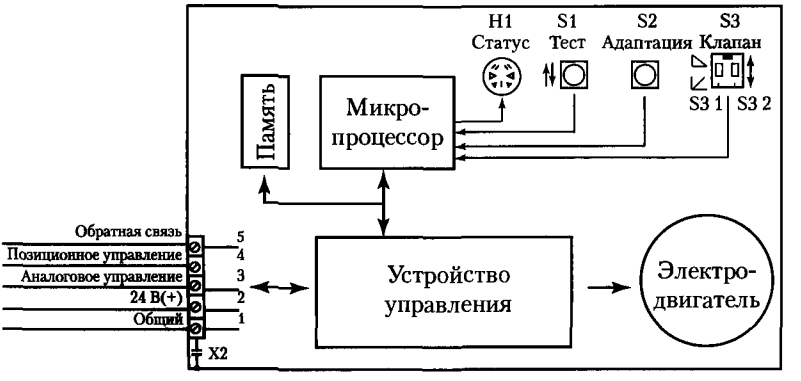


Рис. 3.6.13. Блок-схема электропривода для управления седельчатым клапаном со встроенным контроллером

С помощью установок кнопок S1 и S2 и переключателей S3 можно при необходимости изменять заводские параметры внутренней конфигурации привода при его инсталляции. Привод практически не требует технического обслуживания, а размещенный под корпусом двухцветный светодиод H1 показывает его фактическое состояние.

IBIK

Раздел 4 Техническая документация систем автоматизации

4.1. СОСТАВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Для выполнения работ по комплектации, монтажу, наладке и эксплуатации систем автоматизации необходимы чертежи, схемы, инструкции и другие документы. Для простых систем кондиционирования и вентиляции (бытовые кондиционеры, тепловые завесы и т. п.) такой технической документацией обычно является инструкция по монтажу и эксплуатации, поставляемая фирмой-изготовителем. Она включает все необходимые данные по монтажу, наладке, поиску и устранению неисправностей.

Для сложных систем автоматики (вентиляция и кондиционирование производственных помещений, административных и общественных зданий и т. п.) основным документом, по которому производится комплектация, монтаж, наладка и эксплуатация систем, является проект автоматизации.

Проектная документация на строительство, реконструкцию и техническое перевооружение предприятий, зданий и сооружений должна быть выполнена в соответствии с нормативным документом ДБН А.2.2-3-97. В зависимости от технической сложности объектов разработка проектов производится в несколько стадий: эскизный проект (ЭП), технико-экономическое обоснование инвестиций (ТЭО инвестиций), рабочий проект (РП) и рабочая документация (РД). Для технически несложных объектов разработка проекта может быть выполнена в одну стадию – рабочий проект. Как правило, рабочая документация на системы автоматики (проект автоматизации) выполняется отдельным документом со своим шифром. Например, системам автоматизации технологических процессов (контроль и управление технологическими параметрами, АСУТП, диспетчеризация) присваивается шифр АТХ, автоматизации систем отопления и вентиляции, куда входят и системы кондиционирования – шифр АОВ.

Основными документами, входящими в комплект рабочих чертежей, которые необходимы монтажникам и наладчикам, являются:

- структурные схемы управления и контроля (Э1)*;
- функциональные схемы контроля и автоматизации (Э2);
- принципиальные схемы контроля, автоматического регулирования и питания (Э3);
- схемы соединения (монтажные) щитов и пультов (Э4);
- схемы подключения внешних проводок (Э5);
- пояснительная записка;
- заказные спецификации.

Иногда монтажникам требуются планы расположения средств автоматизации, общие виды пультов и щитов, а наладчикам приходится обращаться к документам технологической части проекта: чертежам оборудования, регламенту технологического процесса и т. п.

Структурные схемы поясняют принципы построения систем управления и отражают связи между элементами управления, направления информационных потоков и т. п. Структурные схемы просты в прочтении и дополнительных пояснений не требуют.

Функциональные схемы автоматизации содержат основные технические решения. Они дают представление о системе автоматизации, связях между технологическим процессом и различными по функциональному назначению системами автоматизации.

Принципиальные схемы содержат все элементы автоматики и полное описание связей между ними.

Схемы соединения показывают, как соединяются отдельные устройства автоматики, установленные в щитах и пультах, а схема подсоединения внешних проводок – как выполняются электрические проводки, связывающие в систему все средства автоматики различного функционального назначения.

Пояснительная записка включает в себя техническое описание автоматизируемого процесса и его режимов, особенностей функционирования новых или нестандартных средств автоматизации и т. п.

Заказные спецификации приборов и средств автоматизации – это перечень преобразователей, приборов, аппаратов, регуляторов и других функциональных блоков и устройств, поступающих комплектно с оборудованием, с указанием технических характеристик, количества и принадлежность к сборочной единице.

Основная информация о системе автоматизации содержится в функциональных, принципиальных и монтажных схемах.

* В скобках приведены коды электрических схем в соответствии с ГОСТ 2-701-84.

IBIK

4.2. СХЕМЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ

Функциональную схему автоматизации разрабатывают в целом на технологическую (инженерную) систему или ее часть – технологическую линию, блок оборудования, установку или агрегат. На схеме автоматизации изображают:

- технологическое или инженерное оборудование и коммуникации (трубопроводы, воздуховоды) автоматизируемого объекта. При этом допускается не показывать на схеме оборудование и его элементы, не оснащенные средствами автоматизации;
- технические средства автоматизации или контуры контроля и управления;
- линии связи между отдельными техническими средствами автоматизации или контурами.

Технологическое оборудование на схемах автоматизации располагается в верхней части схемы. Его рекомендуется изображать в соответствии со схемами инженерных систем или условными обозначениями, установленными рядом государственных стандартов. Для систем вентиляции и кондиционирования таким нормативным документом является ДСТУ Б А.2.4-8-95. Однако на практике в силу установившихся традиций в технической литературе и даже в рабочей документации часто встречаются другие, более простые условные обозначения. Нестандартные условные обозначения используются в рекламных материалах и эксплуатационной документации на оборудование зарубежных фирм. Например, на рис. 4.2.1 показаны стандартное условное обозначение теплообменника (нагреватель-охладитель) и другие, встречающиеся в технической документации.

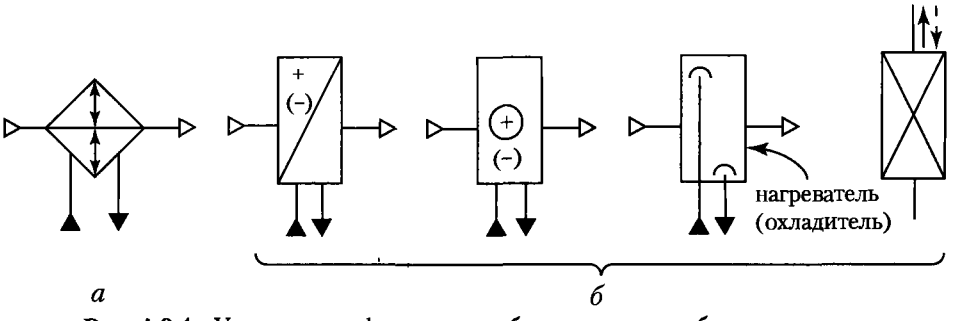


Рис. 4.2.1. Условные графические изображения теплообменника:
а – стандартное, *б* – альтернативные

Условные графические и буквенные обозначения приборов и контуров контроля и управления принимаются по ГОСТ 21.404-85. Буквенные обозначения измерительных величин и функциональных признаков приборов указывают в верхней части окружности или овала. Буквенно-цифровые обозначения приборов указывают в нижней

части окружности (овала) или с правой стороны от него. При этом обозначение состоит из цифрового кода соответствующего устройства и буквенного обозначения (прописными буквами русского алфавита) каждого элемента, входящего в контур (в зависимости от последовательности прохождения сигнала). В технологических схемах буквенные обозначения измеряемых величин и функциональных признаков приборов располагаются в центре окружности или овала и выполнятся латинскими буквами (ДСТУ Б А.2.4.-8-95). При большом количестве приборов допускается применять обозначения, в которых первый знак соответствует условному обозначению измеряемой величины, а последующие знаки порядковому номеру контура в пределах измеряемой величины (ДСТУ Б А.2.4-3-95). Однако и в этом случае в документации встречаются различные варианты условного изображения. Так, на рис. 4.2.2 показаны стандартное условное обозначение датчика температуры (*а*) и альтернативные (*б*).

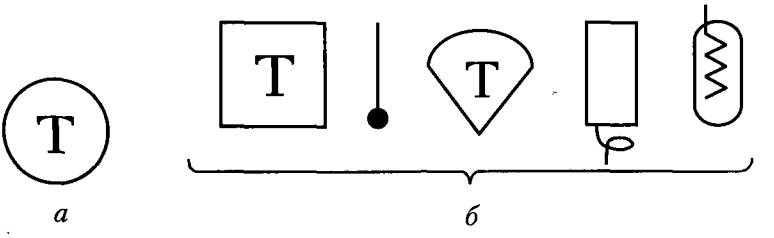


Рис. 4.2.2. Условные графические изображения датчика температуры: *а* – стандартное, *б* – альтернативные

Основные стандартные графические обозначения технологического оборудования и средств автоматизации СКВ приведены в приложении 6. В некоторых случаях в настоящем издании заимствованные из других источников схемы и рисунки выполнены с графическими изображениями, принятыми в первоисточниках.

Технические средства автоматизации, не встраиваемые в технологические коммуникации, показывают условными графическими обозначениями в прямоугольниках, размещенных в нижней части схемы. Каждому прямоугольнику присваивают заголовки, соответствующие наименованиям, принятым в чертежах общих видов или в спецификациях оборудования.

Схемы автоматизации могут выполняться двумя способами:

- развернутым, при котором на схеме изображают состав и место расположения технических средств автоматизации каждого контура контроля и управления;
- упрощенным, при котором на схеме изображают основные функции контуров контроля и управления (без выделения входящих в них отдельных технических средств автоматизации и указания места их расположения).

IBIK

Для примера на рис. 4.2.3. показана развернутая схема автоматизации приточно-вытяжной вентиляции с водяным подогревом на базе релейно-контакторной аппаратуры и одноканального регулятора. Как видно из схемы, технологическая часть системы включает заслонки на входе приточного и на выходе вытяжного воздухопровода, фильтр, водяной теплообменник, приточный и вытяжной вентиляторы. Контроль параметров осуществляется как измерительными преобразователями, например TE, сигналы которых поступают на центральный щит управления, так и местными приборами TI и PI. Показания последних используются для определения параметров, когда оператор находится в непосредственной близости от вентиляционной камеры. Кроме того, дифференциальным датчиком давления РД контролируется перепад давления на воздушном фильтре и вентиляторах, что характеризует проходимость фильтра и работу вентиляторов. Так как обычно мощность, потребляемая вентиляторами, значительно больше потребляемой мощности остальных устройств автоматики, то средства управления вентиляторами GKS вынесены на щит местного управления, в котором предусмотрена возможность переключения (буква К) режима управления – с ручного на автоматический.

Основной контур регулирования состоит из датчика температуры 1а, одноканального регулятора 1б (в центральном щите управления) и исполнительного механизма 1в, управляющим 3-ходовым клапаном.

Остальные контуры управления: защиты от замерзания (*2*), контроля перепада давления (*3*, *4*, *5*) и управления работой оборудования (*6*) выполнены на релейной аппаратуре (GCS), размещенной также в центральном щите управления. Такое аппаратурное решение достаточно сложное как в реализации, так и в эксплуатации.

При применении контроллеров упрощается не только аппаратурная часть, но и вид схемы автоматизации. Это наглядно показано на рис. 4.2.4, *а*, где в соответствии с ГОСТ 21.404-85 изображен щит управления той же системы приточно-вытяжной вентиляции с использованием контроллера. Однако в этом случае, поскольку контроллер берет на себя все функции управления, его стандартное обозначение не позволяет выделить отдельные контуры управления, как этого требует стандарт. Поэтому обычно функции управления и соответствующие им контуры управления указываются в пояснительной записке, а контроллер изображают в виде прямоугольника с обозначением видов входящих и выходящих сигналов (дискретных – *D* и аналоговых – *A*) (рис. 4.2.4, *б*).

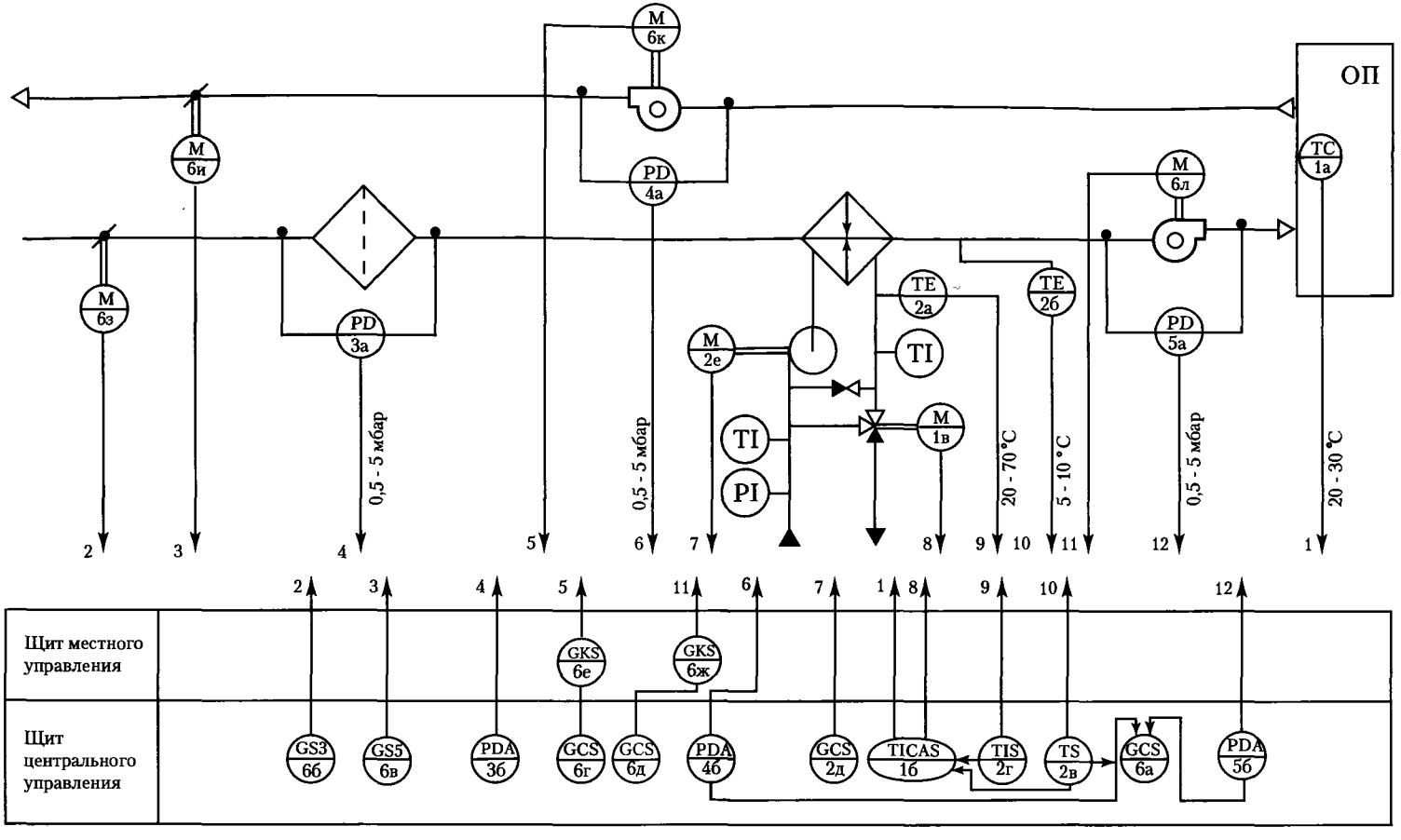


Рис. 4.2.3. Схема автоматизации системы приточно-вытяжной вентиляции, выполненная развернутым способом

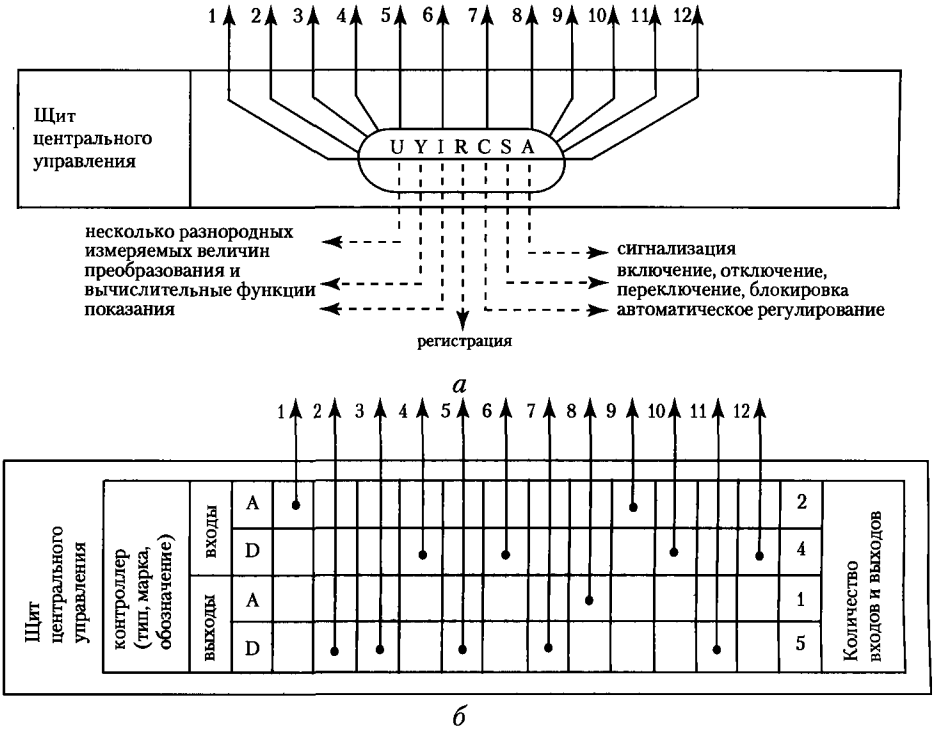


Рис. 4.2.4. Условное изображение контроллера, применяемые в функциональных схемах автоматизации:
а – по ГОСТ 21.404-85, *б* – альтернативное

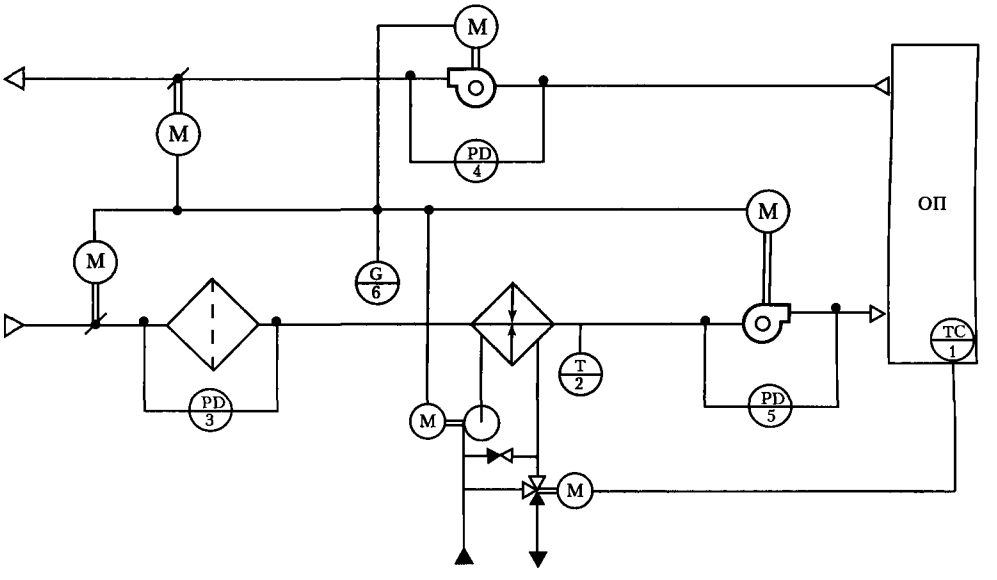


Рис. 4.2.5. Схема автоматизации системы приточно-вытяжной вентиляции, выполненная упрощенным способом

При упрощенном способе выполнения схем автоматизации (рис. 4.2.5) контуры контроля и управления, а также одиночные приборы наносят рядом с изображением технологического оборудования и коммуникаций. Контуры независимо от количества входящих в него элементов изображают в виде окружности (овала), разделенного горизонтальной чертой. В верхней части окружности указываются буквенные обозначения контролируемых параметров и функции управления в соответствии с ГОСТ 21.404-85, а в нижней части – номер контура. Полный состав каждого контура обычно приводится на принципиальной схеме контроля, регулирования и управления, а также на схеме соединения внешних проводок. Для контуров систем автоматического управления и регулирования на схеме изображают исполнительные механизмы, регулирующие органы и линии связи, соединяющие контур с исполнительными механизмами.

4.3. СХЕМЫ ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств, а также связей между ними, которые обеспечивают решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации. Принципиальные схемы служат для изучения принципа действия системы и необходимы как при выполнении наладочных работ, так и в эксплуатации. Кроме того, на основании принципиальных схем разрабатываются другие документы проекта: монтажные схемы щитов и пультов, схемы внешних соединений и т. п.

На принципиальных электрических схемах все аппараты (реле, пускатели, переключатели) изображают в отключенном состоянии. При необходимости изображения какого-нибудь аппарата во включенном состоянии это оговаривается на поле чертежа.

Электрические схемы выполняют в соответствии со стандартами ГОСТ 2.701-84 и ГОСТ 2.702-85 на отдельные установки и участки автоматизированной системы (например, схема управления двигателями вентилятора, схемы регулирования температуры приточного воздуха и др.). В эти схемы включают: элементы схемы, устройства и линии взаимосвязи между ними.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части (реле, трансформатор, резистор, диод и т. д.).

Устройство – совокупность элементов, выполняющая определенную функцию и представляющая собой единую конструкцию (блок, прибор, плата и т. д.).

IBIK

Линия взаимосвязи – отрезок линии, указывающий на наличие связи между элементами и устройствами.

Условные графические обозначения элементов электрических схем регламентируются рядом стандартов и обычно совпадают с условными обозначениями, принятыми в мировой практике. Однако иногда, особенно в электросхемах на импортное оборудование, встречаются графические изображения, отличные от стандартных.

Устройства (за исключением исполнительных механизмов) показывают упрощенно в виде прямоугольников. При этом в кружках, располагаемых по контуру прямоугольника, показывают обозначения входных и выходных линий связи и питания. Допускается не приводить на принципиальных схемах обозначения выводов электроаппаратов, если они приведены в технической документации на щиты и пульты. Буквенно-цифровые обозначения элементов и устройств на электрических схемах регламентированы ГОСТ 2.710-81. Обязательный из них однобуквенный код наиболее характерных элементов и устройств приведен в приложении 7. Обозначение участков цепей служит для их опознания и отражает их функциональное назначение. Все участки цепей, разделенные контактами аппаратов, обмотками, приборами, резисторами и другими элементами имеют разное обозначение. Участки цепей, проходящие через разъемные, разборные и неразборные контактные соединения должны иметь одинаковое обозначение.

Для обозначения цепей применяют арабские цифры и прописные буквы латинского (реже кириллица) алфавита. Примеры обозначений участков цепей: 1, 25, 104; фазы L1, L2, L3 или A, B, C; N – нулевой рабочий провод; PE – нулевой защитный провод.

Элементы и устройства на схеме могут быть изображены совмещенным или разнесенным способом. При совмещенном способе составные части элементов изображают в непосредственной близости друг от друга (например, обмотка и контакты реле). При разнесенном способе отдельные элементы аппаратов изображают в разных местах, что позволяет более наглядно представить принцип действия всей системы.

Все технические средства, отображенные на принципиальной схеме, должны быть однозначно определены и записаны в перечень элементов и устройств по форме в соответствии с ГОСТ 2.702-75. Перечень может быть выполнен либо на поле чертеже, либо отдельным документом. Часто элементы записывают группами, соответственно местам их установки.

Чтение схемы обычно начинают с основной надписи, располагаемой в нижнем правом углу листа. Здесь указывается наименование объекта, название изделия, дата выпуска чертежа и др. Затем следует

IBIK

ознакомиться с таблицей перечня элементов, отраженных на схеме, различными пояснениями и примечаниями. Все это позволяет установить вид и тип данной схемы, ее построение и связь с другими документами.

Для более наглядного представления и получения начальных навыков по чтению принципиальных схем рассмотрим принципиальную схему (рис. 4.3.1) управления электродвигателями вентиляторов, работающих в системе приточно-вытяжной вентиляции (рис. 4.2.5) и перечень элементов к ней (табл. 4.3.1).

Все элементы рассматриваемой схемы имеют одно- или двухбуквенные коды. Например, двигатели 1М, 2М, контакторы КМ1, КМ2, переключатели 1SA1, 2SA1, сигнальные лампочки 1HL1, 2HL1 и т. д.

Соединительные провода обозначены арабскими цифрами, при этом номера проводов, имеющие общую точку, одинаковы. Так, кнопка 1SB1 соединена с 1SB2 и замыкающим дополнительным контактом КМ1.1 контактора КМ1 проводами, обозначенными числом 102. При этом собственные маркировки аппаратов не обозначены, что необходимо учесть при составлении монтажных схем.

Анализируя схему, видим, что катушка магнитного пускателя КМ1 (КМ2) будет замыкать рабочие контакты, а, следовательно, и подавать напряжение на двигатели 1М (2М) при нажатии кнопок 1SB2 (2SB2). Причем это можно осуществить только в ручном режиме, когда переключатель 1SA1 (2SA1) находится в положении Р. При этом контактор КМ1 (КМ2) через свой собственный контакт КМ1.1 (КМ 2.1) заблокируются. Выключается двигатель 1М (2М) в этом режиме при нажатии на кнопку 1SB1 (2SB1).

В положении А переключателя 1SA1 (2SA1), что соответствует автоматическому режиму, двигатели вентиляторов будут включатся автоматически с помощью контактов реле К4 (К3), которые управляются контроллером и показаны в другом месте принципиальной схемы. На это указывает пунктирная линия вокруг контактов и ссылка на определенный номер листа принципиальной схемы.

При перегрузке двигателя вентилятора срабатывает тепловое реле КК1 (КК2), размыкающий контакт которого прекращает подачу напряжения на катушку контактора КМ1 (КМ2).

Связь принципиальной схемы с перечнем элементов осуществляется через позиционные обозначения. При этом в графе «Наименование», кроме названия типа и марки, приводятся основные технические характеристики элемента или устройства. Например, для двигателей 1М, 2М указывается номинальные мощность, частота вращения, напряжение и ток. В отдельных случаях допускается все сведения об элементах помещать около условных графических обозначений (например, параметры резисторов и конденсаторов).

IBIK

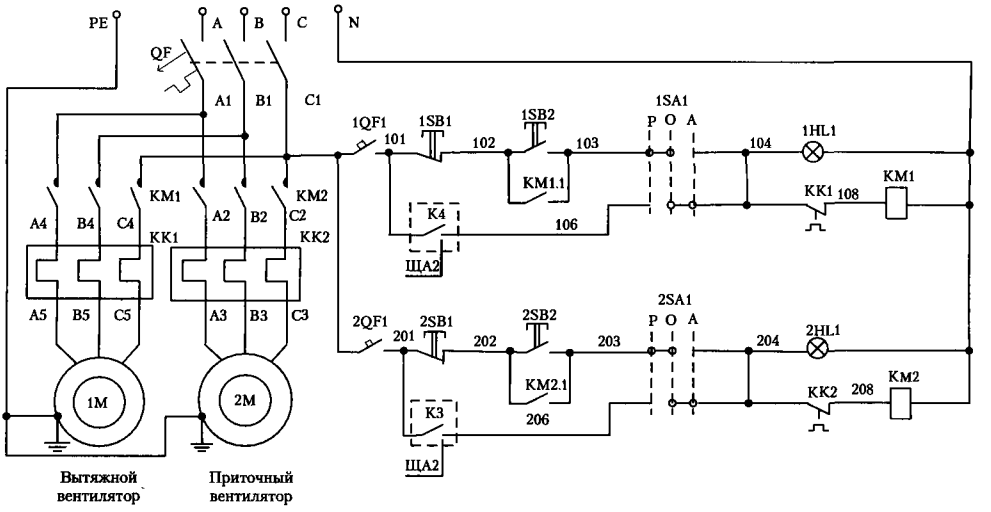


Рис. 4.3.1. Пример выполнения принципиальной электрической схемы управления электродвигателями вентиляторов

Таблица 4.3.1. Перечень элементов и устройств (к схеме электрической принципиальной, рис. 4.3.1)

Позиционное обозначение	Наименование	Количество	Примечание
	На механизме		
1M, 2M	Двигатель асинхронный 3ф., тип MDXMA90-32, 1,5 кВт, 1410 мин$^{-1}$, 380 В, 3,5 А	2	
	На щите местного управления (ЩМУ)		
QF	Выключатель автоматический TemDin 3C, $I_н$=10А; $U_м$=380В	1	
KM1, KM2	Контактор типа 11MC6.10, $I_н$=6 А, $U_к$=220 В, 1 зам. доп. контакт	2	
KK1, KK2	Реле тепловое, тип 11RF9.5, $I_{ср}$=3-5 А	2	
1QF1, 2QF1	Выключатель автоматический, тип TemDin, 1C, $I_н$=1А, $U_н$=220 В	2	
1SB1, 2SB1	Кнопка управления, тип 8LM2TB104, 1 размерный контакт, толкатель красного цвета	2	На двери ЩМУ 1
1SB2, 2SB2	Кнопка управления, тип 8LM2TB102, 1 зам. контур, толкатель черного цвета	2	На двери ЩМУ 1
1SA1, 2SA1	Переключатель, 3-поз., стабильный, тип 8LM2TS130	2	На двери ЩМУ 1
1HL1, 2HL1	Арматура светосигнальная зеленая, тип 8LP2TIL223, с лампой накаливания 220 В переменного тока	2	На двери ЩМУ 1

4.4. СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ И ПОДКЛЮЧЕНИЙ ВНЕШНИХ ПРОВОДОК

4.4.1. МОНТАЖНЫЕ ЧЕРТЕЖИ И СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЙ ЩИТОВ И ПУЛЬТОВ

Монтажные чертежи и схемы соединений показывают взаимное расположение приборов и устройств на щитах и пультах и их взаимосвязь. Конструкция щитов и пультов, а также места установок и расположения на них устройств изображаются на чертежах общих видов. Чертежи общих видов должны выполняться в строгом соответствии со стандартом ЕСКД, особенно для организации серийного производства. В случае единичного и мелкосерийного производства (характерно для СКВ) в соответствии с ДСТУ Б.А. 2.4-95 для нетиповых пультов и щитов разрабатываются эскизные чертежи. В зависимости от функционального назначения щита и его конструктивных особенностей эскизный чертеж единичного щита содержит:

- спецификацию, в которую кроме технических средств автома тизации входят изделия для установки и монтажа, кабели и провода;
- вид спереди;
- вид на внутренние плоскости;
- таблицу надписей.

В отличие от чертежей общих видов схемы соединений щитов и пультов выполняют без соблюдения масштабов. На схеме соединений изображают все элементы и устройства, входящие в состав щита или пульта. При этом их расположение должно примерно соответствовать действительному размещению в изделии. Устройства изображают в виде прямоугольников или условных графических обозначений с отображением всех выводов (контактов) для подключения проводников. На схеме указывается: для проводов – марка, сечение и, при необходимости, расцветка; для кабелей – марка, количество и сечение жил. Схемы соединений выполняют различными способами, но во всех случаях должны быть обозначены все контактные элементы, через которые осуществляются электрические соединения, и отходящие от них проводники. На простых схемах полностью показывают все проводники, которыми соединяются аппараты, приборы и другие элементы, и чтение таких схем не вызывает трудностей.

В случае сложных устройств для упрощения выполнения и чтения схем соединений рядом с обозначением каждого аппарата или прибора в пределах схемы проставляют его порядковый номер (в числителе), начиная с первого, и позиционное обозначение (в знаменате-

ле), соответствующее принципиальной схеме. Концы проводников маркируют, то есть наносят адресное обозначение второго конца провода: первое число –порядковый номер аппарата; второе – номер его вывода, к которому подключен его конец. Кроме того, для лучшего понимания схемы и ее связи с принципиальной схемой рядом с проводником ставят обозначение цепи.

Для примера на рис. 4.4.1 приведен эскизный чертеж щита местного управления (ЩМУ1) двигателями приточного и вытяжного вентиляторов в соответствии с принципиальной схемой, показанной на рис. 4.2.1.

В качестве примера рассмотрим схему соединений шкафа (рис. 4.4.2).

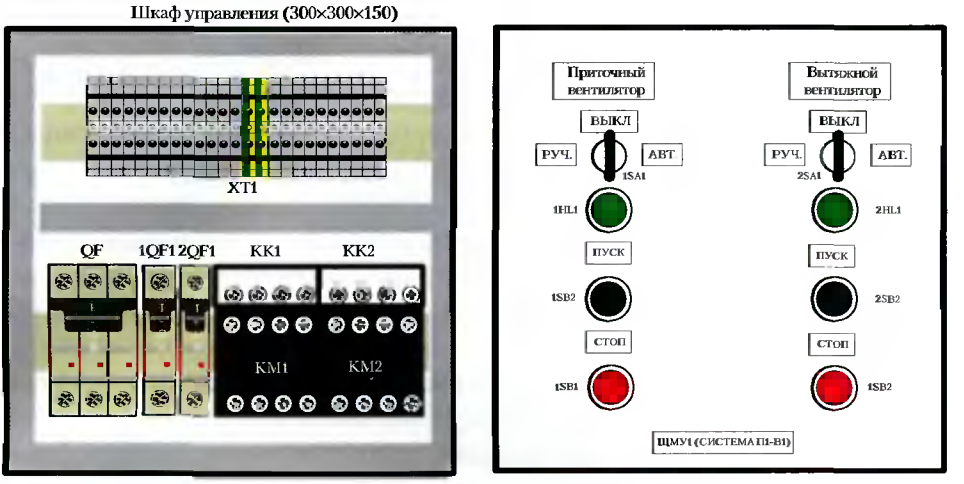
Расположение аппаратуры на схеме примерно соответствует фактическому размещению в конструкции шкафа. Рядом с каждым аппаратом проставлен порядковый номер и позиционное обозначение. Так, возле клеммной колодки – 1/XT1, вводного автоматического выключателя – 2/QF и т. д.

Внутри каждого элемента проставлена нумерация выводов, соответствующая заводской маркировке.

Монтаж силовых цепей показан прямым соединением проводников между аппаратами. Соединения цепей управления выполнены адресным методом. Так, электрическая цепь 104 (рис. 4.4.2) выполнена следующим образом. Выводы 2 и 4 переключателя 1SA1 (аппарат 9) перемкнуты между собой, а с вывода 2 выходит провод 11-1 (аппарат 11, вывод 1). Второй конец этого провода на лампочке 1HL1 (аппарат 11) имеет маркировку 9-2 (аппарат 9, вывод 2). Кроме того, с вывода 1 аппарата 11 отходит провод 1-12 (на клеммник XT1), который на втором конце имеет маркировку 11-1. Провод, соединяющий клеммник 12 XT1 с контактом теплового реле КК1, имеет маркировку 5-95 и 1-12 соответственно со стороны клеммника и реле.

На поле чертежа схемы указано, какие провода каким проводом монтировать, а для защитного нулевого провода – и его цвет. На поле чертежа могут быть также указаны способы ведения монтажа. Например: «Монтаж выполнить с использованием перфорированных коробов 25×25 мм с их установкой по месту»; «Провода, соединяющие клеммник XT1 с аппаратурой на двери шкафа, выполнить в виде жгута в спиральной трубке диаметром 10 мм», и т. п.

Если по техническим условиям на аппаратуру прокладка проводов в жгутах недопустима (например, компенсационные провода), или необходимо применение экранированного провода, то такие проводки на схеме изображают пунктиром. При этом концы экранов должны быть соединены с нулевым защитным проводником PE.



а *б*

Рис. 4.4.1. Пример выполнения эскизного чертежа нестандартного шкафа управления электроприводов вентиляторов

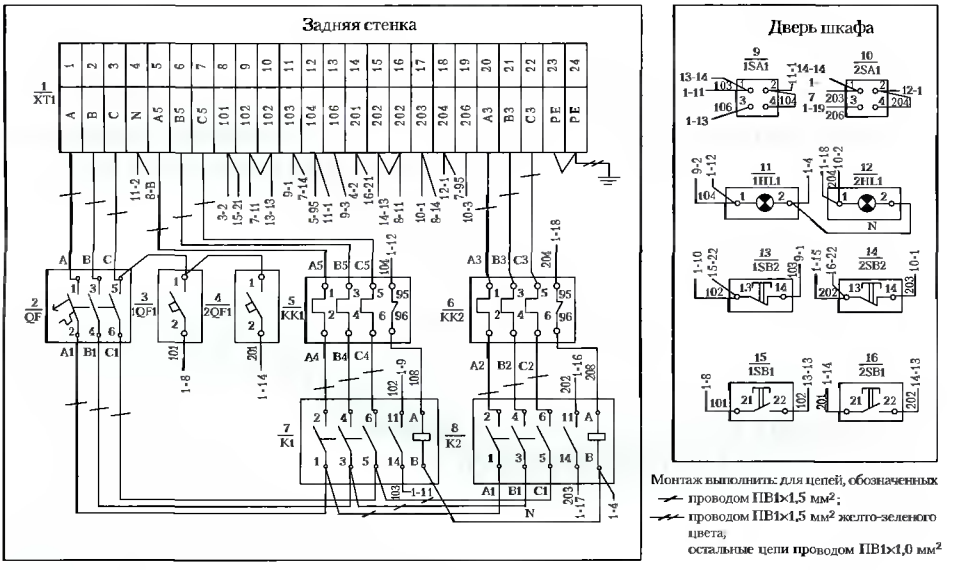


Рис. 4.4.2. Схема соединений шкафа местного управления (ЩМУ1) электроприводами вентиляторов

В случае выполнения схем сложных, насыщенных устройствами щитов и пультов применяется табличный способ. В этом случае приборы, устройства, сборки зажимов на чертежах не показывают. В таблице указывают номер кабеля, номер проводки по принципиальной схеме, зажим сборки и устройство, соединяемые проводкой, и номер, на которую входит провод. Таблицы соединений выполняют отдельным документом и обозначаются ТЭ4 (таблица электрических соединений).

4.4.2. СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНИХ ПРОВОДОК

Правильное взаимодействие всех элементов автоматики и нормальная работа всей системы возможна только при соединении их в соответствии со схемами подключения внешних проводок. Как и для монтажных схем, соединение внешних проводок может быть выполнено в виде схем или таблиц (ТЭ5 – таблица электрических соединений внешних проводок). Схемы подключения выполняют, как правило, раздельно для каждого автоматизированного блока, монтаж которого осуществляют независимо от других. При этом в наименовании схемы дополнительно указывают наименование блока. Например: «Электроприводы вентиляторов. Схема внешних проводок».

Технические средства, для которых на схемах приводят подключения электропроводок, изображают упрощенно внешними очертаниями или в виде прямоугольников. Входные и выходные элементы (контакты) устройств показывают в виде кружков (для круглых штепсельных разъемов) или прямоугольников (например, для сборок колодок зажимов, рейки с набором зажимов).

Внутри прямоугольника или на полке линии выноски указывается наименование технического средства, обозначение, а также номер листа чертежа установки.

Обозначения жил кабелей и проводов на схемах и таблицах подключений принимают в соответствии с принципиальными электрическими схемами.

Внешние электрические проводки выполняют отдельными сплошными толстыми линиями. При этом проводки, проложенные в коробах, изображают двумя параллельными тонкими линиями на расстоянии 3–4 мм друг от друга. Для каждой проводки над изображающей ее линией указывают техническую характеристику (тип, марка кабеля, провода, трубы и т. д.) и длину проводки. Кабелям и жгутам проводов присваивают порядковые номера. Порядковые номера кабелей с коробам присваивают с добавлением буквы «К». Номера проводок указывают в окружностях, помещаемых в разрыве линий. Схема подключения внешних проводок управления электроприводами приточного и вытяжного вентиляторов показана на рис. 4.4.3.

Подвод питания осуществляется от электросети кабелем №1 марки ВВГ, пятижильным, сечением 1,5 мм^2, проложенным в пластмассовой трубе длиной 5 м.

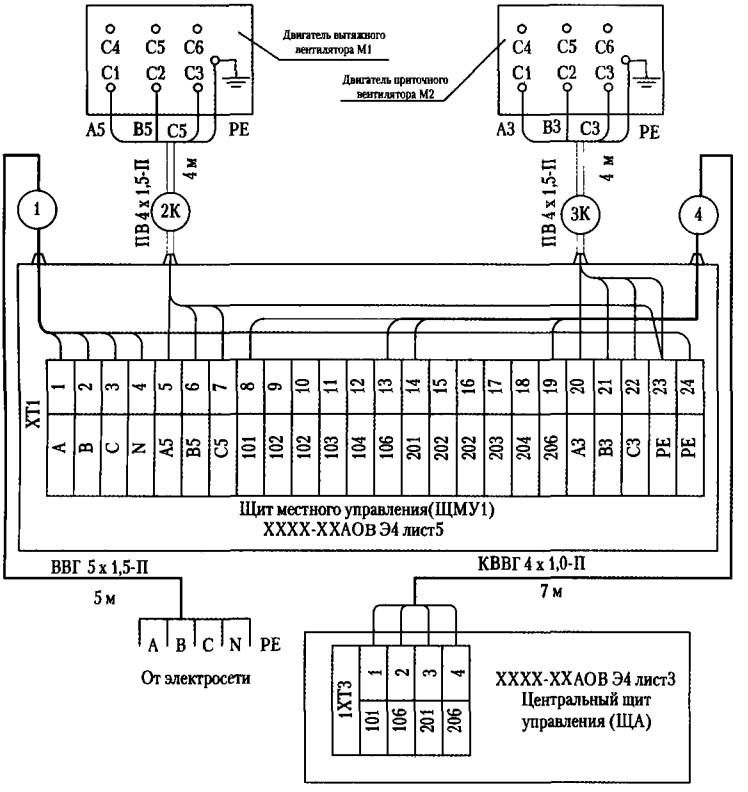


Рис. 4.4.3. Схема подключения внешних проводок управления электроприводами вентиляторов

Электродвигатели М1 и М2 связаны со щитом местного управления ЩМУ1 трассами 2К и 3К, каждая из которых выполнена 4 медными проводами марки ПВ сечением 1,5 мм², уложенными в пластмассовом коробе длиной 4 м. Дистанционное управление двигателями от центрального щита управления ЩА осуществляется с помощью 4-жильного контрольного кабеля КВВГ сечением 1,0 мм², проложенного в пластмассовой трубе длиной 7 м.

Для сложных систем автоматизации (например, при большом количестве устройств и многожильных кабелей) схемы следует выполнять по упрощенной схеме с обозначением только структуры проводок и указанием их номеров. Для такой схемы выполняют таблицы соединений (или кабельный журнал), помещаемый на поле чертежа, или в виде отдельного документа. Пример такой таблицы, соответствующей схеме внешних проводок, показанной на рис. 4.4.3, представлен в таблице 4.4.1.

При незначительном объеме электропроводок, подключаемых к техническим средствам автоматизации, эти подключения допускается проводить на схеме соединений, не выполняя схемы подключений.

IBIK

Если на принципиальную схему нанести выводы аппаратов и показать сборки зажимов или разъемы, то такой схемой удобно пользоваться при проверке электрических цепей, а в случае указания технических характеристик монтажных проводов она может служить схемой соединений. Такую схему часто называют принципиально-монтажной и в соответствии с ГОСТ 2.701 обозначают ЭО (электрическая объединенная).

Таблица 4.4.1. Соединения внешних проводок электроприводов вентиляторов

Кабель, жгут	Направление		Кабель, провод		Труба, короб		Чертеж
	Откуда	Куда	Марка, число жил сечения	Длина, м	Марка, размер	Длина, м	
1	От электросети	ЩМУ1	ВВТ 5×1,5	6,5	TRL20	5,0	–
2К	1М	ЩМ1	ПВ 4×1,5	5,0	20×10	4,0	XXXX - XXAOB.73
3К	2М	ЩМ1	ПВ 4×1,5	5,0	20×10	4,0	XXXX - XXAOB.73
4	ЩМ1	ЩА	КВВТ4×10	8,0	TRL16	7,0	XXXX-XXAOB Э4 лист 5

Пример выполнения принципиально-монтажной схемы для уже рассмотренного управления двигателями вентиляторов показан на рис. 4.4.4.

Для автономных (покупных) систем или отдельных устройств автоматики схемы их подключений обычно приводятся в инструкциях по монтажу и эксплуатации. Например, на рис. 4.4.5 показана однолинейная схема подключения многозональных полупромышленных кондиционеров серии FDC-HKXP фирмы MHI, а в таблицах 4.4.2 и 4.4.3 – технические характеристики защитной аппаратуры (автоматических выключателей и дифференциальных реле) и рекомендованные сечения соединительных проводов.

Как уже отмечалось, при монтаже внешних соединений используют также чертежи расположения оборудования и проводок. Эти чертежи содержат планы и разрезы помещений и наружных установок с размещением приборов и средств автоматизации щитов, пультов и др., а также потоков электрических или трубных проводок. Для нанесения на планы электрооборудования, электропроводок и их элементов используют условные графические обозначения, отличные от обозначений для принципиальных схем. В приложении 8 приведены условные графические обозначения устройств и электропроводок, наиболее часто встречающиеся в чертежах расположения средств автоматизации систем кондиционирования и вентиляции. Количество проводов в линии указывается засечками. Приборы и средства автоматизации должны располагаться в местах, удобных для обслуживания, а внешние проводки должны прокладываться в местах, где отсутствует возможность их механического повреждения.

IBIK

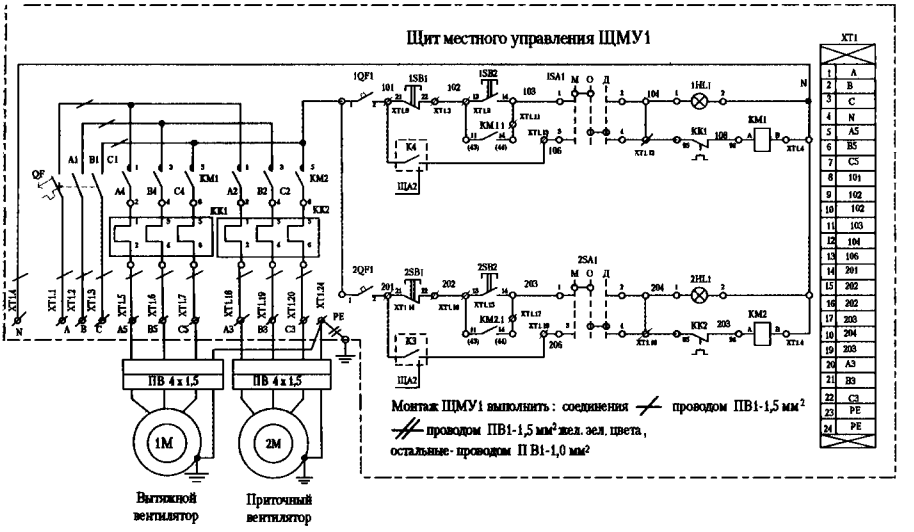


Рис. 4.4.4. Пример выполнения принципиально-монтажной электрической схемы

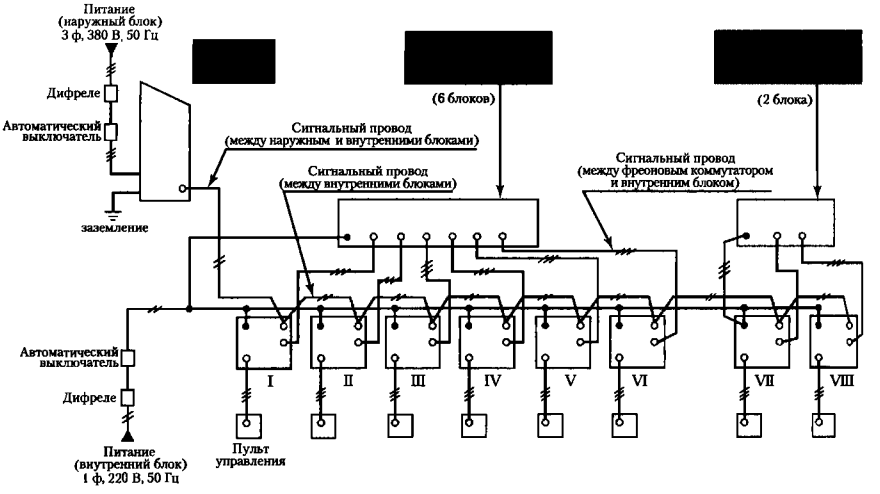


Рис. 4.4.5. Однолинейная электрическая схема подключения полупромышленных кондиционеров серии FDC-HKXR фирмы MHI

Таблица 4.4.2. Требования к сети питания блоков FDC

Модель	Вид напряжения	Сечение провода, мм²	Ток срабатывания, А			
			Силовой выключатель	Автоматический выключатель	Дифреле	Сечение провода заземления, мм²
FDC140	3 фазы, 380 В, 50 Гц	3,5	30	25	30 А, 30 мА, 0,1 с	2,0
FDC224		5,5	40	30	40 А,100 мА, 0,1 с	2,0
FDC280		8,0	60	50	60 А, 100 мА, 0,1 с	3,5

IBIK

Таблица 4.4.3. Требования к сети питания внутренних блоков систем КХ

Параметры		Сечение провода, мм²	Ток срабатывания, А		Сечение сигнального провода, сечение провода заземления, мм²
			Автоматический выключатель	Дифреле	
Общий ток внутренних блоков	менее 10 А	2,0	20	20 А, 100 мА, 0,1 с	0,75×2
	от 10 до 15 А	3,5	30	30 А, 100 мА, 0,1 с	0,75×2

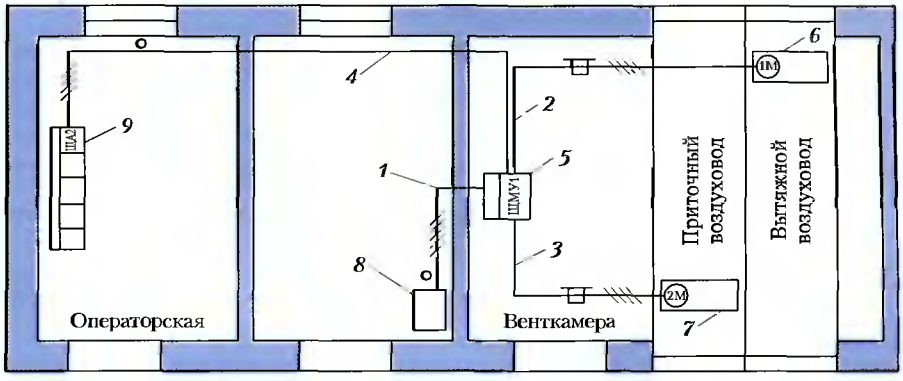


Рис. 4.4.6. Пример выполнения плана расположения средств автоматики и электропроводок для управления электроприводами вентиляторов

Например, на рис. 4.4.6 показан план расположения и проводок подключения электроприводов вентиляторов в соответствии со схемой, изображенной на рис. 4.4.3. Питание щита местного управления (*5*) осуществляется проводной линией (*1*), проложенной в трубе от вводного щитка (*8*). Проводные линии (*2*) и (*3*), проложенные в закрытых коробах, соединяют ЩМУ1 с двигателями вентиляторов (*6*) и (*7*). Проводная линия (*4*) обеспечивает через ЩМУ1 автоматическое дистанционное управление двигателями вентиляторов от щита автоматики (*9*), расположенного в операторском помещении.

4.5. ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

К эксплуатационным документам (ЭД) относят текстовые и графические рабочие конструкторские документы, которые в отдельности или в совокупности дают возможность ознакомления с изделием и определяют правила его эксплуатации.

Виды, комплектность и правила выполнения эксплуатационных документов устанавливает ГОСТ 2.601-95. Эксплуатационные документы, поставляемые с изделием, должны полностью ему соответствовать, а сведения, помещаемые в ЭД, должны быть достаточными для обеспечения правильной и безопасной эксплуатации изделий в течении срока службы. При необходимости в ЭД приводят указания о требуюемом уровне подготовки обслуживающего персонала.

ЭД разрабатывают на основе:

- рабочей конструкторской документации по ГОСТ 2.102;
- опыта эксплуатации аналогичных изделий;
- анализа эксплутационной технологичности изделий и их составных частей;
- материалов по исследованию надежности изделий данного типа и аналогичных изделий других типов;
- результатов научно-исследовательских работ, направленных на повышение качества эксплуатации изделий (при наличии).

В ЭД, поставляемой с изделием, должна в обязательном порядке в любом случае содержаться следующая информация:

- наименование и номер стандарта, обязательным требованием которого должно соответствовать изделие;
- основные сведения, технические данные и потребительские свойства;
- правила и условия эффективного и безопасного использования, хранения, транспортировки и утилизации;
- ресурс, срок службы и сведения о необходимых действиях потребителя по его истечении и также о возможных последствиях при невыполнении указанных действий;
- гарантии изготовителя (поставщика);
- сведения о сертификации (при наличии);
- сведения о приемке.

Основные виды эксплуатационных документов, их коды и определения приведены в таблице 4.5.1 (ГОСТ 2.601-95).

В ЭД на изделие включают в необходимых объемах сведения об изделии в целом и составных частях, установленных на изделии к моменту поставки его заказчику (потребителю).

Описание и правила эксплуатации составных частей, в том числе покупных изделий, должны быть, как правило, включены в соответствующие эксплуатационные документы на изделие в качестве их самостоятельных разделов, подразделов и пунктов.

В зависимости от особенностей изделия, объема сведений по нему и условий эксплуатации допускается:

- разделять документ на части в соответствии с ГОСТ 2.105;
- разрабатывать объединенные ЭД (допускается выпускать на изделие один эксплуатационных документ).

IBIK

Таблица 4.5.1. Основные виды эксплуатационных документов

Вид документа	Код документа	Содержание
Руководство по эксплуатации	РЭ	Документ, содержащий сведения о конструкции, принципе действия, характеристиках (свойствах) изделия, его составных частей и указания, необходимые для правильной и безопасной эксплуатации изделия, текущего ремонта, хранения и транспортирования) и оценок его технического состояния при определении необходимости отправки его в ремонт, а также сведения по утилизации изделия и его составных частей
Инструкция по монтажу, пуску, регулированию и обкатке изделия	ИМ	Документ, содержащий сведения, необходимые для монтажа, наладки, пуска, регулирования, обкатки и сдачи изделия и его составных частей в эксплуатацию на месте его применения
Формуляр	ФО	Документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, сведения, отражающие техническое состояние данного изделия, а также сведения, которые вносят в период его эксплуатации (длительность и условия работы, техническое обслуживание, ремонт и другие данные)
Паспорт	ПС	Документ, содержащий сведения, удостоверяющие гарантии изготовителя, значения основных параметров и характеристик (свойств) изделия, а также сведения о сертификации и утилизации изделия
Ведомость комплекта запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП)	ЗИ	Документ, содержащий номенклатуру, назначение, количество и места укладки запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов, расходуемых за срок службы изделия
Учебно-технические плакаты	УП	Документы, содержащие сведения о конструкции изделия, принципах действия, приемах использования, техническом обслуживании, областях технических знаний с необходимыми иллюстрациями
Ведомость эксплуатационных документов	ВЭ	Документ, устанавливающий комплект эксплуатационных документов и места укладки документов, поставляемых с изделием или отдельно от него
Этикетка	ЭТ	ЭТ составляют на изделия, для которых данные, необходимые для эксплуатации, не превышают пять-шесть основных показателей. Для подтверждения этих показателей нет необходимости составлять ФО (ПС) и технически их невозможно и нецелесообразно маркировать на изделии
Каталог деталей и сборочных единиц	КДС	КДС составляют на изделия, для которых в течение времени эксплуатации предусмотрены неоднократный ремонт и замены составных частей
Нормы расхода запасных частей	НЗЧ	Под НЗЧ на период эксплуатации одного изделия понимают среднее ожидаемое за этот период количество замен составных частей из-за отказов и выработки ресурса
Нормы расхода материалов	НМ	Под НМ на период эксплуатации понимают среднее ожидаемое за этот период количество материалов

Основными документами являются РЭ и ИМ. РЭ, как правило, состоит из следующих частей:

- описание и работа;
- использование по назначению;
- техническое обслуживание;
- текущий ремонт;
- хранение;
- транспортирование;
- утилизация.

ИМ содержит следующие разделы:

- общие указания;
- меры безопасности;
- подготовка изделия к монтажу и стыковке;
- монтаж и демонтаж;
- наладка, стыковка и испытания;
- пуск (опробирование);
- регулирование;
- комплексная проверка;
- обкатка;
- сдача изделия.

На конструктивно простейшие изделия, объем сведений по которым незначителен, эксплуатационные документы допускается не составлять, а необходимые сведения размещать (маркировать) на самом изделии или на фирменной табличке, прикрепляемой к нему.

Для удобства специальные требования, относящиеся к использованию по назначению, техническому обслуживанию, текущему ремонту, хранению, транспортированию и утилизации допускается излагать в специальных инструкциях, оформленных в виде самостоятельных частей ЭД или в виде приложений к ним. В качестве самостоятельных приложений к документам, указанным в таблице, как правило, относят:

- памятки по обращению с изделием;
- инструкции для отдельных специалистов обслуживающего персонала;
- инструкции по мерам безопасности;
- инструкции по проверке специальных контрольно-измерительных приборов и оборудования;
- инструкции по проведению специальных работ, проверок и ис пытаний изделий на промежуточных пунктах (базах, складах);
- специальные формуляры (например, формуляр шумности, по аварийно-спасательному обеспечению) и другие документы.

IBIK

Раздел 5 Монтаж оборудования систем автоматизации СКВ

5.1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАБОТ

Монтаж приборов и систем автоматизации – сложный комплекс работ, который должен выполняться в соответствии с проектом и действующими техническими условиями. Обычно монтаж систем автоматики включает следующие этапы работ:

- подготовка к выполнению монтажных работ;
- производство монтажных работ;
- сдача смонтированной системы для наладки.

На первом этапе монтажа (подготовка) выделяют три составляющие: инженерно-техническую, материально-техническую и организационную.

Соотношение этих составляющих в зависимости от сложности объектов автоматизации различно, однако их наличие и правильное сочетание обеспечивают своевременное и качественное выполнение всего комплекса работ.

Так, например, инженерно-техническая подготовка предусматривает анализ проектов систем автоматизации, инструкции по монтажу и эксплуатации и изучение нормативно-технической документации.

По результатам анализа иногда требуется выполнение расчета и выбор проводов и пускозащитной аппаратуры, разработка графика выполнения монтажных работ.

Материально-техническая подготовка предусматривает заготовку материалов, комплектующих изделий, деталей и конструкций.

К вопросам организационной подготовки относятся: оборудование помещений на объекте для выполнения работ и хранения оборудования и инструмента; комплектование монтажных бригад; контроль и участие при необходимости в установке закладных конструкций или других строительно-монтажных работах.

В общем случае подготовительные работы выполняются в следующей последовательности.

1. Изучают схемы принципиальные электрические и схемы внешних соединений, заказные спецификации на электрооборудование – аппаратуру, провода и кабели, установочные и монтажные материалы.
2. Знакомятся с расположением вводных устройств электроснабжения, трассами прокладки проводов и кабелей.
3. Проверяют специальными металлоискателями отсутствие по трассе скрытой электропроводки других энергопотребителей, металлических закладных конструктивных частей, труб и т. п.
4. Изучают характеристику стен, по которым или внутри которых пройдут трассы прокладываемой электропроводки.
5. Составляют перечень дополнительных материалов, комплектующих изделий, инструментов, отсутствующих в спецификации проектной документации.
6. Проверяют наличие необходимого монтажного инструмента и контрольно-измерительных приборов.
7. Составляют график выполнения электромонтажных работ и согласовывают его с другими исполнителями строительства объекта (строителями, сантехниками, энергетиками и др.).
8. Если монтаж электрооборудования выполняется без проектной документации (как правило, бытовые кондиционеры малой мощности), составляют схемы электрический соединений, схему прокладки электропроводки, производят расчеты выбора электропроводов, автоматических выключателей и УЗО, составляют спецификацию на комплектующие и монтажные материалы.

Эти документы согласовываются с заказчиком.

Перед началом монтажных работ устанавливают несущие и опорные конструкции, приборы и средства автоматизации, а также подключают к ним трубные и электрические проводки. Далее производят монтаж датчиков, приборов и регуляторов прямого действия, щитов и пультов управления, исполнительных механизмов и регулирующих органов, а также электропроводок.

IBIK

5.2. МОНТАЖ ДАТЧИКОВ, ПРИБОРОВ И РЕГУЛЯТОРОВ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

5.2.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОНТАЖУ ДАТЧИКОВ

Монтаж датчиков приборов и регуляторов является одним из важнейших этапов монтажа систем автоматизации, поскольку от правильности установки, проверки и дальнейшей наладки этих элементов зависит надежность и эффективность работы системы в целом.

Средства автоматизации, устанавливаемые непосредственно на технологическом оборудовании и объекте управления (измерительные преобразователи, датчики-реле, регуляторы прямого действия), должны устанавливаться в строгом соответствии с рабочими чертежами проекта автоматизации, инструкциями фирм-производителей и требованиями технологического процесса.

Перед монтажом устанавливаемые датчики, приборы и регуляторы должны быть сверены с принципиальной схемой и спецификацией на соответствие типу, диапазону измерений, виду исполнения и другим техническим характеристикам.

Общие требования при монтаже средств автоматики следующие:

- приборы должны крепиться штатными крепежными элементами. Крепежные детали не должны иметь сорванных резьб, шлицов и граней. При наличии вибраций в местах крепления резьбовые соединения производятся с применением пружинных шайб, контргаек или шплинтов;
- место установки устройства должно быть удобным для его обслуживания с соблюдением правил охраны труда;
- место установки датчиков и приборов не должно влиять на точность измерений и на технологический процесс, а в случае установки датчиков на ответвленных потоках параметры последних должны соответствовать параметрам основной рабочей среды;
- при использовании датчиков для автоматического контроля и регулирования реакция датчика на изменения регулируемого параметра должна с предельной точностью отражать истинное состояние объекта в наиболее характерной для данного процесса рабочей зоне, а также обеспечивать максимально допустимое транспортное запаздывание;
- метод крепления датчика должен по возможности обеспечить быстрый съем и замену без выключения технологического звена либо с кратковременным прекращением его работы;
- чувствительные элементы жидкостных термометров, манометрических термометров, термоэлектрических преобразователей и термопреобразователей сопротивления должны, как правило, располагаться в центре потока измеряемой среды;

- рабочие части поверхностных преобразователей должны плотно прилегать к контролируемой поверхности. Перед установкой этих приборов место соприкосновения их с трубопроводом должно быть очищено от окалины и зачищено до металлического блеска;
- капилляры манометрических термометров по всей длине прокладки должны быть теплоизолированы и защищены от механических повреждений;
- при излишней длине капилляр должен быть свернут в бухту диаметром не менее 300 мм, которая должны быть перевязана в трех местах неметаллическими перевязками и надежно закреплена у прибора;

Указанные общие требования конкретизируются для различных типов датчиков и приборов, их конструктивного исполнения, условий окружающей среды и особенностей технологического процесса.

5.2.2. МОНТАЖ ДАТЧИКОВ ПАРАМЕТРОВ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Датчики температуры наружного воздуха должны находится в таких же условиях по температуре, воздействию ветра и солнца, в которых находятся обслуживаемые помещения. При их монтаже необходимо соблюдать следующие требования (рис. 5.2.1):

- датчики наружного воздуха располагаются с самой холодной стороны здания;
- если окна зоны обслуживаемых помещений выходят на одну сторону, датчик может быть установлен на этой стороне, даже если эта сторона южная;
- корпус датчика должен исключать воздействие прямых солнечных лучей на сам датчик;
- нельзя устанавливать датчики в стенах, нишах, под балконами, над дверьми и окнами, вблизи тепловых магистралей и вытяжных воздуховодов, так как это может исказить результаты измерений из-за потоков теплого воздуха;
- датчик температуры должен располагаться примерно на уровне 2/3 высоты здания не выше четвертого этажа. В случае более высоких зданий датчик предпочтительно располагать между третьим и четвертым этажами;
- необходимо обеспечить герметичность места подвода электропроводки к датчику, так как попадание влаги внутрь датчика может вызвать искажение показаний и выход датчика из строя.

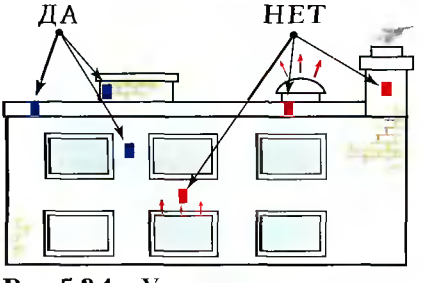


Рис. 5.2.1. Установка датчиков параметров наружного воздуха

IBIK

5.2.3. МОНТАЖ ДАТЧИКОВ В ВОЗДУХОВОДАХ

В воздуховодах вентиляционных каналов СКВ устанавливаются следующие датчики:

- перепада давления на фильтрах и вентиляторах (дифференциальные датчики давления);
- защиты от замораживания калорифера первого подогрева по приточному воздуху, чувствительный элемент которого располагается непосредственно на теплообменной поверхности калорифера;
- температуры и влажности воздуха в воздуховоде, которые устанавливаются непосредственно за секцией вентилятора на прямолинейном участке.

Схема расположения датчиков и приборов автоматики в приточном вентиляционном канале показана на рис. 5.2 2.

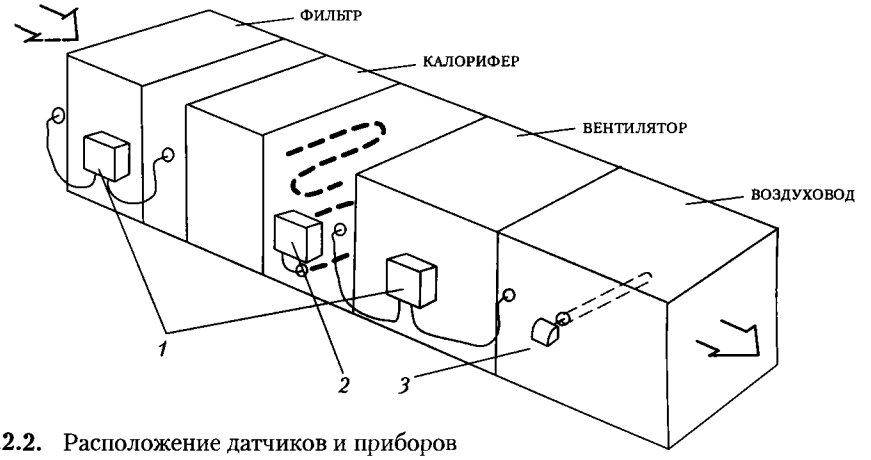


Рис. 5.2.2. Расположение датчиков и приборов автоматики в приточном вентиляционном канале:
1 – датчик перепада давления;
2 – термостат защиты от замораживания;
3 – датчик температуры или влажности

Монтаж датчиков и приборов может производиться после установки всех секций вентиляционного канала. Исключение составляют датчики и термостаты с капиллярными манометрическими трубками, которые для усреднения показаний по площади необходимо распределять зигзагообразно или спирально по всей площади поперечного сечения канала. В этом случае монтаж секции и чувствительного элемента прибора должны производится одновременно.

Вторичные преобразователи датчиков и термостатов могут быть закреплены либо на корпусе секций вентиляционного канала, либо на отдельно стоящих стойках или щитах.

Крепление чувствительных элементов датчиков или термостатов к стене секций или воздуховоду в большинстве случаев производит-

ся согласно инструкции по монтажу с помощью фланцевых соединений и/или уплотнителей.

На рис. 5.2.3 показаны типовые примеры крепления чувствительных элементов канальных датчиков, устанавливаемых в воздуховодах.

Монтаж выполняется в следующей последовательности.

1. В воздуховоде или секции вентиляционного канала для установки выбирается место, обеспечивающее работоспособность датчика.
2. В воздуховоде (*3*) сверлится отверстие, соответствующее диаметру чувствительного элемента и в которое вставляется уплотнитель (*7*) и чувствительный элемент (*4*).
3. Используя фланец (*2*) в качестве шаблона, делается разметка мест крепления.
4. Датчик крепится к воздуховоду посредством винтов-саморезов (*1*), предназначенных для крепления к листовому материалу.
5. Под один из винтов (*1*) может быть установлен кабельный зажим (*6*), предназначенный для крепления электрической проводки.

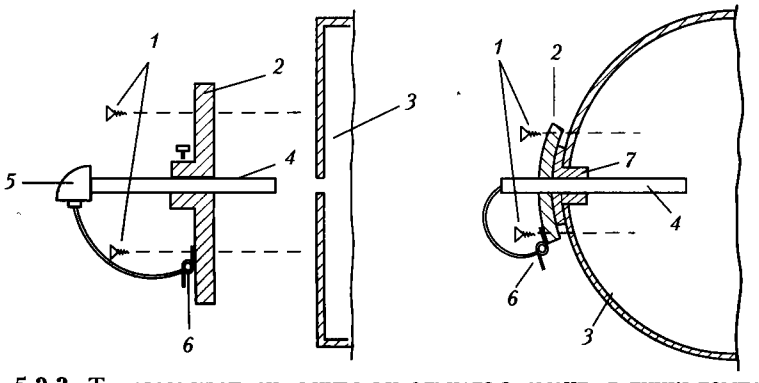


Рис. 5.2.3. Типовые крепления чувствительного элемента датчика температуры:
а – прямоугольный воздуховод; *б* – круглый воздуховод;
1 – саморезы; *2* – фланец; *3* – корпус воздуховода;
4 – чувствительный элемент; *5* – вторичный преобразователь;
6 – кабельный держатель; *7* – уплотнитель

5.2.4. МОНТАЖ ДАТЧИКОВ В ОБСЛУЖИВАЕМЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Температура в произвольной точке помещения может отличаться от средней температуры в рабочей зоне на несколько градусов. Поэтому место установки датчиков внутри помещений (комнатных датчиков) должно располагаться в рабочей зоне.

Обычно место установки комнатных датчиков определяется проектом. Однако в реальных условиях на месте монтажа может потребоваться корректировка по месту. При этом необходимо учитывать следующее (рис. 5.2.4):

IBIK

- запрещается устанавливать комнатные датчики на наружных стенах;
- запрещается монтировать комнатные датчики вблизи окон, дверей и радиаторов отопления;
- не следует устанавливать комнатные датчики в углублениях, на полках, за шкафами и экранами, вблизи работающего электрооборудования (компьютеры, осветительные приборы и т.п.);
- комнатные датчики должны располагаться на высоте приблизительно 1,5 м от пола и на расстоянии не менее 50 см от соседней стены;
- предпочтительно располагать комнатные датчики в районе вентиляционных вытяжных решеток, что повысит их быстродействие.

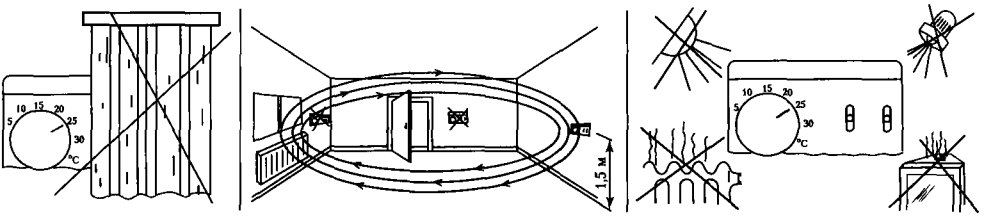


Рис. 5.2.4. Установка комнатных датчиков в обслуживаемом помещении

5.2.5. МОНТАЖ ДАТЧИКОВ В ТРУБОПРОВОДАХ

Типовыми элементами средств автоматики, устанавливаемыми в трубопроводах СКВ, являются датчики температуры воды и датчик-реле потока жидкости.

При их монтаже необходимо соблюдать следующие правила:

- датчики температуры обратной воды устанавливаются сразу после калорифера на прямом участке трубопровода на расстоянии не более 5D (D – диаметр трубопровода);
- на трубопроводах диаметром до 50 мм обычно устанавливаются датчики поверхностного типа (накладные), которые крепятся с помощью хомутов, входящих в комплект поставки (рис. 5.2.5, *а*). После крепления датчика не рекомендуется его перемещать, так как это может привести к повреждению термочувствительного элемента;
- погружные датчики должны быть установлены непосредственно в трубопровод или в гильзу (карман) с диаметром не более 0,13D. При этом чувствительный преобразователь датчика погружают на глубину от 0,3 до 0,7D (рис. 5.2.5, *г*);
- в трубопроводах диаметром 50–100 мм целесообразна наклонная установка датчика или установка в изгибе колена по оси трубопровода (рис. 5.2.5, *б*, *в*);

- гильзы погружных датчиков должны монтироваться в патрубках и располагаться таким образом, чтобы вода омывала их по всей длине; активная часть датчика должна располагаться в центральной части потока;
- перед установкой датчика рекомендуется заполнить гильзу теплопроводной пастой;
- часть трубопровода в месте монтажа следует изолировать, чтобы исключить дополнительные погрешности измерения; изоляцию выполняют так, чтобы обеспечить возможность демонтажа датчика или замены гильзы;
- датчики-реле потока жидкости могут устанавливаться в любом положении на произвольном расстоянии от колен, клапанов и фильтров;
- стрелка на корпусе датчика должна совпадать с направлением потока жидкости;
- при наличии загрязнений в контролируемой среде не рекомендуется устанавливать датчики-реле потока жидкости корпусом вниз.

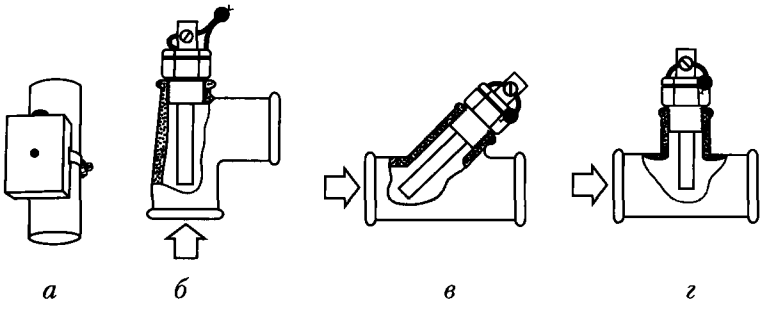


Рис. 5.2.5. Установка датчика температуры в трубопроводе:
а – поверхностный датчик; *б*, *в*, *г* – проходные датчики

5.2.6. МОНТАЖ РЕГУЛЯТОРОВ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

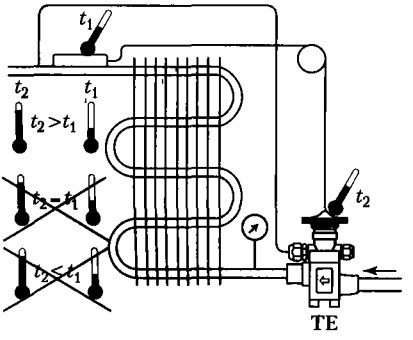


Рис. 5.2.6. Расположение элементов ТРВ

Типичным представителем регулятора прямого действия является терморегулирующий вентиль, при монтаже которого необходимо выполнять следующие требования.

1. Корпус ТРВ устанавливается в горизонтальном положении на жидкостной магистрали как можно ближе к испарителю (рис. 5.2.6). Термосифон ТРВ должен находиться сверху.

IBIK

2. Термобаллон должен быть установлен на трубопроводе всасывания так, чтобы его температура соответствовала температуре газа, выходящего из испарителя. Температура корпуса ТРВ должна быть выше температуры термобаллона.

3. Размещение термобаллона зависит от диаметра трубопровода всасывания (рис. 5.2.7): диаметр трубопровода

более 5/8" (15,88 мм) – на «12–13 часов»;

от 3/4" (18 мм) до 7/8" (22 мм) – на «14 часов»;

от 1" (25,4 мм) до13/8" (35 мм) – на «15 часов»;

более 13/8" (35 мм) – на «16 часов».

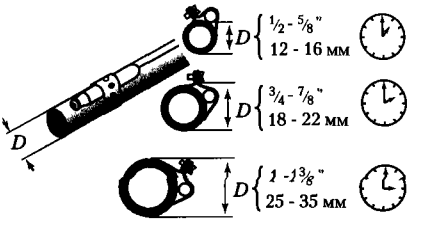


Рис. 5.2.7. Расположение термобаллона ТРВ на трубе

4. Нельзя устанавливать термобаллон внизу трубы или на маслоподъемной петле, так как находящееся там масло искажает реальную температуру газа.

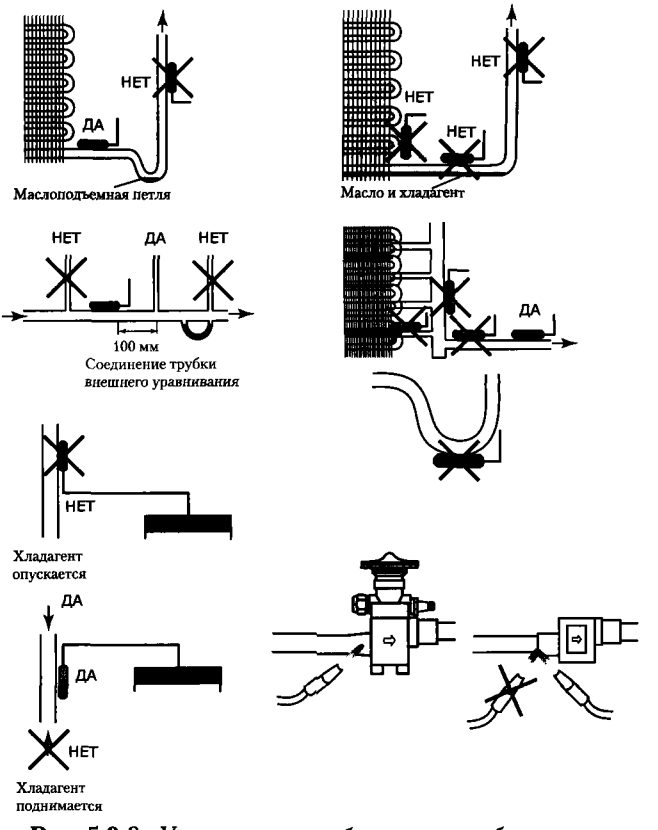


Рис. 5.2.8. Установка термобаллона и трубки уравнивания давления ТРВ

5. Укреплять термобаллон следует только с помощью специального хомута, прилагаемого в комплекте с ТРВ. Применение другого крепежного материала категорически запрещается из-за деформации температурного поля и возможности ослабления контакта термобаллона с трубопроводом. Крепежный хомут должен быть затянут настолько, чтобы термобаллон нельзя было провернуть рукой.

6. Термобаллон должен устанавливаться как можно ближе к выходу испарителя на горизонтальном участке (рис. 5.2.8). При установке термобаллона на вертикальном участке в момент запуска кондиционера жидкость, скопившаяся в нижней части трубопровода и в маслоподъемной петле, начинает испаряться, сильно охлаждая всасывающую магистраль. В результате могут возникнуть пульсации ТРВ.

Если нет возможности установить термобаллон на горизонтальной трубе, то, как исключение, термобаллон может быть установлен так, чтобы поток хладагента был направлен сверху вниз. Капиллярная трубка должна подходить к термобаллону сверху, а термобаллон должен быть направлен вниз.

7. Термобаллон нельзя располагать на месте пайки трубопровода.

8. Термобаллон должен быть тщательно теплоизолирован, чтобы наружный воздух не влиял на работу ТРВ.

9. Перед установкой термобаллона на трубопроводе места прилегания должны быть тщательно очищены. Желательно на место прилегания нанести теплопроводную пасту.

10. Уравнивающая труба ТРВ должна подходить к трубопроводу сверху и устанавливаться на расстоянии 100 мм от термобаллона.

11. Расстояние от уравнивающей трубки до маслоподъемной петли должно быть не менее 100 мм.

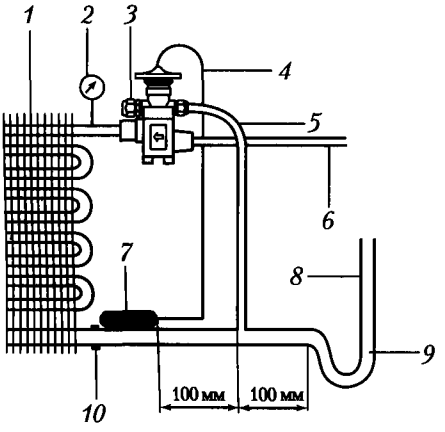


Рис. 5.2.9. Типовой монтаж ТРВ

1 – испаритель, *2* – манометр,
3 – регулировочный винт,
4 – капиллярная трубка термобаллона,
5 – уравнивающая трубка,
6 – жидкостная магистраль,
7 – термобаллон,
8 – газовая магистраль,
9 – маслоподъемная петля,
10 – место спая трубопровода

IBIK

12. Если хладагент подается в испаритель через распределитель жидкости, то длины всех трубок, соединяющих распределитель с соответствующими секциями испарителя, должны быть одинаковыми.

13. Пайку неразборного ТРВ следует производить, охлаждая корпус ТРВ смоченной ветошью. Разборный ТРВ можно паять только в разобранном виде, сняв верхнюю часть корпуса и дроссельный клапан.

5.3. МОНТАЖ ЭЛЕКТРОЩИТОВ И ПУЛЬТОВ УПРАВЛЕНИЯ

По назначению электрощиты и пульты управления могут быть:

- оперативные, с которых ведется управление и контроль технологического процесса;
- неоперативные, предназначенные только для установки аппаратов, приборов и устройств, не используемых непосредственно для управления и наблюдения за технологическим процессом;
- комбинированные, которые могут выполнять как оперативные, так и неоперативные функции.

По конструктивному исполнению электрощиты могут быть:

- наружной или внутренней установки;
- напольные и навесные;
- металлические и пластмассовые;
- шкафные одно-, двух- и многосекционные;
- с передней, задней и двухсторонними дверьми.

Для современных систем вентиляции и кондиционирования, учитывая применение микроконтроллеров, вся аппаратура управления может быть размещена в навесных односторонних малогабаритных шкафах, а неоперативная аппаратура – в пластмассовых модульных щитках.

Для монтажа щитов и пультов управления необходимо иметь монтажную схему, эскизный чертеж общего вида с перечнем всех элементов, включая монтажные аксессуары.

При компоновке средств автоматизации на щитах и пультах необходимо учитывать:

- назначение и количество приборов и устройств;
- удобство монтажа и эксплуатации;
- эстетические аспекты внешнего вида;
- безопасность обслуживания.

IBIK

Практически все современные аппараты и устройства предназначены для установки на DIN-рейку (рис. 5.3.1), которая крепиться на заднюю стенку шкафа, специальную монтажную панель или за стойки на боковых стенках шкафа. Такое крепление достаточно надежное и позволяет быстро и легко произвести установку или демонтаж аппарата.

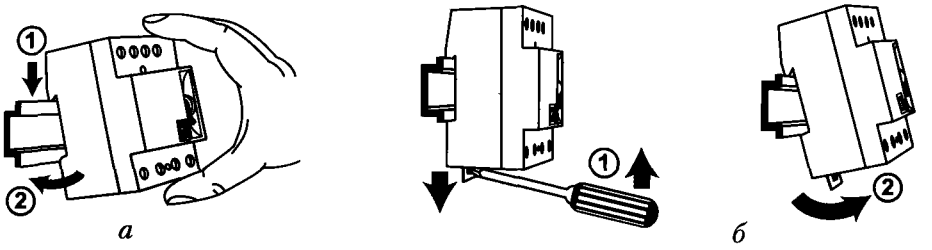


Рис. 5.3.1. DIN-рейка и установка на ней электрического аппарата: *а* – монтаж; *б* – демонтаж

Конфигурация и размеры DIN-реек приведены в стандарте IEC 60947-7-2.

Обычно в шкафу на DIN-рейки устанавливают также соединительные клеммы, объединенные по типоразмерам в зависимости от сечения подключаемых проводов. Они предназначены как для подключения внешних проводов, так и для соединения аппаратов, расположенных на разных панелях шкафа (например, на двери).

Номенклатура выпускаемых клеммных соединений очень обширна как по конструктивному исполнению (винтовые, пружинные, для быстрого монтажа, одно- и многоярусные и т. д.), так и по электрическим параметрам (зажимное сечение от 0,14 до 240 мм2, ток до 400 А и напряжение до 1000 В).

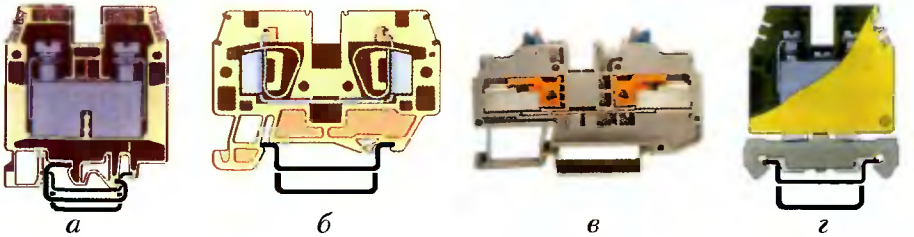
На рис. 5.3.2 приведены наиболее распространенные клеммы, крепящиеся на любую конфигурацию DIN-рейки: винтовые (*а*), пружинные (*б*), для быстрого монтажа (*в*) и винтовые для заземления, окрашенные в желто-зеленый цвет (*г*), которые используются для подключения защитных нулевых проводников PE.

Если в проекте не предусмотрены отдельные пульты управления, то на фронтальных панелях или передних дверях шкафов управления компонуются:

- измерительные и регулирующие приборы;
- светосигнальная аппаратура;
- аппаратура оперативного назначения (кнопки, переключатели и т. п.);
- мнемосхемы.

Перечисленные аппараты компонуются функциональными группами обычно в порядке хода технологического процесса.

IBIK



а *б* *в* *г*

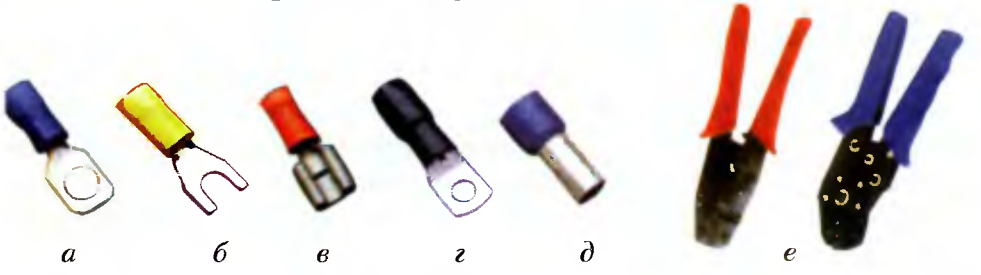
Рис. 5.3.2. Типы клеммных соединений:
а – винтовые; б - пружинные;
в – для быстрого соединения;
г – винтовые для заземления

Для шкафов управления напольного исполнения рекомендуемая высота установки управляющей аппаратуры составляет (в мм от пола до нижнего края прибора):

- показывающие приборы и сигнальная аппаратура: 950–1800;
- самопишущие и регистрирующие приборы: 110–1700;
- оперативная аппаратура управления: 800–1600;
- мнемосхемы: 1000–1900.

Предпочтение отдается нижней границе. Этих же значений необходимо придерживаться при монтаже навесных шкафов управления непосредственно на объекте.

Соединения аппаратов и приборов между собой производится в соответствии со схемой соединений. Согласно СНиП 3.05.07-85 присоединение однопроволочных медных жил проводов и кабелей сечением 0,5 и 0,75 мм² и многопроволочных медных жил сечением 0,35, 0,5 и 0,75 мм² к приборам и аппаратам, сборкам зажимов должно, как правило, выполняться пайкой, если конструкция их выводов позволяет это осуществить. Если медные жилы указанных сечений крепятся к аппаратам, имеющим выводы для подсоединения под винт или болт, то жилы этих проводов и кабелей должны оконцовываться наконечником. На рис. 5.3.3 показаны различные виды кабельных наконечников, выбираемые в зависимости от конструкции вывода подсоединяемого аппарата, и инструмент для обжимки наконечников.



а *б* *в* *г* *д* *е*

Рис. 5.3.3. Конструкции кабельных наконечников и инструмент для их обжимки:
а – кольцевые; б - вилочные: *в* – для быстрого соединения;
г – силовые; д - трубчатые; *е* – инструмент для обжимки

Однопроволочные медные жилы проводов и кабелей сечением 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 мм² могут присоединяться непосредственно под винт или болт, а многожильные провода таких же или больших сечений – с помощью наконечников.

Каждый конец провода или жилы кабеля на месте присоединения к аппарату или устройству должен быть пронумерован номером электрической цепи в соответствии с монтажной схемой. Самым простым методом маркировки является нанесение номера маркером (специальным фломастером) на отрезок ПВХ-трубки, которая надевается на конец провода перед его присоединением к аппарату. Более прогрессивным методом является использование держателя, который защелкивается на подключенном проводе и в который вставляется шильдик с нанесенным обозначением электрической цепи (рис. 5.3.4, *а*). На этом же рисунке (рис. 5.3.4, *б*) показаны маркировочные кольца, позволяющие произвести стандартную или индивидуальную маркировку клемм в ряду.

Рис. 5.3.4. Современные способы маркировки электрических цепей при монтаже: *а* – с помощью защелкиваемого держателя; *б* – с помощью маркировочных колец

Раньше соединительные провода группировались в жгуты с помощью суровых ниток и других ленточных изоляционных материалов. Такая технология была очень трудоемкой, неэстетичной и вызывала неудобства при наладке и ремонте (чтобы заменить провод, необходимо было разделать весь жгут). Перечисленные недостатки полностью исключаются при использовании перфорированных коробов (рис. 5.3.5, *а*), устанавливаемых по периметру монтажной плоскости и между рядами приборов. В этом случае монтаж производится без выкладки проводов, а после его завершения короба закрываются крышками, что делает вид внутри шкафа более эстетичным. Для объединения проводов межпанельного гибкого соединения (например, между внутренней панелью шкафа и аппаратурой на двери) используется спиральная трубка (рис. 5.3.5, *б*).

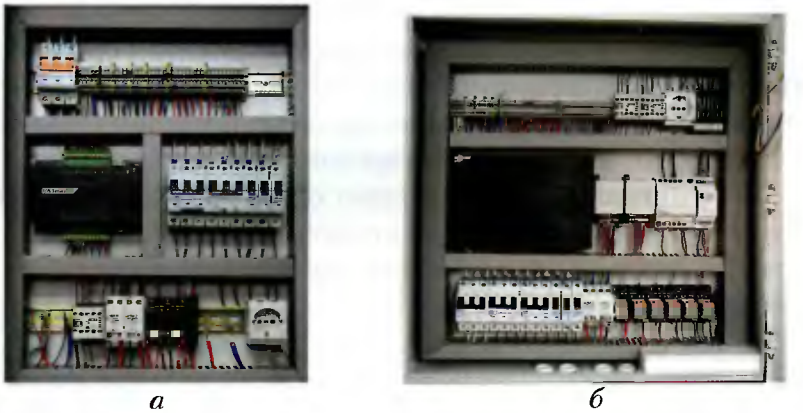
IBIK

а *б* *в* *г*

Рис. 5.3.5. Монтажные аксессуары, используемые при монтаже шкафов и пультов:
а – перфорированный короб; *б* – спиральная трубка; *в* – уплотнитель; *г* – кабельный наконечник

В зависимости от места установки и соответствующей ему степени защиты (IP) шкафы должны быть укомплектованы вводными устройствами соответствующих типов. Так, для обычных помещений достаточна установка на выводной стороне шкафа резинового уплотнителя (рис. 5.3.5, *в*), в котором вырезается отверстие под подводимую трубу с минусовым допуском. Для более тяжелых условий работы применяются специальные кабельные наконечники (рис. 5.3.5, *г*). Этим же условиям должна соответствовать и вся конструкция шкафа по степени защиты IP.

На рис. 5.3.6 показаны общие виды щитов управления системой вентиляции и кондиционирования воздуха (со снятыми дверьми).



а *б*

Рис. 5.3.6. Общий вид щитов управления системой вентиляции и кондиционирования воздуха

Щиты и пульты устанавливаются на объекте после окончания всех строительных и основных отделочных работ, сооружения кабельных каналов, проемов для ввода кабелей и труб, фундаментов и закладных металлоконструкций.

Условия установки щитов и пультов определяются проектами, однако существует ряд общих требований, которые предусмотрены в СНиП 3.05.07-85:

- полногабаритные шкафные и панельные щиты устанавливаются только на опорных стальных рамах или на бетонном (кирпичном) основании;

- малогабаритные шкафные щиты и модульные щитки монтируются обычно на колоннах, стенах, в проемах и других строительных конструкциях (навесной монтаж) или на полу настойках; крепление осуществляется при помощи болтов, отверстия под которые расположены на задней стенке шкафа;
- пространственное положение щитов и шкафов должно быть строго вертикальным и горизонтальным;
- при наличии вибраций в месте установки щитов и пультов должны применяться специальные амортизирующие устройства;
- полы в помещении, где расположены щиты и пульты не должны быть электропроводными;
- вводы электрических проводок в щиты и пульты осуществляются, как правило, снизу через резиновые уплотнения;
- корпусы металлических щитов и пультов подлежат обязательному заземлению.

5.4. МОНТАЖ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Регулирующие органы (РО) и исполнительные механизмы (ИМ) необходимо монтировать в строгом соответствии с проектом и рабочими чертежами, правилами монтажа электроустановок с соблюдением следующих требований.

1. При монтаже РО и ИМ следует обеспечить удобство эксплуатации и ремонта, возможность их отключения, равномерность и установившийся режим потока регулируемой среды в месте установки РО, соблюдение правил охраны труда.

2. Обеспечение максимальной приближенности к регулируемому объекту, так как значительное удаление РО от объекта вызывает повышение запаздывания в передаче регулирующего воздействия.

3. Указатели положения РО должны быть проверены на соответствие фактическим положениям ИМ и РО.

Основными типами РО в системах кондиционирования и вентиляции являются воздушные заслонки, регулирующие клапаны и вентиляторы, а исполнительными механизмами – большей частью сервоприводы.

При их монтаже необходимо учитывать следующее:

1. Регулирующие клапаны лучше устанавливать вертикально или горизонтально. Не рекомендуется установка клапана штоком вниз (рис. 5.4.1).

IBIK

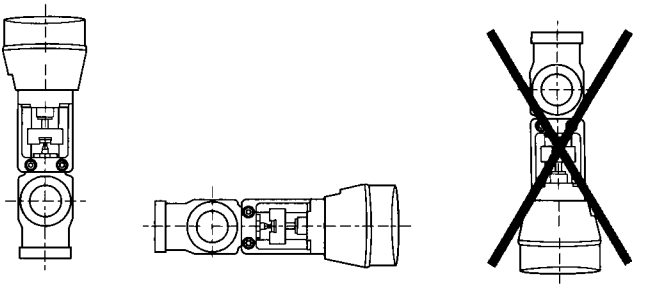


Рис. 5.4.1. Установка регулирующего клапана

2. Монтаж клапанов необходимо выполнять таким образом, чтобы направление потока совпадало с направлением заводской стрелки (рис. 5.4.2).

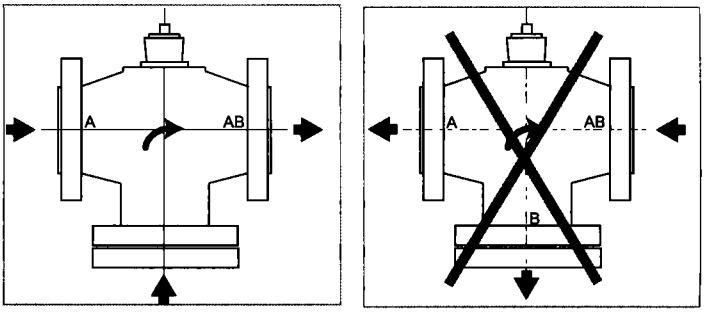


Рис. 5.4.2. Соблюдение направления потока при монтаже регулирующих клапанов

3. Сочленение штока клапана и вала воздушной заслонки с сервоприводами осуществляется с помощью штатных хомутов. На рис. 5.4.3 показана последовательность сочленения вала воздушной заслонки с сервоприводом.

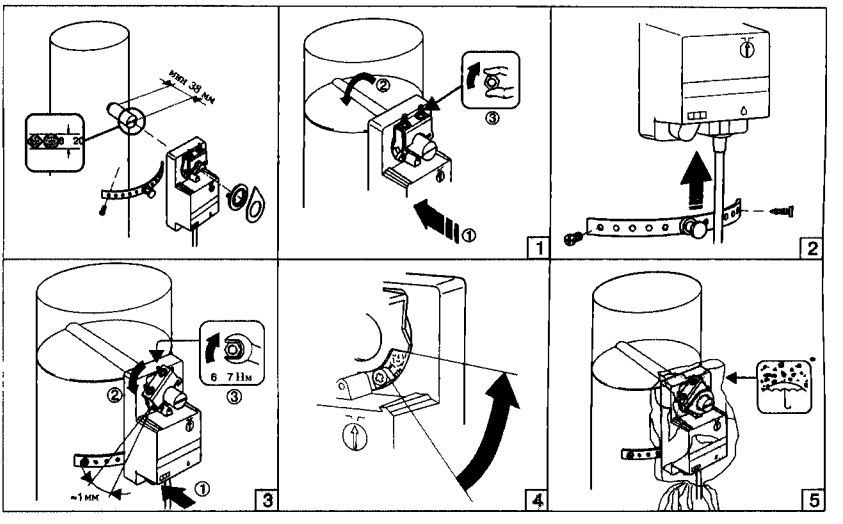


Рис. 5.4.3. Установка сервопривода на валу воздушной заслонки

4. Вентиляторы обычно поставляются в сборе с электродвигателем, однако при монтаже двигатель необходимо располагать таким образом, чтобы был обеспечен доступ к его клеммной коробке.

5.5. МОНТАЖ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДОК

5.5.1. СПОСОБЫ МОНТАЖА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОВОДОК

Электрической проводкой (электропроводкой) называется совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, поддерживающими и защитными конструкциями, обеспечивающими электрическую связь между приборами, аппаратурой управления и другими средствами автоматики.

В соответствии с ПУЭ различают:

- открытые электропроводки, проложенные по поверхности стен, потолков, по формам и другим строительным элементам;
- скрытые электропроводки, проложенные в конструктивных элементах зданий (в стенах, полах, фундаментах, перекрытиях);
- наружные электропроводки, проложенные по поверхности стен зданий, между ними, под навесами, непосредственно по технологическому оборудованию.

Возможны также комбинированные способы монтажа электропроводок.

Открытая проводка проста и удобна тем, что любой ее участок всегда доступен для ремонта и подключения новых токоприемников. Монтаж производится быстро, так как не связан с долблением стен и перегородок. Основной недостаток такого монтажа электропроводок – малая эстетичность, особенно для жилых, офисных и других общественных помещений. Однако современный ассортимент монтажных аксессуаров позволяет исключить этот недостаток и, как правило, электропроводки систем автоматизации выполняются открытым способом.

Скрытые проводки наиболее надежны и безопасны в эксплуатации, так как расположены в толще несгораемого материала (отсутствие механических воздействий и затрудненный доступ воздуха). Основной недостаток – невозможность без вскрытия стен подключать новые токоприемники.

Электропроводки систем автоматизации выполняются кабелями и изолированными проводами следующим образом.

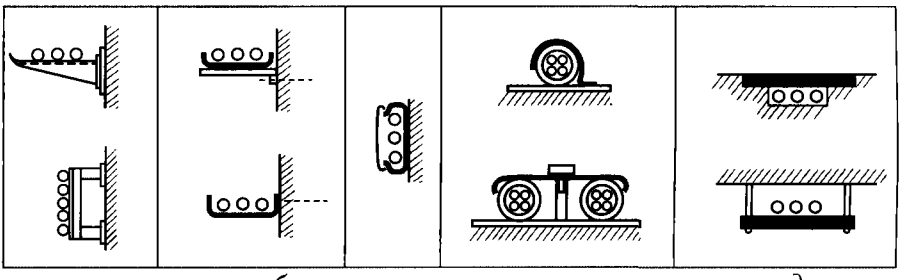
1. Электропроводки открытым способом внутри помещений (рис. 5.5.1) производятся: на кабельных конструкциях (кронштейнах, стойках, полках) (*а*), на лотках (*б*), в закрывающихся коробах (*в*),

IBIK

в пластмассовых и стальных защитных трубах (*г*), в кабельных каналах (*д*); в технических каналах, например, между перекрытием и подвесным потолком (*е*).

2. Наружные электропроводки выполняются таким же способом (кроме п. е) с применением навесов, а также кабелем по эстакадам, туннелям, в коллекторах, земле (траншеях).

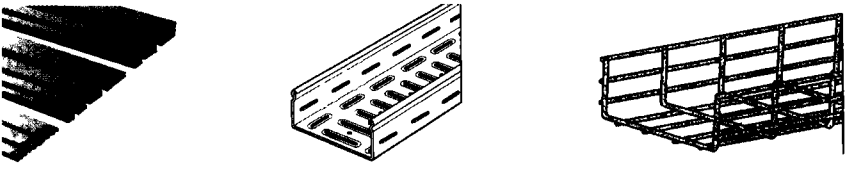
3. Скрытая проводка выполняется под штукатуркой, как правило, в пластмассовых трубах.



а *б* *в* *г* *д*

Рис. 5.5.1. Открытые способы прокладки электропроводки:
а – на кабельных конструкциях; *б* – на лотках; *в* – в закрывающихся коробах; *г* - в защитных трубах; *д* – в технических каналах

Для **электропроводок в коробах или лотках** используются как металлические, так и пластмассовые короба и лотки различных видов и сечения (рис. 5.5.2).



а *б* *в*

Рис. 5.5.2. Короба и лотки для монтажа электропроводок:
а – типоразмеры коробов; *б* – перфорированный лоток;
в – проволочный лоток

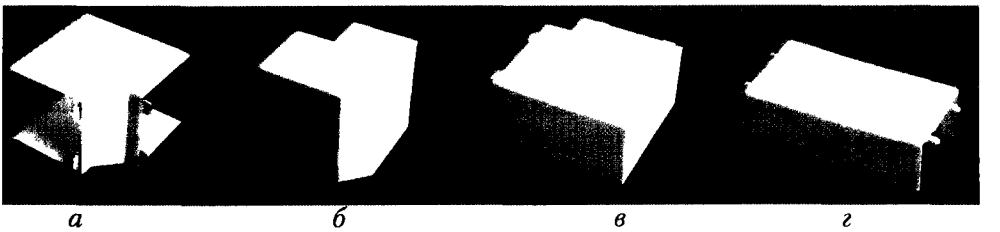
Короба являются механической защитой проводов и кабелей и придают открытой проводке эстетичный вид. Провода и кабели должны занимать не более 60 % живого сечения короба, которое определяется по соотношению:

$$S \geq \frac{nd^2}{K}, \text{ мм}^2, \qquad (5.5.1)$$

где S – площадь сечения провода;
n – число проводников;
d – диаметр проводника, мм;
K = 0,3...0,6 – коэффициент заполнения.

Аналогичным способом рассчитывается сечение кабельного канала, который может быть выполнен в виде забетонированной траншеи или полого плинтуса с внутренними перегородками.

Короба могут крепиться как с помощью саморезов, так и на клей; прямые и угловые сочленения осуществляются с помощью специальной фурнитуры (рис. 5.5.3).



а *б* *в* *г*

Рис. 5.5.3. Фурнитура, используемая для сочленения коробов:
а – угол внутренний; *б* – угол внешний; *в* – угол плоский; *г* – соединитель

Лотки применяются для укладки кабелей при открытой проводке или проводов, связанных в пучки. Лотки обычно крепятся на закладных конструкциях или на специальных кронштейнах. Кабеля и пучки укладываются в один слой. При этом ширина лотка (H) выбирается, исходя из условия:

$$H \geq n \cdot (d+5)+5, \text{ мм}, \qquad (5.5.2)$$

где n – число кабелей;

d – диаметр кабеля, мм.

Электропроводки в защитных трубах применяются для прокладки проводов и небронированных кабелей в тех случаях, когда нецелесообразно или не рекомендованы другие способы прокладки (в коробах, на лотках, открытые кабельные проводки). Используются трубы стальные водогазопроводные с $D_у$ = 15–50 мм (ГОСТ 3262-75) и электросварные с $D_у$ = 20–50 мм (ГОСТ 107104-76). Предпочтение отдается пластмассовым трубам, так как в этом случае не требуется защитное заземление.

Скрытая проводка выполняется под штукатуркой в пластмассовых гофротрубах. При этом в стенке делается канавка-штроб. В нее укладывается пластмассовая гофротруба, которая «примораживается» алебастровым раствором или прикрепляется хомутиками из пластмассы. Пластмассовые гофротрубы для электромонтажа могут поставляться с вложенным стальным тросом (протяжкой). При прокладке кабеля или проводов в такой гофротрубе необходимо соединить концы троса-протяжки и кабеля и протянуть трос с противоположного конца трубы. Трудоемкость протяжки кабеля уменьшается в 2–3 раза.

IBIK

Пластмассовые гофротрубы могут применяться также для защиты наружной проводки от солнечной радиации вместо оцинкованного металлорукава, который из-за атмосферных осадков покрывается ржавчиной через 1–2 года.

Не допускается прокладка электропроводок в защитных трубах в земле (в траншеях).

В зависимости от числа изгибов и длины трассы проводников прокладка в трубах делится на три категории сложности (табл. 5.5.1), для каждой из которых, применяется определенный внутренний диаметр защитной трубы (табл. 5.5.2).

Таблица 5.5.1. Допустимая длина протяжки проводников в защитных трубах, м

Категория / Длина, м	I	II	III
без изгиба	75	60	50
один	50	40	30
два	40	30	20
три	20	15	10

Таблица 5.5.2. Расчетные формулы диаметров защитных труб

Категория / Число проводников	Диаметр защитных труб		
	I	II	III
один	$D>=1{,}65d$	$D>=1{,}4d$	$D>=1{,}25d$
два	$D>=2{,}7d$	$D>=2{,}5d$	$D>=2{,}4d$
более двух	$D^2>=nd^2/0{,}32$	$D^2>=nd^2/0{,}4$	$D^2>=nd^2/0{,}45$

Примечание. В табл. 5.5.2 D – минимальный внутренний диаметр защитной трубы, мм; d – диаметр проводников, мм; n – число проводников.

Выбор способа монтажа электропроводок зависит от многих факторов: условий окружающей среды, назначения помещения, расположения оборудования, удобства обслуживания, экологических факторов и др. Однако, независимо от способа прокладки, электропроводки не должны создавать опасность для жизни людей и угрозу возгорания или взрыва.

5.5.2. ВЫБОР ТИПА И СЕЧЕНИЙ ПРОВОДОВ

Выбор проводов и кабелей для измерительных цепей приборов и средств автоматизации, их присоединение и прокладка должны производиться в соответствии с требованиями заводов-изготовителей и обычно определяются допустимыми длительными токовыми нагрузками и номинальными напряжениями.

Что касается силовых цепей и цепей питания, то их выбор должен осуществляться по четырем показателям:

- механическая прочность;
- номинальное напряжение;
- допустимый нагрев;
- допустимое падение напряжения.

По условиям механической прочности сечения проводов должны быть не менее 1,0 мм² для меди.

При номинальном напряжении 220/380 В провода и кабели должны быть выбраны на номинальное напряжение не менее 600 В и номинальную частоту 100 Гц*.

При длине линий (менее 15 м) выбор сечения по допустимому нагреву является определяющим. В этом случае нагрев изолированных проводов не должен быть выше определенного предела, так как изоляция при сильном нагреве может обуглиться и даже загореться. Для нормальной длительной работы проводов и кабелей установлена предельно допустимая температура нагрева (60–80°) в зависимости от типа изоляции, условий монтажа и температуры окружающей среды. Зная эти условия и номинальный ток цепи, по таблицам, приведенным в ПУЭ, легко определить сечение провода или кабеля.

Для электрических сетей, питающих устройства с электродвигателями переменного тока прямого пуска, а также протяженных сетей освещения, важным является проверка сечения проводов по допустимому падению напряжения на линии.

Момент электродвигателя переменного тока определяется по формуле:

$$M_{дв} = kU^2, \qquad (5.5.3)$$

где U – напряжение питания электродвигателя, Вт;

k – константа, зависящая от типа электродвигателя и частоты питающего напряжения.

При падении напряжения на 10 % при пуске электродвигателя момент электродвигателя уменьшается на 19 %, и компрессор кондиционера может не запуститься.

Принято, что для кондиционеров с прямым пуском компрессора допустимое падение напряжения ΔU в момент пуска не должно превышать 2 % от номинального.

Учитывая, что пусковой ток электродвигателей переменного тока в 5–7 раз превышает их номинальный ток, выбор сечения проводов по допустимой потере напряжения в линии для приведенного случая является обязательным.

Ток, проходящий по проводам, в соответствии с законом Ома приводит к падению напряжения:

$$\Delta U = I_п \cdot R_л, \qquad (5.5.4)$$

где $I_п$ – пусковой ток кондиционера;

$R_л$ – сопротивление проводов линии.

* Для цепей управления используют кабели с номинальным напряжением переменного тока 250 В и частотой 1 000 Гц

IBIK

Величина ΔU называется потерей напряжения в проводах линии. Вследствие потери напряжения в линии напряжение на зажимах кондиционера $U_к$ будет меньше напряжения сети $U_с$ в начале линии на величину ΔU, то есть

$$U_к = U_с - \Delta U. \quad (5.5.5)$$

Электрическое сопротивление проводов линии можно определить по формуле:

$$R_л = \frac{2L \cdot \rho}{S}, \quad (5.5.6)$$

где $2L$ – длина провода (L – длина трассы) для двухпроводной проводки;

S – сечение проводов, мм²;

ρ – удельное сопротивление материала, физическая величина, Ом·мм²/м. Для меди при температуре 20°С ρ = 0,0175 Ом·мм²/м.

В свою очередь:

$$R_л = \frac{\Delta U_{доп}}{I_п}, \quad (5.5.7)$$

где $\Delta U_{доп}$ – допустимое падение напряжения, В;

$I_п$ – пусковой ток, А.

В результате сечение проводов в мм², выбираемое из условий допустимого падения напряжения, определяется по формуле:

$$S = \frac{2L \cdot I_п \cdot \rho}{\Delta U_{доп}}. \quad (5.5.8)$$

После выполнения этих расчетов выбирают стандартное сечение жилы проводника, равное максимальному из расчетных значений (или ближайшее большее). Для подключения кондиционеров выбрать сечение провода можно также по графикам (приложение 10).

После выбора сечений жил выбирают марку провода или кабеля с учетом необходимости резервных проводов и жил кабеля. Если прокладка проводов производится в трубах или коробах, то рекомендуется предусматривать резерв в размере 10 % от количества рабочих проводов, но не менее одного провода.

Количество резервных жил кабелей определяется по типу и числу рабочих жил кабеля (табл. 5.5.3).

Таблица 5.5.3. Выбор количества резервных жил кабеля

Вид кабеля	**Кабель с медными жилами**				**Кабель с алюминиевыми жилами**		
Количество рабочих жил	2–7	8–26	27–59	60–105	4–10	14–37	38–52
Количество резервных жил	0	1	2	3	1	2	3

Анализ приведенной таблицы еще раз подтверждает большую надежность применения медных жил. И хотя провода и кабели изготавливаются как с медными, так и с алюминиевыми жилами, в системах автоматизации предпочтение отдается медным.

Жилы проводов и кабелей могут быть однопроволочными и многопроволочными. Многопроволочные провода и жилы используются в электропроводках, если во время эксплуатации возможны изгибы.

В системах автоматики наиболее широко используют установочные провода, силовые кабели, контрольные кабели, кабели управления и термоэлектрические провода. Последние используются исключительно для удлинения электродов термопар и далее не рассматриваются.

Ниже приведены основные марки проводов и кабелей, применяемых в проектах автоматизации, а их технические характеристики даны в приложении 13. Буквы и цифры в марках проводов и кабелей содержат информацию об их потребительских свойствах и условиях использования. Поэтому при расшифровке марки провода или кабеля в скобках приведены буквы, соответствующие тем или иным их свойствам.

Провода установочные и монтажные (рис. 5.5.4) применяются в цепях с переменным напряжением до 450 В и частотой до 400 Гц или при постоянном напряжении до 1 000 В.

Широко применяемые марки проводов:

ПВ1 – провод (П) с медной жилой, с поливинилхлоридной изоляцией (В). Пример полной записи: ПВ1×1,5.

ПВЗ – повышенной гибкости. Изготавливается одножильным или двухжильным. Примеры полной записи: ПВЗ 1×2,5; ПВЗ 2×2,5.

ППВ – провод с медными жилами, с поливинилхлоридной изоляцией, плоский (вторая П), с разделительным основанием. Выпускается двухжильным и трехжильным сечением от 0,75 до 4 мм2. Примеры: ППВ 1×1,5; ППВ 2×1,5; ППВ 3×1,5.

МГШВ – монтажный (М), гибкий (Г), с шелковой изоляцией (Ш). Пример полной записи: МГШВ×0,75.

Установочные провода выпускаются также и с алюминиевыми жилами. Эти провода изготавливаются одно- двух- и трехжильными. Примеры обозначений: АПВ 1×2,5; АПВ 3×2,5; АППВ 2×2,5.

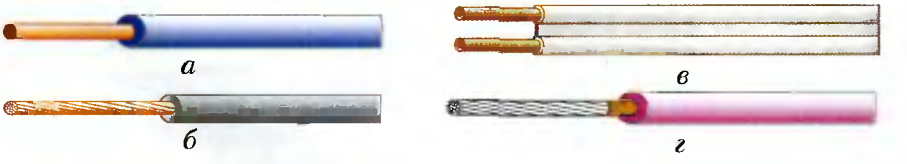


Рис. 5.5.4. Установочные провода:
а – ПВ1; *б* – ПВЗ; *в* – ППВ; *г* – МГШВ

IBIK

Контрольные кабели (рис. 5.5.5) имеют наиболее широкую номенклатуру, которая может удовлетворить любые требования к электропроводкам общепромышленных систем автоматизации.

а *б*

Рис. 5.5.5. Кабели:
а – силовой (ВВГ); *б* – контрольный (КВ/ВГ)

Они предназначены для неподвижного присоединения к электрическим приборам, аппаратам, сборкам зажимов распределительных устройств с $U_{ном}$ = 600 В частотой 100 Гц или постоянным напряжением до 1 000 В. Наиболее распространены следующие марки:

КВВП – изоляция и оболочка из поливинилхлоридного пластиката, плоский (П).

КВВГЭ – изоляция и оболочка из поливинилхлоридного пластиката, общий экран (Э) из алюминиевой или медной фольги.

КРВГ – кабель контрольный (К), изоляция из резины (Р), оболочка из поливинилхлоридного (В) пластиката, голый (Г – без наружного покрова).

КРВБ – изоляция из резины, оболочка из поливинилхлоридного пластиката, броня из двух стальных лент (Б), наружный покров.

Полная маркировка содержит также количество жил и сечение одной жилы. Например, КВВГ 4×2,5; КРВГ 37×1,5; КВВГ 61×0,75, где 4; 37; 61 – количество жил, а 2,5; 1,5; 0,75 – сечения жил, мм^2.

В проектах автоматизации распространены следующие ***кабели управления***:

КУПВ – кабель управления (КУ) с полиэтиленовой (П) изоляцией в поливинилхлоридной (В) оболочке.

Кабели управления выпускаются только с медными жилами. Пример полной маркировки кабелей управления: КУПВ 4×0,35; КУПВ 108×0,5.

Для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках на номинальное напряжение до 1 кВ частотой 50 Гц наиболее часто применяются ***силовые кабели*** (рис. 5.5.5, *а*) марки ВВГ (кабель силовой с поливинилхлоридной изоляцией и оболочкой (ВВ)).

Кабели, используемые для подключения цепей питания и заземления, обычно имеют цветовую кодировку (табл. 5.5.4).

Таблица 5.5.4. Цветовая кодировка жил в кабелях

Количество жил	Кабель с зелено-желтым проводом заземления	Кабель без зелено-желтого провода заземления
2	–	Коричневый – фаза Синий – ноль
3	зелено-желтый – заземление коричневый – фаза синий – ноль	черный – заземление\плюс* коричневый – фаза синий – ноль\минус*
4	зелено-желтый – заземление синий – фаза (R)* черный – фаза (S)** коричневый – фаза (T)**	черный – фаза коричневый – фаза черный – фаза синий – ноль
5	зелено-желтый – заземление черный – фаза коричневый – фаза черный – фаза синий – ноль	–
6 и более	зелено-желтый – заземление остальные – не нормируются	–

* Для цепей постоянного тока
** Международное обозначение фаз.

5.5.3. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДОК

Электрическая проводка должна выполнятся в строгом соответствии с ПУЭ, разделы 3.101-3.105 СНиП 3.05.07.85 и отвечать требованиям СНиП 3.05.06.85. Изложим основные положения, которые необходимо учитывать при выполнении монтажа электропроводок.

1. Открытые электропроводки прокладываются параллельно и перпендикулярно основным плоскостям зданий.

2. Скрытые электропроводки прокладываются по кратчайшим расстояниям, если этому не препятствуют строительные особенности помещения.

3. При скрытой прокладке проводов до их окончательной заделки мокрой или сухой гипсовой штукатуркой проводку проверяют на отсутствие обрыва токоведущих жил провода и короткого замыкания в сети.

4. Для устройства электропроводки во влажных, сырых помещениях и для наружных проводок применяют электроустановочные устройства защищенного исполнения с уплотнительными крышками и сальниковыми уплотнителями. Это вызвано тем, что провода и кабели могут повредиться в трубах от воздействия воды и агрессивных жидкостей, действующих на изоляцию. Вода, попавшая в трубы с проводами и кабелями с резиновой изоляцией, ухудшает состояние

IBIK

изоляции, что может привести к замыканию между проводами, жилами кабелей или их замыканию на металл трубы. При замерзании воды в трубах лед может разорвать провода и кабели. Для предотвращения попадания воды все отверстия в трубах или соединительных муфтах следует заделывать водонепроницаемой мастикой или кабельными зажимами.

5. На резиновую изоляцию влияют нефтепродукты, например, дизельное топливо, смазочные масла, приводящие к разбуханию резиновой изоляции и утрате ею всех защитных свойств. Поэтому при возможности воздействия этих продуктов лучше применять кабели или провода с пластмассовой изоляцией.

6. Запрещается скрытая и открытая прокладки проводов и кабелей по нагреваемым поверхностям (печи, камины, дымоходы и т. д.), так как из-за высыхания изоляции провода и кабели приходят в негодность.

7. Радиус изгиба незащищенных изолированных проводов должен быть не менее трехкратной величины наружного диаметра провода, защищенных и плоских проводов – не менее шестикратной величины наружного диаметра или ширины плоского провода. Кабели с пластмассовой изоляцией в поливинилхлоридной оболочке прокладываются с радиусом изгиба не менее шестикратной, а кабели резиновой изоляцией – не менее десятикратной величины наружного диаметра кабеля.

8. Монтаж всех видов проводок допускается при температуре не ниже 15 °С. При низких температурах некоторые изоляционные материалы становятся хрупкими; при их сгибании в изоляции образуются трещины, которые в процессе эксплуатации могут быть причиной повреждения проводов и кабелей.

9. Соединения и ответвления проводов и кабелей выполняют в распределительных и ответвительных коробках (рис. 5.5.6). Они должны соответствовать способам прокладки и условиям окружающей среды по ГОСТ 14254-96.

Рис. 5.5.6. Соединительные и ответвительные коробки:
а – Т-образная;
б – для скрытой проводки

10. Соединения и ответвления проводов и кабелей в основном выполняют на винтовых клеммных зажимах или опрессовкой. Большей частью используют наборы клеммных зажимов колонкового типа (рис. 5.5.7), хотя иногда применяют и клеммы на DIN-рейках, устанавливаемые в соединительных коробках. Технология таких соединений описана в 5.4.2.

Рис. 5.5.7. Набор клеммных зажимов колонкового типа

IBIK

11. В случае необходимости наращивания проводов или соединения без использования клемм можно использовать медные гильзы. Их габаритные размеры приведены в табл. 5.5.5.

Рис. 5.5.8. Термоусаживаемая трубка:
D – наружный диаметр;
d – диаметр после усадки;
S – толщина стенки после усадки

В гильзы вставляются с двух сторон токопроводные жилы и производится их обжимка с помощью обжимного инструмента. Гильзы изолируются изолентой ПВХ с последующей герметизацией места соединения термоусаживаемой трубкой. Термоусаживаемые трубки применяются в различных отраслях промышленности и используются для различных электротехнических соединений, а также для ремонта поврежденной изоляции кабелей и проводов. Диаметр этих трубок при нагреве газовой горелкой или струей горячего воздуха с температурой свыше 120 °С уменьшается в 2 раза (рис. 5.5.8).

Таблица 5.5.5. Габаритные размеры медных гильз

Сечение, мм²	Наружный диаметр *D*, мм	Внутренний диаметр *d*, мм	Длина *L*, мм
2,5	4	2,1	15
4	4,5	3	15
6	5	3	25
10	7	5	29
16	9	7	29
25	11	9	33

Обозначения трубок, а также их размеры и физико-химические свойства приведены в табл. 5.5.6 и 5.5.7.

Таблица 5.5.6. Технические характеристики термоусаживаемых трубок

Обозначение	Наружный диаметр *D*, мм	Диаметр после усадки *d*, мм	Толщина стенки после усадки *S*, мм
1,6/0,8	1,6	0,8	0,43
2,4/1,2	2,4	1,2	0,51
3,2/1,6	3,2	1,6	0,51
4,8/2,4	4,8	2,4	0,51
6,4/3,2	6,4	3,2	0,64
8/2	8,0	2,0	1,0
9,5/4,8	9,5	4,8	0,64
12,7/6,4	12,7	6,4	0,64
19/9,5	19,0	9,5	0,76
25,4/12,7	25,4	12,7	0,89
38/19	38,0	19,0	1,02
51/25,5	51,0	25,5	1,14
76/38	76,0	38,0	1,27
102/51	102,0	51,0	1,40

IBIK

Таблица 5.5.7. Физико-механические характеристики трубок

Параметр	Значение
Рабочая температура, °С	–55...+105
Максимальная продольная усадка, %	15
Минимальное удлинение при разрыве, %	200
Температурная устойчивость при 200 °С в течение 4 часов	отсутствие трещин, деформации, расплавления и текучести
Минимальная диэлектрическая сопротивляемость, кВ/мм	15
Минимальное удельное сопротивление, Ом/см	10^{14}

Герметизация соединений с помощью трубок производится в следующем порядке. На провод надевают трубку с запасом по 30 мм на каждую сторону. Соединение проводов производится с помощью гильзы. Место соединения изолируется лентой ПВХ, затем на него надвигается трубка, которую нагревают, начиная с середины. При жестких условиях эксплуатации рекомендуется место соединения изолировать двумя трубками разного диаметра.

12. Места соединения и ответвления жил и кабелей, соединительные и ответвительные сжимы должны иметь изоляцию, равноценную изоляции проводов, а также не должны испытывать механических усилий натяжения. В местах соединения жил проводов и кабелей предусматривают их запас, обеспечивающий возможность повторного соединения. Необходимо обеспечить возможность доступа для осмотра и ремонта мест соединений и ответвления проводов и кабелей.

13. Трассы электропроводок средств автоматизации, как правило, совпадают с трассами силовых электропроводок. От условий прокладки зависит уровень помех и надежность систем автоматизации.

Запрещается объединять в одном кабеле:

- измерительные цепи и цепи управления, сигнализации, питания и т. п., включая цепи питания исполнительных механизмов и задвижек;
- взаиморезервирующих цепей питания и управления;
- цепей питания электрифицированного инструмента до 42 В и освещения щитов;
- цепей пожарной сигнализации и пожарной автоматики.

При совместной прокладке контрольных и силовых кабелей необходимо соблюдать следующие требования:

- при двухстороннем расположении кабельных конструкций размещать на противоположных сторонах;
- при одностороннем расположении кабельных конструкций контрольные кабеля располагаются под силовыми с разделительной прокладкой из асбоцемента;

- цепи управления тиристорными преобразователями, инверторами и другими электронными устройствами систем автоматики должны подключаться с помощью экранированных или специальных кабелей или проводов (например, «витая пара»).

14. При применении кабель-каналов вместе с электропроводкой можно укладывать телевизионный кабель, телефонный провод и т. п. Этот вид проводки применяют в офисах, коридорах, подсобных помещениях. Для прокладки компьютерных сетей, пожарной и охранной сигнализации такой способ является стандартным.

15. Смонтированные проводки систем автоматизации должны быть подвергнуты внешнему осмотру, которым устанавливается соответствие смонтированных проводок рабочей документации и требованиям нормативных документов. Электропроводки, удовлетворяющие указанным требованиям, подлежат проверке на сопротивления изоляции.

16. Измерение сопротивления изоляции электропроводок систем автоматизации (цепей измерения, управления, питания, сигнализации и т. п.) производится мегомметром на напряжение 500–1000 В. Сопротивление изоляции не должно быть менее 0,5 МОм*.

Во время измерения сопротивления изоляции провода и кабели должны быть подключены к сборкам зажимов щитов, штативов, пультов и соединительных коробок. Приборы, аппараты и проводки, не допускающие испытания мегомметром напряжением 500–1000 В, на время испытания должны быть отключены. По результатам измерения сопротивления изоляции составляется акт.

17. После завершения монтажа системы автоматизации производится сдача выполненных работ. Сдача работ оформляется актом, к которому прилагают: перечень документов, разрешающих отступление от проекта, акты на скрытые работы, протоколы измерения сопротивления изоляции проводов и кабелей, паспорта, инструкции и чертежи заводов-изготовителей, ведомость смонтированных приборов и средств автоматизации.

*Более подробно об измерении сопротивления изоляции см. раздел 6.1.3.1.

IBIK

Раздел 6 Наладка систем автоматизации СКВ

6.1. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

6.1.1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ ПО НАЛАДКЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Основной задачей наладки средств и систем автоматизации является доводка их к требованиям, изложенным в технической документации.

В зависимости от характера объекта и сложности системы автоматизации в соответствии со СНИП 3.05.05-84 работы разделяют на:

- пусконаладочные (ПНР), выполняемые на объектах капитального строительства;
- наладочные, выполняемые на реконструируемых, модернизируемых или ремонтируемых объектах.

Как пусконаладочные, так и наладочные работы имеют одинаковое техническое содержание, и их отличие состоит только в ряде организационных моментов, таких как планирование, финансирование, оформление документации.

Совокупность производственных операций и последовательность их выполнения, определяющие технологию наладки, изложены в СНИП 3.05.07-85.

Предусмотрено три стадии выполнения пусконаладочных работ по системам автоматизации:

1. На первой стадии выполняются подготовительные работы, изучается документация на всю систему и основные характеристики приборов и средств автоматизации. На этой же стадии осуществляется проверка соответствия основных технических характеристик аппаратуры требованиям, установленным в паспортах и инструкциях. Неисправные приборы и средства автоматизации подлежат замене или ремонту. Работы первого этапа, как правило, выполняются вне объекта автоматизации.

2. На второй стадии непосредственно на объекте выполняются

IBIK

работы по автономной наладке систем автоматизации после завершения их монтажа.

При этом осуществляются:

- проверка монтажа приборов и средств автоматизации на соответствие требованиям паспортов, инструкций и рабочей документации;
- проверка правильности маркировки, подключения и фазировки электрических проводок;
- фазировка и контроль характеристик исполнительных механизмов;
- настройка взаимосвязей систем сигнализации, защиты, блокировои и управления; проверка правильности прохождения сигналов;
- предварительное определение характеристик объекта, расчет и настройка параметров аппаратуры;
- подготовка к включению и выключению системы автоматизации для проведения испытания технологического оборудования;
- оформление производственной и технической документации.

3. На третьей стадии выполняют работы по комплексной наладке систем автоматизации, доведению параметров настройки приборов и средств автоматизации до значений, при которых системы обеспечат функционирование объекта с заданными показателями.

При этом в комплексе осуществляется:

- определение соответствия порядка отработки устройств и элементов систем сигнализации, защиты, блокировок и управления алгоритмами рабочей документации с выявлением причин их отказа или «ложного» срабатывания, установка необходимых значений срабатывания позиционных устройств;
- определение соответствия пропускной способности запорно регулирующей арматуры требованиям технологического процесса;
- определение расходных характеристик регулирующих органов и приведение их к требуемой норме с помощью имеющихся в конструкции элементов настройки;
- уточнение статических и динамических характеристик объекта, корректировка значений параметров настройки систем с учетом их взаимного влияния в процессе работы;
- испытание и определение пригодности системы автоматизации для обеспечения эксплуатации оборудования с производительностью, соответствующей проектной документации;
- оформление производственной документации.

IBIK

6.1.2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БАЗА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

Основным элементом подготовительных работ на этой стадии является создание и оснащение производственной базы – производственных помещений, оборудованных для проведения наладочных работ индустриальными методами по определенной технологии. Основная цель производственной базы – выполнение максимально возможного объема работ в условиях стационарного помещения. Обычно специализированные фирмы по наладке систем автоматизации имеют стационарные производственные базы, обеспечивающие комплексное решение вопросов наладки для типовых объектов автоматизации и требующие только небольшого дооснащения для поверки нестандартных средств и систем автоматизации. Именно наличие таких баз позволяет обеспечить высокую производительность труда и качество наладочных работ.

Производственная база должна обеспечить возможность анализа проектной документации, комплектацию поступающей на проверку аппаратуры, проведение инструментальной проверки и подстройки приборов и аппаратов, хранение контрольного оборудования, инструментов, вспомогательных материалов и прочих материальных ценностей.

Площадь одного рабочего места по проверке и настройке аппаратуры должна быть не менее 4,5 м^2.

Температура воздуха в помещении должна поддерживаться на уровне 20±2 °С, что обусловлено метрологическими требованиями к условиям проверки большинства серийно выпускаемой аппаратуры.

Рабочие места для проверки приборов, моделирования и статической настройки систем оснащают специализированными стендами и оборудованием. Число рабочих мест определяется разнообразием аппаратуры, ее общим числом и сроками проведения работ.

Если для проверки аппаратуры требуется электропитание различного рода, то устанавливаются соответствующие преобразователи, а на рабочем месте монтируются розетки, на которых маркируется род тока, полярность и номинал напряжения. Для подключения приборов к источникам энергии изготовляют жгуты проводов со смонтированными на концах вилками, лепестками или колодками.

6.1.3. ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

6.1.3.1. ИЗМЕРИТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Контроль состояния изоляции производится двумя способами: диэлектрическое тестирование и измерение сопротивления изоляции.

Диэлектрическое тестирование производится обычно приложением повышенного напряжения переменного или постоянного тока и подтверждает возможность изолятора выдержать нормированное значение избыточного напряжения, выраженного в киловольтах (кВ). Такое тестирование проводят только для специфических изделий и устройств (изоляторов, оптронов и т. п.).

Для обычных приборов, аппаратов и других элементов автоматики определяют значения сопротивления изоляции. Минимальные величины сопротивления изоляции и тестовые напряжения для различных номинальных значений напряжений питающих цепей приведены в таблице 6.1.1.

Таблица 6.1.1. Минимальные величины сопротивления изоляции

Номинальное напряжение цепи, В	Тестовое напряжение, В	Минимальное сопротивление изоляции, МОм
ниже 50	250	0,25
50–500	500	0,50
свыше 500	1 000	1,00

Измерение сопротивления изоляции при снятом рабочем напряжении производится методом наложения постоянного напряжения. Для этого используется специальный прибор – ***мегомметр***. Упрощенная схема мегомметра и его подключение показаны на рис. 6.1.1. Мегомметр содержит источник постоянного тока (*GB*) и миллиамперметр (mA). Один полюс прибора (*L*) подключают к токоведущей части (например, клемма 1 испытываемого устройства), а второй – к корпусу. Тогда при положении 1 ключа *SA* через определенное время (порядка 60 с – время зарядки емкости изоляции $C_{из}$) ток $I_{из}$ будет определяться как

$$I_{из} = E/(R_{вн} + R_{из}), \qquad (6.1.1)$$

где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление мегомметра, определяемое сопротивлением источника, миллиамперметра и добавочным сопротивлением $R_д$;

$R_{из}$ – эквивалентное сопротивление изоляции.

IBIK

При $R_{вн}$=const и E=const ток $I_{из}$ в измерительной цепи зависит только от величины $R_{из}$, поэтому шкалу миллиамперметра градуируют непосредственно в единицах сопротивления.

После окончания измерения переключением ключа *SA* в положение *2* производится разряжение емкости $C_{из}$ на $R_р$ на период не менее 15 с (ГОСТ 11828-75).

Схемы измерения сопротивления изоляции показаны на рис. 6.1.2.

Так как мегомметр вырабатывает высокое напряжение, то работа с ним требует соблюдения особых правил техники безопасности, которые изложены в разделе 6.7.

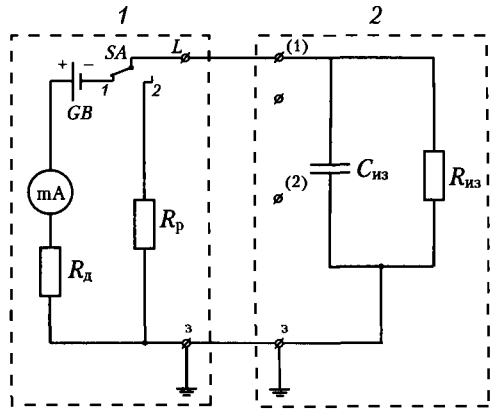


Рис. 6.1.1. Упрощенная схема мегомметра и его подключение при измерении сопротивления изоляции электроустановки:
1 – мегомметр; *2* - испытуемое устройство

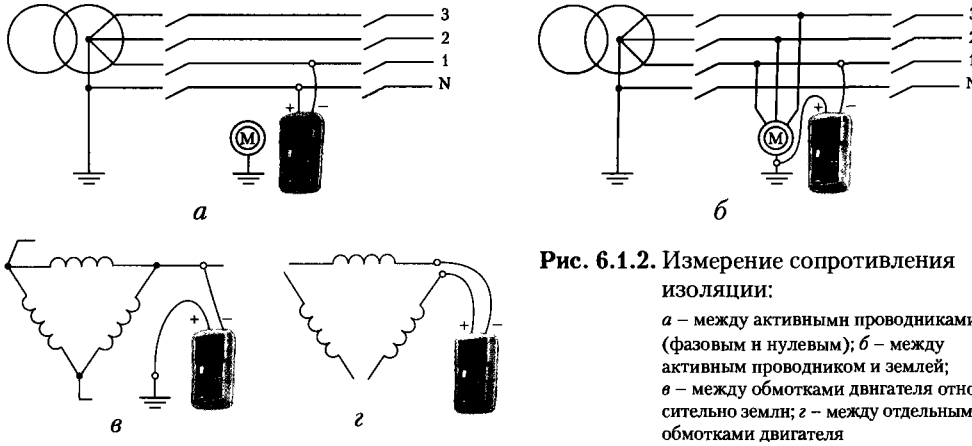


Рис. 6.1.2. Измерение сопротивления изоляции:
а – между активными проводниками (фазовым и нулевым); *б* – между активным проводником и землей; *в* – между обмотками двигателя относительно земли; *г* – между отдельными обмотками двигателя

Важно: перед проведением измерений сопротивления все электронные приборы, не рассчитанные на тестовое напряжение, должны быть отсоединены или закорочены.

На практике обычно применяют переносные мегомметры с питанием от сети переменного тока или с встроенным автономным источником. В качестве последнего может быть использован индукторный генератор с ручным приводом или батарейки с каскадными умножителями напряжения.

На рис. 6.1.3, *а* показан мегомметр типа ЭС0202, технические характеристики которого приведены в таблице 6.1.2.

Таблица 6.1.2. Технические характеристики мегомметра типа ЭС0202

Характеристики	Тип мегомметра		
	ЭС0202/1Г	ЭС0210/1Г	ЭС0210/3Г
Диапазон измерения, МОм	0...1000	0...1 000	0...100 000
Измерительное напряжение, В	100, 250, 500	100, 250, 500	500, 1000, 2500
Класс точности	15	2,5	2,5
Условия эксплуатации, °С	–30...+50		
Габариты, мм	166×130×200	155×141×201	150×212×295
Масса, кг	2,2	1,9	2,6

Более совершенными являются мегомметры серии С.А. фирмы CHAUVIN ARNOUX (Франция) с питанием от батареек или никелевых аккумуляторов (рис. 6.2.3, *б*). Основные технические характеристики некоторых марок этих приборов приведены в таблице 6.1.3.

Таблица 6.1.3. Технические характеристики мегомметров фирмы CHAUVIN ARNOUX (Франция)

Характеристика	Марка мегомметра		
	С.А. 6521	С.А. 6531/33	С.А. 6545
Предел измерения, МОм	$5 \cdot 10^{-2}$...200	10^{-2}...$2 \cdot 10^{4}$	0...10^{4}
Измерительное напряжение, В	250, 500	50, 100, 250, 500	50...5100
Точность измерения, %	±3,0	±3,0	±5,0
Измерение напряжения AC/DC, 0–600 В	+	+	+
Измерение тока утечки	–	+	+
Измерение емкости	–	–	+
Работа с компьютером	–	–	+
Условия эксплуатации, °С	–100...+55	–10...+55	-10...+55
Габариты, мм	211×108×60	211×108×60	270×250×180
Масса, кг	0,835	0,835	1,5

а *б* *в*

Рис. 6.1.3. Приборы для измерения сопротивления изоляции – мегомметры:
а – ЭС0202/1Г (Украина);
б, в – С.А. 6521 и С.А. 6545, фирма CHAUVIN ARNOUX (Франция)

IBIK

6.1.3.2. ОБРАЗЦОВЫЕ ПРИБОРЫ

В качестве образцовых приборов для проверки систем измерения при их наладке наиболее часто используются переносные потенциометры, магазины сопротивления, а также эталонные манометры и лабораторные термометры.

Для проверки и определения градуировочных характеристик термопар обычно применяют образцовые потенциометры (например, потенциометр ПП-63), а для определения термосопротивлений – магазины сопротивлений (рис. 6.1.4). Образцовые потенциометры могут работать как источник-измеритель э.д.с., как измеритель э.д.с. и напряжения и как источник плавно регулируемого напряжения (ПРН) постоянного тока. Магазины сопротивления предназначены для работы в цепях постоянного тока в качестве многозначной меры электрического сопротивления. Универсальные приборы обладают возможностями, как потенциометров, так и магазинов сопротивлений.

В таблице 6.1.4 приведены технические характеристики указанных приборов отечественного производства.

Таблица 6.1.4. Технические характеристики образцовых потенциометров и магазинов сопротивлений

Техническая характеристика	Магазин сопротивления Р4831	Универсальный прибор Р4833	
		в режиме магазина сопротивления	в режиме потенциометра постоянного тока
Диапазон измерений	0,01–111111,1 Ом	0,01–1111,10 Ом	0–111,10 мВ
Минимальная ступень, Ом	0,01	0,01	
Класс точности	0,02	0,02	0,05
Пределы регулируемого напряжения, мВ/В	–	–	–5–0...+100/0,5–5
Габариты, мм	370×220×190	250×390×190	
Масса, кг	5	8	
Условия эксплуатации, °С	15–25	10–35	

Для непосредственного высокоточного измерения физических величин (температуры и давления) и их сравнения с показаниями промышленных приборов используют эталонные манометры и лабораторные термометры.

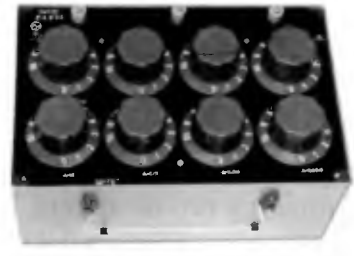


Рис. 6.1.4. Образцовый магазин сопротивления Р4831

Манометры и вакуумметры образцовые типов МО и ВО предназначены для проверки рабочих манометров, вакуум-

метров и мановакуумметров, а также преобразователей давления и разности давлений. Их технические характеристики приведены в табл. 6.1.5.

Таблица 6.1.5. Технические характеристики образцовых манометров типа МО и ВО

Параметр	МО	ВО
Диапазон измерений, бар	0...1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600	–1...0
Диаметр корпуса, мм	160	250
Шкала прибора,	250	400
Класс точности	0,4	0,15; 0,25
Условия эксплуатации, °С	+5...+40	
Исполнение корпуса	без фланца	
	резьба М	

Лабораторные термометры предназначены для измерения температуры в диапазоне от -30 до 600 °С. В эту группу входят термометры общего назначения ТЛ (цена деления шкалы от 1 до 0,1 °С) и термометры для проведения измерений с высокой точностью ТР (цена деления от 0,01 до 0,02 °С). В качестве наполнителя используется ртуть.

6.1.3.3. КОНТРОЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Простейшими контрольными приборами являются ***указатели напряжения***. Их применяют для определения наличия напряжения на отключенных токопроводящих частях, а также при контроле исправности электроустановок до 1000 В. Указатели напряжения могут быть однополюсными и двухполюсными

Двухполюсный указатель имеет два щупа. Для проверки наличия или отсутствия напряжения необходимо одновременно прикоснуться либо к двум фазам, либо к одной фазе и земле.

У однополюсного указателя в корпусе, выполненном из диэлектрического материала и имеющем смотровое отверстие, есть индикатор и добавочное сопротивление. На нижнем конце корпуса смонтирован металлический щуп, а на верхнем – плоский металлический контакт, которого пользователь касается пальцем. Однополюсными указателями прикасаются только к одной токоведущей части. При наличии напряжения загорается неоновая лампочка или индицируется его величина. При этом сила тока, проходящая через человека, не превышает 0,3 мА.

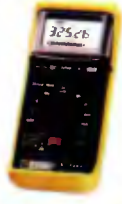
IBIK

Самыми распространенными электроизмерительными приборами, которые используются при наладке систем автоматизации, являются комбинированные приборы – ***мультиметры***. В состав любого мультиметра входят измерительная схема, устройство индикации (дисплей) и источник питания (обычно батарея гальванических элементов или аккумулятор).

Простейшим мультиметром является переносной прибор без усилительных элементов и сервисных функций, использующий индикацию и измерительную схему на основе микроамперметров постоянного тока (рис. 6.1.5, *а*). Обычно такие приборы измеряют напряжение и силу постоянного и переменного токов, а также сопротивление постоянному току. Их преимущества – дешевизна и отсутствие необходимости в питании при измерении напряжения и силы тока. Недостатки – большие погрешности измерения, низкая чувствительность и нелинейность шкалы. Однако удобство стрелочной индикации и дешевизна определяют широкое применение таких индикаторов.

Ввод в измерительные схемы активных элементов (транзисторов и аналоговых интегральных схем, чаще всего аналоговых усилителей) повышает чувствительность и линейность шкал, а также расширяет диапазон измерения. Кроме того, наличие внутреннего источника питания позволяет с помощью добавления несложных аналоговых схем получить функции измерения емкости, частоты, температуры, тестирования диодов, транзисторов и целости цепей со звуковой индикацией.

Наиболее широкое распространение в настоящее время имеют цифровые мультиметры (рис. 6.1.5, *б*). В самых простых из них основным элементом измерительной схемы является однокристальный вольтметр, управляющий жидкокристаллическим дисплеем. Обычное разрешение составляет $3^1/_2$ и $4^1/_2$ десятичных разряда, то есть максимальные показания дисплеев – 1999 и 19999 соответственно.



а *б* *в* *г*

Рис. 6.1.5. Мультиметры:
а – стрелочный; *б* – цифровой; *в* – мультиметр-клещи; *г* – со встроенным осциллографом

В ходе производства работ по наладке и обслуживанию промышленных установок необходимо вести запись изменения параметров с дальнейшей их обработкой. Поэтому в ряде моделей переносных мультиметров введен последовательных интерфейс (обычно RS232), что позволяет вводить данные измерений в компьютер для сохранения, последующей обработки, представления в графической форме и распечатки результатов. Подключив портативный компьютер к такому мультиметру, можно исследовать работу регулирующих, измерительных и исполнительных устройств, а также систем управления в целом.

Некоторые модели мультиметров объединены с токовыми клещами (рис. 6.1.5, *в*), благодаря чему можно измерять большие значения силы тока без использования измерительных трансформаторов.

Увидеть форму измеряемого сигнала и убедиться в отсутствии искажений и помех можно с помощью мультиметра с встроенным осциллографом (рис. 6.1.5, *г*).

В таблице 6.1.6 приведены технические характеристики некоторых мультиметров различных фирм-производителей. Эти данные показывают большое разнообразие мультиметров по выполняемым функциям, точности и диапазону измерений, от чего зависит и цена прибора.

Таблица 6.1.6. Основные технические характеристики некоторых мультиметров различных производителей

Техническая характеристика		Тип (марка), производитель			
		ЭК4300 (Украина)	AM1006 (Россия)	MM4 BENNING (Германия)	MX54 METRIX (Франция)
Дисплей		стрелочный	3 разряд пок. 1999	3 разряд пок. 4200	4 разряд пок. 50000
Напряжение постоянного тока	диапазон, В	0,15–1500	0,2–600	4,2–600	0–1000
	точность, %	1,0	±0,8	±0,5	±0,05
Напряжение переменного тока	диапазон, В	0,15–1500	0,2–600	4,2–600	0–750
	точность, %	1,5	±1,0	±1,5	0,3
Сила тока	диапазон, А	0,015–15	0,02–10	0–600	0–10
	точность, %	1,5	±1,5	±1,5	0,05
Сопротивление	диапазон, МОм	0–30	0–20	0–42	0–50
	точность, %	±2,0			±3
Измерение емкости, мкФ		0–30	0–20	–	0–10
Измерение частоты, кГц		–	0–20	–	0–50
Измерение температуры		–	+	–	+
Проверка диодов		–	+	+	+
Прозвонка цепей (зуммер)		–	+	–	+
Сопряжение с компьютером		–	–	–	+
Прочие функции		–	–	–	измерение скорости воздуха и влажности
Габариты, мм		185×110×55	185×87×42	227×77×35	189×82×40
Масса, кг		0,65	0,322	0,230	0,4

IBIK

Каждый наладчик систем автоматики должен иметь персональный мультиметр, при выборе которого он должен учитывать круг задач, для которых приобретается прибор.

Кроме общепромышленных контрольно-измерительных приборов, при наладке систем автоматики используются специализированные приборы, которые учитывают специфику объектов управления. Для наладки систем кондиционирования и вентиляции широко используется гамма приборов фирмы TESTO (Германия), предназначенных для измерения параметров воздуха.

Наиболее универсальными приборами в этой серия являются комплексы TESTO 400 (рис. 6.1.6) и TESTO 454 (рис. 6.1.7), которые идеально подходят для проведения пусконаладочных работ систем автоматики кондиционирования и вентиляции.

Рис. 6.1.6. Многофункциональный измерительный прибор и регистратор TESTO-400 (Германия):
1 – анемометр диаметром 10 мм для малых скоростей воздуха; *2* – анемометр диаметром 60 мм для больших скоростей воздуха; *3* – кабель для подключения сменных датчиков; *4* – измерительный прибор; *5* – кабель для подключения к компьютеру; *6* – датчик диаметром 16 мм для измерения скорости и температуры воздуха; *7* – датчик для измерения влажности и температуры воздуха; *8* – точечный быстродействующий датчик температуры

Многофункциональный измерительный прибор и регистратор TESTO-454 имеет шесть независимых входов для измерения и регистрации до девяти различных параметров. Поэтому прибор можно использовать для решения практически любых измерительных задач. Основные технические характеристики прибора приведены в таблице 6.1.7.

TESTO-454, работая в режиме регистратора данных, не нуждается в постоянном контроле. После установки и подключения зондов прибор начинает автоматически индицировать измеряемые параметры через заданный промежуток времени. Прибор программируется с помощью клавиатуры. Результаты измерений можно передать на компьютер, а затем обработать или вывести на печать.

Рис. 6.1.7. Многофункциональный прибор TESTO-454

Прибор автоматически распознает тип подключенного зонда, который можно

подключать к любому из шести входов. TESTO-454 позволяет записать и сохранить данные по 250 000 параметрам системы.

Таблица 6.1.7. Технические характеристики прибора TESTO 454

Параметр	Диапазон измерений		Погрешность	
Объем памяти базовой версии	250 000 измер. значений			
Температура, °С	-200...+1760 (в зависимости от зонда)		не более ±1	
Влажность, %	+10...+100 (в зависимости от зонда)		не более ±2	
Давление, гПа	+10...+30 000		±0,1 %, ±5 гПа	
Скорость потока, м/с	0...60 (в зависимости от зонда)		не более ±0,4	
Окись углерода CO, p.p.m	0...500		±5 %	
Двуокись углерода CO_2, p.p.m	0...10 000		±5 %	
Сила тока, мА	0...+20		±0,04	
Напряжение, В	0...+10		±0,01	
Скорость вращения (контактное измерение), $мин^{-1}$	20...+20 000		±1 цифра	
	Управляющий модуль TESTO454	**Регистратор (измерение и хранение данных)**	**Блок аналоговых выходов (выход, мА)**	**Модуль питания**
Рабочая температура, °С	-5...+45	-10...+50	-10...+50	0...+40
Габаритные размеры, мм	252×115×58	200×89×37	200×89×37	200×89×37
Масса, г	850	450	305	700

6.1.3.4. КАЛИБРАТОРЫ И ИМИТАТОРЫ

Для проверки приборов и датчиков, установки и быстрого налаживания оборудования, задания и изменения унифицированных сигналов, проверки характеристик регулирующих и функциональных блоков, логических и исполнительных устройств применяют имитаторы, калибраторы, специализированные стенды и оснастку.

Для проверки устройств контроля температуры ее непосредственное значение имитируют с помощью термостатов и калибраторов температуры.

Рис. 6.1.8. Многофункциональный калибратор электрических величин TRX-II фирмы Druck (Германия)

Калибраторы электрических сигналов позволяют измерять и генерировать электрические сигналы, характерные для теплотехнических объектов: напряжений (В, мВ), тока (мА), сопротивлений (Ом), в том числе термопар и термосопротивлений. Такие калибраторы могут быть как узкоспециализированные (тока и напряжения, имитаторы термопреобразователей сопротивлений, датчиков давления и т. п.), так и универсальные (рис. 6.1.8). Последние могут служить источником стандартных сигналов, контроль-

но-измерительным прибором, источником питания и магазином сопротивлений, что облегчает обслуживание и калибровку многих видов датчиков и приборов теплотехнического контроля. Технические возможности указанных калибраторов иллюстрируются таблицей 6.1.8.

Таблица 6.1.8. Технические характеристики многофункциональных калибраторов

Техническая характеристика	ИКСУ-2000 (Россия)		TRX-II ф. Druck (Германия)	
	диапазон/точность		диапазон/точность	
	воспроизведение	измерение	воспроизведение	измерение
Ток, мА	0...25/±0,03	0...25/±0,03	0...24/0,03	0...52/0,02
Напряжение, мВ	-10...100/±0,005 0...1200/±3	0...60/±0,005 0...12000/±20	-10...100/0,015 0...1200/0,015	0...100/0,02 0...600/0,025 0...6000/0,05
Сопротивление, Ом	0...180/±0,0150 180...3000/±0,0250	0...300/±0,01 –	0...4000/0,005 0...20000/0,02	0...400/0,02 –
Частота, Гц	–	–	-10...100/0,01 0...20 000/1,0	0...1310/0,1
Термосопротивление, °С	по ГОСТ 66-51-94		по DIN 43760, IEC 751	
	±0,05...±0,08	±0,03...±0,08	0,2...2	0,2...2
Термопары, °С	по ГОСТ Р 50431-52		по DIN 43710	
	±0,03...±3,5	±0,03...±3,5	0,2...0,7	0,3...1,4
Интерфейс	RS232			
Габариты, мм	120×110×52		210×120×50	
Масса, кг	1,0		1,2	

При наладке сложных систем управления применяются испытательные стенды, разработанные специально под объект. В их состав могут входить как стандартные приборы и устройства (мосты сопротивлений, калибраторы и другие контрольные приборы), так и имитаторы объектов управления. Последние могут быть реализованы как на простых элементах (тумблеры, переключатели, реле), так и на базе микроконтроллеров (обычно на тех же контроллерах, что и налаживаемая система), позволяющих имитировать поведение объекта управления в статических и динамических режимах (рис. 6.1.9).

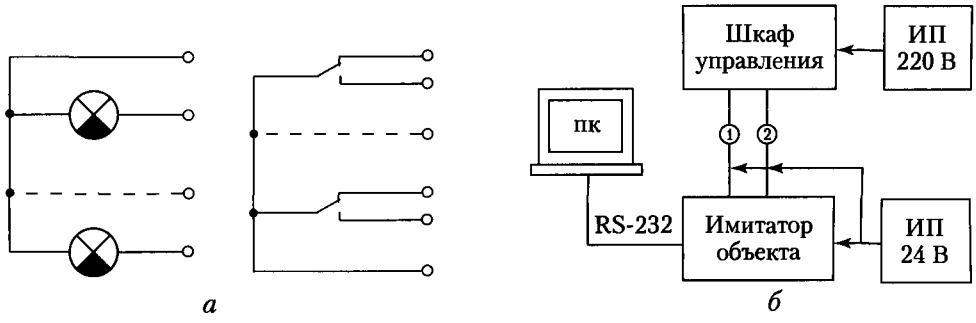


Рис. 6.1.9. Схемы устройств имитации объектов управления:

а – простейший имитатор дискретных сигналов типа «сухой контакт»;

б – на базе программируемого контроллера

6.2. НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ПЕРВОЙ СТАДИИ

6.2.1. АНАЛИЗ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Анализ проектной документации начинают с проверки комплектности рабочих чертежей и текстовой документации, а также документации на поставляемое оборудование и инструкций заводов-изготовителей на средства автоматизации.

При отсутствии в проекте каких-либо чертежей, инструкций, предельных значений настроек систем сигнализации или защиты и т. п., они должны быть затребованы у заказчика или поставщика системы автоматики.

При анализе проекта обращается внимание на технологию производства, характеристики средств и систем автоматизации по их функциональному назначению, особенности конструктивного исполнения и их количество. Затем составляют программу наладочных работ.

Для крупных и уникальных систем автоматизации составляются даже текстовые материалы, которые включают в себя справочное пособие и технический отчет. В справочном пособии приводятся основные данные о разработчиках объекта и о самом объекте. В техническом отчете детально разбирают все особенности проекта и намечают основные формы технологии и организации пусконаладочных работ.

Независимо от сложности объектов и систем автоматизации каждый наладчик в пределах поручаемой ему работы также составляет текстовые документы в виде рабочих тетрадей произвольной формы, в которых фиксирует как данные, полученные в результате изучения документации, так и сведения о результатах работ в процессе наладки.

При изучении технологии автоматизируемого процесса обращают внимание на требования, предъявляемые данной технологией к приборам и средствам автоматизации:

- параметры, которые определяют нормальное течение процесса и которые необходимо измерять, регистрировать и поддерживать на заданном уровне;
- точность, с которой должны измеряться и поддерживаться на заданном уровне эти величины;
- аварийные и предельные значения величин, которые обеспечивает защита от аварий и разрушений.

Далее по функциональной схеме автоматизации определяют:

- монтируемые приборы и регуляторы, их основные характеристики, принцип действия, особенности конструктивного исполнения;
- наличие сигнализации предельных значений измеряемых величин и защита оборудования при их аварийных значениях;

IBIK

- возможность ручного управления процессом при выходе из строя системы автоматического регулирования.

Кроме того, с момента начала работ на объекте в рабочие тетради необходимо заносить дополнительную техническую документацию: вспомогательные чертежи, технические подборки по особенностям технологии и методике проверки аппаратуры и др.

В рабочую тетрадь наладчика следует вносить данные о характеристиках, устройстве и особенностях настройки приборов, ранее не встречавшихся при наладке других систем.

Выявленные в процессе изучения и анализа документации неточности или ошибки проекта должны быть переданы разработчику. Любые отступления от проекта, выполненные наладочным персоналом, должны быть согласованы с проектной организацией и утверждены руководством заказчика.

6.2.2. ПРЕДМОНТАЖНАЯ ПРОВЕРКА ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Перед установкой оборудования на объекте необходимо провести его проверку с целью исключить задержку пуска и дополнительные затраты, связанные с заменой и ремонтом смонтированного неисправного оборудования.

Предмонтажная проверка включает следующие процедуры:

- визуальный внешний осмотр;
- подготовка к проверке основных характеристик;
- проверка основных технических характеристик.

При ***внешнем осмотре*** устанавливают наличие комплекта документации, клейм и пломб завода-изготовителя, а также соответствие средств по типам, диапазонам измерений и виду исполнения спецификации проекта. На корпусах и видимых частях узлов и блоков приборов и средств автоматизации не должно быть следов механических повреждений или коррозии. Комплектность узлов и блоков должна быть полной.

При подготовке к ***проверке основных характеристик*** удаляют с приборов консервирующие покрытия и разарретируют детали и узлы, закрепленные во время транспортировки. У электрических устройств проверяют состояние контактных поверхностей.

Перед проверкой основных характеристик у электрических элементов проверяют сопротивление изоляции, которое должно быть не ниже указанного в паспорте или в руководстве по монтажу. Оборудование проверяют на работоспособность в режимах, близких к рабочим. Проверочная схема (рис. 6.2.1) содержит узел питания прибора,

IBIK

узел имитации значения измеряемого параметра, образцовый измерительный прибор, устройство для проверки элементов позиционного регулирования и цепей сигнализации, а также другие элементы.

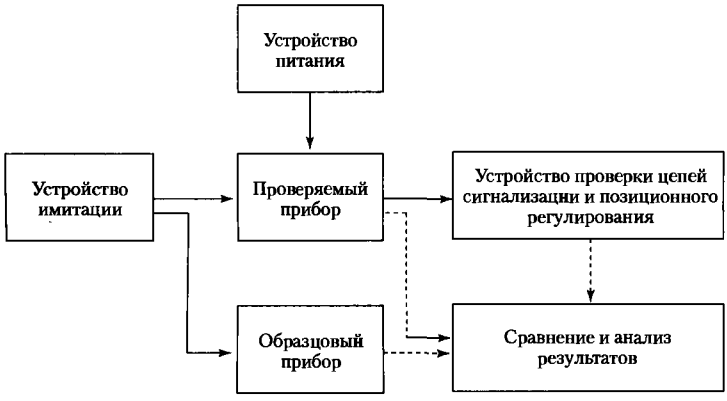


Рис. 6.2.1. Схема предмонтажной проверки приборов и устройств автоматизации

В качестве образцовых приборов должна выбираться аппаратура, соответствующая стандартам на методы и средства поверки* конкретных устройств.

Образцовое устройство проверки измерительных приборов должно удовлетворять условию:

$$\frac{\Delta_o}{x_{нр}} \cdot 100\,\% < \frac{1}{C}\,\delta_п \qquad (6.2.1)$$

где Δ_o – предел допустимой абсолютной погрешности образцового прибора;

$x_{нр}$ – нормирующее значение (диапазон измерения) входного сигнала;

$\delta_п$ – предел допустимой погрешности проверяемого сигнала;

C – постоянная величина, в общем случае равная 4.

Для проверки измерительных преобразователей образцовый прибор должен выбираться из условия:

$$\left(\frac{\Delta_{o1}}{x_{нр}} + \frac{\Delta_{o2}}{y_{нр}}\right) \cdot 100\,\% \le \frac{1}{C}\,\delta_п \qquad (6.2.2)$$

* Термин «поверка» в соответствии с нормативным документом РМГ 29-99 определяется как «установление органом государственной метрологической службы (или другим уполномоченным органом) пригодности средств измерения к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждение их соответствия установленным обязательным требованиям».

IBIK

где Δ_{o1} и Δ_{o2} – пределы допускаемой абсолютной погрешности образцовых приборов, применяемых для измерения соответственно входного и выходного сигналов;

$x_{нр}$ и $y_{нр}$ – нормирующие значения (диапазон измерения) входного и выходного сигналов.

Основную погрешность проверяют на шести точках шкалы, как правило, соответствующих 0, 20, 40, 60, 80 и 100 % диапазона измерения. В каждой из указанных точек определяют абсолютную погрешность, для чего в каждой точке с помощью устройства имитации устанавливают указатель (стрелка, циферблат, числовой индикатор). Действительное значение величины измеряют образцовым прибором. Относительную погрешность в выбранной точке определяют как

$$\delta_{п\,x} = \frac{x_{изм} - x_{о\,изм}}{x_{нр}} \cdot 100\ \%, \qquad (6.2.3)$$

где $x_{изм}$ – значения величины в данной точке, измеренное проверяемым прибором;

$x_{о\,изм}$ – значение величины в данной точке, измеренное образцовым прибором.

Наибольшее из рассчитанных значений приведенной основной погрешности ($\delta_{п\,изм\,max}$) не должно превышать $\delta_п$, то есть

$$\delta_п < \delta_{п\,изм\,max}. \qquad (6.2.4)$$

Если это требование не выполняется, необходимо провести ***юстировку*** прибора – доведение погрешности прибора до установленных значений. Эта операция проводится органами настройки (например, корректоры нуля, диапазона измерений и др.) в соответствии с инструкцией на этот прибор. Если в процессе юстировки прибор не достигает значения $\delta_п$, он, как и приборы с другими неисправностями, подлежит ремонту или замене.

Одновременно с основной погрешностью определяют ***вариацию*** прибора, которая вычисляется как разность действительных значений измеряемой величины в конкретной точке шкалы при прямом (со стороны нуля) и обратном (со стороны максимального значения) подходе к ней.

В действительности не для всех приборов в условиях наладочной производственной базы можно имитировать плавное изменение величины в диапазоне ее измерения. Например, для сигнализаторов уровня, ротаметров, магнитных расходомеров проверяют только правильность показаний (срабатывание) на некоторых точках. По этой же причине не подлежат проверке основные технические характеристики термоэлектрических преобразователей и термопреобразовате-

лей сопротивления, измерительных преобразователей систем измерения состава и физико-химических свойств средств, пускорегулирующей электрической аппаратуры.

На прошедшие проверку приборы наносятся номера позиций в соответствии с проектом автоматизации, после чего они передаются в монтаж, о чем делается запись в журнал.

6.3. НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ВТОРОЙ СТАДИИ

6.3.1. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ МОНТАЖНЫХ РАБОТ

При выполнении работ второй стадии необходимо обращать особое внимание на следующее:

- наличие документов об окончании монтажных работ;
- отсутствие нарушений требований эксплуатации приборов и средств автоматизации (по температуре, влажности, агрессивности окружающей среды и пр.);
- выполнение требований по технике безопасности;
- наличие минимально необходимой технологической нагрузки объекта при выборе параметров настройки регуляторов;
- соответствие уставок срабатывания устройств значениям, указанным в рабочей документации.

Правильность монтажа начинают проверять с его осмотра, при котором устанавливают наличие проектных маркировок кабельных и трубных линий, а также отдельных цепей на отдельных приборах, сборках зажимов, соединительных коробках и т. д., наличие и состояние аппаратуры и соединительных линий.

Затем проверяют правильность соединения элементов систем автоматизации. Эта проверка может быть проведена двумя способами: непосредственным прослеживанием электрических линий и методом прозвонки. Первый обычно применяется только для простых и компактно расположенных средств автоматизации. При большом числе параллельно идущих линий и цепей, а также при взаимном удалении элементов систем используют метод прозвонки, который реализуется с помощью измерительных приборов или пробников. Прозвонка заключается в образовании замкнутой электрической цепи (рис. 6.3.1), в которой концы цепи подключаются к источнику тока (измерительный прибор или пробник). Если провод проложен правильно, цепь замыкается и срабатывает индикатор (цифровой, световой, стрелочный)*.

* В некоторых приборах предусмотрен звуковой сигнал – зуммер, который действует, если сопротивление цепи меньше 3–100 Ом.

IBIK

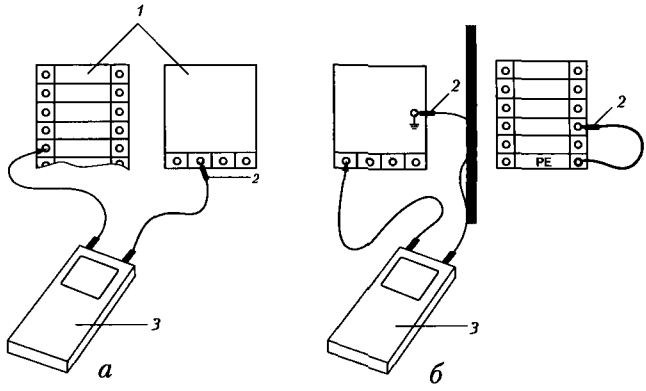


Рис. 6.3.1. Типовые схемы прозвонки цепей при проверке правильности монтажа:
а – прозвонка в щитах, пультах;
б – прозвонка удаленных элементов систем и схем внешних соединений;
1 – устройства автоматизации (приборы, аппараты);
2 – зажим типа «крокодил»;
3 – измерительный прибор или пробник;

Внимание! Перед прозвонкой:

1. Обесточить с видимым отключением всю часть схемы, которая подлежит проверке.
2. Отключить проводники, по которым в обход проверяемому проводу может образовываться цепь для срабатывания индикатора.
3. При использовании нулевого защитного провода (PE) предварительно проверить неразрывность цепи заземления.

При значительном удалении приборов и аппаратов друг от друга (рис. 6.3.1, *б*) прозвонка осуществляется двумя наладчиками с использованием переговорных устройств или телефонной связи. После проведения прозвонки необходимо подтянуть все резьбовые соединения и контакты, а также закрыть крышками приборы, аппаратуру и соединительные коробки.

6.3.2. ПРОВЕРКА ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ПОДСИСТЕМ

После проверки правильности монтажа при условии завершения всех монтажных работ осуществляется проверка отдельных элементов системы и их готовность к совместной работе.

Эта проверка производиться в следующем порядке. К проверяемому устройству подключают источник питания (по постоянной или временной схеме). При этом, если отсутствуют коммутационные аппараты, все непроверяемые подсистемы и элементы должны быть надежно отключены от общего источника питания, а тумблеры и пе-

реключатели проверяемых элементов установлены в положение «Выключено». Для проверки используют имитаторы и контрольные устройства.

Системы контроля проверяют, как правило, при трех значениях контролирующего параметра (минимальном, среднем и максимальном), а погрешность определяют при среднем значении измеряемого параметра. При необходимости с помощью органов настройки подрегулируют минимальное значение параметра и диапазон измерений. Инерционность измерения определяется как время между ступенчатым изменением значения величины на входе системы и моментом достижения этого же значения на отсчетном устройстве прибора.

При опробовании ***систем регулирования*** устанавливают среднее значение задания регулятору и имитирующим устройством изменяют значение регулируемого параметра в окрестностях заданного. При переходе значения регулируемой величины через заданное, управляющий сигнал регулятора должен переместить регулирующий орган в сторону, компенсирующую это изменение. Если регулирующий орган перемещается в противоположную сторону, изменяют фазировку системы регулирования и производят статическую настройку, обеспечивающую заданное проектное соотношение регулируемых величин во всем диапазоне изменения технологических параметров.

При проверке систем ***дистанционного управления*** также проверяют правильность фазировки элементов. При этом снимают механические характеристики регулирующих органов – зависимость между перемещением клапана или заслонки и значением управляющего сигнала на входе исполнительного механизма. Для большинства регулирующих органов механическая характеристика должна быть прямолинейна.

При проверке ***систем управления, защиты и сигнализации*** преобразователи настраивают на предельные (согласно проекту автоматизации) значения параметров. При имитации возрастания или уменьшения значения параметров до предельных значений должны работать все элементы системы. На практике исполнительные механизмы (особенно технологического оборудования большой мощности) часто монтируют и налаживают другие организации (монтажники-электрики). В этих случаях наладчики систем автоматизации совместно с ними должны проверить появление сигналов в цепях управления и защиты всего комплекса. Все обнаруженные и ликвидированные неисправности, механические характеристики регулирующих органов и другие сведения, необходимые для дальнейшего выполнения работ, фиксируют в журнале производства наладочных работ.

IBIK

6.3.3. НАЛАДКА УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Порядок проверки и настройки систем автоматического контроля, сигнализации и защиты рассмотрим на примере простейшей системы автоматики приточно-вытяжной вентиляции с подогревом (рис. 6.3.2), выполненной на основе измерителя-регулятора типа ТРМ 12 (Россия).

Измерение температуры осуществляется с помощью термопреобразователя сопротивления Т1, подключенного на вход измерителя-регулятора ТРМ-12.

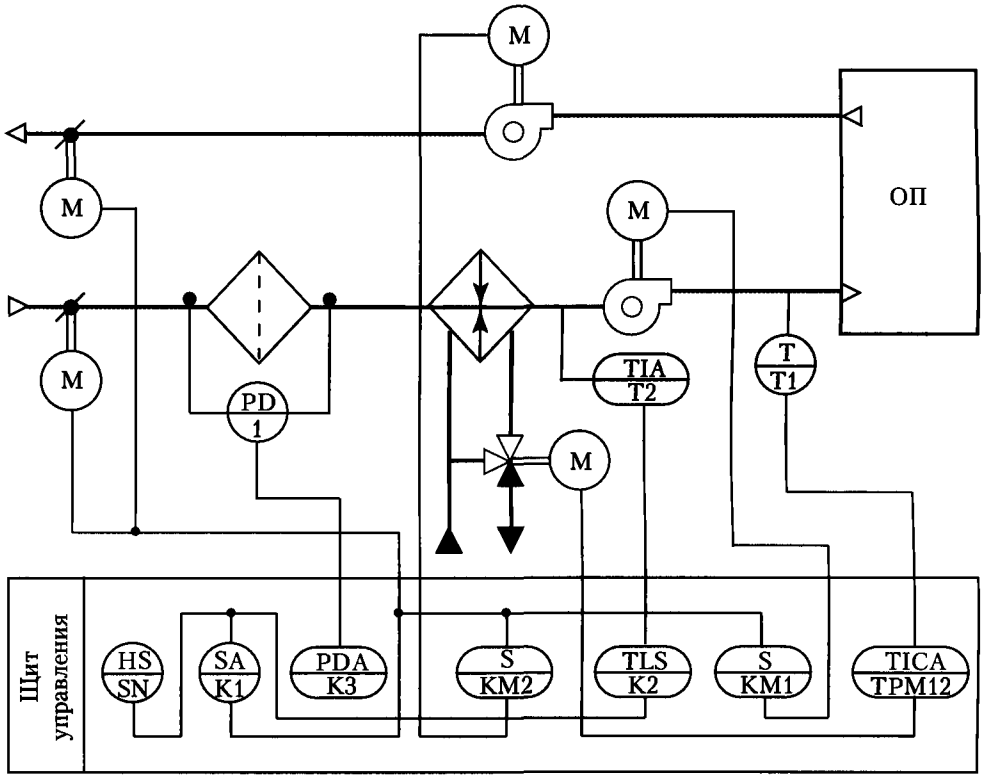


Рис. 6.3.2. Схема автоматизации приточно-вытяжной вентиляции на базе измерителя-регулятора ТРМ 12

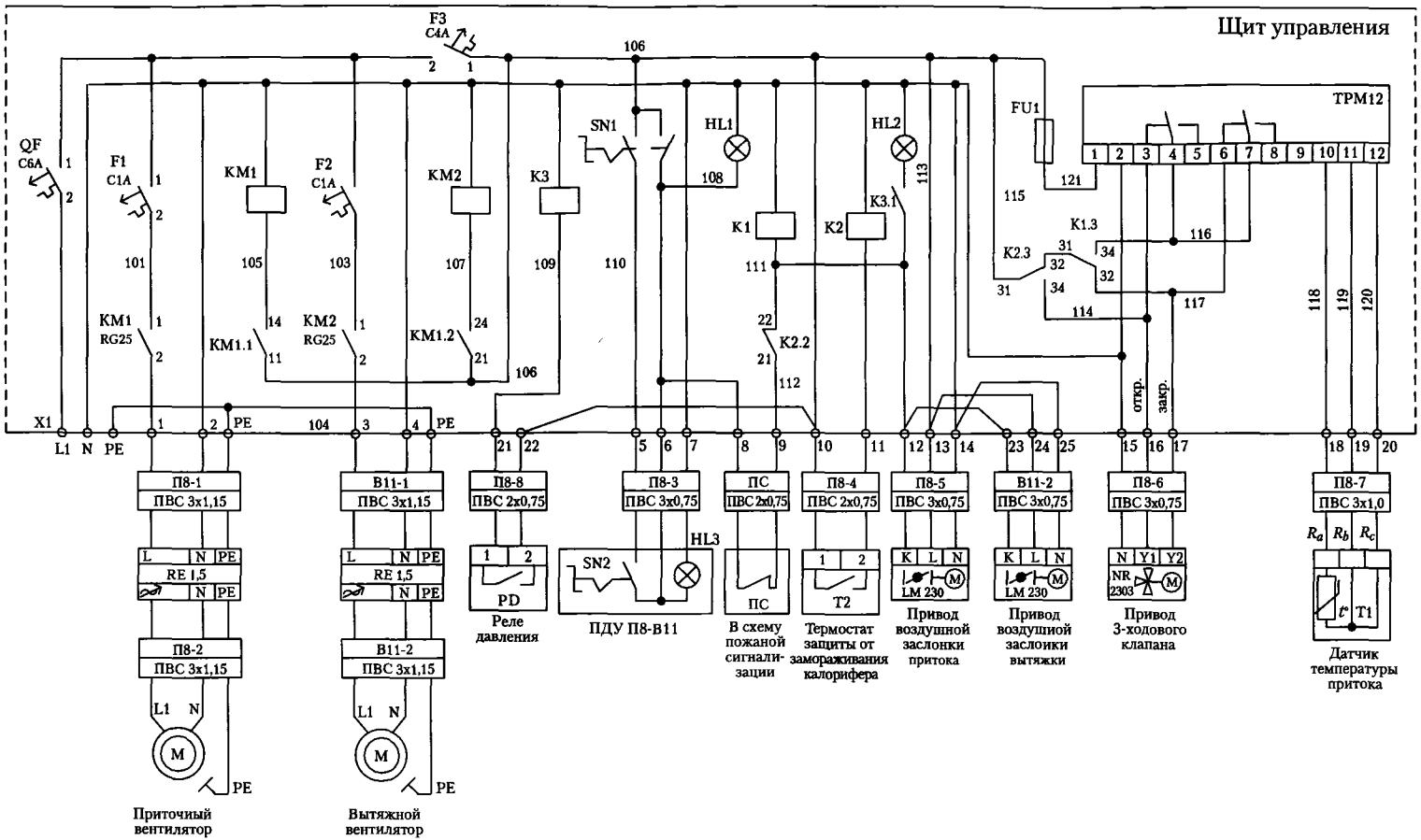


Рис. 6.3.3. Схема принципиально-монтажная автоматизации приточно-вытяжной вентиляции на базе измерителя-регулятора ТРМ 12

В рассматриваемом примере применен датчик ТС 100П, подключенный по трехпроводной схеме с градуировочным сопротивлением соединительных проводов 15 Ом. Номинальная статическая характеристика датчика в диапазоне температур от 0 до 100 °С приведена в таблице 6.3.1.

Таблица 6.3.1. Номинальная статическая характеристика датчика ТС 100П W1.391*

t, °С	0	20	40	60	80	100
R, Ом	100,00	107,919	115,791	123,616	131,388	139,113

Проверка элементов схемы измерения, как правило, выполняется двумя наладчиками, один из которых находится у термопреобразователя сопротивления, а другой – на месте установки вторичного прибора. После подачи питания на ТРМ 12 (включение автоматического выключателя F3) при исправности цепей и источника сигнала на цифровом индикаторе в двух левых разрядах на некоторое время отобразится код датчика (для рассматриваемого типа – 03). В случае несоответствия кода согласно инструкции по эксплуатации ТРМ 12 необходимо установить требуемый код. Сняв питание с ТРМ 12, отключают проводники соединительной линии датчика.

Линию, в месте отсоединения датчика надежно закорачивают. Затем с помощью калибратора сопротивлений (например, ИКСУ-2000) попарно измеряют сопротивление между концами проводов, предварительно их промаркировав R_a, R_b, R_c. Сопротивление измерительных проводов определяется как

$$R_a = [(R_a + R_b) + (R_a + R_c) - (R_b + R_c)]/2; \quad (6.3.1)$$

$$R_b = [(R_a + R_b) - (R_a + R_c) + (R_b + R_c)]/2. \quad (6.3.2)$$

Определив сопротивление измерительных проводов R_a и R_b, подбирают сопротивление подгоночных катушек (путем намотки манганинового провода), чтобы сопротивление проводов вместе с катушкой были равны и не превышали половины номинального сопротивления линии (7,5 Ом).

Далее, для проверки основной погрешности, вместо датчика подключают калибратор термосопротивления (например, ИКСУ-2000, настроенный на термосопротивление ТС 100П) по схеме, показанной на рис. 6.3.4.

* W1.391 – коэффициент, указывающий во сколько раз изменится сопротивление датчика при 100 °С относительно его сопротивления при 0 °С.

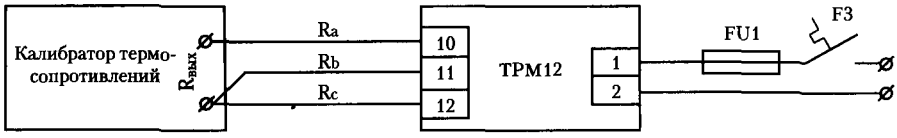


Рис. 6.3.4. Схема проверки основной погрешности ТРМ-12

После подачи питания и прогрева приборов калибратор термосопротивлений последовательно устанавливают на значение сопротивления имитатора датчика, соответствующее температуре 0, 20, 40, 60, 80 и 100 °С, а затем меняют последовательность.

Значение показаний прибора в каждой точке заносят в протокол проверки, а затем вычисляют основную погрешность по зависимости (6.2.3). Основная погрешность для каждой точки не должна превышать ±0,5 %. Если по всей шкале наблюдается равномерное завышение или занижение измеряемой величины, необходимо произвести калибровку прибора при уставке сопротивления, равной сопротивлению датчика при 0 °С. После перехода прибора в рабочий режим необходимо убедиться, что основная относительная погрешность находится в нормированных пределах (±0,5 %).

После включения прибора в работу на действующем оборудовании проверяют точность измерения по показаниям термометров, установленных по месту или образцовых термометров, например, ртутных. Если в процессе эксплуатации прибор показывает температуру, соответствующую верхнему/нижнему пределу измерения, то при исправности вторичного прибора это соответствует обрыву/короткому замыканию во внешних цепях*. Чаще всего обрыв цепи появляется в местах соединения кабелей в переходных коробках, на клеммах щитов и самих термопреобразователей.

Причинами завышенных или заниженных показаний прибора может быть также влияние электрических и магнитных полей на соединительные линии. В этом случае проверяют качество заземления защитных труб, экранов и приборов.

Сдаточные испытания по системам контроля, как правило, не проводят. Их сдают по результатам удовлетворительной непрерывной работы систем в течение трех и более суток.

* Если в качестве датчиков применяются термисторы, максимальному показателю исправного прибора соответствует короткое замыкание и, наоборот, минимальному — обрыв цепи датчика.

IBIK

6.3.4. НАСТРОЙКА УСТРОЙСТВ СИГНАЛИЗАЦИИ И ЗАЩИТЫ

В рассматриваемом примере (рис. 6.3.3) предусмотрены:

- защита от замораживания на базе термостата Т2;
- блокировка работы системы при срабатывании пожарной сигнализации ПС;
- световая сигнализация при загрязнении фильтра на базе дифференциального реле давления РД1.

Настройку выполнения перечисленных функций начинают с проверки коммутационных элементов – электромагнитных реле К1, К2, К3.

При отключенном питании щита управления (автоматический выключатель QF) проверяют сопротивление катушек (должно быть несколько десятков Ом), легкость перемещения якорей реле и отсутствие перекоса. Якорь должен плотно и без зазоров прилегать к сердечнику. Катушки реле не должны иметь видимых повреждений, а контакты реле – следов коррозии. Если используется реле в герметичном корпусе, проверяется только сопротивление катушек. Затем, отключив питание двигателей вентиляторов (автоматические выключатели F1 и F2) и отсоединив приводы трехходового клапана и воздушных заслонок (клеммы 12, 13, 14, 15, 16, 17, 23, 24, 25) подают питание на цепи управления (автоматическим выключателем F3 и переключателем SN1). При этом загорается лампочка HL1, сигнализирующая включение всей системы.

Проверку срабатывания устройств защиты и сигнализации проводят путем последовательной имитации срабатывания соответствующих датчиков. Обычно, в простейших системах, это производится закорачиванием или отключением клемм, к которым подключены датчики-реле. Для этой цели можно использовать устройство, собранное на основе тумблеров или переключателей.

При имитации срабатывания термостата защиты от замораживания Т2 (закорачивание клемм 10 и 11 на клеммнике щита управления) необходимо проверить:

- подачу напряжения на катушку реле К2 (напряжение между L1и клеммой 11 должно быть 220 В);
- размыкание контакта К2.2 (отсутствие напряжения между L1 и клеммой 9), что обесточивает катушку реле К1;
- переключение контакта К2.3 (наличие напряжения в 220 В между клеммами N и 16), подающего сигнал на полное открытие трехходового клапана и закрытие воздушных заслонок;

- размыкание контактов К1.1 и К1.2 в цепи катушек пускателей КМ1 и КМ2 (отсутствие напряжения между клеммой N и электрическими точками 105 и 107), отключающих двигатели вентиляторов.

При размыкании клемм 10 и 11 схема должна вернуться в исходное состояние.

Имитация срабатывания защиты от замораживания непосредственно от датчика Т2 не производится из-за сложности искусственного создания в воздуховоде требуемой температуры (5,0–12,0 °С). На указанную температуру датчик-реле Т2 настраивается с помощью регулятора, выведенного на панель управления.

Имитацию срабатывания реле давления производят закорачиванием клемм 21 и 22. При этом:

- проверяется наличие напряжения на катушке реле К3 (между клеммой L1и 22);
- проверяется срабатывание контакта реле Р3.1 (должна загореться лампочка HL2, сигнализирующая загрязнение фильтра).

Настройка реле давления РД осуществляется с помощью зубчатого лимба на передней панели датчика, проградуированного в миллибарах или Паскалях. Значение давления срабатывания выбирается по характеристике конкретного фильтра в зависимости от пропускной способности системы (рис. 6.3.5).

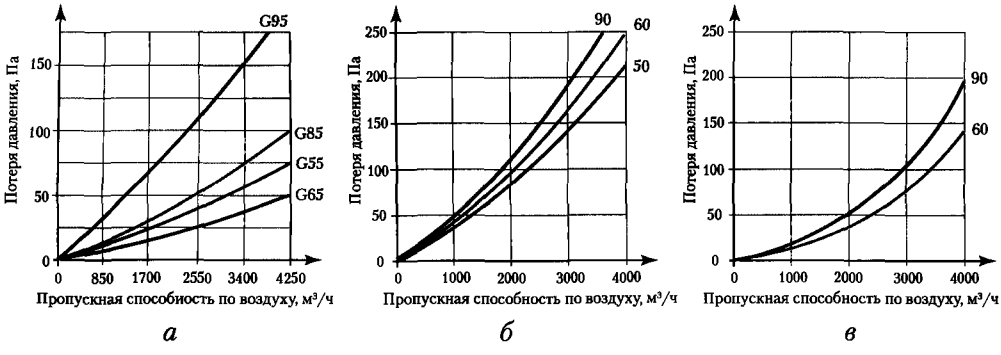


Рис. 6.3.5. Характеристики фильтров (GEA):
а – фильтр MULTISACK, класс F6-F7;
б – фильтр MULTIGLAS, класс F5 - F8 для многоступенчатой очистки;
в - фильтр MULTICOL, класс F6-F7 для крупной пыли

Проверку срабатывания пожарной сигнализации обычно проводят после отладки всей системы. Размыкание контакта ПС должно привести к потере напряжения на катушке реле К1 и, как следствие, к отключению вентиляторов и закрытию воздушных заслонок.

IBIK

6.3.5. ПРОВЕРКА СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИ ОПРОБОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

На этом этапе работ все подсистемы и элементы, от которых зависит безопасность и безаварийное ведение технологического процесса, должны быть включены в полном объеме. В первую очередь к этой категории относятся системы технологической и аварийной сигнализации, блокировки и защиты. Здесь главная задача наладчика – обеспечить пуск технологического оборудования и не допустить выхода средств автоматизации из строя в момент их включения. Поэтому опробование технологического оборудования должно производиться только по согласованию и с участием наладочной организации. В свою очередь наладчики должны помнить основное правило работы на действующем оборудовании: все технологические переключения, необходимые для наладки и испытания систем, должны производиться только технологами или по согласованию с ними и в их присутствии.

Включению системы автоматизации предшествует выполнение ряда требований:

- закрывают корпуса приборов и других средств автоматизации;
- подают питание на распределительные устройства системы автоматизации по постоянной схеме;
- проверяют параметры окружающей среды (температура, влажность, состав) в местах установки приборов, щитов, пультов на соответствие их условиям, допустимым для данного типа приборов;
- устанавливают предохранители, производят установку автоматических выключателей и настройку другой предохранительной аппаратуры в строгом соответствии с проектом автоматизации.

Включение систем автоматизации начинают с подачи питания на все первичные и вторичные приборы. Преобразователи и первичные приборы включают на измерение в соответствии с правилами, изложенными в инструкциях по монтажу и эксплуатации. При этом в случае необходимости регулируют нулевое значение измеряемых величин.

Перед включением приборов на непосредственное измерение необходимо убедиться в том, что характеристики реальных измеряемых сред (агрегатное состояние, температура, давление, влажность) близки к проектным. Например, в системах СКВ это производится с помощью местных измерительных приборов прямого действия (ма-

IBIK

нометрические измерители температуры и давления), которые установлены непосредственно на технологическом оборудовании или линиях его обвязки.

Затем проверяется работа систем автоматизации в различных режимах. При этом переключение технологических режимов производится совместно с технологами или операторами технологического оборудования.

Если в период пуска или опробования система выходит из строя, то устраняют неисправности и перед повторным включением ее элементы снова проверяют. Сведения о результатах работ по включению систем автоматизации также заносят в журнал производства наладочных работ.

6.3.6. НАЛАДКА И ИСПЫТАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ

6.3.6.1. ИСПЫТАНИЕ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Испытание вентиляторов осуществляют для проверки соответствия фактического режима его работы характеристике по каталогу и расчетным данным. Для установления фактического режима работы вентилятора определяют:

- расход воздуха, $L_ф$ (м^3);
- полное давление, развиваемое вентилятором $P_п$ (кПа);
- частоту вращения колеса вентилятора n (мин$^{-1}$);
- мощность, потребляемую вентилятором N (Вт).

Расход воздуха определяют в сечениях до и после вентилятора.

Полное давление, развиваемое вентилятором при его испытании в сети, находят как разность полных давлений на нагнетании и всасывании. Давление до и после вентилятора замеряют в плоскости фланцевых соединений всасывающего и нагнетательного патрубков центробежных вентиляторов или у фланцевых соединений всасывающего и нагнетательного воздуховодов для вентиляторов, установленных в воздуховоде.

При испытании вентилятора с двусторонним всасыванием его расход определяют замерами расходов на прямых участках линии нагнетания. При достаточной герметичности камеры, в которой размещен вентилятор с двусторонним всасыванием, расход воздуха на всасывании определяют соответствующими измерениями на прямых участках всасывающих воздуховодов до камеры:

$$N_в = N_{эл}\eta_э\eta_п, \text{ кВт}, \qquad (6.3.3)$$

IBIK

где $N_{эл}$ – мощность, потребляемая электродвигателем, кВт;

$\eta_э$ и $\eta_п$ – КПД электродвигателя и передачи соответственно.

Перед сопоставлением фактического режима работы вентилятора с данными по каталогу необходимо величину замеренного полного давления, развиваемого вентилятором, привести к стандартным условиям воздуха (при давлении 760 мм рт. ст., температуре 20°С, относительной влажности 50 %), используя формулу:

$$P_ф = P_п \frac{760 \cdot (273 + t)}{293 \cdot P_б}, \qquad (6.3.4)$$

где $P_ф$ – измеренное полное давление, приведенное к стандартным условиям воздуха, Па;

$P_п$ – измеренное полное давление, Па;

760 – стандартное барометрическое давление воздуха, мм рт. ст.;

$P_б$ – измеренное барометрическое давление, мм рт. ст.;

t – измеренная температура воздуха, °С.

Если точка на графике (рис. 6.3.6), определяемая фактической подачей $L_ф$ и фактическим полным давлением $P_ф$, совпадает с характеристикой по каталогу, построенной для замеренной скорости вращения, вентилятор следует считать соответствующим каталогу. В случае, если фактическая подача $L_ф$ не соответствует проектной $L_п$, то необходимо вторично проверить состояние сети: соответствие ее фактических размеров проекту, засоренность воздуховодов, загрязнение пылеулавливающих устройств, затем исправить сеть. Если точка, определяемая фактической подачей и фактическим давлением, окажется ниже кривой характеристики по каталогу, это означает, что работа вентилятора не соответствует данным, указанным в каталоге (рис. 6.3.7).

В таких случаях необходимо проверить, соответствует ли фактическая аэродинамическая схема вентилятора каталогу и соответствуют ли условия входа воздушного потока в патрубок вентилятора условиям входа воздуха, принятым при составлении его характеристики, и устранить выявленные дефекты. Если фактический режим работы вентилятора определяется точкой *а* (рис. 6.3.7), то это означает, что помимо наличия дефектов вентилятора, фактическая характеристика сети не соответствует проектной или расчетной, и, следовательно, необходимо выявить и устранить неисправности сети.

Отклонение величины полного давления от характеристики по каталогу допускается в пределах ±5%.

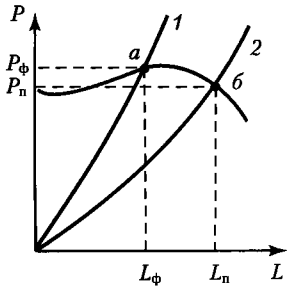


Рис. 6.3.6. График режима работы вентилятора, соответствующего каталогу:
а — точка фактической производительности и фактическое давление, создаваемое вентилятором; *б* — точка проектной производительности и проектное давление; *1* — фактическая характеристика сети; *2* — проектная характеристика сети

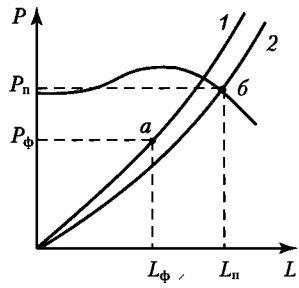


Рис. 6.3.7. График режима работы вентилятора, не соответствующего каталогу:
а — точка фактической производи-тельности и фактическое давление, создаваемое вентилятором; *б* — точка проектной производительности; *1* — фактическая характеристика сети; *2* — проектная характеристика сети

Основные причины, снижающие развиваемое вентилятором давление при определенной частоте вращения колеса вентилятора, и рекомендации по их устранению следующие:

1. Большой прогиб в мягкой вставке на входе в вентилятор

В мягкую вставку вставляют двойное распорное кольцо из стальной оцинкованной проволоки диаметром 2–3 мм. Перекосы в мягких вставках. Перекосы устраняют.

2. Отвод или другие местные сопротивления расположены вблизи всасывающего патрубка вентилятора

При установке отвода на расстоянии одного диаметра от всасывающего патрубка полное давление, развиваемое вентилятором, снижается до 35% от значения по каталогу. Вентиляционный агрегат устанавливают так, чтобы не было отводов перед вентилятором или чтобы прямой участок перед всасывающим патрубком имел длину не менее 4 диаметров. Если этого сделать нельзя, то в отвод устанавливают направляющие лопатки.

3. Отложение солей, жиров, грязи на лопатках колеса и кожухе вентилятора

Колесо и кожух очищают от загрязнений и предпринимают меры по улавливанию веществ, загрязняющих колесо и кожух. Вмятины или неплотности в кожухе вентилятора устраняют.

4. Вращение колеса в обратном направлении

Направление вращения определяют до испытания вентилятора. Если обнаружено неправильное направление вращения колеса, переключают провода у электродвигателя, поменяв местами любые два провода в трехфазной схеме подключения.

IBIK

Вопрос о замене вентилятора или изменении его режима работы решается только после регулировки вентиляционной установки. После регулировки повторно измеряют полное давление и расход воздуха вентилятора. Если расход вентилятора, замеренній после регулировки, не будет соответствовать требуемому значению, его изменяют следующим образом:

- при недостаточном расходе увеличивают частоту вращения колеса вентилятора или заменяют его другим типоразмером;
- при расходе, превышающем необходимый, уменьшают частоту вращения колеса вентилятора или с помощью диафрагмы создают в воздуховоде у вентилятора дополнительное местное сопротивление.

Частоту вращения колеса вентилятора можно увеличить при условии соблюдения допустимой окружной скорости рабочего колеса, а также достаточной мощности установленного электродвигателя.

Вентилятор необходимо заменить, если нельзя повысить производительность установки увеличением частоты вращения колеса вентилятора.

Если по диаграмме в каталоге режим работы вентилятора оказывается в области низких значений КПД, слева от области экономичного режима работы, то его заменяют вентилятором того же типа, но меньшего размера и с большей частотой вращения колеса вентилятора. Если по диаграмме в каталоге режим работы вентилятора оказывается в области низких значений КПД, справа от области экономичного режима работы, то его заменяют вентилятором того же типа, но большего размера и с меньшей частотой вращения колеса.

Для проверки целесообразности параллельной работы двух вентиляторов на одну и ту же сеть строят их суммарную характеристику.

6.3.6.2. ИСПЫТАНИЕ И РЕГУЛИРОВКА ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Аэродинамическое испытание вентиляционных сетей производят при полностью открытых дросселирующих устройствах, имеющихся как на общем воздуховоде, так и на всех ответвлениях от него. Регулирующие устройства, встроенные в конструкции различных воздухораспределителей приточных установок, должны быть полностью открыты.

Если при открытых дросселирующих устройствах электродвигатель вентилятора перегревается, перекрывают дроссель на магистральном участке сети.

При отсутствии дросселирующего устройства между фланцами общего воздуховода на всасывающей или нагнетательной линии устанавливают вставку (диафрагму) из кровельной стали. Дросселирование осуществляют до тех пор, пока сила тока, измеряемая в цепи, не уменьшится до номинального значения, соответствующего мощности электродвигателя, и его перегрев не прекратится. После этого приступают к испытанию сети.

При испытании сети определяют:

- фактические расходы воздуха в основании всех ветвей сети, во всех воздухоприемных и воздуховыпускных отверстиях до и после пылеулавливающих устройств, увлажнительных камер и калориферных установок;
- падение давления в калориферных установках, пылеулавливающих устройствах, увлажнительных камерах и местных отсосах;
- скорость выхода воздуха из приточных отверстий;
- уровень шумов, создаваемых вентиляционной системой.

Расход воздуха регулируется с помощью дросселирующих устройств или диафрагм, устанавливаемых между фланцами.

Регулировка сети может осуществляться следующими способами:

1. Последовательным уравниванием отношений фактических и требуемых расходов воздуха;
2. Постепенным приближением к заранее заданному отношению фактического и требуемого расхода воздуха;
3. Уравниванием отношений фактических и требуемых расходов воздуха с использованием характеристик участков сети.

Первый способ применяют при регулировке разветвленных сетей, отсутствии условий для установки дросселирующих органов и невозможности измерения потерь давления в ответвлениях.

Второй способ применяют для малоразветвленных сетей с небольшим числом вентиляционных отверстий и при наличии условий для установки дросселирующих органов и замера потерь давления в ответвлениях.

Третий способ применяют в тех случаях, когда регулирующие органы установлены на прямых участках воздуховодов на расстоянии не менее четырех-пяти диаметров за местным сопротивлением и не менее двух диаметров до последующего местного сопротивления, а также если есть возможность замерить сопротивления всех ответвлений.

На практике вентиляционные сети, позволяющие использовать последний способ регулировки, встречаются редко, поэтому рассмотрим первый и второй методы.

IBIK

1. Регулировка способом последовательного уравнивания отношений фактических и требуемых расходов воздуха

Регулировку по этому способу осуществляют в два этапа: регулировка по отверстиям каждого ответвления и по ответвлениям сети.

Процесс выполняются в такой последовательности:

- открывают регулирующие устройства на ответвлениях и на приточных или вытяжных отверстиях;
- в двух наиболее удаленных от вентилятора отверстиях одного ответвления сети с помощью регулирующих устройств устанавливают отношение фактических расходов воздуха, равное требуемому, по формуле:

$$\frac{L_{1ф}}{L_{2ф}} = \frac{L_{1ТР}}{L_{2ТР}}, \qquad (6.3.5)$$

где $L_{1ф}$, $L_{2ф}$ – фактические расходы через первое и второе отверстия соответственно, м³/ч;

$L_{1ТР}$, $L_{2ТР}$ – требуемые расходы воздуха через первое и второе отверстия соответственно, м³/ч.

Принимая два отрегулированных отверстия за одно, получаем равенство:

$$\frac{L_{1ф} + L_{2ф}}{L_{3ф}} = \frac{L_{1ТР} + L_{2ТР}}{L_{3ТР}}, \qquad (6.3.6)$$

где $L_{3ф}$ и $L_{3ТР}$ – фактический и требуемый расходы воздуха через третье отверстие, м³/ч.

Последующие отверстия регулируют, исходя из условия равенства:

$$\frac{L_{1ф} + L_{2ф} + ... + L_{n-1ф}}{L_{nф}} = \frac{L_{1ТР} + L_{2ТР} + ... + L_{n-2ТР}}{L_{nТР}}. \qquad (6.3.7)$$

Отрегулировав все ответвления по отверстиям, производят регулировку по ответвлениям сети. Регулировку начинают с двух наиболее удаленных от вентилятора ответвлений, в которых устанавливают расход воздуха, отвечающий отношению

$$\frac{L_{отв.1ф}}{L_{отв.2ф}} = \frac{L_{отв.1ТР}}{L_{отв.ТР}}, \qquad (6.3.8)$$

где $L_{отв.1ф}$, $L_{отв.2ф}$ – фактические расходы воздуха в первом и втором ответвлениях соответственно, м³/ч;

$L_{отв.1ТР}$, $L_{отв.2ТР}$ – требуемые расходы воздуха в первом и втором ответвлениях соответственно, м³/ч.

Остальные ответвления регулируют таким же методом.

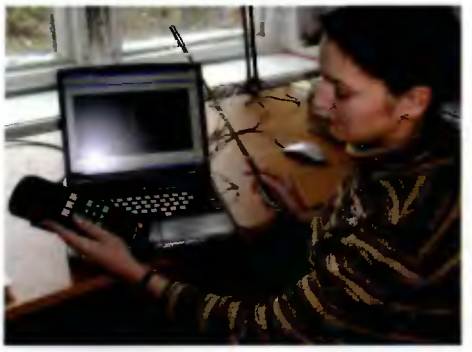


Рис. 6.3.8. Измерение скорости воздуха на рабочем месте (выход измерителя Testo-400 подключен к персональному компьютеру)

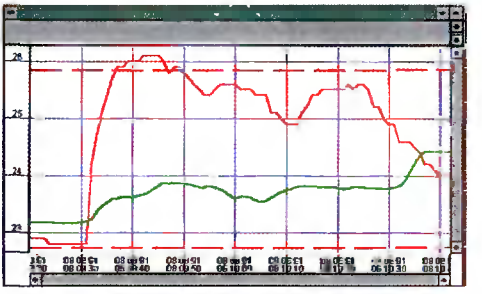


Рис. 6.3.9. Отображение изменения температуры и скорости воздуха на экране персонального компьютера, соединенного с прибором Testo-400

2. Регулировка способом постепенного приближения к заранее заданному отношению фактического и требуемого расхода воздуха

При этом способе учитывается, что производительность вентиляционной установки после регулировки снижается на 10–20%. Поэтому регулировку производят по соотношению:

$$L = (0{,}8 - 0{,}9) \cdot L_{ф} / L_{ТР}, \qquad (6.3.9)$$

где $L_{ф}$ и $L_{ТР}$ – фактическая и требуемая производительность вентиляционной установки.

Вначале устанавливают предварительное (приближенное) соответствие расхода воздуха по ответвлениям сети заданному отношению, а затем производят такую же приближенную регулировку по отдельным отверстиям каждого ответвления. После этого вновь проверяют и корректируют распределение воздуха по ответвлениям и по отверстиям. Работу продолжают в такой последовательности до тех пор, пока расхождение между отношением фактического расхода воздуха к требуемому в каждом отверстии не превысит допустимого.

После регулировки вентиляционной сети определяют изменившуюся подачу и полное давление, развиваемое вентилятором. Если подача вентилятора не соответствует требуемой, необходимый расход воздуха может быть обеспечен согласно приведенных указаний.

IBIK

6.4. НАЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ ТРЕТЬЕЙ СТАДИИ

6.4.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И УСТАНОВКА НАСТРОЕК СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Наладка систем ***автоматического контроля*** сводится к обеспечению требуемой по проекту точности измерений параметров технологического процесса. Точность измерений проверяют сравнением показаний приборов систем контроля с данными, полученными в результате расчета.

Непосредственное измерение параметров выполняют поверенными образцовыми приборами по месту. Такие параметры, как состав, плотность или другие физико-механические свойства определяется по данным лабораторных анализов.

Точность работы систем контроля, как правило, проверяют при показателях технологического процесса (нагрузка), близких к проектным, и при условиях работы приборов, приближенным к расчетным.

При отклонении показаний системы контроля от расчетных значений делают проверку всех элементов системы, включая и соединительные линии, устраняют неисправность и повторно включают систему в работу.

Наладка ***систем автоматического регулирования*** на этой стадии включает в себя следующие работы:

- определение статистических и динамических характеристик объекта (инерционность, коэффициенты усиления, кривые разгона, АФХ и др.);
- расчет по полученным данным настроек регуляторов;
- включение регуляторов с рассчитанными значениями уставок в работу;
- корректировка установленных значений параметров динамической настройки регуляторов (при необходимости).

Динамические характеристики объекта могут быть определены как расчетным путем, так и экспериментальным. Однако в практике наладочных работ обычно используют экспериментальные данные, так как их проще получить, и они позволяют учесть отклонения конструкций аппаратов и самих процессов от идеальных, используемых в расчетных методах. Экспериментальный метод выбирают с учетом требуемой точности, особенностей объекта, возможных и допустимых отклонений параметров регулирования от номинальных, помехозащищенности процесса и т. п.

IBIK

После настройки регуляторов систему включают в работу. Задание регуляторам по поддержанию регулируемых величин устанавливают в соответствии с требованиями проекта или заказчика. При этом номинальное значение регулируемого параметра должно обеспечиваться при открытии регулирующего органа в пределах 40–75 % от максимального.

Для качественного и быстрого выполнения работ на этом этапе наладчики должны быть обеспечены регистрирующими приборами и устройствами для снятия и обработки характеристик объектов регулирования.

Работы по определению динамических характеристик непосредственно на объекте должны согласовываться с технологическим персоналом, осуществляющим пуск и наладку оборудования. Все работы, выполненные на этом этапе (характеристики объектов, результаты их обработки, расчет настройки параметров и т. д.), заносятся в журнал производства наладочных работ.

6.4.2. ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

Налаженные системы автоматизации должны пройти производственные испытания. Нормативные документы, регламентирующие порядок проведения испытаний налаженных систем, до настоящего времени отсутствует. Это вызвано большим многообразием технологических процессов, для которых объем и порядок проведения испытаний определяются многими факторами и, прежде всего, ролью испытываемой системы в общей схеме управления технологическим процессом.

Конкретный объем, порядок и сроки выполнения испытаний регламентируются программой испытаний. Программа составляется в произвольной форме, но она должна содержать перечень подлежащих испытанию систем, порядок проведения, сроки и требуемые результаты испытаний. Программа подлежит обязательному согласованию с заказчиком.

Системы автоматического контроля, как правило, испытывают на точность и надежность работы в течение определенного периода (обычно до трех суток). Помимо этого, могут быть предусмотрены испытания на быстродействие системы контроля или на определение динамических погрешностей при резком изменении контролируемого параметра.

При испытаниях систем автоматического регулирования, кроме проверки на надежность, выполняемой аналогично проверке систем контроля, производится проверка показателей качества регулирова-

IBIK

ния и устойчивости системы. Полученные результаты представляют в виде диаграмм, графиков или таблиц. Такие испытания проводятся при различных режимах (нагрузках) технологического оборудования.

Испытания систем сигнализации, защиты и блокировок проводят, если по условиям ведения технологического процесса в указанных системах возможны изменения параметров до предельных значений. При этом все узлы и элементы систем должны быть задействованы в работе. Исключение из систем отдельных элементов и введение деблокировки возможно только по письменному разрешению заказчика.

По результатам испытаний делается заключение о готовности налаженных систем к сдаче в промышленную эксплуатацию, что оформляется соответствующим актом.

В случаях, когда по техническим условиям проведение испытаний не предусматривается или по особенностям технологического процесса испытание запрещено, анализ работоспособности включенных систем производится по результатам опытно-промышленной эксплуатации. При этом проверяют характеристики и показатели работы, также как при проведении испытаний. Разница состоит в том, что оценку систем осуществляют по результатам их работы в обычных эксплутационных условиях, а не в искусственно создаваемых режимах. После окончания опытно-промышленной эксплуатации также оформляется акт сдачи запроектированных систем автоматизации.

К актам сдачи обычно прилагаются:

- откорректированный экземпляр рабочих чертежей, в который вносятся все изменения и исправления, сделанные в процессе выполнения наладочных работ;
- протоколы испытаний всех систем автоматизации, предусмотренные проектом;
- перечни параметров настройки регуляторов и не включенных систем автоматизации с указанием причин, по которым они не были включены;
- памятки по методике подстройки, поиску и устранению характерных неисправностей в системе автоматизации;
- рекомендации по повышению надежности и качества работы систем автоматизации.

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

6.5. НАСТРОЙКА ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

6.5.1. НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ ОБЪЕКТА

Настройка замкнутых систем автоматического регулирования сводится к выбору оптимальных параметров регуляторов по типовым критериям качества регулирования. Для наиболее распространенных регуляторов такими параметрами являются:

- $k_р$ – для П-регулятора;
- $k_р$, $T_и$ – для ПИ-регулятора;
- $k_р$, $T_и$, $T_д$ – для ПИД-регулятора.

Выбор параметров может быть произведен как по экспериментально снятым динамическим характеристикам объекта управления, так и без их определения.

Наиболее простым способом настройки регуляторов является настройка по временным характеристикам объекта. Этот способ предполагает выполнение следующих операций:

- снятие кривой разгона (кривая отклика регулируемого параметра на ступенчатое изменение регулирующего воздействия);
- построение переходной характеристики;
- сравнение полученных характеристик с типовыми и определение типа объекта;
- определение параметров объекта $\tau_{об}$, $T_{об}$, $\varepsilon_{об}$, $k_{об}$;
- расчет и установка значений настроек регулятора.

Снятие кривой разгона требует выполнения ряда условий:

- место и способ нанесения скачкообразного изменения регулирующего воздействия должны соответствовать возможным реальным изменениям в настраиваемом контуре регулирования;
- для систем стабилизации кривая разгона должна сниматься в окрестностях рабочей точки процесса;
- для выявления асимметрии объекта (характерных для тепловых процессов) необходимо наносить как положительные, так и отрицательные скачки управляющего воздействия с последующим усреднением характеристик;
- при наличии шумов и помех желательно снимать несколько кривых разгона с последующим их наложением друг на друга и усреднением;
- снятие кривых разгона лучше производить при стабильных режимах технологического оборудования, когда воздействие случайных процессов маловероятно (например, в ночные смены);

IBIK

- амплитуда скачкообразного возмущения должна быть, с одной стороны, достаточно большой, чтобы четко выделить кривую разгона, а, с другой стороны, достаточно малой, чтобы не вывести технологический процесс за недопустимые границы.

Перед началом обработки кривых разгона их следует привести к временным характеристикам $h(t)$ и пронормировать (начальное значение регулируемого параметра в момент нанесения скачка управляющего воздействия принимается за 0, установившееся – за 1).

По полученным переходным характеристикам определяют характеристики объекта. Это можно сделать графически, как показано на рис. 6.5.4, или по формулам (6.5.1, 6.5.2):

$$\tau_д = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}, \qquad T_{об} = \frac{t_A - \tau_д}{\ln(1-h_A)}. \tag{6.5.1}$$

Значение h_A берется в окрестностях точки перегиба кривой, а h_B принимается равным 0,8–0,85. По этим значениям определяются и моменты времени t_A и $\tau_д$.

Полное время запаздывания $\tau_{об}$ равно

$$\tau_{об} = \tau_з + \tau_д, \tag{6.5.2}$$

где $\tau_з$ – время чистого транспортного запаздывания.

Коэффициент усиления объекта $k_{об}$ определяется как отношение приращения выходного сигнала к приращению управляющего воздействия в окрестности рабочей точки.

Уставки регуляторов по характеристикам объекта $k_{об}$, $T_{об}$, $\tau_{об}$ можно выбрать, используя или расчетный метод, или с помощью номограмм.

Расчетный метод используется для быстрой, приближенной оценки значения параметров настройки регуляторов для трех видов типовых процессов регулирования и применяется как для объектов с самовыравниванием (табл. 6.5.1), так и для объектов без самовыравнивания (табл. 6.5.2).

В таблице 6.5.1 обозначены $T_{об}$, $\tau_{об}$, $k_{об}$ – постоянная времени, запаздывание и коэффициент усиления объекта.

В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид:

$$W_п(p) = k_п\left(1 + \frac{1}{T_и \cdot p} + T_д \cdot p\right), \tag{6.5.3}$$

где $k_{об}$ – коэффициент усиления регулятора;

$T_{из}$ – время изодрома (постоянная интегрирования регулятора);

$T_д$ – время предварения (постоянная дифференцирования).

Таблица 6.5.1. Формулы для расчета параметров настройки регуляторов объектов с самовыравниванием

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20 % перерегулированием	I_{min}
П	$k_р = \frac{0,3}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$k_р = \frac{0,7}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$k_р = \frac{0,9}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$
ПИ	$k_р = \frac{0,6}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 0,6T_{об}$	$k_р = \frac{0,7}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 0,7T_{об}$ $(T_и = \tau_{об} + 0,3T_{об})$	$k_р = \frac{1}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = T_{об}$
ПИД	$k_р = \frac{0,95}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 2,4\tau_{об}$ $T_д = 0,4\tau_{об}$	$k_р = \frac{1,2}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 2\tau_{об}$ $T_д = 0,4\tau_{об}$	$k_р = \frac{1,4}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 1,3\tau_{об}$ $T_д = 0,5\tau_{об}$

Таблица 6.5.2. Формулы для расчета параметров настройки регуляторов объектов без самовыравнивания

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20 % перерегулированием	I_{min}
П	$k_р = \frac{0,4}{\tau_{об} / T_{об}}$	$k_р = \frac{0,7}{\tau_{об} / T_{об}}$	–
ПИ	$k_р = \frac{0,4}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 6T_{об}$	$k_р = \frac{0,7}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 3T_{об}$	$k_р = \frac{1}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 4T_{об}$
ПИД	$k_р = \frac{0,6}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 5\tau_{об}$ $T_д = 0;2\tau_{об}$	$k_р = \frac{1,1}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 2\tau_{об}$ $T_д = 0,4\tau_{об}$	$k_р = \frac{1,4}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_и = 1,6\tau_{об}$ $T_д = 0,5\tau_{об}$

IBIK

В отличие от расчетного метода метод номограмм позволяет более точно определить параметры настроек регуляторов, так как учитывает нелинейную зависимость между параметрами настройки и величинами $\tau_{об}/T_{об}$ и $k_{об}$. На рис. 6.5.1. приведены номограммы для определения параметров настройки типовых регуляторов по величине $\tau_{об}/T_{об}$.

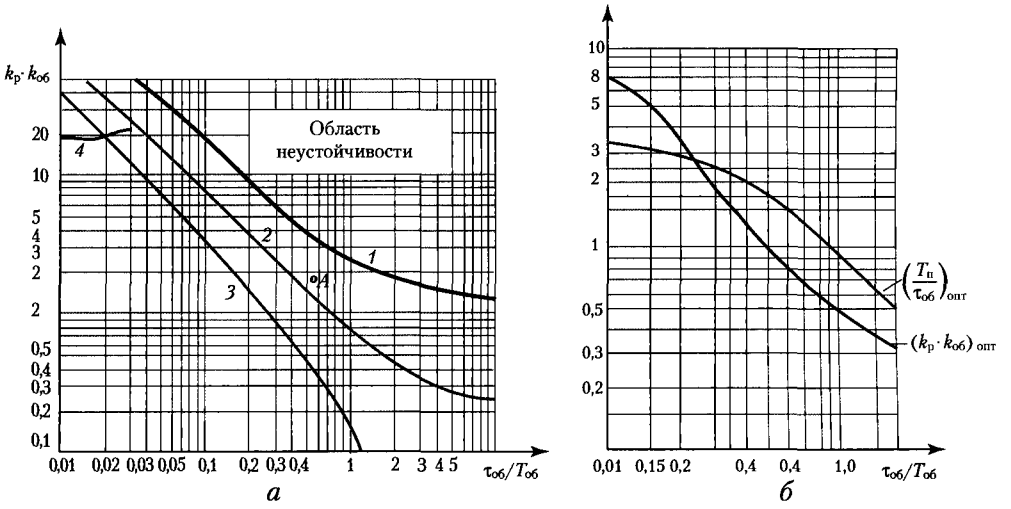


Рис. 6.5.1. Номограммы для определения параметров настройки:

а – П-регулятор; *б* – ПИ-регулятор;
1 – граница устойчивости;
2 – процесс с 20 % перерегулированием;
3 – процесс без перерегулирования;
4 – процесс с минимальным временем регулирования

Более точную динамическую модель объекта отражает амплитудно-фазовая характеристика. Однако методики определения настройки регуляторов по частотным характеристикам [5] достаточно трудоемки и требуют специальной аппаратуры. Поэтому в практике наладки объектов автоматизации СКВ АФХ используют редко.

В качестве примера выбора параметров, использующихся для настройки регуляторов по разгонным характеристикам, рассмотрим одноконтурную систему регулирования температуры приточного воздуха аналоговым регулятором (рис. 6.5.2).

Температура приточного воздуха на выходе из воздуховода контролируется термопреобразователем сопротивления ТС100П.

Управление трехходовым седельчатым клапаном осуществляется исполнительным механизмом NV24 (ф. BELIMO) с управляющим сигналом постоянного тока и рабочим диапазоном 2–10 В, номинальным ходом 20 мм и временем полного хода штока 150 с.

В качестве регулятора может быть применен аналоговый или микропроцессорный измеритель-регулятор, позволяющий работу с термосопротивлением типа ТС100П (точность ±0,5 %) и обеспечивающий на выходе унифицированный аналоговый сигнал 0–10 В.

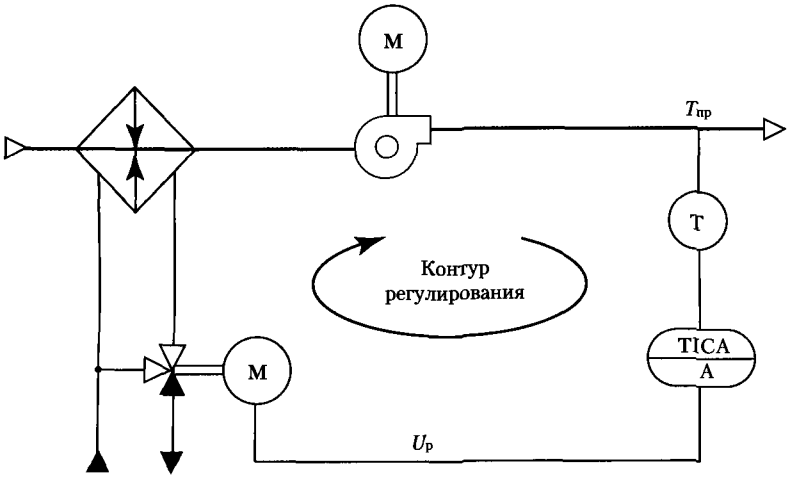


Рис. 6.5.2. Схема одноконтурного регулятора температуры

Снятие динамических характеристик производится после наладки отдельных аппаратов и устройств в следующей последовательности:

1. Подключают приборы для регистрации изменения температуры. Это можно осуществить:

- в простейшем случае для инерционного объекта (как в рассматриваемом примере) с помощью фиксации показаний измерителя-регулятора в определенные моменты времени, отсчитываемые по секундомеру;
- отдельным термопреобразователем, встроенным в воздуховод в комплекте с регистрирующим (например, самопишущий потенциометр) или запоминающим (например, мультиметр типа TESTO 454) вторичным прибором с точностью измерения не менее ±0,5 %;
- подключением к измерителю-регулятору портативного компьютера, оснащенного блоком последовательного интерфейса.

2. Отключив выход регулятора, с помощью ручного управления устанавливают шток трехходового клапана в среднее положение (общий ход штока равен 20 мм, среднее положение – 10 мм устанавливается от любого крайнего положения).

3. Включают систему кондиционирования и после выхода в установившейся режим, определяют начальное значение температуры $T_{нач}$.

4. Подают на исполнительный механизм напряжение $U_р$ = 2 В (полностью закрытый клапан) и фиксируют начало нанесения возмущений $t_{нач}$ = 0.

IBIK

5. Регистрируют изменение температуры в помещении во времени до момента, при котором в помещении устанавливается новое значение температуры $T_{уст1}$ и строят график.

6. Аналогичным способом строят графики изменения температуры при подаче на вход исполнительного механизма напряжений $U_р$ = 6 В (среднее положение клапана), 10 В (полностью открытый клапан) и снова 6 В (возврат в среднее положение).

7. На основании снятых кривых определяют усредненную кривую разгона (рис. 6.5.3).

8. Нормируют кривую относительно разности $|T_{уст} - T_{нач}|$ принимают за 1,0 и строят переходную характеристику $h(t)$ (рис. 6.5.4).

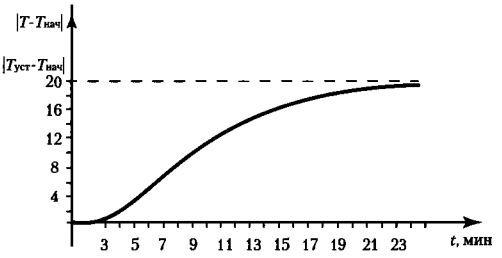


Рис. 6.5.3. Усредненная кривая разгона объекта

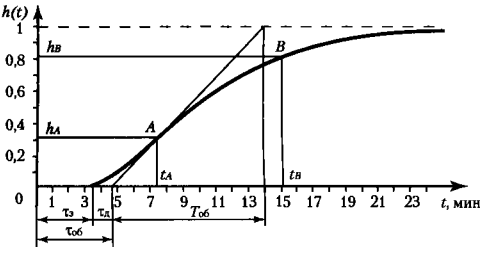


Рис. 6.5.4. Переходная характеристика объекта

9. Определяем параметры объекта:

$$k_{об} = \frac{|T_{уст} - T_{нач}|}{\Delta U_р} = \frac{20}{4} = 5,\ ^{\circ}C/В; \qquad (6.5.4)$$

$$T_{об} = 9{,}3 \text{ мин}; \qquad \tau_{об} = \tau_д + \tau_о = 4{,}7 \text{ мин}.$$

10. По полученным характеристикам объекта, например, для ПИ-регулятора и процесса регулирования с 20 % перерегулированием находят параметры настройки регулятора (табл. 6.5.1):

$$k_р = \frac{0{,}7}{k_{об}\dfrac{t_{об}}{T_{об}}} = 0{,}28; \quad T_и = 0{,}7\,T_{об} = 6{,}5 \text{ мин}. \qquad (6.5.5)$$

Эти же параметры, определенные по номограмме (рис. 6.5.1, *б*), равны:

$$k_р = 0{,}22; \qquad T_и = 7{,}4 \text{ мин}.$$

11. Установив в соответствии инструкцией по эксплуатации регулятора выбранные параметры, с помощью скачкообразного изменения температуры снимают переходную характеристику замкнутой системы, по виду которой при необходимости проводят корректировку параметров.

6.5.2. НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРА БЕЗ СНЯТИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА

Для многих промышленных объектов управления проведение измерений по снятию статических и динамических характеристик дорого и трудоемко. В этом случае используют экспериментальные методы настройки, при которых наладчика, как правило, не интересует тип объекта управления и его характеристики. Предполагается, что система смонтирована и может быть запущена в работу, а также существует возможность изменения настроек регулятора. Таким образом можно проводить некоторые эксперименты по анализу влияния изменения настроек регулятора на динамику системы.

Простейшим методом настройки в этом случае является ***метод последовательного изменения настроек*** при фиксации формы характеристики переходного процесса. Например, для ПИ-регулятора при максимальном значении $T_и$ в несколько приемов увеличивают $k_р$. И при каждом новом значении $k_р$ анализируется кривая переходного процесса по выбранному критерию качества. При зафиксированном $k_р$, соответствующем оптимальному критерию в этой серии опытов, начинают изменять $T_и$ и определяют ее значение, соответствующее наилучшей форме переходного процесса по выбранному критерию. Процедуру повторяют до тех пор, пока любое изменение (увеличение или уменьшение) $k_р$ и $T_и$ не будет приводить к ухудшению формы переходного процесса. Однако, как видим, число таких операций велико, что делает такую настройку трудоемкой и малоэффективной.

Более приемлемым является ***метод незатухающих колебаний*** (Циглера-Никольса) [5]. В этом случае выключаются интегральная и дифференциальная составляющие регулятора ($T_и = \infty$, $T_д = 0$), то есть система переводится в П-закон регулирования и регулируемая величина регистрируется одним из описанных выше способов.

Путем последовательного увеличения $k_р$ с одновременной подачей небольшого скачкообразного изменения сигнала задания добиваются возникновения в системе незатухающих колебаний с периодом $T_{кр}$ (рис. 6.5.5, *а*). При этом фиксируется $k_{кр}$ и по определенным $k_{кр}$ и $T_{кр}$ рассчитываются параметры настройки регулятора:

- П-регулятор: $k_р = 0{,}55\, k_{кр}$;
- ПИ-регулятор: $k_р = 0{,}45\, k_{кр}$; $T_и = T_{кр}/1{,}2$;
- ПИД-регулятор: $k_р = 0{,}6\, k_{кр}$; $T_и = T_{кр}/2$; $T_д = T_{кр}/8$.

При выведении замкнутой системы на границу устойчивости амплитуда колебаний может превысить допустимые значения, и, следовательно, привести к созданию аварийной ситуации. Поэтому не все системы управления промышленными объектами могут выводиться

IBIK

на критический режим работы. Для таких систем целесообразно использовать ***метод затухающих колебаний***. Как и в предыдущем методе, используя только пропорциональную составляющую (увеличивая $k_п$), добиваются затухающего переходного процесса отработки небольшого изменения сигнала задания с декрементом затухания $D = \ln/(A_1/A_3) = 1/4$ (рис. 6.5.5, *б*). Далее определяется $T_{кр}$, по которому находятся $T_и$ и $T_д$:

- ПИ-регулятор: $T_и = T_{кр}/6$;
- ПИД-регулятор: $T_и = T_{кр}/6$; $T_д = T_{кр}/1{,}5$.

Устанавливая полученные значения $T_и$ и $T_д$ на регуляторе, экспериментально уточняют $k_р$ (обычно $k_р$ составляет 70–80 % $k_{кр}$) для получения D, равного 1/4 или 1/5, что обычно считается приемлемым для качественно настроенных промышленных систем [5].

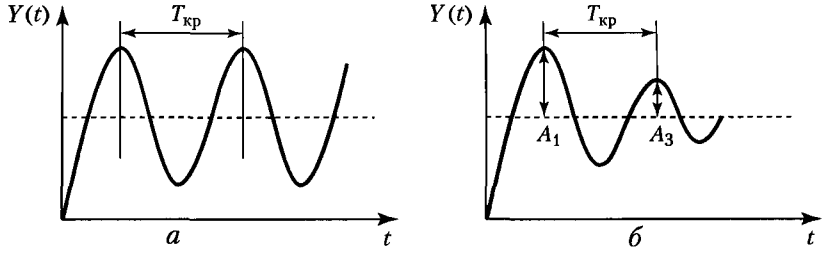


Рис. 6.5.5. Переходные процессы в замкнутых САР при настройке регуляторов: *а* – метод иезатухающих колебаний; *б* – метод затухающих колебаний

6.5.3. НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

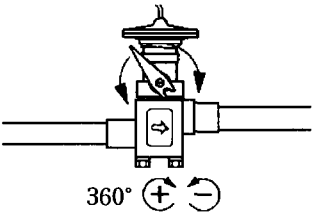
Обычно все регуляторы прямого действия являются П-регуляторами и выполнены с механическим элементом настройки, с помощью которого устанавливается только заданное значение регулируемой величины, и поэтому проблем с их настройкой не возникает.

Некоторые особенности наладки имеет терморегулирующие вентили (ТРВ), при настройке которых необходимо согласовать пропускную способность ТРВ с производительностью испарителя по температуре перегрева хладагента в нем.

Для регулировки ТРВ необходимо измерять давление на входе ТРВ (давление испарения) и температуру на выходе испарителя в месте установки термобаллона.

Температура кипения хладагента определяется по давлению испарения. Температуру на выходе испарителя необходимо измерять точечным быстродействующим измерителем (например, TESTO-454 с датчиком). Датчик имеет быстродействие 0,3 с и точность измерения ±0,1 °С.

Перегрев, который необходимо установить в диапазоне 5–7 К, измеряют как разность между температурой кипения хладагента и показанием термометра на выходе испарителя.



TE5, TE12: N~0,5°C(1°F)SH
B~1,5°C(3°F)SH

TE20, TE55: N~0,5°C(1°F)SH
B~1,0°C(2°F)SH

Рис. 6.5.6. Регулирование производительности ТРВ

Если ТРВ был приобретен с заводской настройкой, то с этой установки и необходимо начинать наладку. Если регулировочный винт сдвинут от заводской установки, то необходимо определить весь диапазон вращения регулировочного винта и установить его посередине диапазона. Так, если весь диапазон составляет 26 оборотов, то установить его на 13-ом обороте. Включают холодильную машину и доводят температуру в помещении до установившегося значения (то есть до той температуры, которая была установлена на пульте управления). При другой температуре в помещении настройка изменится. После выхода на температурный режим в помещении измеряется перегрев испарителя. Если необходимо изменить перегрев, следует вращать винт, пользуясь рекомендациями паспорта на ТРВ.

На рис. 6.5.6 приведены рекомендации с паспорта ТРВ фирмы Danfoss, где показано, что при вращении регулировочного винта по часовой стрелке перегрев увеличивается, а против часовой – уменьшается на 0,5 °С или 1,0 °С. Нельзя вращать регулировочный винт более чем на 1 оборот. После каждого изменения настройки (поворота регулировочного винта) необходимо выждать 15–20 мин, после чего снимать показания термометра. Перегрев должен быть 5–7 К, но для того, чтобы вывести ТРВ на режим максимальной производительности, необходимо откручивать регулировочный винт (повышать производительность ТРВ) до тех пор, пока не начнут появляться пульсации температуры.

Таким образом система выводится в режим незатухающих колебаний, частота и амплитуда которых увеличивается с каждым оборотом регулировочного винта.

На рис. 6.5.7 приведен пример изменения характера пульсаций при открытии (увеличении дроссельного отверстия) на один, два и три оборота. При открытии дроссельного отверстия на 1 оборот регулировочного винта температура перегрева колеблется от 4 до 12 °С. При вращении регулировочного винта на 2 оборота температура перегрева колеблется в пределах от 0 до 14 °С.

Пульсации ТРВ показывают, что его пропускная способность больше пропускной способности испарителя. Так как температура испарителя пульсирует, то пульсируют и другие параметры холодиль-

IBIK

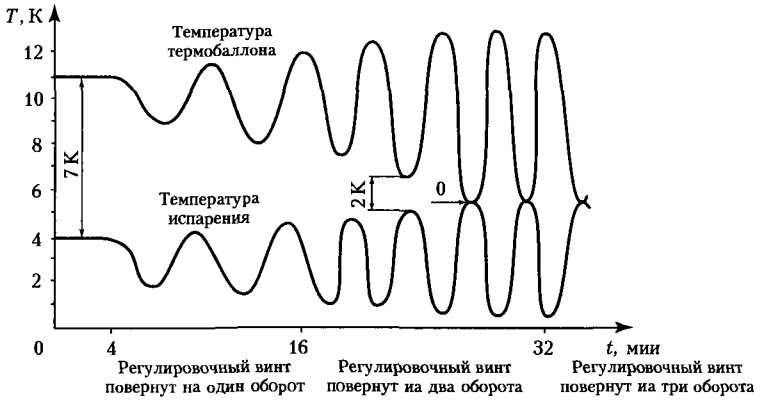


Рис. 6.5.7. Характер пульсаций при настройке ТРВ

ной машины (давление нагнетания, ток компрессора, температура проходящего через испаритель воздуха). При появлении пульсаций регулировочный винт следует закрывать, поворачивая на 1/4–1/2 оборота. После каждого изменения настройки следует выждать 15–20 мин. Регулировку ТРВ производят до исчезновения пульсаций плюс 1/2 оборота.

В таком случае ТРВ будет настроен на необходимый перегрев, а заполнение испарителя будет оптимальным.

При настройке может возникнуть ситуация, при которой возникшие пульсации прекратить будет невозможно, даже полностью закрыв регулировочный вентиль. Это означает, что производительность ТРВ больше производительности испарителя. Устранить недостаток можно путем замены дюзы или ТРВ. Если при вращении регулировочного винта пульсации не возникают, то это означает, что производительность ТРВ меньше производительности испарителя («слабый ТРВ»).

6.5.4. НАСТРОЙКА МНОГОКОНТУРНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Общие методические положения по настройке многоконтурных замкнутых систем регулирования рассмотрим на примере каскадной системы, характерной для автоматизации СКВ.

Применение ***каскадных систем*** наиболее эффективно при автоматизации приточных камер, т. к. именно в последних проявляются большинство возмущающих воздействий. Каскадная схема регулирования температуры воздуха в обслуживаемом помещении приведена на рис. 6.5.8. Входом главного регулятора A_2 (внешний контур) является текущее значение температуры воздуха в помещении $T_{пом}$, а также заданное значение $T_{зад.пом}$. На выходе A_2 формируется регулирую-

щее воздействие $U_{р2}$, которое подается на один из входов вспомогательного регулятора A_1 (внутренний контур) и является заданным значением температуры приточного воздуха $T_{зад\ пр}$. На другой вход регулятора A_1 подается сигнал измеренной температуры $T_{пр}$. На выходе A_1 формируется сигнал управления $U_{р1}$, подаваемый на вход воздухонагревателя (в данном примере рассматривается электрокалорифер, как наименее инерционный). Таким образом, если появляются возмущения на входе системы (например, изменение параметров наружного воздуха), вспомогательный регулятор A_1 выработает управляющий сигнал еще до того, как на выходе системы появится соответствующее отклонение $\Delta T_{пом}$. При этом ошибка стабилизации может быть уменьшена в несколько раз по сравнению с одноконтурной системой.

Наладка такой системы начинается с настройки внутреннего контура по одному из методов, которые рассматривались выше для одноконтурных систем.

Выбор параметров настройки регулятора A_1 следует производить из условия максимального быстродействия по сравнению с A_2. Поэтому главным параметром настройки в этом случае будет являться коэффициент усиления $k_{р1}$, увеличение которого приводит к уменьшению инерционности внутреннего контура. При этом допускается выбор величины $k_{р1}$, приводящей к небольшим величинам колебательности, а при П-регулировании – к статической погрешности, которая компенсируется при работе главного регулятора A_2.

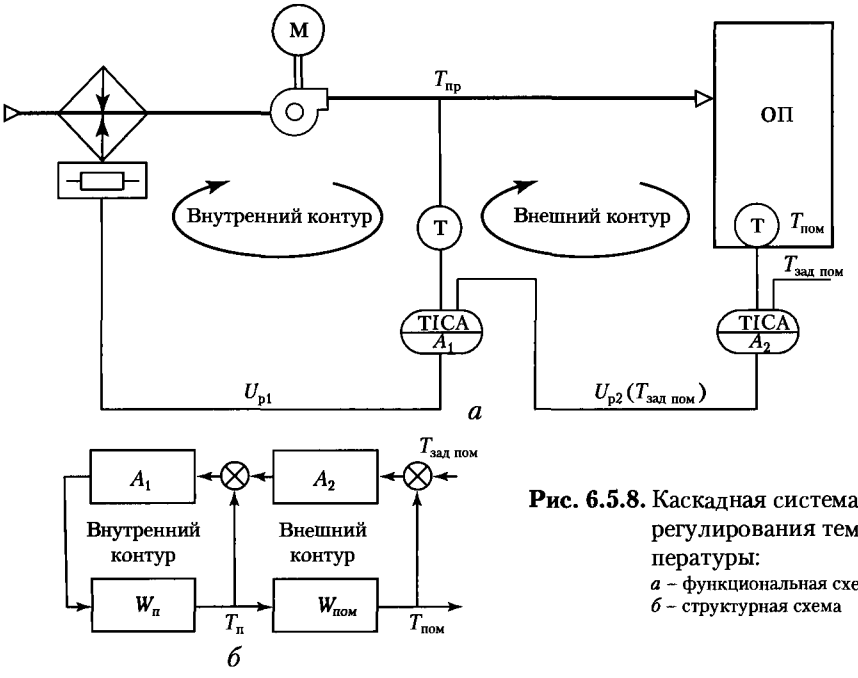


Рис. 6.5.8. Каскадная система регулирования температуры:
а – функциональная схема,
б – структурная схема

После настройки внутреннего контура приступают к наладке внешнего контура в соответствии с требуемым критерием качества регулирования температуры в обслуживаемом помещении.

Хотя в системах кондиционирования выходными показателями воздуха являются, по меньшей мере, два параметра – температура и влажность – большинство систем автоматического регулирования выполнены одномерными с использованием одной управляющей переменной (в основном температура). В случае, когда необходимо стабилизировать две или более связанных между собой переменных (для СКВ – температура и влажность), следует учитывать их взаимодействие, которое может существенно изменить характер переходных процессов, а в некоторых случаях – даже сделать систему неустойчивой.

Эта ситуация характерна, например, при управлении политропным процессом в камере орошения. Схема такой ***двухсвязной системы*** приведена на рис. 6.5.9.

Температура $T_{пр}$ и относительная влажность воздуха $\varphi_{пр}$ на выходе из камеры орошения могут стабилизироваться изменениями температуры $T_в$ (контур *1*) и расхода воды $G_в$ (контур *2*).

В структурной схеме такой системы (рис. 6.5.9, *б*), кроме передаточных функций W_{11} и W_{22} приведенных контуров имеются передаточные функции W_{12} и W_{21}, которые и определяют степень и характер влияния изменений $\varphi_{пр}$ и $T_{пр}$ друг на друга. Определение этих функций и расчет на их основе не только параметров настройки, но и конфигурации всей системы – сложная инженерная задача, решаемая на этапе разработки конкретной системы.

В ряде случаев (малое взаимное влияние контуров, быстродействие одного из контуров значительно выше другого, одна из функций W_{12} или W_{21} равна нулю) может быть применен метод автономной наладки. В этом случае настройка регуляторов A_1 и A_2 производится последовательно, пренебрегая взаимным влиянием контуров.

Процедура настройки осуществляется следующим образом:

- настраивается регулятор A_1 так, чтобы выбранный критерий качества был оптимален;
- отключается настроенный регулятор A_1 и включается регулятор A_2;
- настраивается регулятор A_2 по критерию качества для второго контура;
- включаются в работу регуляторы A_1 и A_2.

Если удается установить характер связей между стабилизируемыми переменными, то наибольший эффект наладки достигается использованием специальных приемов настройки. Такие приемы, как для каскадных, так и для двухсвязных систем регулирования подробно описаны в [9].

IBIK

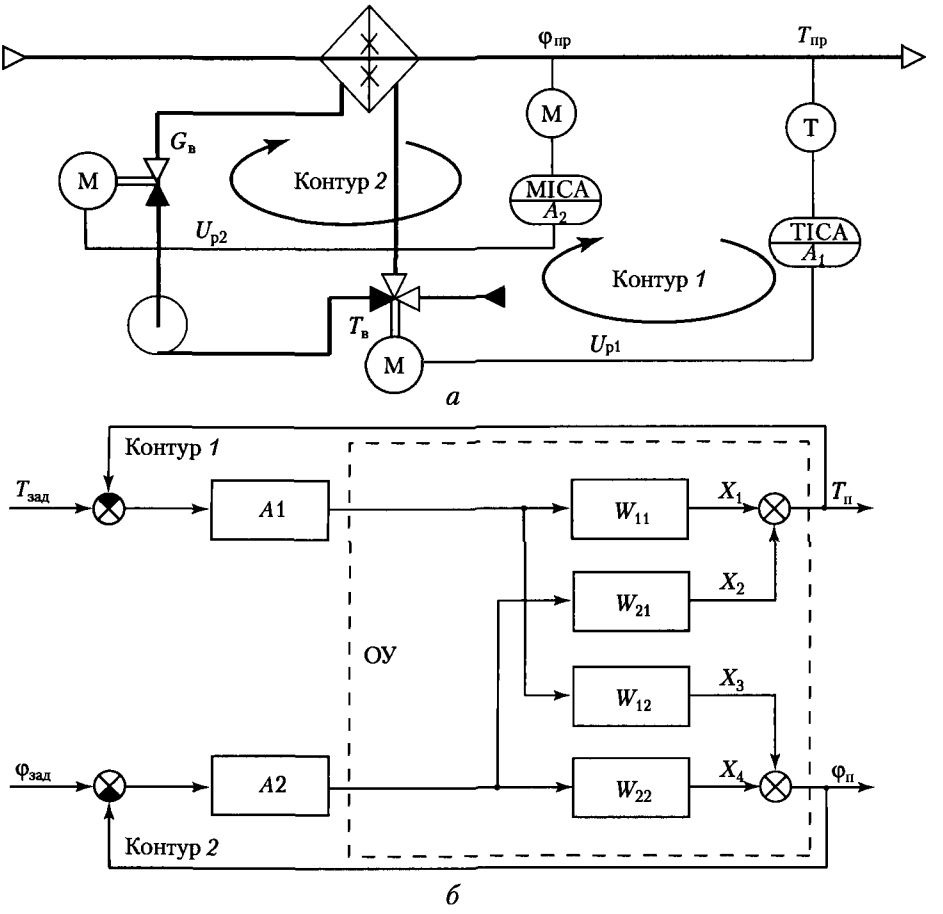


Рис. 6.5.9. Двухсвязная система регулирования температуры и влажности в камере орошения:
а – функциональная схема; *б* – структурная схема

6.5.5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАСТРОЙКЕ ПОЗИЦИОННЫХ И ИМПУЛЬСНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

Обычно считают, что позиционные регуляторы не требуют особой настройки и достаточно выбрать величину зоны нечувствительности, причем, чем меньше, тем лучше. Однако практика применения позиционных регуляторов, особенно в СКВ, где их доля значительна, показывает, что наладчики не всегда учитывают характеристики объекта управления и их влияние на работу таких регуляторов. Поэтому остановимся на некоторых моментах, учет которых позволит более осознанно подходить к настройке позиционных регуляторов.

Для примера рассмотрим простейшую систему регулирования температуры в помещении с использованием фэнкойла и двухпозиционного термостата типа MCR фирмы GEA, представленную на рис. 6.5.10.

IBIK

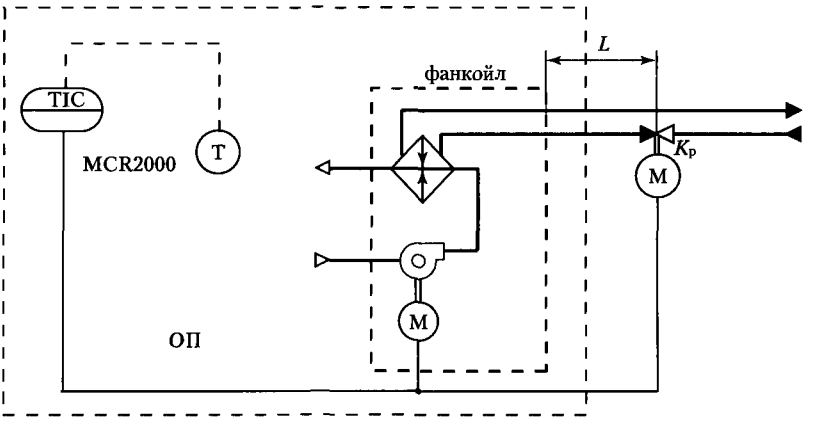


Рис.6.5.10. Схема регулирования температуры в помещении с использованием двухпозиционного регулятора

Рассмотрим процесс двухпозиционного регулирования (рис. 6.5.11) температуры $T_{зад}$ с параметрами объекта $\tau_{об}$ и $T_{об}$ и зоной нечувствительности $\pm\Delta T$. При этом $\tau_{об}$ будет определяться временем притока теплоносителя в фэнкойл, а $T_{об}$ – инерционностью теплообменника, скоростью распространения теплового потока в воздухе и объемом помещения.

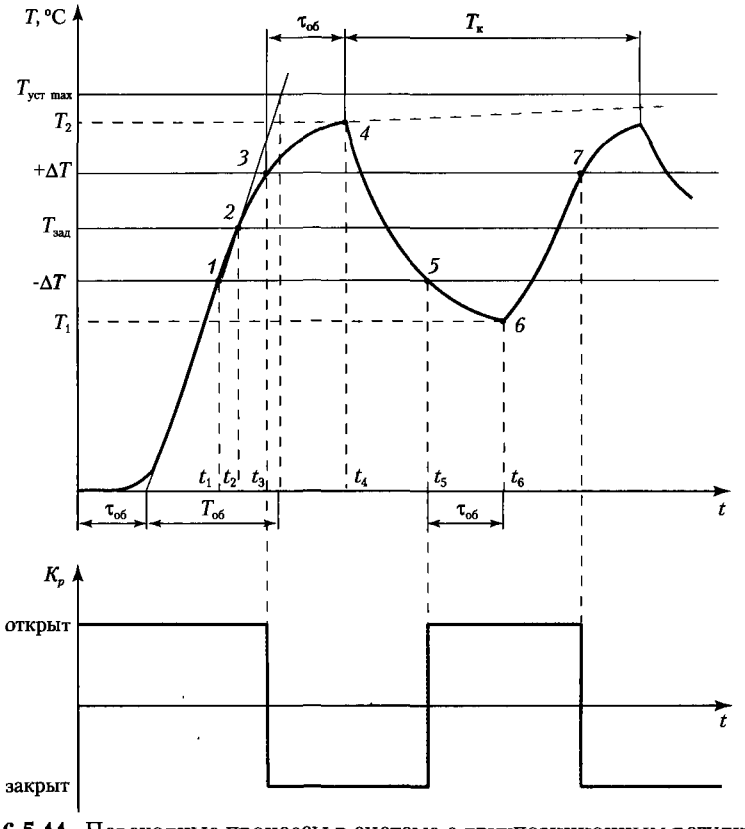


Рис. 6.5.11. Переходные процессы в системе с двухпозиционным регулированием

При включении системы в работу регулятор переключит клапан $K_р$ в положение «открыт», и в объект будет поступать количество теплоносителя Q_w, которое обеспечит возрастание регулируемой температуры по экспоненциальному закону с постоянной времени $T_{об}$ до установившегося значения $T_{уст\ max}$. В точках *1*, *2* по истечении времени t_1 и t_2 количество поступившей энергии обеспечит заданное значение температуры $T_{зад}$, но переключение регулятора не произойдет из-за наличия зоны нечувствительности $\pm\Delta T$. Регулятор переключится только в точке *3* в момент времени t_3 и переведет клапан $K_р$ в положение «закрыт», прекратив тем самым подачу теплоносителя. Однако уменьшение выходной величины по экспоненциальному закону начнется лишь после истечения времени запаздывания $\tau_{об}$ с момента переключения регулятора. Следующее переключение регулятора произойдет только в точке *5* в момент времени t_5. После точки *6* процесс регулирования будет повторяться, и в системе будут происходить устойчивые колебания с периодом $T_к$ в диапазоне от T_1 до T_2.

Таким образом, частота и амплитуда колебаний будут определяться не только $\pm\Delta T$, но и $\tau_{об}$, $T_{об}$ и количеством подводимой энергии Q_w, поэтому учет последних показателей при настройке позиционных регуляторов необходим.

Практические способы улучшения качества регулирования позиционных систем.

1. Установить $\tau_{об} \leq T_{об}$. Позиционные регуляторы позволяют обеспечить качественное регулирование только для объектов с самовыравниванием при соотношении $\tau_{об} < 0{,}2T_{об}$. Обеспечить выполнение этого соотношения в определенных пределах можно, изменив конструкцию объекта регулирования (что на практике редко выполнимо) или изменив расположение датчика и регулирующего органа. В приведенном примере это можно сделать следующим образом:

- расположить термостат ближе к фэнкойлу;
- использовать выносной датчик температуры (показано пунктирной линией);
- расположить регулирующий клапан $K_р$ как можно ближе к фэнкойлу (L – min).

2. Уменьшить зону нечувствительности регулятора $\pm\Delta T$ учитывая, что сужение зоны нечувствительности уменьшает диапазон колебаний регулируемой величины. Последнее приводит к более быстрому износу переключающих механизмов. Поэтому уменьшать $\pm\Delta T$ более, чем это обусловлено технологическими требованиями не следует.

3. При прочих равных условиях установить регулирующее воздействие, обеспечивающее верхнюю границу диапазона регулирования ($T_{уст\ max}$). При этом необходимо учесть, что уменьшение регулирующего воздействия, с одной стороны, уменьшает диапазон колебаний

IBIK

регулируемой величины, а, с другой – снижает быстродействие системы, что нежелательно при пусковых режимах. Оптимальная величина регулирующего воздействия может быть выбрана за счет*:

- ступенчатой подачи регулирующего воздействия (например, в случае применения основного нагревателя, обеспечивающего $T_{уст\,min}$, и подогревателя, обеспечивающего $T_{уст\,max}$);
- изменения величины хода регулирующего органа (например, перемещение конечных выключателей электропривода исполнительного механизма);
- дозированной подачи управляющего воздействия с помощью импульсного прерыватели, параметры которого (длительность импульса $T_{им}$ и паузы $T_{пз}$) выбираются из соотношения:

$$T_{им} + T_{пз} = T_к, \qquad (6.5.6)$$

где $T_к$ – период квантования. Рекомендуется выбирать период квантования из соотношения

$$t_{95}/15 < T_к < t_{95}, \qquad (6.5.7)$$

где t_{95} – время выхода регулируемого параметра до уровня 95 % от установленного значения при подаче на вход объекта ступенчатого сигнала. Для звена первого порядка с запаздыванием это время принимается равным $t_{95} \approx \tau_{об} + 3T_{об}$.

Для инерционных объектов $T_к$ может выбираться в пределах от одной секунды до нескольких минут (в газоанализаторах, например, один раз в час). Слишком большие $T_к$ для ответственных процессов приводят к потере управляемости и медленной ликвидации аварийных ситуаций. В то же время при слишком малом $T_к$ повышаются требования к быстродействию регулятора, и увеличивается влияние помех.

На практике, поскольку каждая фирма-изготовитель регуляторов использует собственные алгоритмы управления и рабочие программы их реализации, при выборе параметров регулирования необходимо следовать рекомендациям по настройке, приведенным в инструкции по эксплуатации на конкретный регулятор.

Например, в импульсных ПИД-регуляторах фирмы «ОВЕН» введен параметр s, изменение которого одновременно влияет на $T_к$ и на $T_д$.

Широкие возможности микропроцессорной техники и систем управления на их основе позволяют автоматизировать процесс определения параметров настроек регуляторов. Эта автоматизация может быть осуществлена как на основе различных прикладных программ моделирования САР, так и путем реализации в регуляторах функций автонастройки. Последнее особенно необходимо при изменяющихся характе-

* Указанные подстройки возможны, если в примененных средствах автоматики такие технические возможности предусмотрены.

ристиках объекта (изменение нагрузки, старение оборудования, влияние окружающей среды, связанное со сменой времен года и т. п.).

В регуляторах с функцией автонастройки последняя может производиться или в процессе вывода объекта на новое задание, или инициироваться наладчиком (обслуживающим персоналом).

Если регулятор производит автоматическую подстройку постоянно в процессе стабилизации состояния объекта, то такие регуляторы называются ***адаптивными***.

Алгоритмы и программы, используемые при создании таких регуляторов, очень разнообразны. Тут используются как классические методы анализа и синтеза САР [22], так и методы с применением последних достижений науки и техники (нечеткая логика, нейронные сети, генетические алгоритмы).

Ограниченность объема данного издания не позволяет более подробно остановиться на этом интересном аспекте, что к тому же требует более глубоких знаний по теории САР.

Необходимо отметить также и недостаток адаптивных систем. В случае очень больших возмущающих воздействий параметры настройки могут сбиться, и система на некоторое время может перейти в колебательный режим с запредельными значениями регулируемой величины.

В любом случае для установки адаптивных систем требуется хотя бы грубое задание некоторых параметров: частоты опроса, максимального и минимального значения регулируемой величины, зоны нечувствительности.

6.6. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

6.6.1. ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ

При выполнении наладочных работ для обеспечения безопасности персонала необходимо кроме основных законодательных актов по охране труда* руководствоваться «Правилами безопасной эксплуатации электроустановок потребителей» (ДНАОП 0.00-1,21-98), «Правилами безопасной работы и инструментами и приспособлениями» (ДНАОП 1.1.10 1.04-01), «Инструкции по технике безопасности при монтаже и наладке приборов контроля и средств автоматизации»

* К основным законодательным актам по охране труда в соответствии со статьей 3 «Закона об охране труда» относится непосредственно указанный закон, «Кодекс закон о труде» (КЗОТ) и «Закон про общеобязателное государственное социальное страхование от несчастных случаев на производстве, и профессионального заболевания, которые вызвали потерю трудоспособности».

IBIK

(ВСН 329-74(97)), а также ведомственными и специальными инструкциями, действующими на объекте.

Пусконаладочные работы, как правило, относятся к работам, выполняемым в опасных и особо опасных условиях, т. к. производятся в электроустановках и в некоторых случаях на высоте. В этой связи наладку приборов контроля и средств автоматизации разрешается производить лицам, которые:

- достигли 18-летнего возраста и прошли медицинское освидетельствование;
- прошли обучение и выдержали испытания по проверке знаний по охране труда с присвоением квалификационных групп по технике безопасности;
- прошли вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности;
- изучили санитарные правила, действующие на объекте, касающиеся мер индивидуальной защиты и личной гигиены;
- освоили методику проведения работ по наладке приборов и средств автоматизации.

Повторную проверку знаний правил техники безопасности проводят один раз в год, а также после каждого их нарушения.

Наладчикам разрешается приступать к работам на объектах только после сдачи монтажниками смонтированного объекта. После передачи объекта наладочному персоналу производить какие-либо монтажные работы на нем без разрешения наладчиков запрещается.

При необходимости монтажных операций по ликвидации недоделок или исправлению дефектов объект, отсоединенный от электропитания, передают монтажному персоналу с обязательным оформлением в журнале регистрации проведения монтажных и наладочных работ.

Незначительные дефекты монтажа разрешается устранять монтажному персоналу под наблюдением наладчиков без оформления в журнале. При этом осуществление мер по обеспечению электробезопасности возлагается на руководителя наладочных работ.

Работы по наладке приборов и систем автоматизации по их организации могут выполняться по наряду-допуску (далее наряду) и по распоряжению. Оформление работ производится в соответствии с п. 3.3 (по наряду) и п. 3.10 (по распоряжению) ДНАОП 0.00-1.21-98.

Руководитель наладочных работ перед их началом обязан:

- ознакомиться сам и ознакомить наладчиков с правилами внутреннего распорядка на объекте, пройти общий инструктаж, проводимый ответственным представителем заказчика;
- проверить срок действия удостоверений наладчиков и при выдаче заданий учитывать их квалификационную группу;

IBIK

- провести инструктаж по технике безопасности на рабочих местах всего персонала, работающего под его руководством, и проверить состояние защитных средств;
- определить готовность монтажа и достоверность мероприятий по технике безопасности, назначить руководителей бригад (звеньев) и установить состав бригад (звеньев);
- ознакомить всех членов бригад с особенностями объекта, с раз мещением по чертежам и в натуре щитов и щитовых помещений, приборов, оборудования, направлением кабельных и трубных трасс;
- определить взаимоотношения с заказчиком о порядке подачи напряжения для опробования схем.

При проведении инструктажа по технике безопасности на рабочих местах должны быть четко сформулированы задания по наладке, определены условия производства работ, проработаны указания о безопасных методах их ведения и применении защитных средств.

6.6.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ С ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ

6.6.2.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Все работники, тем или иным образом работающие с электрооборудованием, приравниваются к электротехническому персоналу. Поэтому на наладчиков электрических, электронных и других приборов и установок полностью распространяются действия «Правил безопасной эксплуатации электроустановок».

Наладочные работы, связанные с подачей напряжения в электроустановках до 1000 В, необходимо производить не менее чем двум лицам, одно из которых должен иметь квалификационную группу не ниже третьей. Единично такие работы может производить только оперативный работник с группой IV.

Перед началом наладочных работ необходимо ознакомиться со схемой электроприемников и проверить наличие и исправность заземления (зануления) приборов и средств автоматизации.

Снабжение электроприемников должно выполняться от электрической сети с глухо-заземленной нейтралью 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S*.

При реконструкции жилых и общественных зданий, имеющих напряжение сети 220/127 В или 3×220 В, следует предусмотреть переведение сети на напряжение 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S.

* В приложении 12 приведены примеры выполнения существующих систем заземления переменного тока.

IBIK

Заземление (зануление), которые имеет целью защиту людей от поражения электрическим током, необходимо выполнять при использовании средств автоматизации с напряжением питания выше 42 В переменного тока и 110 В постоянного тока.

К элементам, которые должны быть заземлены, относятся:

- металлические корпуса приборов контроля, регулирующих устройств, аппаратуры управления, защиты, сигнализации, освещения, корпуса электродвигателей исполнительных механизмов и электроприводов задвижек;
- металлические щиты и пульты всех назначений, на которых установлены приборы, аппаратура и другие средства автоматизации, вспомогательные металлические конструкции для установки электрических приемников и аппаратуры управления;
- металлические оболочки, броня и муфты контрольных и силовых кабелей, металлорукава, металлические оболочки проводов, стальные трубы электропроводок, металлические короба, лотки, ответвительные и соединительные коробки, кабельные конструкции, кронштейны и другие металлические элементы крепления электрических проводок;
- металлические корпуса стационарных и переносных трансформаторов, выпрямительных устройств;
- электрифицированный инструмент I класса;
- стационарные металлические защитные ограждения открытых токоведущих частей электроустановок.

Запрещается последовательное присоединение в рассечку заземляющего проводника нескольких заземляемых элементов электроустановки.

Для питания однофазных потребителей от многофазной распределительной сети допускается разным группам однофазных потребителей иметь совместные N и PE проводники (пятипроводная сеть), проложенные непосредственно от вводного распределительного устройства (ВРУ). Объединение N и PE проводников (четырехпроводная сеть с PEN проводником) не допускается.

При всех случаях запрещается в цепях PE и PEN проводников иметь коммутационные контактные и бесконтактные элементы. Допускаются соединения, которые могут быть разобраны при помощи инструмента, а также специально предназначенные для этих целей соединители.

Проверку правильности маркировки (проводку линий) электрической цепи производят, отключая приборы и аппаратуру, поверочными устройствами с рабочим напряжением не выше 42 В.

При работах со снятием напряжения должны быть выполнены следующие мероприятия:

- произведены необходимые отключения и приняты меры, препятствующие ошибочному или самопроизвольному включению коммутационной аппаратуры;
- вывешены запрещающие плакаты на приводах ручного и ключах дистанционного управления коммутационной аппаратуры;
- проверено отсутствие напряжения на токоведущих частях и установлено заземление.

При работе в электроустановках без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них необходимо:

- оградить расположенные вблизи рабочего места другие токоведущие части, находящиеся под напряжением, к которым возможно случайное прикосновение;
- работать в диэлектрической обуви или стоя на изолирующей подставке либо на диэлектрическом ковре;
- применять инструмент с изолирующими рукоятками (у отверток, кроме того, должен быть изолирован стержень). При отсутствии такого инструмента следует пользоваться диэлектрическими перчатками.

При апробировании приборов и средств автоматизации необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- пробное включение электрических приборов и регуляторов (постановка схемы под напряжение) производить только после тщательной проверки правильности сборки схемы согласно проекту, надежности контактов на всех приборах, аппаратах и других элементах схемы, а также после установки предупредительных плакатов;
- необходимо убедиться в отсутствии людей вблизи токоведущих частей;
- при выявлении дефектов в период наладки приборов и аппаратуры, установленных на технологических трубопроводах и оборудовании, запрещается производить затяжку фланцевых соединений, устранение течей в местах соединения приборов с технологическими трубопроводами и оборудованием, смену сальниковых уплотнений в регулирующих клапанах, уплотнение мест отбора импульсов (давления, расхода, уровня) во время работы установки. Все перечисленные работы должны выполняться только после отключения установки или участка трубопровода, на котором установлен прибор, после сброса давления и спуска заполняющей среды;

ІВІК

- запрещается снимать приборы, находящиеся под напряжением, с места их установки.

Регулировка и настройка контактной системы регулирующих и сигнализирующих приборов допускается только после снятия с нее электропитания.

6.6.2.2 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СПЕЦИАЛЬНЫХ РАБОТ

При работе с измерительными приборами, устройствами автоматики и телемеханики необходимо выполнять следующие требования:

- работы в цепях релейной защиты, электроавтоматики и телемеханики (РЗАиТ) необходимо производить по исполнительным схемам;
- при работах в цепях РЗАиТ необходимо пользоваться слесарно-монтажными инструментом с изолирующими рукоятками;
- для обеспечения безопасности работ в цепях измерительных устройств, все вторичные обмотки измерительных трансформаторов тока и напряжения должны иметь постоянное заземление (зануление). Разрывать цепи, подключенные к вторичной обмотке трансформаторов ***запрещается***. При необходимости разрыва этих цепей они должны быть предварительно замкнуты перемычкой, установленной до места разрыва (считая от трансформатора тока);
- при работах в цепях трансформаторов напряжения с подачей напряжения от постороннего источника снимаются предохранители со стороны высшего и низшего напряжения и отключаются автоматы от вторичных обмоток;
- при необходимости производства работ в цепях РЗАиТ при включенном основном оборудовании необходимо принять дополнительные меры против его случайного отключения;
- на панелях или вблизи места установки релейной аппаратуры ***запрещается*** производить работы, вызывающие ее сильное сотрясение и как следствие – ложное срабатывание.

При работе с временными схемами необходимо соблюдать следующие требования:

- временные схемы, собираемые вблизи налаживаемого оборудования для снятия его параметров и апробирования, следует выполнять на прочных столах, которые должны позволять удобно и свободно размещать необходимые провода и аппаратуру;

- выполнять сборку и работу с временными схемами на металлических столах ***запрещается***;
- в помещениях с повышенной опасностью работы с временными схемами производятся ***обязательно*** на резиновых ковриках;
- проводить сборку временных схем, переключения проводов в таких схемах, перестановку приборов и аппаратов в них без снятия напряжения и видимого разрыва в питающей сети ***запрещается***;
- при перерывах или окончании наладочных операций линии питания временных схем должны быть отключены;
- временные питающие линии должны быть проложены открытым способом, проводом соответствующего сечения и с изоляцией, обеспечивающие достаточную механическую и электрическую прочность;
- питание временных схем для проверок и испытаний необходимо выполнять через коммутационные аппараты (рубильник, автомат) с защитой и четким обозначением включенного и отключенного положения;
- ***не допускается*** включение временных схем, электроинструмента, переносного освещения и других устройств путем соединения оголенного конца проводов или накладывания этих концов на контактные части рубильников или предохранителей.

При работе с электродвигателями необходимо соблюдать следующие правила:

- ремонт и наладка электросхем электроприводов, не соединенных с исполнительным механизмом и регулирующим органом можно проводить по распоряжению;
- при работе, связанной с прикосновением к токоведущим или вращающимся частям электродвигателя необходимо остановить электродвигатель и на его пусковом устройстве и ключе управления повесить плакат «Не включать! Работают люди»;
- перед допуском к работе на электродвигателях насосов, вентиляторов, дымососов, если есть возможность вращения электродвигателей от соединенных с ними механизмов, должны быть закрыты задвижки и шиберы этих механизмов, а роторы электрдвигателей заторможены;
- ***запрещается*** снимать ограждение вращающихся частей электропроводов во время их работы;
- неиспользуемая обмотка работающего многоскоростного электродвигателя и питающий ее кабель считаются находящимися под напряжением;

- апробирование электроприводов совместно с исполнительным механизмом следует проводить с разрешения начальника смены организации, обслуживающей технологическое оборудование.

Работы по измерению сопротивления изоляции:

- измерение мегомметром разрешается выполнять только обученным работникам. В электроустановках напряжением до 1000 В эти работы проводятся по распоряжению двумя лицами, одно из которых должно иметь III группу;
- измерение сопротивление изоляции мегомметром должно осуществляться на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путем предварительного их заземления; заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегомметра;
- при измерении мегомметром сопротивления изоляции токоведущих частей соединительные провода должны быть изолированы, и присоединяться с помощью изолирующих держателей (штанг) или зажимами типа «крокодил»;
- при работе с мегомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединен, не разрешается; после окончания работы следует снять с токоведущих частей остаточный заряд путем их кратковременного заземления;
- результаты измерения сопротивления изоляции заносятся в протоколы, единая форма которых предусмотрена в ДНАОП 0.00-1.21-98 (приложение 13).

6.6.3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТ С ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАМИ НА ВЫСОТЕ

При выполнении работ по наладке и обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования часто приходится иметь дело с электрооборудованием, установленным на высоте (наружные датчики, подвесные воздухопроводы, внешние блоки автономных кондиционеров и т. п.). К работам на высоте относятся все работы, выполняемые на уровне более 1,3 м относительно уровня пола или земли.

К таким работам допускаются обученные лица, состояние здоровья которых должно отвечать медицинским требованиям, установленным для данного вида работ (ДНАОП 0.03-4.02.94).

Наладочные и ремонтные работы на высоте обычно проводятся с использованием подмостей и лестниц, которые должны быть сертифицированы, и отвечать требованиям государственных стандартов (ГОСТ, ДСТУ) или технических условий (ТУ) на них.

При этом для электроустановок применение металлических лестниц запрещается.

Основания лестниц, устанавливаемых на гладких поверхностях, должны быть оббиты резиной, а на основании лестниц, устанавливаемых на земле, должны быть острые металлические наконечники. Лестницы должны верхним концом надежно опираться на прочную основу. При необходимости опереть лестницу на провод она должна быть снабжена крючками в верхней части. Связанные лестницы применять запрещено.

При установке приставных лестниц на элементах металлических конструкций необходимо надежно прикрепить вверх и низ лестницы к конструкциям.

Работу с использованием лестниц выполняют два работника, один из которых находится внизу. На ступеньках приставной лестницы или стремянки разрешается пребывание только одного работника.

Выполнять работы, стоя на ящиках и других посторонних предметах запрещается.

Работники, выполняющие работы на высоте, должны пользоваться спецодеждой не стесняющей движения. Личный инструмент должен находиться в сумке. В случае работы на конструкциях, под которыми расположены находящиеся под напряжением токоведущие части, инструмент и приспособления должны привязываться во избежание их падения.

Не разрешается поднимать или опускать груз не по приставной лестнице и оставлять инструмент на перекладины.

Запрещается на приставных лестницах и стремянках:

- работать около вращающихся механизмов, работающих машин, трансформаторов и т. п.;
- выполнять работы с использованием электрического и пневматического инструмента;
- натягивать провода и поддерживать на высоте тяжелые детали.

Для выполнения таких работ необходимо применение лесов или стремянки с площадкой, отгороженной поручнями.

При выполнении работ с приставных и раздвижных лестницах на высоте более 1,3 м необходимо применять предохранительный пояс. Предохранительные пояса должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.4-089 и ДНАОП 1.1.10-1.07-01 «Правила эксплуатации электрозащитных средств». Пояс должен крепиться за конструкцию строения или за лестницу – при условии надежного крепления лестницы к конструкции.

IBIK

Раздел 7 Автоматизация бытовых и полупромышленных кондиционеров

7.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОДНОЗОНАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ

7.1.1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОДНОЗОНАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ С ПОЗИЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ КОМПРЕССОРА

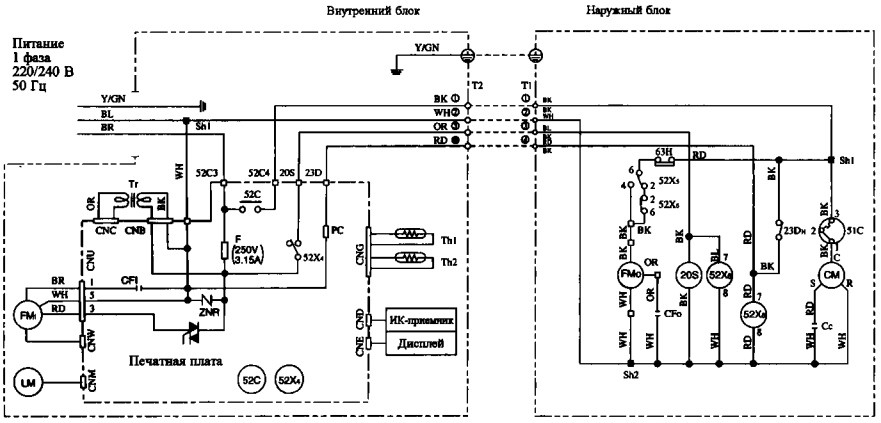
7.1.1.1. ТИПОВЫЕ СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

Типовые решения автоматизации автономных кондиционеров рассмотрим на примере кондиционеров фирмы Mitsubishi Heavy Industries, являющейся одной из ведущих фирм по данному виду оборудования.

Данный тип кондиционеров является наиболее простым по конструктивному исполнению и поэтому наиболее распространенным. Управление ими построено на периодическом включении и отключении компрессора в зависимости от состояния параметров воздуха в обслуживаемом помещении.

Типовая электрическая схема автоматизации такого кондиционера приведена на рис. 7.1.1. Внутренний блок кондиционера включает теплообменник, вентилятор FM1, датчик комнатной температуры Th1, датчик температуры теплообменника Th2 и плату управления.

В наружном блоке установлены: компрессор CM с тепловым реле защиты 51C, вентилятор FM0, четырехходовой клапан 20S, термостат оттаивания 23DH, прессостат 63H (включение вентилятора наружного блока), регулятор потока жидкого хладагента (TPB или капиллярная трубка) и теплообменник (последние два элемента на рис. 7.1.1 не показаны).



Режим / Положение переключателя скорости	Охлаждение	Нагрев	Вентилятор
AUTO	см. рис. 7.1.10		
LOW	скорость 2 [1]	скорость 3 [2]	скорость 2 [1]
MED	скорость 3 [2]	скорость 4 [3]	скорость 3 [2]
HIGH	скорость 4 [3]	скорость 5 [4]	скорость 4 [3]

Рис. 7.1.1. Схема принципиальная электрическая бытового кондиционера

В кондиционерах, оттаивание в которых осуществляется по температуре теплообменника, устанавливаются датчики температуры теплообменника и наружного воздуха.

Кроме того, в наружном блоке установлены два промежуточных реле: 52X5 и 52X6 для управления режимами работы вентилятора FM0.

Управление осуществляется с помощью дистанционного пульта с жидкокристаллическим индикатором и источником инфракрасного излучения (рис. 7.1.2). С пульта управления можно выполнить следующие действия:

- выбрать режим работы кондиционера (нагрев, охлаждение, осушение, вентиляция, экономичный, ночной или автоматический);
- задать температуру, которую необходимо поддерживать в помещении;
- выбрать скорость потока воздуха, выходящего из испарителя (как правило, 3 скорости);
- задать с помощью жалюзи направление потока воздуха (циклично меняющееся или в определенном направлении);
- установить время работы кондиционера с помощью суточного таймера;
- получить информацию о работе кондиционера или о причинах отказа (часть информации о состоянии кондиционера выводится также на информационный узел внутреннего блока).

IBIK

Если пульт окажется неработоспособным (например, из-за некачественной батареи питания), то кондиционер можно включить с помощью кнопки, расположенной на информационном узле внутреннего блока.

Не смотря на простоту конструктивного исполнения функции управления, решаемые такими кондиционерами, весьма разнообразны.

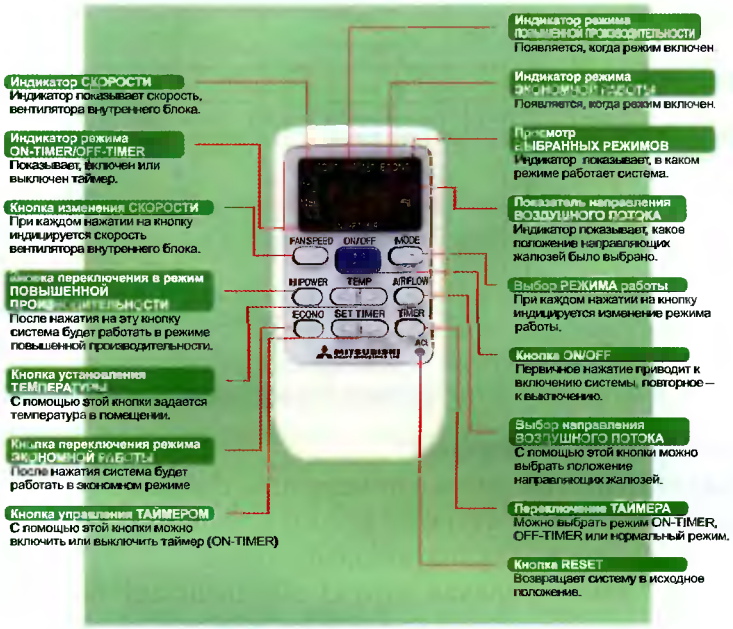


Рис. 7.1.2. Дистанционный пульт управления кондиционером типа SRK фирмы Mitsubishi Heavy Industries

7.1.1.2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ

1. Автоматический режим управления

В автоматическом режиме кондиционер поддерживает в помещении температуру от 25 до 26 °С. Если температура в помещении меньше 21 °С, включается режим нагрева, при температуре от 21 до 26 °С – режим осушения, при температуре более 26 °С – режим охлаждения.

Алгоритм работы кондиционера в этом режиме приведен на рис. 7.1.3. Поддерживаемая температура в автоматическом режиме может быть изменена с пульта управления в диапазоне ±6 °С.

Алгоритмы циклических режимов, защитных и управляющих функций приведены ниже.

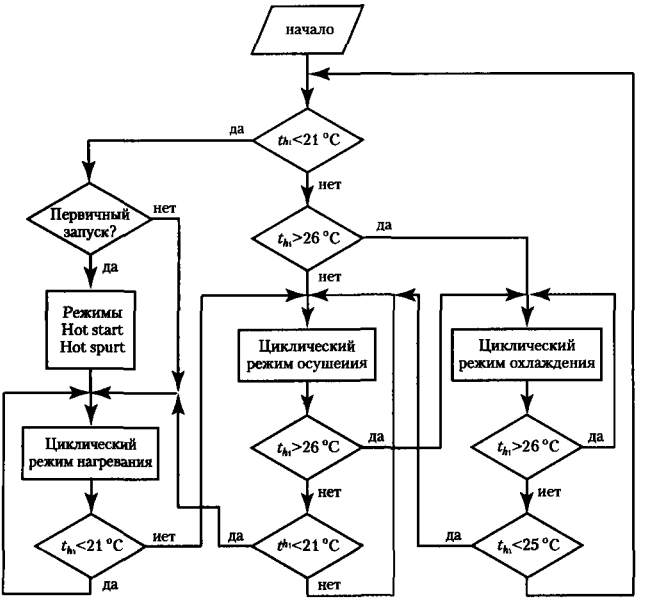


Рис. 7.1.3. Алгоритм работы бытового кондиционера в режиме AUTO

2. Режимы энергосбережения

С целью сохранения тепла в помещении, сокращения времени выхода на заданный температурный режим и экономии электроэнергии в кондиционеры введены следующие функции:

Режим ***Hot spurt*** (горячая струя) обеспечивает быстрый выход на режим нагрева при первом включении кондиционера.

При цикличном режиме работы кондиционера компрессор работает до достижения температуры ($t_{уст}$ + 1) °С (рис. 7.1.4, кривая *1*). После достижения данной температуры компрессор выключается минимум на 3 мин для выравнивания давления между низконапорной и высоконапорной частью холодильной машины. При этом происходит изменение температуры воздуха вблизи датчика температуры и изменение температуры в помещении.

Чтобы ускорить выход на заданный режим при первом включении кондиционера, компрессор выключается, когда температура в области расположения датчика достигает значения ($t_{уст}$ + 3) °С. В этом случае температура в помещении будет изменяться по кривой *2* и достигнет $t_{уст}$ быстрее, чем в обычном режиме (кривая *1*).

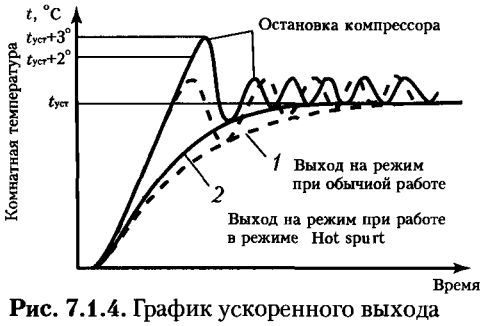


Рис. 7.1.4. График ускоренного выхода на заданный режим

Режим ***Hot start*** (горячий старт) исключает поступление холодного воздуха в помещение в режиме обогрева.

При работе в режиме обогрева вентилятор внутреннего блока не включается до тех пор, пока температура теплообменника не достигнет 30°С (рис. 7.1.5). При достижении этой температуры вентилятор начинает вращаться на низкой скорости (скорость 2), а при достижении 43 °С – со скоростью, установленной пользователем на пульте.

Рис. 7.1.5. Циклограмма режима Hot start

После остановки компрессора вентилятор вращается с установленной скоростью, пока температура теплообменника не снизится до 37 °С, а затем переходит на режим низкой скорости вращения до установления температуры теплообменника 20 °С, затем останавливается.

Режим ***Hot keep*** (сохранение тепла) позволяет сохранять тепло при выключении компрессора.

Эта функция применяется в двух случаях:

- при выключении компрессора в цикличном режиме нагрева;
- в режиме оттаивания.

В первом случае, когда температура в помещении достигает ($t_{уст}$ + 1) °С, компрессор останавливается, но вентилятор обдува внутреннего теплообменника продолжает работать до тех пор, пока температура внутреннего теплообменника не снизится до 37 °С (рис. 7.1.6). После этого вентилятор переходит на пониженную скорость (скорость 2) и вращается до снижения температуры внутреннего теплообменника до величины, меньшей или равной 30 °С. Затем вентилятор останавливается на 3–5 мин.

Во втором случае алгоритм вентилятора аналогичен, но процесс длится примерно 1 мин.

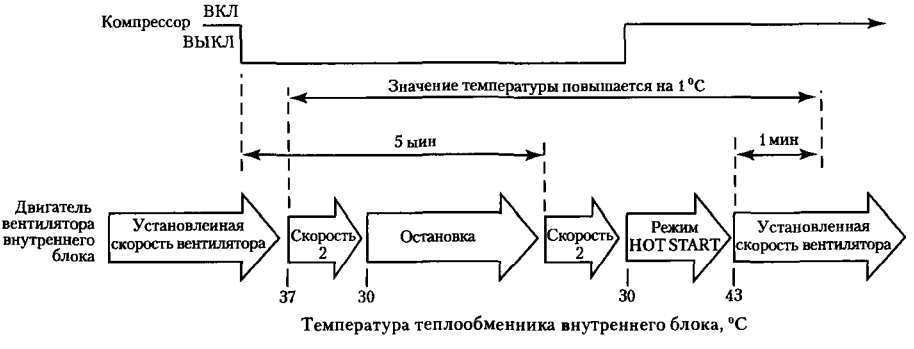


Рис. 7.1.6. Циклограмма режима сохранения тепла при остановке компрессора

3. Оттаивание наружного теплообменника

В зимний период при работе в режиме обогрева на теплообменнике наружного блока может образовываться слой инея («снеговая шуба»), который резко снижает эффективность теплообмена. Поэтому «снеговую шубу» необходимо периодически удалять путем перевода кондиционера в режим охлаждения. Наружный теплообменник, выполняя функции конденсатора, нагревается и «снеговая шуба» тает. Однако внутренний теплообменник при этом охлаждается и может снизить температуру помещения, что нежелательно.

Чтобы исключить потери тепла, в начале и в конце режима оттаивания включается режим HOT KEEP (сохранение тепла), а оттаивание осуществляется в соответствии с циклограммой, приведенной на рис. 7.1.7.

Работа кондиционера в режиме оттаивания

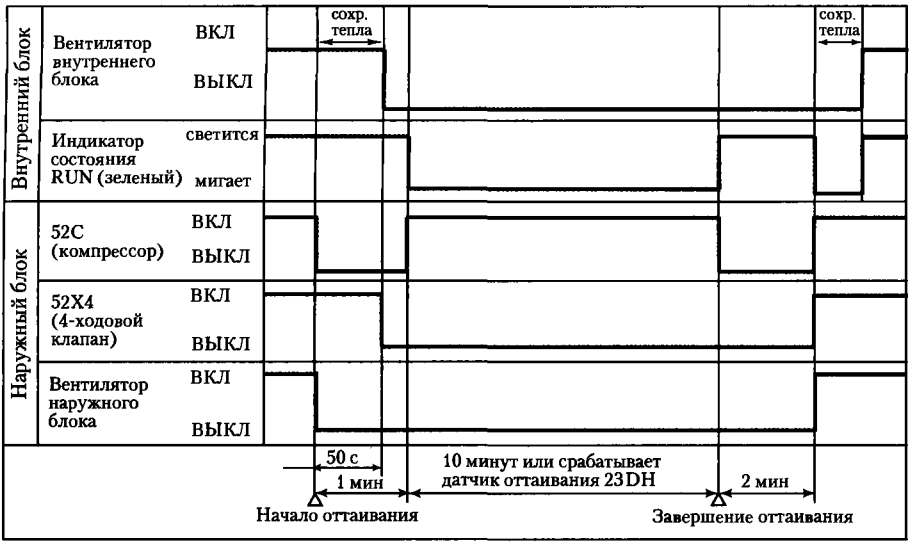


Рис. 7.1.7. Циклограмма режима оттаивания

При оттаивании происходят следующие действия:

- переключается четырехходовой клапан;
- выключаются вентиляторы наружного и внутреннего блоков;
- закрываются жалюзи внутреннего блока.

Начало оттаивания определяется следующими условиями (или одним из них):

- температура на поверхности наружного теплообменника снижается до 0 °С;
- температура точки росы наружного воздуха превышает температуру на поверхности испарителя;
- уменьшается разность температур между входящим воздухом и теплообменником внутреннего блока.

IBIK

Повторное оттаивание включается не ранее, чем через 40 мин после окончания предыдущего. Оттаивание завершается через 3–7 мин, после чего кондиционер переключается в режим нагрева.

4. Форсированное оттаивание

При необходимости можно включить оттаивание с пульта. Так, для некоторых моделей необходимо за 20 с установить на пульте следующие параметры:

- переключатель ON-OFF в положение ON;
- скорость вентилятора в положение LOW;
- режим работы HEAT (нагрев);
- температуру «19»;
- таймер в положение ON;
- режим жалюзи в положение SWING.

При таких условиях оттаивание будет длиться 3 мин.

Для других моделей можно установить длительность оттаивания. Для этого, помимо перечисленных выше операций, необходимо выставить длительность процесса оттаивания. Например, если при текущем времени «AM 4:00» выставить «OFF time – AM 4:30», то длительность оттаивания составит 30 мин.

Окончание оттаивания может также определяться достижением температуры наружного теплообменника 10–14 °С (измеряется датчиком 23DH).

5. Предотвращение конденсации влаги и обмерзания теплообменника внутреннего блока

Если температура теплообменника внутреннего блока опускается ниже 0 °С и компрессор к этому времени проработал более 10 мин, то для предотвращения образования инея на теплообменнике внутреннего блока компрессор будет периодически останавливаться, а скорость вентилятора уменьшаться.

Если компрессор работает непрерывно более 30 мин, то во избежание конденсации влаги увеличивается скорость вентилятора внутреннего блока.

6. Осушение воздуха

При составлении алгоритма работы кондиционера в режиме осушения введено понятие диапазонов (блоков) температур (рис. 7.1.8). Опорной точкой выбрана разность между комнатной температурой и температурой, установленной пользователем на пульте управления.

Различают 4 диапазона температур:

A-диапазон, когда $\Delta t_{oc} > +3$ °С;

B-диапазон, когда $0 < \Delta t_{oc} < +3$ °С;

C-диапазон, когда $-2 < \Delta t_{oc} < 0$ °С;

D-диапазон, когда $\Delta t_{oc} < -2$ °С.

IBIK

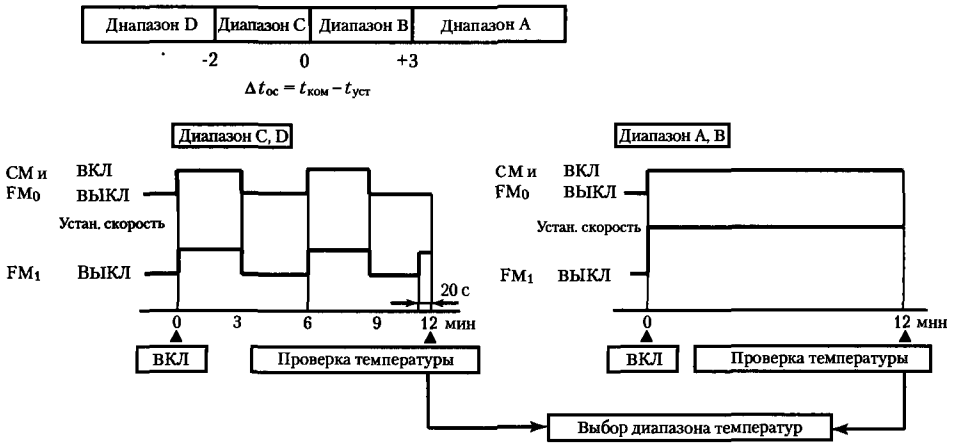


Рис. 7.1.8. Первичный цикл режима осушения

При включении стартового режима осушки производится измерение температуры и определение диапазона, в котором находится измеренная разность. В зависимости от температуры $\Delta t_{ос}$ кондиционер будет работать по циклограмме, изображенной на рис. 7.1.8.

Через 11 мин и 40 с вновь осуществляется измерение $\Delta t_{ос}$ и, в зависимости от того, в каком диапазоне температур находится $\Delta t_{ос}$, включится соответствующий алгоритм по циклограмме рис. 7.1.9.

Через 8 мин вновь осуществляется измерение, и принимается решение о выборе алгоритма работы на следующие 8 мин (рис. 7.1.9).

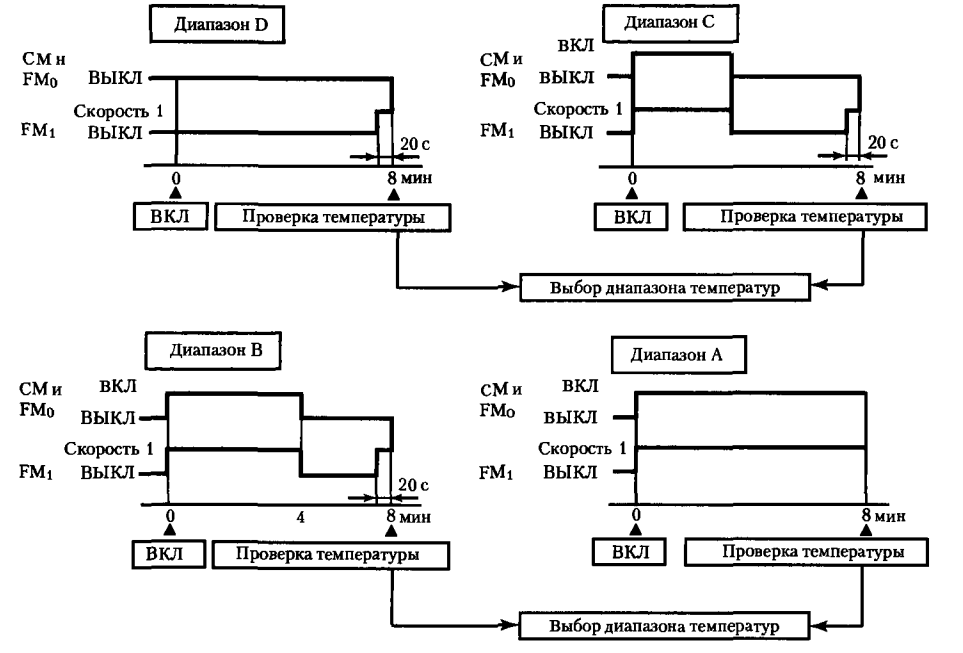


Рис. 7.1.9. Вторичный цикл режима осушки

7. Режим работы вентилятора внутреннего блока

Вентилятор внутреннего блока может работать на одной из 5 скоростей в зависимости от установленных пользователем режимов работы, как показано в таблице 7.1.1.

Таблица 7.1.1. Таблица скоростей вентилятора внутреннего блока

Положение переключателя скорости \ Режим	Охлаждение	Нагрев	Вентилятор
AUTO	см рис 7 1 10		
LOW	скорость 2 [1]	скорость 3 [2]	скорость 2 [1]
MED	скорость 3 [2]	скорость 4 [3]	скорость 3 [2]
HIGH	скорость 4 [3]	скорость 5 [4]	скорость 4 [3]

В автоматическом режиме значение скорости устанавливается в соответствии с графиками, изображенными на рис. 7.1.10.

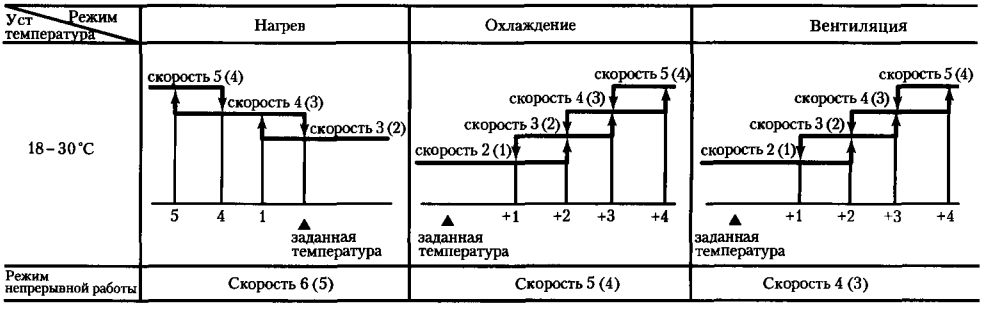


Рис. 7.1.10. График скоростей вентилятора внутреннего блока (автоматический режим)

8. Удаление влаги с внутреннего теплообменника в режиме охлаждения

Для удаления влаги с теплообменника внутреннего блока в режиме охлаждения выполняются следующие действия:

- выключается компрессор через 50 мин после включения;
- увеличивается скорость вращения вентилятора обдува внутреннего теплообменника.

Рис. 7.1.11. Циклограмма режима оттаивания внутреннего теплообменника

С целью предупреждения обмерзания внутреннего теплообменника в режиме охлаждения и осушки при достижении температуры внутреннего теплообменника 0 °С выключаются компрессор, вентиляторы наружного и внутреннего теплообменников.

Компрессор не включается в течение 10 мин, но если температура внутреннего теплообменника достигнет 7 °С, компрессор включится, однако не раньше, чем через 3 мин (рис. 5.3.14).

9. Предварительное включение кондиционера

Если при выключенном кондиционере пользователь включает таймер и устанавливает время его включения, то за 1 ч до указанного времени и затем через каждые 15 мин будет происходить измерение температуры в помещении. Это позволит определить, когда необходимо включить кондиционер, чтобы к заданному на таймере времени температура в помещении достигла установленного значения (табл. 7.1.2).

Таблица 7.1.2. Время предварительного включения кондиционера

Режим работы	Датчик комнатной температуры (Th1), °С	Время предварительного включения (время, через которое включится кондиционер), мин
Нагрев	менее 5	60
	менее 10	30
	менее 15	15
	более 15	5
Охлаждение	более 40	60
	более 35	30
	более 30	15
	менее 30	5

Может быть установлен 12-часовой отсчет времени с дискретностью 1 час или 24-часовой отсчет с дискретностью 1 мин.

10. Диапазон и точность поддержания температуры

Температура в помещении может быть задана пользователем в диапазоне от 18 до 30 °С. Компрессор и вентилятор наружного блока включаются в соответствии с алгоритмом, показанным на рис. 7.1.12.

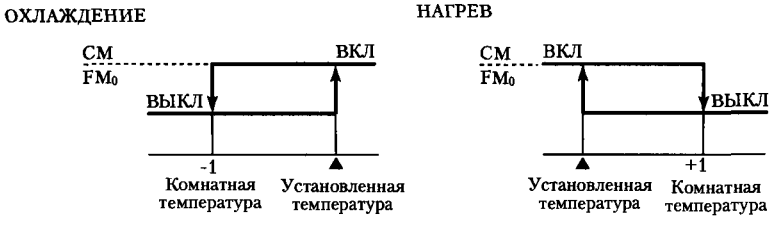


Рис. 7.1.12. Точность поддержания температуры в бытовых кондиционерах MHI

11. Управление работой направляющих жалюзи

Существует три основных режима работы направляющих жалюзи внутреннего блока:

- автоматический режим;
- режим постоянного сканирования;
- режим постоянного направления.

Режим работы жалюзи выбирается последовательным нажатием кнопки AIR FLOW.

В автоматическом режиме жалюзи устанавливаются под углом, оптимальным для каждого режима работы кондиционера. В режимах

IBIK

охлаждения и осушки жалюзи совершают колебания от горизонтального положения вниз на 70° и обратно, задерживаясь в горизонтальном положении на 1–3 мин.

В режиме нагрева жалюзи совершают колебательные движения. При достижении нижнего положения жалюзи останавливаются на 4 мин. После достижения заданной температуры воздушный поток направляется горизонтально.

В режиме непрерывного сканирования заслонки перемещаются вверх и вниз, а постоянное направление задается пользователем.

12. Функции самодиагностики

В случае отказа внутреннего или наружного блоков или датчиков температуры на блоке индикации появляются сигналы, указывающие на вид отказа (рис. 7.1.13).

Рис. 7.1.13. Индикация неисправностей световыми индикаторами

Отказ наружного блока

Если через 5 мин после включения пускового реле компрессора (52С) в последующие 20 мин работы в режиме охлаждения температура внутреннего теплообменника не опустится ниже 25 °С или в режиме тепла не поднимется до 30 °С, то компрессор будет остановлен и индикатор TIMER (желтый) начнет мигать с частотой 5 раз за 8 с, а индикатор RUN (зеленый) будет светиться непрерывно.

Отказ вентилятора внутреннего блока

Если вентилятор обдува внутреннего теплообменника через 30 с после включения кондиционера не начинает вращаться, то зеленый индикатор RUN начнет мигать с частотой 6 раз за 8 с, а желтый индикатор TIMER будет светиться постоянно.

Отказ датчика температуры внутреннего блока

Если датчик температуры внутреннего теплообменника через 3 с после включения кондиционера будет иметь сопротивление, соответствую-

щее температуре минус 20 °С и ниже (сопротивление более 50 кОм), то кондиционер выключится. Зеленый индикатор RUN будет мигать с частотой 2 раза за 8 с, желтый индикатор TIMER – светиться постоянно. График изменения сопротивления датчика в зависимости от температуры приведен на рис. 7.1.14.

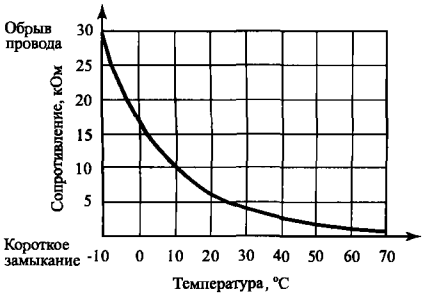


Рис. 7.1.14. Зависимость величины сопротивления датчика от температуры

Отказ датчика температуры наружного блока

Если датчик температуры наружного теплообменника через 3 и более секунды после включения кондиционера будет иметь сопротивление свыше 50 кОм, то зеленый индикатор RUN будет мигать с частотой 1 раз за 8 с, а желтый индикатор TIMER – светиться постоянно.

13. Работа кондиционера при отключении питающего напряжения

При аварийном отключении питающего напряжения кондиционер выключается. Для продолжения работы пользователю необходимо запустить кондиционер повторно. Однако повторный запуск (рестарт) может быть произведен автоматически. Для этого необходимо в указанном месте печатной платы установить диод с граничной рабочей частотой не ниже 30 МГц, соблюдая полярность (рис. 7.1.16). В некоторых кондиционерах удаляется перемычка (рис. 7.1.17).

После этого компрессор будет автоматически включаться, но только в автоматическом режиме (AUTO), поддерживая температуры, указанные на рис. 7.1.15, независимо от того, какой режим был установлен до отключения питания.

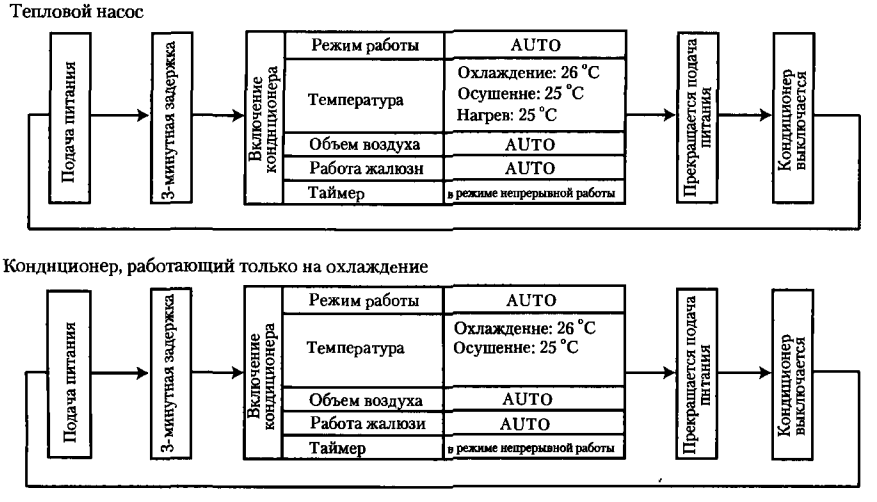


Рис. 7.1.15. Температуры, устанавливаемые в режиме автоматического включения (AUTO-restart)

IBIK

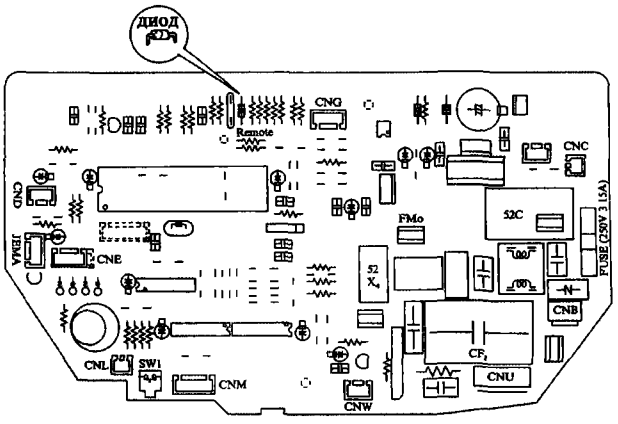


Рис. 7.1.16. Место установки диода для введения режима автоматического включения (AUTO-restart)

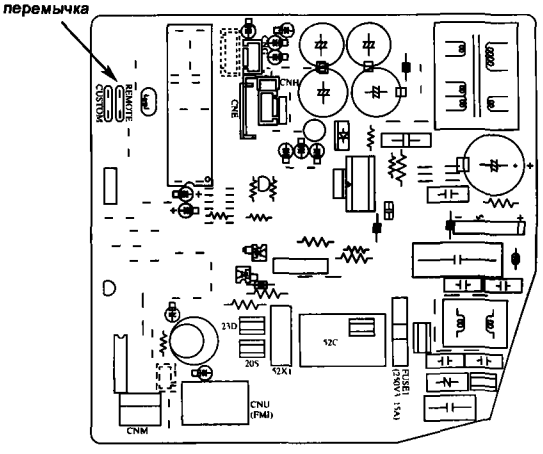


Рис. 7.1.17. Место удаления перемычки для введения режима автоматического включения (AUTO-restart)

14. Форсированный режим (HI POWER)

В этом режиме кондиционер работает непрерывно в течение 15 мин, независимо от установленного значения температуры. Вентилятор внутреннего блока работает на скорости 4.

15. Экономичный режим (ECONO)

В режиме охлаждения и осушки температура в помещении будет поддерживаться на 2 °С выше установленного значения, вентилятор будет вращаться на скорости 1.

В режиме нагрева температура в помещении будет на 2 °С ниже установленного значения, вентилятор будет работать на скорости 2.

7.1.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОДНОЗОНАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

7.1.2.1. ТИПОВЫЕ СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

В кондиционерах этого типа производительность поддерживается на необходимом уровне путем изменения частоты вращения двигателя компрессора.

Вместо периодических запусков и остановок компрессор работает непрерывно, но с переменной скоростью, благодаря чему изменяется производительность, и в помещении поддерживается постоянная температура.

На рис. 7.1.18 приведена принципиальная схема такого кондиционера марки SRK25(35)ZB-S. Изменение скорости вращения двигателя компрессора происходит путем изменении частоты напряжения питания двигателя преобразователем частоты (инвертором). Принцип действия инвертора (тиристорного преобразователя частоты) описан в разделе 3.

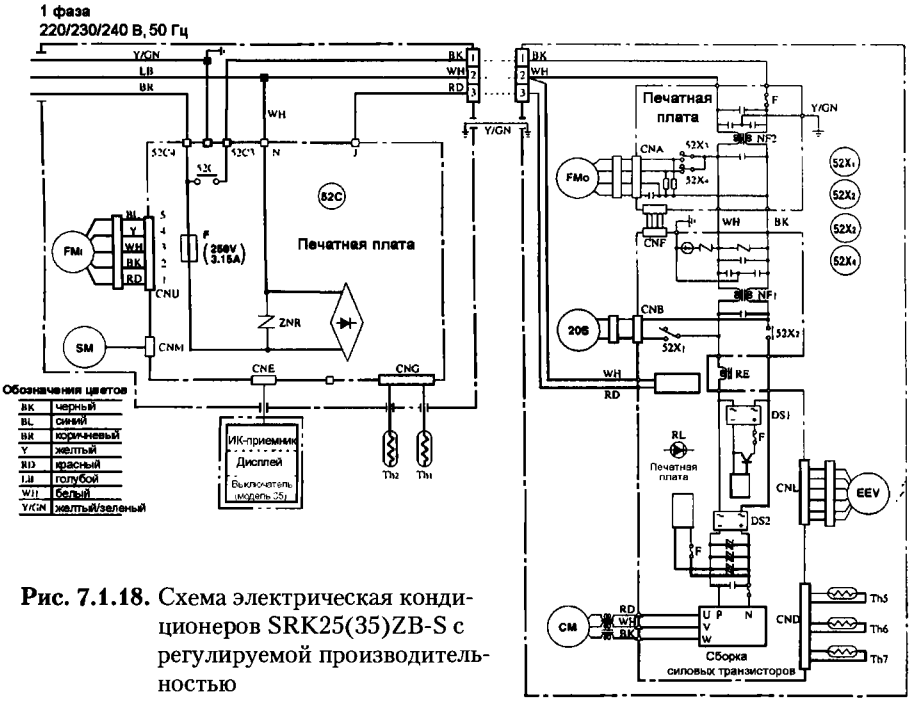


Рис. 7.1.18. Схема электрическая кондиционеров SRK25(35)ZB-S с регулируемой производительностью

Изменение частоты может осуществляться в диапазоне от 14 до 150 Гц (табл. 7.1.3). Это, а также наличие электронного ТРВ (EEV на рис. 7.1.18), позволяет обеспечить точность поддержания температуры в помещении 0,5 °С (рис. 2.6.22).

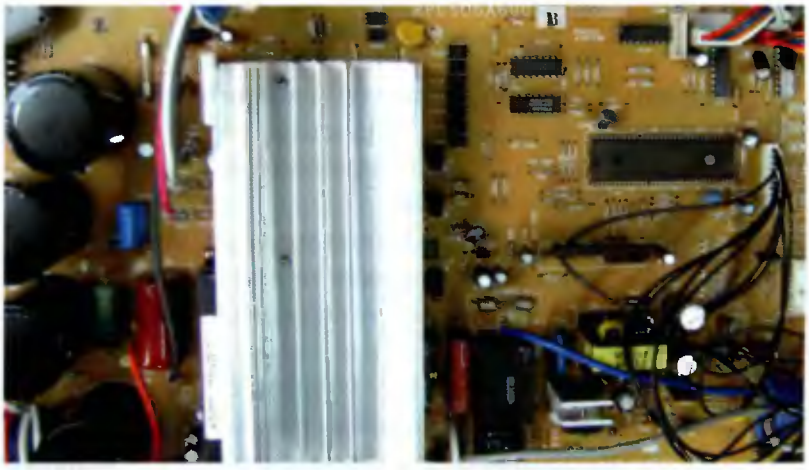


Рис. 7.1.19. Внешний вид платы инвертора кондиционера SRK-Z

Таблица 7.1.3. Частота питающего напряжения двигателя компрессора кондиционеров SRK-Z

Выбор скорости потока \ Модель		SRK25GZ-L1	SRK35GZ-L1	SRK502Z-L
AUTO	Частота	34–100 Гц	34–100 Гц	14–150 Гц
	Скорость потока воздуха	зависит от частоты	зависит от частоты	зависит от частоты
HI	Частота	34–110 Гц	34–110 Гц	14–150 Гц
	Скорость потока воздуха	скорость 5-6	скорость 5-7	скорость 6-8
MED	Частота	34–80 Гц	34–94 Гц	14–110 Гц
	Скорость потока воздуха	скорость 5	скорость 5	скорость 4–7
LO	Частота	34–50 Гц	34–58 Гц	14–50 Гц
	Скорость потока воздуха	скорость 3-4	скорость 5	скорость 2–5

Инверторное управление имеет следующие преимущества:

- в процессе регулировки производительности исключаются циклы включения/выключения компрессора;
- диапазон изменения холодопроизводительности одного кондиционера составляет от 0,9 до 5,6 кВт, а теплопроизводительности – от 0,9 до 7,9;
- пусковые токи уменьшаются до значений меньше рабочих;
- уменьшается износ механических деталей компрессора;
- увеличивается надежность и срок службы кондиционера;
- повышается точность поддержания температуры в помещении;
- обеспечивается быстрый выход на заданный температурный режим;
- повышается качество системы управления и защиты кондиционера.

7.1.2.2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ

1. Расширенный диапазон скоростей вентилятора внутреннего блока

Если кондиционер включен в режиме непрерывной работы, то частота вращения вентилятора внутреннего блока будет определяться текущей производительностью.

Несмотря на то, что на пульте пользователь может выбрать одну из трех условных скоростей вентилятора, фактически может быть 7–8 скоростей, которые выбираются автоматически в зависимости от внешних факторов.

Так, в режиме HOT KEEP у кондиционеров типа SRK25GZ и SRK35GZ может быть 7 скоростей, а у кондиционеров SRK502Z-L – 8 скоростей, устанавливаемых в зависимости от температуры внутреннего теплообменника (рис. 7.1.20).

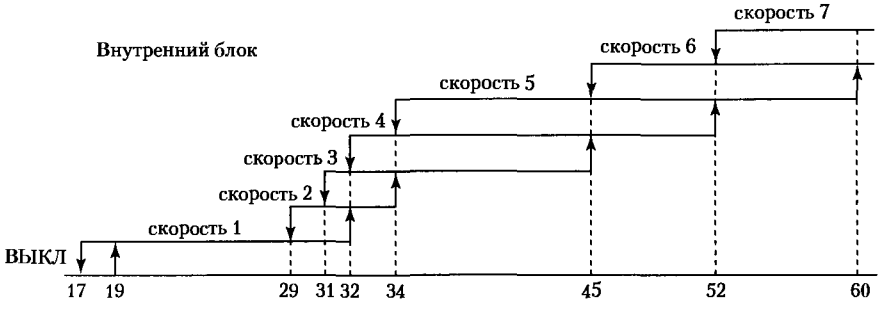


Рис. 7.1.20. Изменение скорости вентилятора внутреннего блока кондиционеров SRK25(35)Z

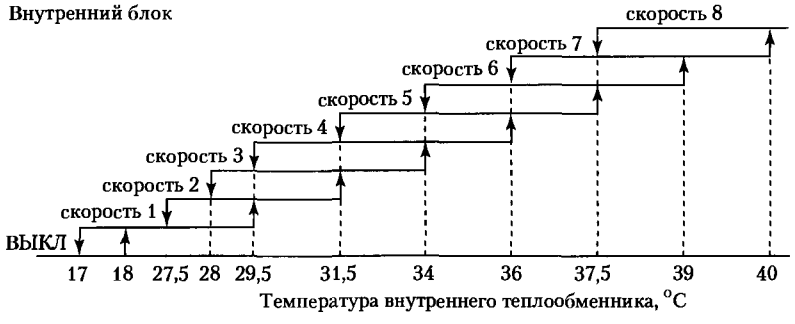


Рис. 7.1.21. Изменение скорости вентилятора внутреннего блока кондиционеров SRK502Z-L

IBIK

2. Режимы осушения

Осушение воздуха в помещении производится двумя способами: установкой на пульте автоматического режима работы либо выбором режима осушения.

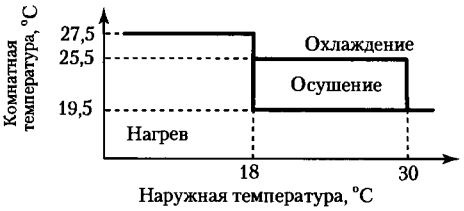


Рис. 7.1.22. Диаграмма выбора режима работы

В автоматическом режиме через 30 с после включения кондиционера определяется температура воздуха в помещении и вне помещения, после чего выбирается необходимый режим работы в соответствии с диаграммой на рис. 7.1.22.

В режиме осушения за счет использования инверторного управления скоростью двигателя компрессора оптимизируется алгоритм работы кондиционера.

Так, в течение первых 20 с после включения кондиционера происходит измерение разности между комнатной и установленной температурами $\Delta t_{ос} = t_{комн} - t_{уст}$.

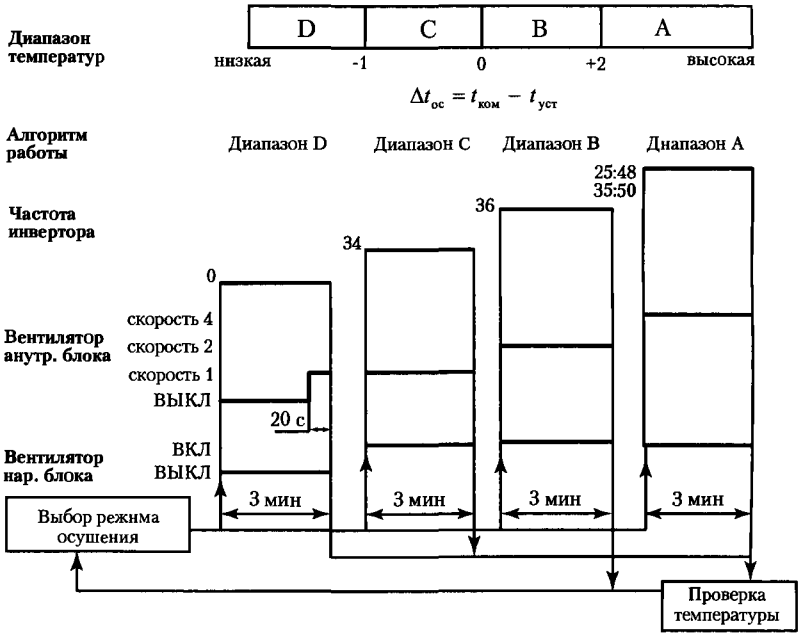


Рис. 7.1.23. Циклограмма режима осушки для кондиционера SRK28 GZ

Если $\Delta t_{ос} \leq -3$ °С, то включается режим обогрева помещения, а если $\Delta t_{ос} \geq -3$ °С – режим охлаждения. Величина $\Delta t_{ос}$ измеряется каждые три минуты, и в зависимости от его значения выбирается соответствующий алгоритм работы кондиционера.

В кондиционерах SRC25, 28, 35GZ запрограммированы 4 диапазона значений $\Delta t_{ос}$ (A, B, C и D), в соответствии с которыми выбирается

скорость вращения вентилятора внутреннего блока и холодопроизводительность (частота инвертора) кондиционера (рис. 7.1.23).

Если состояние температуры (влажности) будет соответствовать диапазону D, то в течение трех последующих минут компрессор и вентилятор наружного блока будут остановлены, вентилятор внутреннего блока будет остановлен на 2 мин 40 с, а оставшиеся 20 с будет вращаться со скоростью 1.

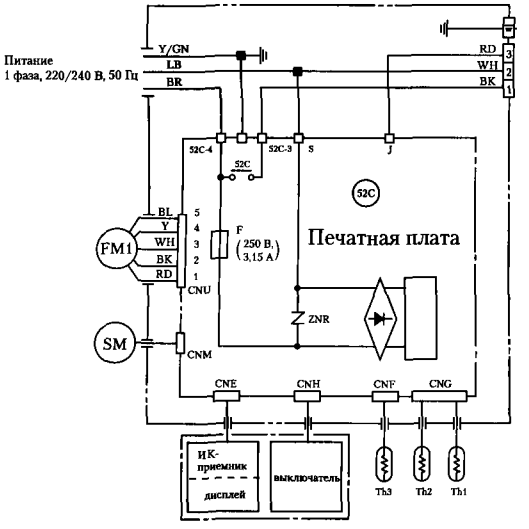


Рис. 7.1.24. Схема электрическая внутреннего блока кондиционера SRK502Z-L (Th1 – датчик влажности)

Если состояние температуры (влажности) будет соответствовать диапазону A, то в течение трех последующих минут вентилятор наружного блока будет включен, вентилятор внутреннего блока будет вращаться со скоростью 4, а на двигатель компрессора будет подаваться напряжение частотой 25–45 Гц.

В кондиционере SRK502Z-L используются данные датчика влажности воздуха в помещении Th1 (рис. 7.1.24). В связи с этим установлено 7 диапазонов значения Δt_{oc} и, соответственно, 7 различных алгоритмов работы кондиционера (рис. 7.1.25).

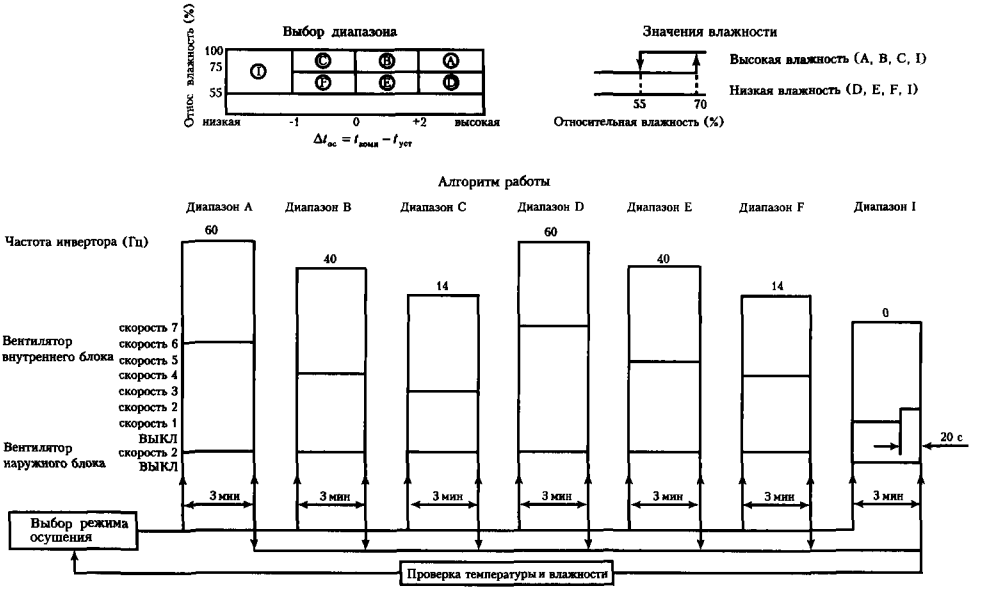


Рис. 7.1.25. Режим осушения в кондиционере SRK502Z-L

3. Использование инверторного управления в системе защиты кондиционера

Защита при низких оборотах компрессора

При частоте питающего напряжения компрессора ниже 25–28 Гц в компрессор попадает недостаточно масла. При снижении частоты до этой частоты поступает команда на увеличение ее значения в течении 20 с (одной минуты) до 30 (60)*Гц. При этом скорость вентилятора внутреннего блока не изменяется.

Защита при низкой частоте вращения двигателя компрессора

Если частота питающего напряжения компрессора будет оставаться меньше 40 Гц в течение более 15 (45) минут, то для обеспечения подачи масла в компрессор частота напряжения повысится до 60 Гц за 20 (30) с. При этом скорость вращения вентилятора наружного блока не изменится.

Защита от перегрева компрессора

Если температура головки компрессора превышает нормальную температуру (90–95 °С), контроллер снижает частоту питающего напряжения компрессора на 4 Гц каждые 3 мин до тех пор, пока температура не снизится до нормальной (рис. 7.1.26). При температуре головки компрессора 105–125 °С частота питающего напряжения компрессора снижается на 4 Гц каждые 20 с, пока не снизится до 22 Гц в режиме охлаждения или 38 Гц в режиме нагрева.

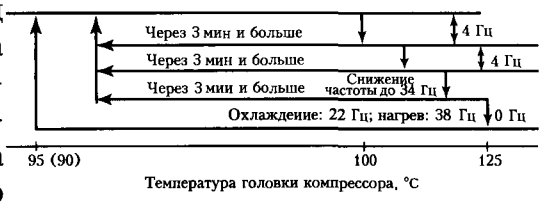


Рис. 7.1.26. Циклограмма защиты компрессора кондиционера SRK-Z от перегрева

При температуре головки компрессора 125 °С компрессор выключается, и красный индикатор RUN начинает мигать с частотой 5 раз за 8 с.

Защита от превышения давления нагнетания в режиме нагрева

Если датчик температуры на внутреннем теплообменнике зафиксирует температуру более 47,5 °С (для SRK50 – более 49,5 °С), то частота вращения компрессора будет уменьшаться на 8 Гц каждые 6 мин, пока система не вернется в нормальное состояние (рис. 7.1.27). В диапазоне температур от 55 °С до 65 °С частота будет изменяться на 8 Гц каждые 20 с.

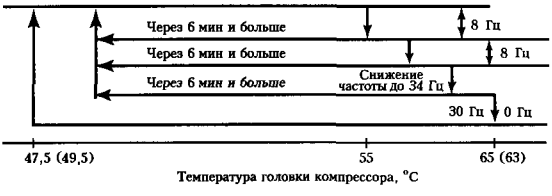


Рис. 7.1.27. Циклограмма защиты компрессора кондиционера SRK-Z при превышении давления нагнетания

*В скобках указаны значения для моделей SRK25,35.

7.1.2.3. ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

В таблице 7.1.4 приведены возможные неисправности кондиционеров SRK25(35)ZB-S и их индикация системой самодиагностики.

Таблица 7.1.4. Отображение данных самодиагностики на внутреннем блоке кондиционера SRK-ZB

	Индикатор RUN	Индикатор на наружном блоке	Неисправность	Причина	Условия срабатывания
Индикатор TIMER светится постоянно	Мигает 1 раз*	ВЫКЛ	Отказ датчика температуры теплообменника	Обрыв провода температурного датчика, отсутствует контакт	Датчик фиксирует температуру теплообменника -20 °С и ниже в течение 3 с после остановки холодильной машины (во время работы кондиционера не отображается)
	Мигает 2 раза	ВЫКЛ	Отказ датчика комнатной температуры	Обрыв провода датчика комнатной температуры, отсутствует контакт	Датчик фиксирует температуру теплообменника -20 °С и ниже в течение 3 с после остановки холодильной машины (во время работы не отображается)
	Мигает 6 раз	ВЫКЛ	Отказ двигателя вентилятора внутреннего блока	Неисправность двигателя вентилятора, отсутствует контакт	При работающем кондиционере скорость двигателя вентилятора внутреннего блока в течение 30 с не достигает 300 оборотов в минуту. (Кондиционер выключается)

	Индикатор TIMER	Индикатор на наружном блоке	Неисправность	Причиа	Условия срабатывания
Индикатор RUN мигает постоянно	Мигает 1 раз	ВЫКЛ	Отказ датчика наружной температуры	Обрыв провода датчика наружной температуры, неисправность датчика	Датчик наружной температуры фиксирует значения -40 °С и ниже в течение 3 с после остановки холодильной машины (во время работы кондиционера не отображается)
	Мигает 2 раз	ВЫКЛ	Отказ датчика температуры теплообменника в наружном блоке	Обрыв провода датчика температуры теплообменника, отсутствует контакт	На входе теплообменника фиксируется температура -50 °С и ниже в течение 3 с после остановки холодильной машины (во время работы кондиционера не отображается)
	Мигает 4 раз	ВЫКЛ	Отказ датчика температуры нагнетательного патрубка компрессора	Обрыв провода датчика температуры нагнетательного патрубка, отсутствует контакт	Компрессор не вращается в течение 3 с или в течение 10 с отсутствует ток датчика температуры (компрессор выключается)

IBIK

окончание табл. 7.1.4

	Индикатор TIMER	Индикатор на наружном блоке	Неисправность	Причина	Условия срабатывания
Индикатор RUN светится постоянно	Мигает 1 раз	Мигает 1 раз	Обрыв цепи питания компрессора	Компрессор не запускается, разрыв одной из фаз; пробой выходного транзистора инвертора	Фиксируется отклонение выходного тока инвертора от установленного значения (компрессор выключается)
	Мигает 2 раза	Мигает 2 раза	Отказ наружного блока	- обрыв провода выходного транзистора или компрессора; - нет контакта температурного датчика с нагнетательным патрубком	Ток компрессора в течение 3 мин ниже установленного значения (компрессор выключается).
	Мигает 3 раза	Мигает 3 раза	Отсутствие тока компрессора	Не работает компрессор	Частота инвертора ниже установленного значения; отсутствует ток компрессора (компрессор выключается)
	Мигает 5 раз	Мигает 5 раз	Перегрев компрессора	Недостаточное количество хладагента, закрыт сервисный вентиль	Температурное значение нагнетательного патрубка превышает установленное значение (компрессор выключается)
	Мигает 6 раз	Мигает 6 раз	Ошибка при передаче сигналов управления	- сбой подачи питания; - обрыв сигнального провода, неисправность печатной платы внутреннего/наружного блока	Сигналы с контроллера внутреннего блока не подаются в течение 10 с (компрессор выключается).
ИндикаторRUN мигает 2 раза	Мигает 2 раза	Мигает постоянно	Блокировка ротора компрессора	- неисправность компрессора; - неисправность печатной платы наружного блока	Ненормальные параметры двигателя компрессора

Приведенные дополнительные функции связаны с усложнением схемных решений и, следовательно, с поиском неисправностей. Поэтому для таких кондиционеров фирмы-изготовители обычно приводят специальные схемы с указанием контрольных точек и методик их проверки. Для примера на рис. 7.1.28 приведена такая схема для кондиционеров типа SRK28RZ,32RZ.

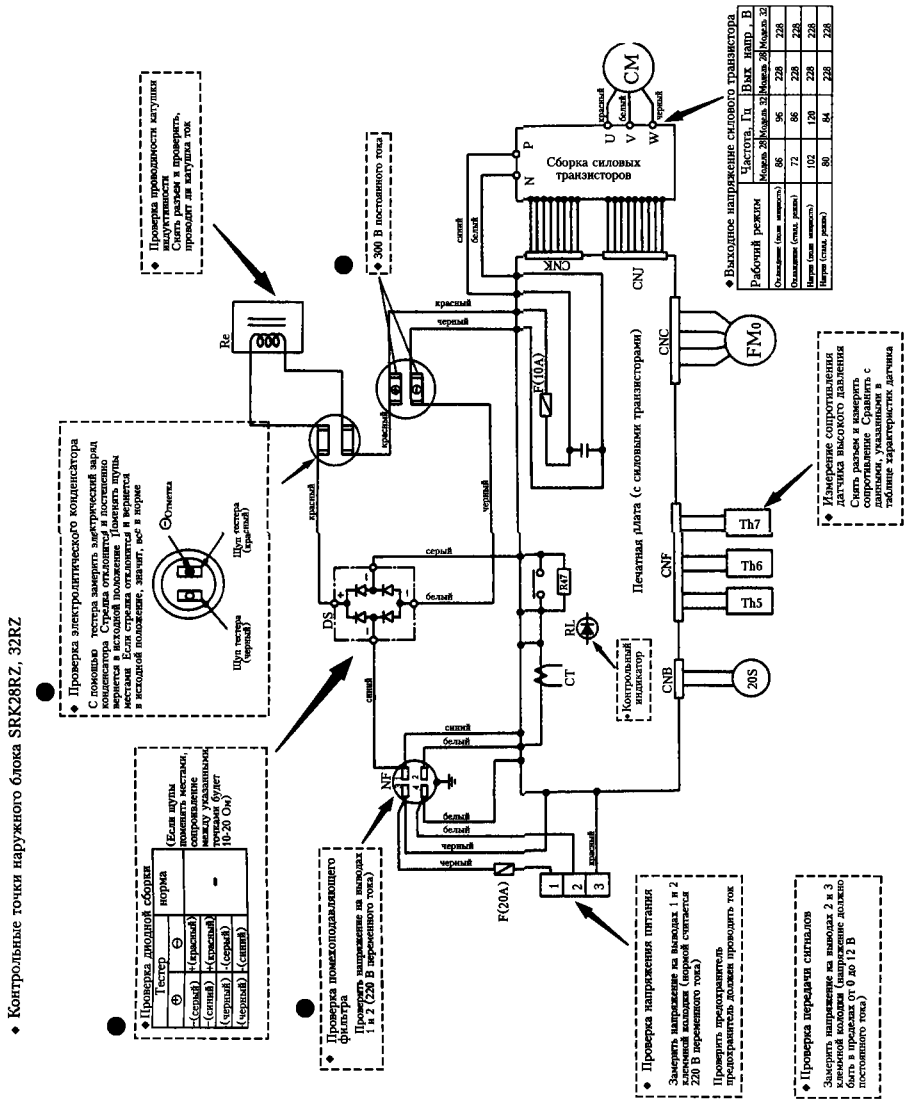


Рис. 7.1.28. Контрольные точки наружного блока кондиционеров типа SRK28RZ,32RZ

В последних разработках инверторных кондиционеров не только MHI, но и другие передовые фирмы применяют инверторы на основе вентильных электродвигателей постоянного тока. Компрессоры с такими двигателями при тех же габаритах обеспечивают более высокую производительность, чем инверторные системы переменного тока. Кроме того, увеличенные жесткость механических характеристик и диапазон регулирования электропривода постоянного тока способствуют еще большему сокращению энергопотребления и повышению качества регулирования.

IBIK

7.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОНДИЦИОНЕРОВ

7.2.1. ТИПОВЫЕ СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

Многозональные кондиционеры используются на объектах, имеющих большое количество автономных помещений (зон) и представляют собой сплит-систему, состоящую из одного или нескольких компрессорно-конденсаторных блоков и необходимого количества внутренних блоков. Многозональные полупромышленные кондиционеры (МППК) производятся следующих типов:

- с регулируемой производительностью;
- с наращиваемой производительностью;
- с утилизацией тепла;
- с механическим приводом компрессора.

Кондиционеры с регулируемой производительностью имеют обычно один компрессорно-конденсаторный блок (производительностью до 12 кВт для бытовых и до 70 кВт для полупромышленных типов) и могут обслуживать от 4 (бытовые кондиционеры) до 16 автономных зон.

При этом они могут работать в режимах охлаждения, нагрева, осушения или вентиляции. Однако в разных зонах одновременно могут быть включены либо режимы охлаждения (осушения), либо режим нагрева.

Рассмотрим автоматизацию кондиционеров такого типа на примере системы КХ, выпускаемой компанией Mitsubishi Heavy Industries.

На рис. 7.2.1 и рис. 7.2.2 показаны принципиальная схемы наружного и внутреннего блоков кондиционера FDC 224(280).

На схеме наружного блока обозначены:

Tho-A	— датчик температуры наружного воздуха;
Tho-R	— датчик температуры теплообменника наружного блока;
Tho-C	— датчик температуры картера компрессора;
Tho-D1 (Th0-D2)	— датчик температуры нагнетательного патрубка;
Va1	— защитный варистор;
CM1, CM2	— электродвигатель компрессора;
CT1, CT2	— трансформаторы тока;
52C	— контактор (пускатель) включения компрессора;
SV1, SV2	— электромагнитные соленоидные клапаны;
20S	— четырехходовой клапан;
CH	— нагреватель картера компрессора;
TB2	— линия передачи данных;
X*n*	— реле.

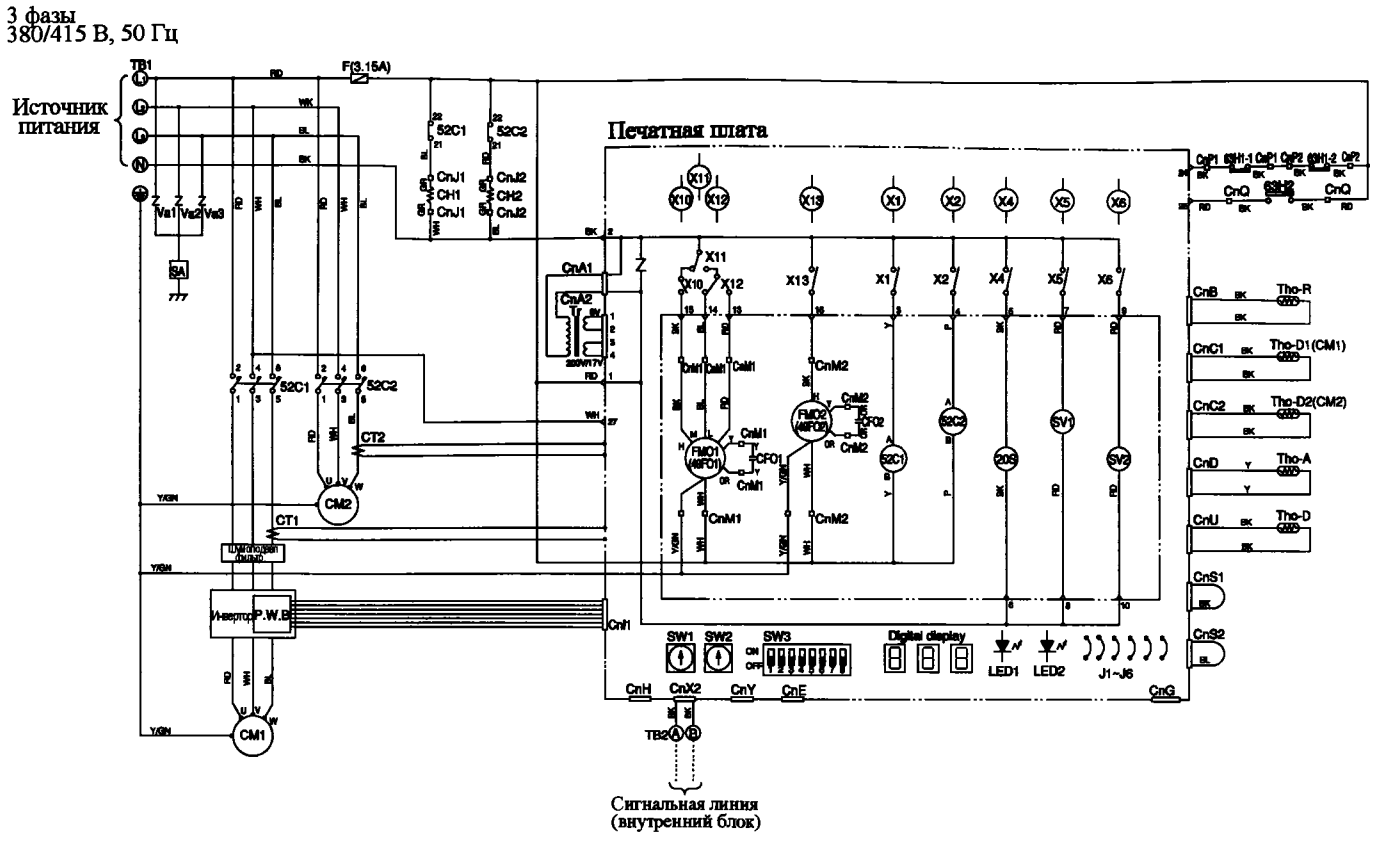


Рис. 7.2.1. Принципиальная электрическая схема наружных блоков FDC224(280) многозонального кондиционера системы КХ

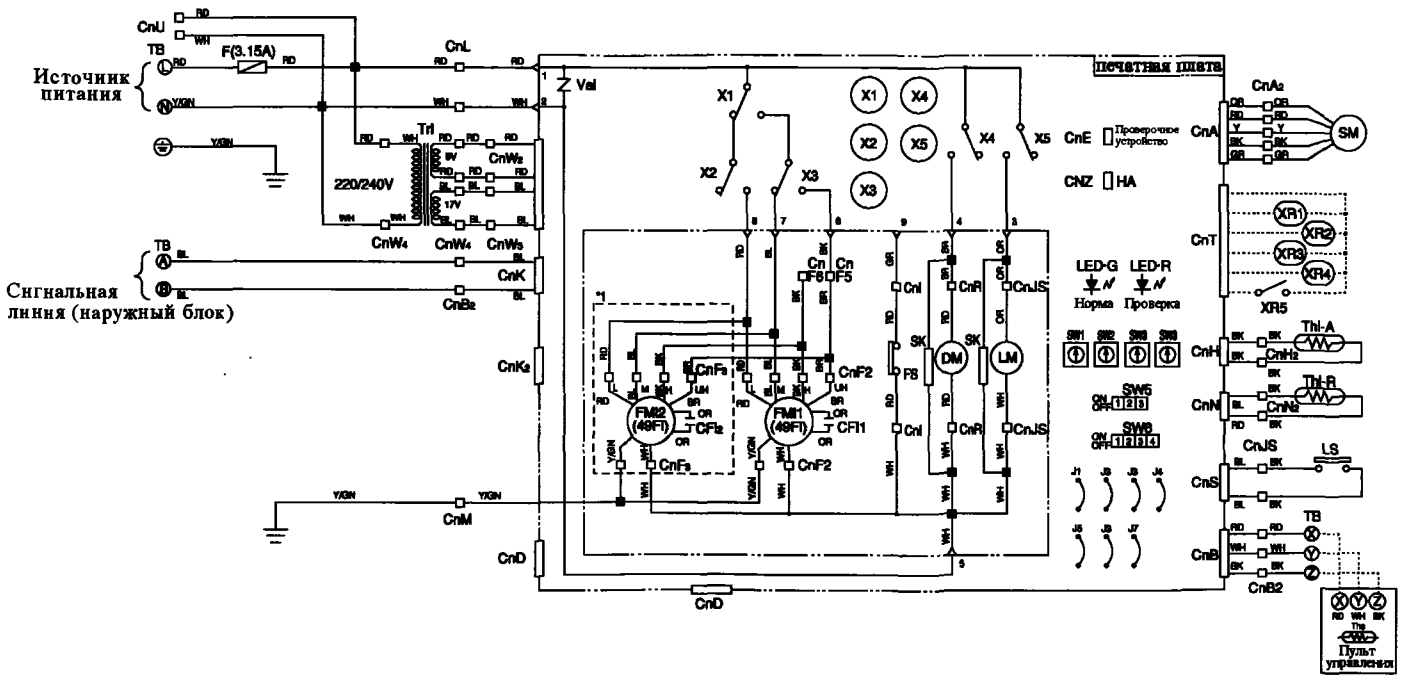


Рис. 7.2.2. Принципиальная схема внутренних блоков FDTS многозонального кондиционера системы КХ

Кондиционеры FDC 224(280) имеют два компрессора, один из которых – с двигателем CM1 – регулируемый, а другой – с двигателем CM2 – работает с постоянной скоростью.

Соленоидные клапаны SV1 и SV2 служат для подачи паров хладагента в компрессор при его перегреве (охлаждение компрессоров и регулировка производительности). Датчик давления 63H1 предназначен для защиты компрессора при превышении давления нагнетания, а датчик давления 63H2 – для регулировки давления конденсации путем изменения скорости вращения вентилятора обдува теплообменника, расположенного в наружном блоке.

Регулировка холодопроизводительности каждого внутреннего блока обеспечивается электронным терморегулирующим вентилем с двигателем SM, расположенным во внутреннем блоке (рис. 7.2.2).

7.2.2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ

Система управления кондиционером обеспечивает реализацию следующих алгоритмов:

1. Регулировка производительности

Регулировка производительности компрессора осуществляется путем изменения частоты вращения электродвигателя компрессора. Частота вращения может изменяться в пределах от 20 до 120 Гц.

При включении кондиционера сначала включается инверторный компрессор, который при необходимости увеличивает холодопроизводительность (частоту вращения) до максимального значения. Если требуется холодопроизводительность больше, чем максимальная частота инверторного компрессора, то включается второй компрессор на максимальную производительность, а инверторный компрессор выдает только недостающую производительность (работает в дополняющем режиме). После включения кондиционера инверторный компрессор начинает работать с частотой вращения 5 Гц, увеличивая частоту на 2 Гц в секунду. До тех пор, пока частота вращения не достигнет 25 Гц, компрессор будет работать без нагрузки. Клапан SV1 открыт, и хладагент циркулирует по цепи «компрессор – теплообменник – клапан SV1 – капиллярная трубка – компрессор», не попадая в основную фреоновую магистраль. При достижении частоты 25 Гц клапан SV1 закрывается, и фреон попадает в основную магистраль. Такой алгоритм работы облегчает пусковой режим двигателя компрессора. Максимальная частота компрессора CM1 в пусковом режиме зависит от наружной температуры:

- при температуре ниже 0 °C компрессор работает с частотой 20 Гц в течение 45 с после пуска;
- при температуре окружающей среды выше 0 °C компрессор работает с частотой 65 Гц в течение 32,5 с после пуска.

При срабатывании системы защиты по команде внутреннего или наружного блока компрессор CM1 останавливается. В случае аварийной остановки компрессора CM1 компрессор CM2 также останавливается.

2. Режим охлаждения

В зависимости от разности между температурой внутри помещения (возвратный поток воздуха измеряется датчиком температуры Th1-A) и температурой, установленной пользователем на пульте, внутренний блок «затребует» определенную производительность, которую должен обеспечить наружный блок.

Такая производительность определяется частотой вращения компрессора. Диапазон частот, которые могут «затребовать» различные модели внутренних блоков, приведен в табл. 7.2.1.

Таблица 7.2.1. Диапазон частот для внутренних блоков

Частота	Производительиость блока, кВт								
	2,2	2,8	3,6	4,5	5,6	7,1	9,0	11,2	14,0
Затребованная	10–15	10–20	10–25	10–25	15–30	15–40	15–50	35–60	35–70
Выдаваемая	5–15	5–20	5–25	5–25	5–30	5–40	5–50	5–60	5–70

Распределение производительности между компрессорами CM1 и CM2 производится в зависимости от производительности, запрошенной внутренними блоками.

Если суммарная запрашиваемая внутренними блоками частота превысит возможности наружного блока, то общая производительность распределится между внутренними блоками пропорционально запрашиваемым частотам.

Таблица 7.2.2. Диапазон частот для наружных блоков

Модель	Частота, Гц	CM1 (инверторный)	CM2 (вспомогательный)
FDCJ224HKXE2D FDCP224HKXE2D	<70	25–90	ВЫКЛ
	≥70	40–100	ВКЛ
FDCJ280HKXE2D FDCP280HKXE2D	<80	25–95	ВЫКЛ
	≥80	40–100	ВКЛ

3. Режим осушения

Алгоритм работы в режиме осушения определяется в соответствии с температурой воздуха в помещении, которая измеряется каждые 4 мин. Компрессор CM1 будет вращаться с частотой, зависящей от значения разности между установленной и комнатной температурами (блок A, B, C или D – рис. 7.2.4). Частота равна сумме частот, запрашиваемых внутренними блоками (табл. 7.2.4). Естественно, что при суммарном значении частот, превышающем максимально возможное, компрессор будет работать на максимальной частоте.

Рис. 7.2.4. Условные диапазоны температур в режиме осушения

Таблица 7.2.4. Частоты, запрашиваемые внутренними блоками

Диапазон		A	B	C	D
Частота (внутренний блок), Гц	модель 22	10	10	10	0
	модель 28	15	10	10	0
	модель 36	2	15	10	0
	модель 45	20	15	10	0
	модель 56	25	15	15	0
	модель 71	30	20	15	0
	модель 90	40	25	15	0
	модель 112	50	40	35	0
	модель 40	60	45	35	0
Компрессор		Общее значение частот внутренних блоков			
Скорость вентилятора внутреннего блока		Средняя скорость (Me)	Низкая скорость (Lo)	Низкая скорость (Lo)	Низкая скорость (Lo) - ВЫКЛ
Вентилятор наружного блока		Работает	Работает	Работает	Выключен

Если определен диапазон D, вентилятор внутреннего блока будет работать в соответствии с диаграммой (рис. 7.2.5).

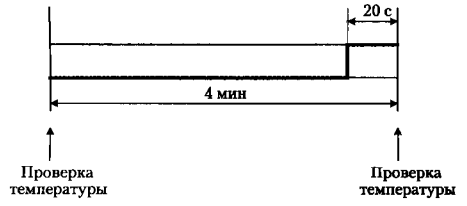


Рис. 7.2.5. Работа вентилятора в диапазоне D

4. Режим нагрева

В режиме нагрева частота компрессора CM1 увеличивается на 5 Гц каждые 3 мин, пока не достигнет 30 Гц. Распределение производительности между компрессорами CM1 и CM2 в режиме нагрева производится аналогично распределению в режиме охлаждения.

Если на печатной плате пульта управления установлена перемычка J3, то при выключении внутреннего блока терморегулятором вентилятор будет работать со скоростью Lo до тех пор, пока температура в помещении (температура возвратного потока) не станет на 1 К выше установленной температуры. Вентилятор остановится на 5 мин и затем снова перейдет в режим Lo. Каждые 2 мин производится измерение температуры возвратного потока воздуха, и если она превышает установленное значение на 1 К и более, вентилятор выключается, если не превышает – работает в режиме Lo.

IBIK

При выключенном терморегуляторе внутреннего блока действительная температура отображается на пульте управления только во время работы вентилятора. В остальное время высвечивается значение температуры, измеренное в последний раз перед его отключения.

Если при работе в режиме нагрева с выключенным терморегулятором кондиционер переходит в режим оттаивания или терморегулятор выключается во время оттаивания, вентилятор внутреннего блока останавливается. Если перемычку J3 удалить, то при выключении подачи хладагента терморегулятором внутреннего блока вентилятор остановится.

Режим HOT START (горячий старт)

Этот режим позволяет избежать поступления в помещение холодного воздуха при работе кондиционера в режиме нагрева. Вентилятор внутреннего блока включается только после достижения необходимой температуры теплообменника (в соответствии с показаниями датчика Th1-R).

При включении режима HOT START (компрессор работает, вентилятор внутреннего блока выключен) на дисплее пульта отображается процесс подготовки к переходу на режим нагрева.

Если вентилятор был отключен в течение 7 мин (например, на протяжении 7 мин после оттаивания), он включится независимо от температуры теплообменника.

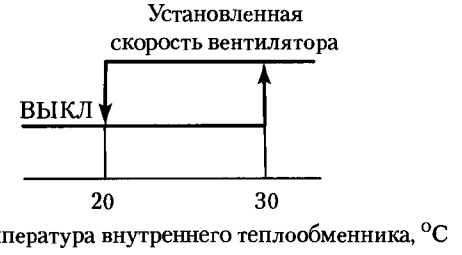


Рис. 7.2.6. Работа вентилятора в режиме HOT START

5. Режим оттаивания наружного блока

Оттаивание начинается при выполнении одного из следующих условий:

- по истечении 40 мин со времени предыдущего оттаивания или после 33 мин работы в режиме нагрева;
- через 8 мин после включения компрессора;
- через 8 мин после остановки вентилятора наружного блока;
- если температура наружного теплообменника опускается ниже температуры оттаивания и у держивается на этом уровне в течение 3 мин.

Оттаивание прекращается при выполнении одного из следующих условий:

- температура наружного теплообменника поднимается выше 14 °С (для R407C: 20 °С).
- через 12 мин после начала оттаивания.

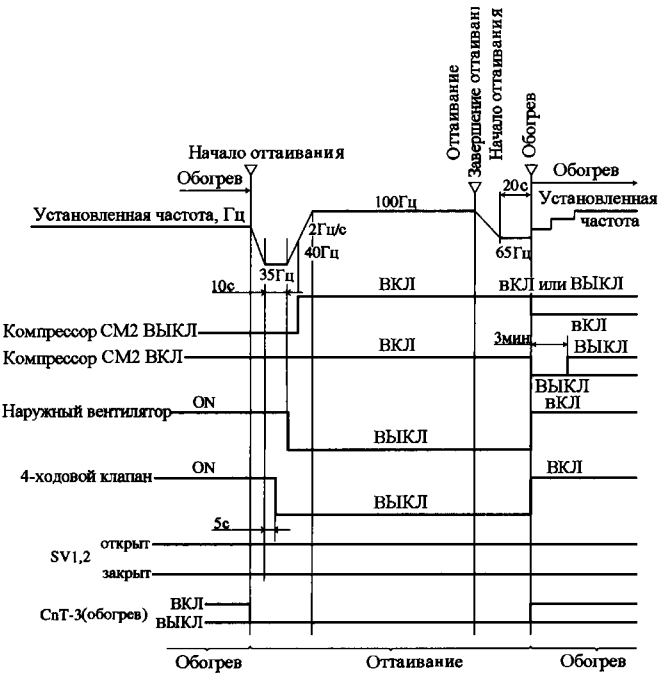


Рис. 7.2.7. Циклограмма работы кондиционера в режиме оттаивания

6. Тестовый режим

Включение тестового режима осуществляется при проверке параметров системы. Для этого переключатели SW3-5 и SW3-6, расположенные на печатной плате наружного блока, необходимо установить в положение в соответствии с табл. 7.2.5.

Таблица 7.2.5. Установка тестового режима

Переключатель		Назначение
SW3-5	ON	Управление всеми подсоединенными внутренними блоками. Установка максимальной частоты компрессора по запросу от внутренних блоков
	OFF	Работа в обычном режиме
SW3-6	ON	SW3-5 ON: Работа в режиме охлаждения
	OFF	SW3-5 OFF: Работа в режиме нагрева

Максимальная частота компрессора определяется суммой максимальных значений частот (Гц), запрошенных подсоединенными внутренними блоками.

В тестовом режиме кондиционер может работать во всех режимах, кроме режима FUZZY (нечеткое управление). На дисплее пульта отображается рабочее состояние системы и слово «Center» (центральный пульт).

IBIK

7. Защита компрессора

7.1. Защита компрессора в пусковом режиме

Чтобы обеспечить защиту по току в пусковом режиме, после запуска компрессор CM1 работает с частотой 65 Гц в течение 1 мин 45 с, а затем переходит на заданную частоту. В это время компрессор CM2 не работает. Если запрашиваемая частота не превышает 65 Гц, компрессор продолжает работать с той же частотой. Однако при первом запуске инвертора или запуске после 6-часовой остановки компрессора частота увеличивается постепенно (5 Гц в мин) на протяжении 12 мин, начиная с 35 Гц.

7.2. Защита компрессора при максимальной нагрузке

Если в течение 9 мин компрессор работает с частотой 95 Гц и выше, ее значение будет снижено до 90 Гц. Компрессор проработает 1 мин и, если запрашиваемая частота понижается, возвращается в нормальный режим работы. После работы с частотой 90 Гц частота будет увеличиваться на 5 Гц за 10 с.

7.3. Задержка пуска компрессора (таймер на 3 минуты)

Если инверторный компрессор CM1 был остановлен по команде терморегулятора из-за сбоя в системе и пр., его невозможно запустить в течение 3 мин после остановки. Однако таймер не сработает, если выключить и снова включить питание.

Компрессор CM2 также не будет запускаться на протяжении 3 мин. Но после выключения и включения питания, он не запустится в течение 6 мин.

7.4. Выравнивание уровня масла компрессоров

Если длительное время работает компрессор CM2 (более 3 ч в непрерывном режиме), то большая часть масла может вернуться в компрессор CM2. Чтобы обеспечить маслом компрессор CM1, выполняется следующая процедура:

Шаг 1. Компрессор CM1 работает с частотой 40 Гц в течение 3 мин, компрессор CM2 включен.

Шаг 2. Компрессор CM1 работает с частотой 90 Гц (модель 224) или 95 Гц (модель 280) в течение 3 мин, компрессор CM2 выключен.

7.5. Проверка температуры картера компрессора

Перед включением системы необходимо подать питание и выждать 6 часов для прогрева картера компрессора. Если время, прошедшее с момента включения питания, составляет менее 6 часов к моменту включения кондиционера, то он будет работать с постепенным увеличением производительности в соответствии с диаграммой (рис. 7.2.8).

Если переключатель SW3-3 находится в положении OFF, а значения наружной температуры (датчик Tho-A) и температуры картера компрессора (датчик Tho-C) расположены в области, отмеченной на графике (рис. 7.2.9) темным, компрессор не запустится.

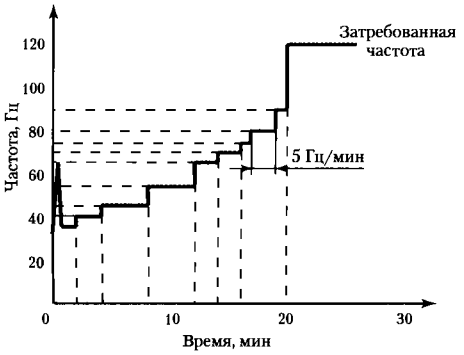


Рис. 7.2.8. Диаграмма работы компрессора при прогреве менее 6 ч

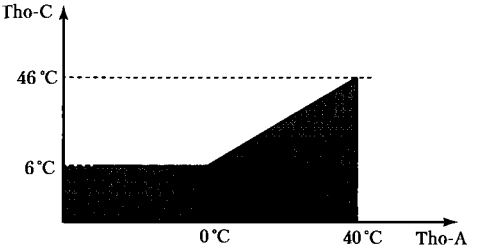


Рис. 7.2.9. Область запрета запуска компрессора

Компрессор запускается, если выполняется одно из следующих условий:

- после включения питания прошло 6 часов;
- переключатель SW3-3 переведен в положение ON;
- значения наружной температуры и температуры картера компрессора находятся вне затемненной области графика (рис. 7.2.9).

7.6. Прогрев картера компрессора

При отключении, а затем повторном включении кондиционера на дисплее наружного блока (независимо от того, что было выбрано ранее с помощью переключателя SW4) высвечивается число «360», которое сокращается на «3» каждые 3 мин. Это число соответствует минутам, оставшимся до разрешения на запуск компрессора.

7.7. Охлаждение картера компрессора

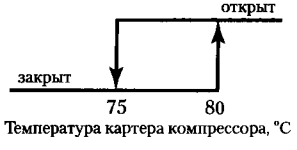


Рис. 7.2.10. Диапазон поддержания температуры картера компрессора

Если температура картера компрессора превысит 80 °С, откроется соленоидный клапан SV1, и через капиллярную трубку на вход компрессора поступит газообразный хладагент, который снизит температуру компрессора. Кроме того, начнется снижение производительности компрессора до тех пор, пока температура картера компрессора не снизится до 70 °С.

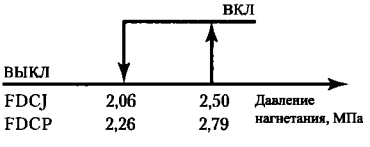


Рис. 7.2.11. Работа вентилятора наружного блока

7.8. Защита от превышения величины давления нагнетания

Если давление нагнетания превышает допустимую величину, включается вентилятор наружного блока и снижается производительность компрессора.

IBIK

7.9. Контроль температуры нагнетательного патрубка

Если температура нагнетательного патрубка (перегретый пар на выходе компрессора) превышает допустимое значение (датчики Tho-D1, D2), срабатывают соленоидные клапаны SV1 и SV2, а также терморегулирующие вентили внутренних блоков. Если давление продолжает возрастать, компрессор выключается.

Рис. 7.2.12. Работа соленоидных клапанов SV1 и SV2

Температура поддерживается также посредством изменения производительности компрессора в соответствии с рис. 7.2.13.

Если температура нагнетательного патрубка (датчики Tho-D1, D2) на протяжении 2 с удерживается выше 130 °C, компрессоры CM1 и CM2 выключаются и запускаются повторно, когда температура снижается до 90 °C.

Если повышение температуры нагнетательного патрубка будет зафиксировано дважды за 60 мин, учитывая время остановки компрессора, кондиционер выключится.

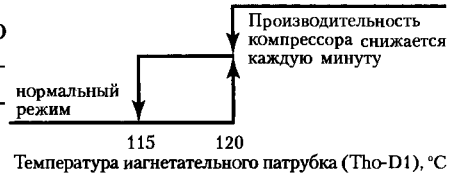


Рис. 7.2.13. Регулировка производительности

Кондиционер не запустится, если на протяжении 45 мин температура не будет удерживаться в пределах 90 °C.

7.10. Защита при превышении допустимого значения тока инвертора

Если величина тока на входе инвертора превысит допустимое значение, частота компрессора начнет снижаться по 5 Гц в минуту.

Если удается снизить ток в течение 6 мин, кондиционер начинает работать в обычном режиме.

Если ток инвертора превысит допустимое значение, инвертор отключится и запустится снова через 3 мин. После автоматического перезапуска инвертор начинает работать с частотой 35 Гц, увеличивая ее на 5 Гц каждые 30 с, пока не достигнет заданной величины. Если функция отключения тока сработает четыре раза за 15 мин, произойдет аварийная остановка кондиционера.

7.11. Защита от превышения высокого давления

Датчики 63H1-1, 63H1-2 для FDCJ при давлении 2,94 МПа отключают систему и при 2,35 МПа снова включают; для FDCP – при 3,24 МПа отключают систему, при 2,65 МПа – включают. Если датчики защиты от превышения высокого давления отключают систему дважды за 40 мин, компрессор выключается.

Однако в том случае, если датчик срабатывает сразу же после включения, компрессор отключается на 3 мин, а затем снова запускается.

7.12. Защита вспомогательного компрессора СМ2 по току

Если на одной из фаз вторичной обмотки пускателя компрессора (52С2) на протяжении 0,5 с будет фиксироваться ток, превышающий допустимое значение, компрессор остановится и запустится автоматически через 3 мин. Если в последующие 40 мин ошибка повторится, произойдет аварийная остановка кондиционера.

7.13. Контроль уровня масла в компрессоре

Если на протяжении 9 мин компрессор СМ1 работает с частотой менее 30 Гц или с частотой 35 Гц на протяжении 30 мин и более, компрессор СМ2 принудительно останавливается на 3 мин.

7.14. Защита двигателя компрессора СМ1

Если на протяжении 0,5 с значение тока двигателя компрессора превышает допустимое значение, компрессор останавливается. Через 3 мин замеряется ток, и если его значение составляет менее 2 А, компрессор снова запустится.

Если на протяжении 60 мин превышение тока будет зафиксировано 5 раз или в течение 10 мин ток будет составлять менее 2 А, произойдет аварийная остановка кондиционера.

7.15. Защита при обрыве одной из фаз питающего напряжения

Если при работающем компрессоре СМ1 (частота – 20 Гц) в течение 10 с на фазе L3 значение тока составляет 0,5 А и менее, фиксируется повреждение фазы и оба компрессора останавливаются.

Если подобное значение тока определяется 5 раз за 60 мин, происходит аварийная остановка кондиционера. Если ошибка фиксируется в первые 10 мин работы компрессора СМ1, аварийное отключение происходит сразу же.

7.16. Защита от противофазного подключения и обрыва фазы L2 на первичной обмотке пускателя (52С1)

Функция позволяет контролировать порядок подключения фаз на первичной обмотке пускателя 52С1 (при включенном питании), рассматривая комбинацию L1 – L3 – L2 – L3 как противофазное подключение. В это же время происходит проверка фазы L2 первичной обмотки. Если противофазное подключение определяется на протяжении 2 с, компрессор останавливается.

8. Защита силовых транзисторов от перегрева

Если температура силового транзистора достигает 118 °С, компрессор останавливается и перезапускается автоматически через 3 мин или сразу же в случае понижения температуры. Если в течение последующих двух часов защитная функция сработает повторно или повышенная температура будет фиксироваться на протяжении одного часа, произойдет аварийная остановка кондиционера.

9. Определение количества подключенных внутренних блоков

Если центральным процессором наружного блока при запросе внутренних блоков будет обнаружено, что количество внутренних блоков больше 8 для FDC140, больше 13 для FDC224 и больше 16 для FDC280, кондиционер остановится.

10. Защита терморегулирующего вентиля от накопления масла

Если компрессор начинает работать сразу после включения питания или общее время его работы составляет 10 ч, включается режим защиты терморегулирующих вентилей. При этом выключается термостат и вентиляторы, по очереди полностью открываются регулирующие вентили (с интервалом в 4 мин). Такой цикл позволяет очистить терморегулирующие вентили от накопившегося в них масла.

Если кондиционер работает в режиме охлаждения или осушки, регулирующие вентили удерживаются открытыми в течение 1 мин, если в режиме нагрева – в течение 4 мин.

11. Регулировка комнатной температуры при работе в режиме нагрева

Комнатная температура регулируется, исходя из значений температуры, установленной на пульте, и температуры возвратного потока воздуха. Однако при использовании потолочных моделей теплые слои воздуха поднимаются вверх, и температура основного объема помещения может быть ниже заданной. Чтобы этого избежать, рекомендуется установить переключатель SW5-2, расположенный на печатной плате внутреннего блока, в положение ON. После этого кондиционер будет поддерживать температуру на 3 °С выше установленной на пульте, что обеспечит в помещении температуру, наиболее близкую к заданной.

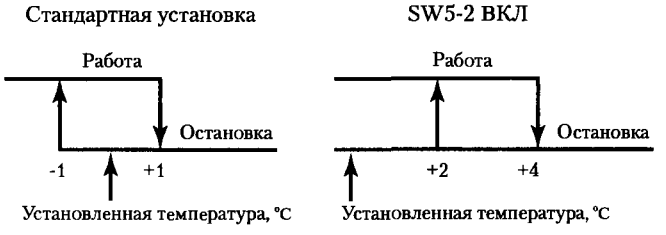


Рис. 7.2.14. Установка поправки регулирования комнатной температуры

12. Работа кондиционера в режиме охлаждения при низкой наружной температуре (ниже минус 5 °С)

При наружной температуре ниже минус 5 °С вентилятор наружного блока поддерживает температуру конденсации в пределах 22–27 °С (включается при температуре наружного теплообменника 27 °С и выключается при температуре 22 °С).

Рис. 7.2.15. Работа вентилятора наружного блока в режиме антиснеговой защиты

13. Антиснеговая защита

Если перемычка J6, расположенная на печатной плате наружного блока, разомкнута, то при наружной температуре менее 3 °С вентиляторы наружных блоков, которые были отключены по какой-либо причине, раз в 10 мин включаются и в течение 10 с работают на максимальной скорости.

14. Работа в принудительном режиме нагрева/охлаждения

Для работы в принудительном (тестовом) режиме необходимо установить переключатель SW3-7, расположенный на печатной плате наружного блока, в положение ON. После этого, вставляя или удаляя перемычку (прилагается в комплекте) в разъем CnG, можно выбрать работу в принудительном режиме на охлаждение или нагрев. Если во время работы в принудительном режиме с пульта управления делается попытка выбрать какой-либо другой режим работы, то на дисплее пульта отобразится сообщение о том, что выбор данного режима невозможен, и кондиционер начнет работать в режиме вентиляции.

Таблица 7.2.6. Установка принудительного режима

SW3-7	CnG	Режим работы
OFF	С перемычкой/без перемычки	Обычный режим
ON	Без перемычки	Охлаждение
	С перемычкой	Обогрев

Заводские уставки: переключатель SW3-7 – в позиции OFF, переключатель CnG – без перемычки.

15. Работа в тихом режиме (с низким уровнем шума)

Для выбора тихого режима необходимо в разъем CnG установить перемычку. Если выбирается режим с максимальной скоростью вентилятора (224, 280: скорость 4), то вентилятор начинает работать со скоростью на порядок ниже.

Выбор режима с низким уровнем шума невозможен в следующих случаях:

- на протяжении 30 с после включения кондиционера;
- на протяжении 30 мин после остановки кондиционера из-за сбоя (датчики 63H1, CT2);
- на протяжении 2 мин после включения CM2.

Максимальная частота компрессора при работе в тихом режиме (исключая оттаивание) составляет:

FDC 224: 100 Гц (CM1 – 80 Гц, CM2 – ВКЛ)
FDC 280: 115 Гц (CM1 – 80 Гц, CM2 – ВКЛ)
FDC 140: (CM1 – 90 Гц)

16. Аварийное переключение

Если переключатель SW3-2 установить в положение ON, то компрессор CM1 (инверторный) начнет работать только при отказе компрессора CM2 (без инвертора).

Максимальная частота составляет 90 Гц для модели 224 и 95 Гц для модели 280. Производительность распределяется пропорционально между всеми внутренними блоками.

Такие сбои как перегрузка по току, обрыв фазы, высокая температура нагнетания (датчик Tho-D2) при работе компрессора CM2 не фиксируются.

17. Проверка соединений между внутренним и наружным блоками

Если переключатели SW3-4, SW3-5, SW3-6 установить в положение ON, то кондиционер запустится в тестовом режиме, что позволит проверить соединения между внутренним и наружным блоками.

18. Снятие защиты 6-часового прогрева картера компрессора

Переключатель SW3-3 в положении ON:

а) запустится компрессор CM1 наружного блока, и включатся внутренние блоки. Произведется проверка всей системы в режиме охлаждения, затем через 6 мин включится компрессор CM2, а компрессор CM1 будет работать 16 мин (регулирующие вентили внутренних блоков открыты полностью, вентиляторы внутренних блоков выключены, на пультах управления отображается слово «Center»);

б) температура теплообменников внутренних блоков проверяется каждые 3 мин, начиная с момента запуска компрессора CM2 (с 6-минутной задержкой). Проверка температуры теплообменника наружного блока будет производиться с интервалом 20 с только в том случае, если температура теплообменников внутренних блоков понизится на 7 °С по сравнению с температурой, которая была до запуска;

в) если температура хотя бы одного из теплообменников через 5 мин после проверки не снизится на 7 °С или более, на пульте и индикаторе наружного блока высветится информация об ошибке. Если все в норме, на индикаторе наружного блока отобразится «---» и кондиционер выключится. Сбросить индикацию можно, установив переключатель SW3-4 в положение OFF.

Переключатель SW3-3 в положении OFF:

а) система включится через 3 мин (регулирующие вентили внутренних блоков открыты полностью, вентиляторы внутренних блоков выключены, на пультах управления отображается слово «Center») и проработает 10 мин;

б) и в) – см. выше.

Компрессор был остановлен более 6 часов:

а) проверка в режиме охлаждения продолжается до тех пор, пока компрессор CM1 не проработает 8 мин, затем оба блока отключаются (регулирующие вентили внутренних блоков открыты полностью, вентиляторы внутренних блоков выключены, на пультах управления отображается слово «Center»);

б) и в) – см. выше.

19. Индикатор FILTER

Когда общее время наработки кондиционера (время, в течение которого кондиционер включен) достигает 600 ч, на пульте управления начинает мигать индикатор FILTER. Индикацию можно сбросить, нажав на пульте кнопку «Filter reset» или выключив и снова включив питание.

Эта функция не сработает, если на печатной плате не установлена перемычка J4.

20. Автоматический режим работы направляющих жалюзи AUTO SWING

Автоматический режим работы жалюзи устанавливается нажатием кнопки «Auto Swing» на пульте управления и выключается ее повторным нажатием. На дисплее пульта отображается угол расположения жалюзи. Жалюзи совершают колебания 3–4 раза в минуту, а изображение на дисплее меняется каждую секунду.

При нажатии кнопки «Auto Swing» изображение на дисплее фиксируется, а жалюзи продолжают двигаться, пока не достигнут положения, отображаемого на пульте. Предусмотрено 4 позиции остановки жалюзи. Однако если на печатной плате внутреннего блока отсутствует перемычка J2, то жалюзи остановятся сразу после нажатия кнопки «Auto Swing», а на пульте отобразится их действительное положение.

При включении питания жалюзи совершают два колебания (без команды с пульта). Это является сигналом для микрокомпьютера, который в соответствии с положением жалюзи определяет режим работы их двигателя (LM).

При работе в режиме нагрева, независимо от того, был ли выбран режим автоматической работы «Auto Swing», жалюзи удерживаются в горизонтальном положении, что позволяет избежать поступления холодного воздуха. На дисплее отображается изначальное положение жалюзи.

21. Работа двигателя дренажного насоса

При работе в режимах охлаждения или осушки двигатель дренажного насоса запускается только после включения компрессора. После выключения кондиционера, термостата, переключения режимов работы с охлаждения или осушки на нагрев или вентиляцию насос продолжает работать еще в течение 2 мин.

Двигатель дренажного насоса можно запустить принудительно, установив переключатель SW5-3, расположенный на печатной плате, в положение ON. Чтобы выключить – в положение OFF.

Во всех рабочих режимах уровень конденсата контролируется с помощью поплавкового реле. При превышении допустимого уровня конденсата или при разрыве электрической цепи кондиционер выключается. Если фиксируется превышение допустимого уровня конденсата, дренажный насос включается на 3 мин, а затем снова производится проверка уровня конденсата.

Таблица 7.2.7. Алгоритмы работы двигателя дренажного насоса

Компрессор	Режим работы внутреннего блока				
	ВЫКЛ	Охлаждение	Осушение	Обдув	Нагрев
ВКЛ		Алгоритм А			
ВЫКЛ		Алгоритм В			

Алгоритм А

Если фиксируется превышение допустимого уровня конденсата, работа кондиционера прекращается (высвечивается ошибка Е9), и включается дренажный насос.

Через 3 мин производится повторная проверка уровня жидкости, и если он все еще выше нормы, насос продолжает работать. Если ошибка (повреждение) устранена, то двигатель насоса выключается. Код ошибки высвечивается до сброса.

Алгоритм В

Если фиксируется превышение допустимого уровня конденсата, закрывается терморегулирующий вентиль, и на 3 мин включается дренажный насос, после чего снова проверяется уровень жидкости. Если уровень не понизился, высвечивается ошибка Е9 и снова включается дренажный насос, который работает до полного устранения неисправности. После этого регулирующий вентиль закрывается.

7.2.3. ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ

Обмен информацией осуществляется по закрытой локальной сети на основе общей шины.

Внутренние блоки соединяются с наружным двухпроводной информационной линией связи (провода А, В). По этой линии идет обмен данными между наружным блоком, где расположен процессор, и внутренними блоками (рис. 7.2.16). Провода А и В неполярные, их можно менять местами, однако при соединении блоков информационная линия не должна быть «закольцована», как показано на рис. 7.2.17.

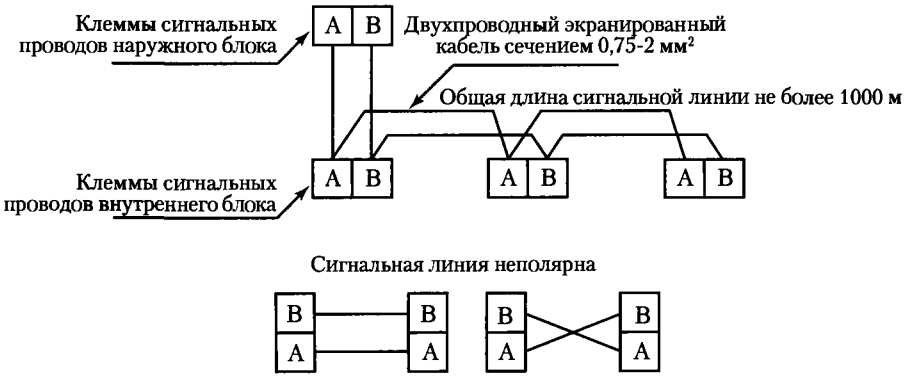
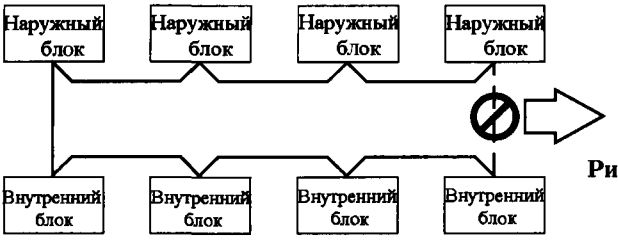


Рис. 7.2.16. Схема информационной (сигнальной) линии



Недопустимое соединение! («закольцевание» сигнальной линии)

Рис. 7.2.17. Пример ошибочного соединения сигнальной линии

При первом включении процессор наружного блока присваивает номера (адреса) внутренним блокам. В дальнейшем вся информация о состоянии внутреннего блока будет выдаваться под присвоенным ему адресом. Например, если один из внутренних блоков отказал, то на пультах высветится адрес блока и условный код ошибки.

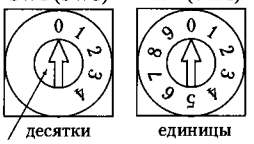
Присвоение адресации может быть выполнено вручную. Для этого нужно присвоить адрес наружному блоку и внутреннему. Адрес наружного блока присваивается с помощью переключателей SW1 и SW2 от 00 до 47 (рис. 7.2.18).

На внутреннем блоке с помощью переключателей SW3 и SW4 необходимо выставить адрес наружного блока, которому «подчинен» внутренний блок, а с помощью переключателей SW1и SW2 присвоить адрес внутреннему блоку (от 00 до 47).

При установке переключателей на наружном и внутренних блоках в положения 48 или 49 адресация будет осуществляться автоматически. При наличии двух и более наружных блоков адресация должна быть выполнена таким образом, чтобы информационные связи соответствовали соединению фреоновой магистрали. Так, если фреоновая магистраль наружного блока 01 соединена с внутренними блоками 03, 04 и 05, то на этих внутренних блоках переключатели SW3 и SW4 (адрес наружного блока) должны быть выставлены в положение 01.

Печатная плата внутреннего блока	SW1, 2 (синий)	Установка номера внутреннего блока (десятки и единицы)
	SW3, 4 (зеленый)	Установка номера наружного блока (десятки и единицы)
Печатная плата наружного блока	SW 1, 2 (зеленый)	Установка номера наружного блока (десятки и единицы)

SW1 (SW3) SW2 (SW4)



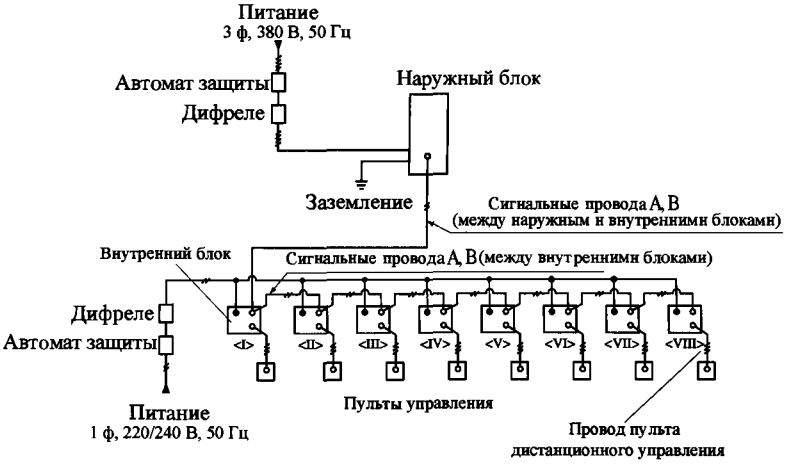
десятки единицы

С помощью заостренного предмета (например, отвертки) установите указатель на требуемое значение

		SW2 (SW4) единицы									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SW1 (SW3) десятки	0	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
	1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	2	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	3	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	4	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49

Рис. 7.2.18. Установка адресации блоков системы КХ

Схемные соединения блоков системы КХ показаны на рис. 7.2.19.



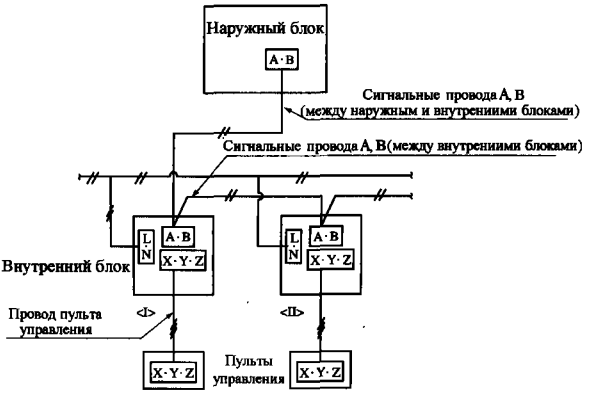


Рис. 7.2.19. Схемы соединений блоков системы КХ

Сечение проводов электропитания должно выбираться, исходя из того, что во время прохождения пусковых токов падение напряжения на проводах не должно быть более 2 % от номинального значения. Напряжение питания подается независимо на наружный и внутренние блоки. Питание наружного блока осуществляется трехфазным напряжением 380 В, 50 Гц. Должна быть предусмотрена токовая защита и защита от токов утечки (устройство защитного отключения или дифференциальное реле) в соответствии с табл. 7.2.8.

Для защиты внутренних блоков может быть установлен один автоматический выключатель с устройством защитного отключения в соответствии с табл. 7.2.9.

Таблица 7.2.8. Требования к сети питания блоков FDC

Модель	Вид напряжения	Сечение провода, мм²	Ток срабатывания, А			
			Силовой выключатель	Автоматический выключатель	Дифреле	Сечение провода заземления, мм²
FDC140	3 фазы, 380 В, 50 Гц	3,5	30	25	30А, 30мА, 0,1 с	2,0
FDC224		5,5	40	30	40А,100мА 0,1 с	2,0
FDC280		8,0	60	50	60 А,100мА 0,1 с	3,5

Таблица 7.2.9. Требования к сети питания внутренних блоков систем КХ

Параметры		Ток срабатывания, А			Сечение сигнального провода и сечение провода заземления, мм²
		Сечение провода, мм²	Автоматический выключатель	Дифреле	
Общий ток внутренних блоков	менее 10 А	2,0	20	20А, 100 мА 0,1 с	0,75×2
	от 10 до 15 А	3,5	30	30 А, 100мА 0,1 с	0,75×2

По информационной линии А, В передаются импульсные сигналы напряжением 5 В, поэтому для повышения помехоустойчивости эти провода необходимо экранировать.

Внутренние блоки соединяются с пультом управления тремя проводами (X, Y, Z). При этом выводы X, Y и Z внутреннего блока должны быть соответственно соединены с выводами X, Y, Z пульта.

Менять провода X, Y, Z местами недопустимо!

Один внутренний блок может управляться двумя пультами. Схема соединений для этого случая показана на рис. 7.2.20. При этом один из пультов

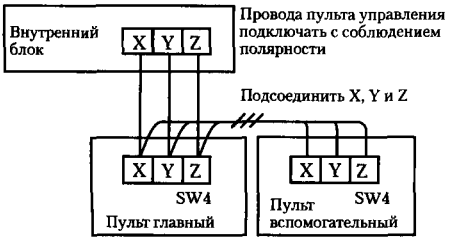


Рис. 7.2.20. Управление внутренним блоком двумя пультами

определяется главным (переключатель SW4 – в положении «Master»), а второй подчиненным (SW4 – в положении «Slave»). Регулировка температуры будет производиться по датчику температуры, расположенному в главном пульте.

Если необходимо управлять несколькими внутренними блоками с одного пульта, то схема соединений должна быть выполнена в соответствии с рис. 7.2.21.

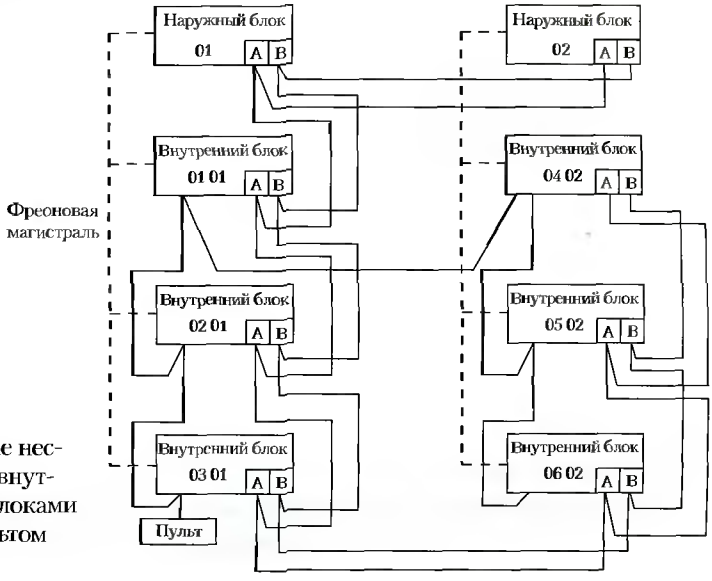


Рис. 7.2.21. Управление несколькими внутренними блоками одним пультом

Управление внутренними блоками осуществляется с пультов дистанционно (инфракрасным излучением) или проводным соединением. Проводной пульт кондиционеров показан на рис. 7.2.22. Дистанционный пульт аналогичен пульту бытовых кондиционеров (рис. 7.2.23).

Рис. 7.2.22. Проводной пульт

Рис. 7.2.23. ИК-приемник RCND-IT-HE и дистанционный ИК-пульт

В моделях, которые на заводе-изготовителе комплектуются проводным пультом, может быть установлен дистанционный ИК-пульт. Для этого необходимо вместо проводного пульта установить ИК-приемник RCND-KIT-HE (рис. 7.2.23).

Рис. 7.2.24. Сетевой пульт SC-NR-E

Комбинация стандартного проводного пульта с сетевым пультом SC-NR-E (рис. 7.2.24) позволяет одновременно управлять системой состоящей из 16 кондиционеров. При этом возможно параллельное управление с обоих пультов – кондиционер будет реагировать на последнюю команду. Питание пульта SC-NR-E осуществляется от отдельного блока, поставляемого в комплекте с пультом.

Для управления всеми внутренними блоками *с одного рабочего места, например,* с диспетчерского пульта в офисном помещении или в гостинице применяются групповые пульты.

Групповой пульт SLA-1-E (рис. 7.2.25, *а*) предназначен для включения и выключения до 16 внутренних блоков. Подключается пульт к сигнальной линии AB.

Режимы работы кондиционеров устанавливаются на собственных индивидуальных пультах, а включение и выключение внутреннего блока производится с группового пульта SLA-1-E.

С пульта SLA-1-E можно включать/выключать каждый внутренний блок в отдельности или одновременно все блоки (клавиши ALL1 и ALL0).

На пульте имеются светодиодные индикаторы (красные и зеленые), располагаемые рядом с клавишами индивидуального включения/выключения. Если внутренний блок включен, то светится зеленый индикатор. При отказе блока светится красный индикатор. Отсутствие свечения означает обрыв связи с этим блоком.

Для управления внутренними блоками и установки их режимов с рабочего места диспетчера предназначен групповой пульт SLA-2A-E (рис. 7.2.25, *б*.)

С помощью группового пульта SLA-2A-E можно управлять и устанавливать режимы 48 блокам или 16 группам блоков. При этом в каждой группе может быть до 48 блоков. На одну сигнальную линию может быть подключено до трех пультов SLA-2A-E.

Используя пульт SLA-2A-E и переключатель SW9-1 в сигнальную линию можно подключить недельный таймер SCA-WT-E (рис. 7.2.26), с помощью которого устанавливается индивидуальный режим включения/выключения внутренних блоков. Время устанавливается с дискретностью одна минута.

IBIK

а *б*

Рис. 7.2.25. Групповые пульты:
а — SLA-1-E; *б* — SLA-2A-E

На дисплее таймера высвечиваются текущий день и текущее время. Можно вывести информацию о режиме работы каждого внутреннего блока.

Если предусматривается одинаковая недельная программа для всех потребителей, переключатель SW9-1, расположенный на печатной плате таймера, необходимо установить в положение OFF.

При установке переключателя SW9-1 в положение ON возможны индивидуальные расписания для каждого потребителя. При этом установка параметров производится с группового пульта SLA-2A-E.

Автоматическое включение/выключение может происходить не более 3 раз в сутки. Возможна установка программы на будние и праздничные дни. После выключения таймера записанная программа остается в памяти таймера.

Рис. 7.2.26. Недельный таймер SCA-WT-E

Рис. 7.2.27. Упрощенный пульт RCD-K-S-E2

Если переключатель SW9-2 установлен в положение ON, то в случае аварийного отключения электропитания после возобновления его подачи временной график работы будет восстановлен. Таймер сохраняет информацию временного графика в течение 100 часов после отключения электропитания. Если переключатель SW9-2 установ-

IBIK

лен в положение OFF, то после возобновления подачи электропитания кондиционер будет остановлен.

Если используется пульт SLA-2A-E, то в качестве индивидуальных пультов можно применить упрощенный пульт RCD-K-S-E2 (рис. 7.2.27).

Упрощенный пульт RCD-K-S-E2 позволяет задавать температуру, скорость вращения вентилятора, включать/выключать жалюзи (в режиме автоматических колебаний).

Напомним, что одновременно кондиционер может работать только в одном режиме (охлаждение, осушение или нагрев).

Выбор режима работы кондиционера определяется пользователем по временной приоритетности. Пользователь, который по времени раньше включил определенный режим, является приоритетным. Если второй пользователь включит свой внутренний блок на другой режим, то у него будет работать только вентилятор внутреннего блока. Это проиллюстрировано на схеме (рис. 7.2.28).

Пользователь *A* включил в момент времени t_1 охлаждение. В момент t_2 пользователь *B* включил режим нагрева. Однако данный кондиционер не может работать одновременно в двух режимах. Поэтому приоритет имеет пользователь *A*, а во внутреннем блоке пользователя *B* будет работать только вентилятор.

Если в момент времени t_3 пользователь *B* включит режим охлаждения, то его внутренний блок перейдет из режима обдува в режим охлаждения. Если в момент времени t_4 пользователь *A* захочет переключиться в режим нагрева, то выполнить это будет невозможно до тех пор, пока пользователь *B* также не перейдет в режим нагрева. В период t_3–t_4 у пользователя *A* будет работать только вентилятор обдува и т. д.

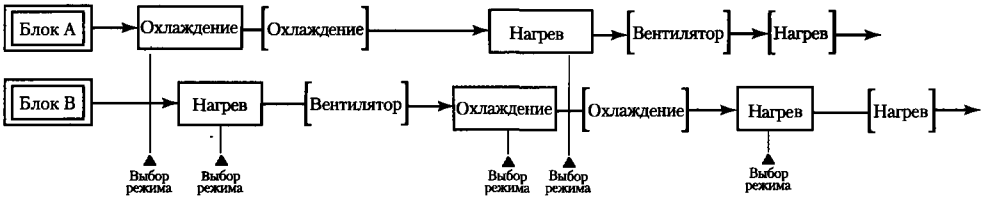


Рис. 7.2.28. Циклограмма приоритетности работы многозонального кондиционера

IBIK

7.2.4. ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Система диагностики КХ осуществляет:

- проверку состояния компрессорно-конденсаторных блоков с помощью встроенного 7-сегментного индикатора, на котором отображаются отдельные параметры и состояние элементов;
- самодиагностику состояния всей системы с помощью пульта управления.

Индикация состояния компрессорно-конденсаторного блока может осуществляться в автоматическом (бегущая строка) или в ручном режиме. Для перехода в автоматический режим индикации необходимо переключатель SW-4 установить в положение F. В этом режиме на индикаторе в течение 1 с отображается условный код параметра (0–10, A, B, C, D, E), а затем в течение 3 с – значение параметра.

0	Рабочая частота или номер ошибки	
1	Температура наружного теплообменника	
2	Температура наружного воздуха	
3	Температура поддона картера	
4	Температура нагнетания С1	
5	Температура нагнетания С2	
6	Ток СМ1	
7	Ток СМ2	
8	Положение SV1: 0 – ВЫКЛ, 1 – ВКЛ	Охлаждение картера компрессора
9	Положение SV2: 0 – ВЫКЛ, 1 – ВКЛ	
A	Датчик 63H1 (защита): 0 – контакт замкнут, 1 – контакт разомкнут	
B	Датчик 63H2 (вентилятор): 0 – контакт замкнут, 1 – контакт разомкнут	
C	Датчик 63L: 0 – ВЫКЛ, 1 – ВКЛ	
D	Количество внутренних блоков	
E	Частота компрессора, Гц	
F	Переход на бегущую индикацию	

Рис. 7.2.29. Семисегментный индикатор значения (состояния) параметра блоков FDC140 (224, 280)

Если переключатель SW-4 поставить в одно из положений (0–10, A, B, C, D, E), то постоянно будет индицироваться значение параметра, соответствующее коду.

Самодиагностика технического состояния всей системы производится непрерывно. При отказе кондиционер выключается, вид отказа отображается индикаторами на проводном пульте управления.

Коды ошибок, отображаемые на дисплее пульта управления, приведены в табл. 7.2.10.

IBIK

Таблица 7.2.10. Коды ошибок, отображаемые на дисплее пульта управления

Код ошибки	Индикатор внутреннего блока		Индикатор наружного блока		Причина
	зеленый	красный	зеленый	красный	
Без индикации	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Выключен	Норма
	Выключен	Выключен	Выключен	Выключен	Нет питания, обрыв фазы, отключен источник питания
	Мигает постоянно	Мигает 3 раза	Мигает постоянно	Выключен	Неверно подсоединены провода X и Y на пульте управления. Если провод оборван при включенном питании, индикатор - выключен. Обрыв проводов пульта управления. (При повреждении провода X раздается звуковой сигнал, но индикация не отображается. При повреждении провода Y отсутствует, как звуковой сигнал, так и индикация).
E1	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Выключен	На контактной колодке провода пульта управления подсоединены к выводам A и B. Сигнальные шины наружного и внутреннего блоков соединены в форме петли. Неисправность микрокомпьютера внутреннего блока
	Выключен или светится постоянно	Выключен или светится постоянно	Мигает постоянно	Выключен	Неисправность печатной платы внутреннего блока
	Мигает постоянно	Мигает 3 раза	Мигает постоянно	Выключен	Обрыв провода Y. Неверно подсоединены провода X и Y на пульте управления (индикатор мигает дважды в секунду). Используются два пульта управления. Если провод оборван при включенном питании, индикатор выключен
E2	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Неверно выбран номер адресации на внутреннем блоке. Подсоединено более 49 внутренних блоков
E3	Мигает постоянно	Мигает 2 раза	Выключен	Выключен	Отключено питание наружного блока (определяется только в процессе работы)
	Мигает постоянно	Мигает 2 раза	Мигает постоянно	Выключен	Соответствующий номер адресации наружного блока не найден (определяется только в процессе работы)
	Мигает постоянно	Мигает 2 раза	Выключен	Выключен	Отключено питание наружного блока (определяется только в процессе работы)
E4	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Неверно указан номер наружного блока
E5	Мигает постоянно	Мигает 2 раза	Мигает постоянно	Выключен	Ошибка передачи сигналов между наружным и внутренним блоками. Провода A и B были подключены после подачи питания
	Мигает постоянно	Мигает 2 раза	Выключен	Выключен	Сбой в питании наружного блока (в случае, если источники питания наружного и внутреннего блоков различны)
	Мигает постоянно	Мигает 2 раза	Выключен или мигает	Выключен или светится постоянно	Неисправность микрокомпьютера наружного блока
E6	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Неисправность датчика температуры теплообменника внутреннего блока
E7	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Неисправность датчика выходного потока (внутренний блок)
E8	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Высокая температура внутреннего теплообменника. Неисправность датчика температуры внутреннего теплообменника. Неисправность печатной платы внутреннего блока
E9	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Сработал поплавковый выключатель (если имеется). Неисправна проводка дренажной системы
E10	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Выключен	Если с помощью пульта управления осуществляется управление несколькими блоками, то количество блоков превышает максимально допустимое (свыше 17 блоков). Для управления необходимо использовать два пульта

продолжение **табл. 7.2.10**

Код ошибки	Индикатор внутреннего блока		Индикатор наружного блока		Причина
	зеленый	красный	зеленый	красный	
E11	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Выключен	Адресация задана для нескольких пультов управления
E12	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Выключен	Неверно задана адресация. Использованы следующие комбинации: Наружный блок № 0-47,48,49; внутренний блок № 48,49, 0~47
E28	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Неисправность датчика температуры на пульте управления
E30	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Ошибка соединения наружного/внутреннего блоков
E31	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Неверно задана адресация для наружного блока
E32	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Обрыв фазы L3 на первичной обмотке контактора 52C1
E33	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Резкое повышение тока компрессора (CM2). Заклинивание двигателя компрессора (CM1). Обрыв фазы L2 или L1 компрессора
E34	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Обрыв фазы L3 на первичной обмотке контактора 52C2
E35	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Мигает постоянно	Высокая температура наружного теплообменника. Неисправность датчика температуры наружного теплообменника
E36	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Температура нагнетания превышает норму
E37	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Неисправность датчика температуры наружного теплообменника.
E38	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Неисправность датчика наружной температуры.
E39	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Неисправность датчика температуры нагнетания
E40	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Сработал датчик давления 63H1
E41	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Перегрев силового транзистора
E42	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Повышение тока компрессора (CM1)
E43	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Превышено допустимое количество подсоединенных блоков
E45	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Ошибка передачи между инвертором и печатной платой наружного блока
E46	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает 1 раз	Для системы одновременно осуществляются как автоматическая, так и ручная установка адресации
E57	Мигает постоянно	Выключен	Мигает постоянно	Мигает постоянно	Низкое давление (сработал датчик 63L)
E61	Мигает постоянно	Выключен	Мигает 1 раз		Ошибка передачи между главным и подчиненными блоками
E62	Мигает постоянно	Выключен	Мигает 1 раз	Мигает 5 раз	Неверно задана адресация подчиненного блока

7.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНДИЦИОНЕРОВ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ТЕПЛА

7.3.1. ТИПОВЫЕ СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

При использовании кондиционеров с утилизацией тепла в каждом помещении внутренний блок может быть включен на любой из режимов. При этом в помещения, которые необходимо обогреть, тепло забирается из помещений, которые необходимо охладить. Технологически такая система сложнее и дороже, однако она более гибка по функциональным возможностям и потребляет меньше электроэнергии.

Эти системы получили название ***многозональных систем кондиционирования с утилизацией тепла***.

Система кондиционирования с утилизацией тепла состоит из трех частей:

- компрессорно-конденсаторного блока;
- фреоновых коммутаторов;
- внутренних блоков.

Фреоновые коммутаторы устанавливаются между компрессорно-конденсаторными и внутренними блоками. Компрессорно-конденсаторный блок соединяется с фреоновым коммутатором двумя или тремя трубами. В зависимости от этого систему называют соответственно двух- или трехтрубной.

Внутренние блоки соединяются с фреоновыми коммутаторами двумя трубами.

Количество выходов у фреоновых коммутаторов может быть на 1, 2, 4 и 6 внутренних блоков.

В двухтрубных системах фреоновый коммутатор сложнее, чем в трехтрубных, однако фреоновая магистраль значительно упрощается, используется меньшее количество труб, легче монтаж, меньше паяных соединений.

Трехтрубные системы производятся фирмой Mitsubishi Heavy Industries, двухтрубные – Mitsubishi Electric и Daikin.

Принцип работы двухтрубной и трехтрубной систем подробно описан в [4].

На рис. 7.3.1 приведена принципиальная электрическая схема компрессорно-конденсаторного блока системы кондиционирования с утилизацией тепла KXR. Схема внутреннего блока такая же как на рис. 7.2.2, а принципиальная электрическая схема фреонового коммутатора приведена на рис. 7.3.2.

ВІК

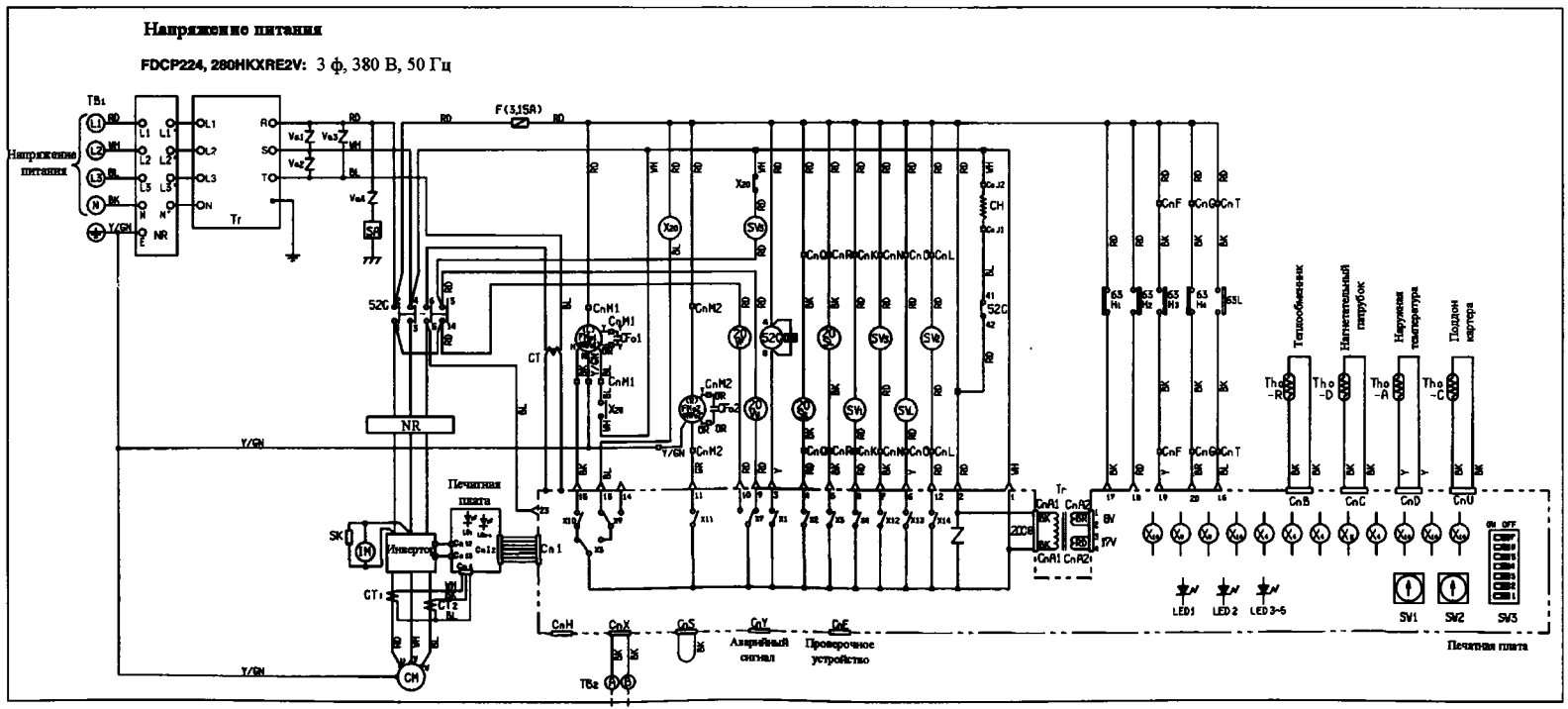


Рис. 7.3.1. Схема электрическая компрессорно-конденсаторного блока кондиционера KXR

Условные обозначения:

Обозначение	Название	Обозначение	Название
CM	Электродвигатель компрессора	$63H_1$	Реле защиты по высокому давлению
$FM_{1,2}$	Электродвигатель вентилятора наружного блока	$63H_2$	Датчик регулировки давления конденсации
IM	Электродвигатель вентилятора инвертора	$63H_3$	Реле защиты по высокому давлению
52C	Электромагнитный контактор включеиия электродвигателя компрессора	$63H_4$	Реле защиты по высокому давлению
$49F_{1,2}$	Внутренний термостат электродвигателя вентилятора наружного блока	63L	Реле защиты по низкому давлению
CH	Нагреватель картера компрессора	Tho-A	Термистор (наружная температура)
$CF_{1,2}$	Конденсатор для электродвигателя вентилятора наружного блока	Tho-C	Термистор (поддон картера)
X_1	Реле (для 52C)	Tho-D	Термистор (температура перегретого пара)
X_2	Реле (для 20SS)	Tho-R	Термистор (температура иаружного теплообменника)
X_2	Реле (для 20SL)	$CT_{1,2}$	Трансформатор тока
X_4	Реле (для SV1)	NR	Помехоподавляющий фильтр
X_7	Реле (для 20VF, 20VU)	SK	Искрогаситель
$X_{8\text{-}10}$	Реле (для FM_O1)	SA	Устройство защитного отключения
X_{11}	Реле (для FM_O2)	Tr	Трансформатор
X_{12}	Реле (для SVS)	$Va_{1,2,5,4}$	Варистор
X_{13}	Реле (для SVL)	$TB_{1,2}$	Клеммная колодка
X_{14}	Реле (для SV2)	F	Предохранитель
X_{20}	Реле (для SV3)	$Cn_{A\text{-}Y}$	Соединитель (□-обозначение)
20Ss	Четырехходовой клапан передней части теплообменника	SW1	Номер наружного блока (десятки)
$20S_L$	Четырехходовой клапан задней части теплообменника	SW2	Номер наружного блока (единицы)
$20V_F$	Соленоидный клапан (регулировка производительности)	SW3-1	Перезапуск индикатора
$20V_U$	Соленоидный клапан (регулировка производительности)	SW3-2	Оттаивание
SV_1	Соленоидный клапан (охлаждение компрессора)	SW3-3	Антиснеговая защита
SV_2	Соленоидный клапан (байпас в режиме охлаждения)	LED1	Индикатор (красный)
SV_3	Соленоидный клапан (байпас перегретого пара)	LED2	Индикатор (зеленый)
SV_S	Соленоидный клапан (отключение передней части теплообменника)	LED3-5	Индикатор (желтый)
SV_L	Соленоидный клапан (отключение задней части теплообменника)	LD1	Индикатор (зеленый)
		LD2-4	Индикатор (красный)

Функции переключателей

Обозначение	Название	
SW3-4	ВКЛ	Тестовый режим
	ВЫКЛ	Обычная работа
SW3-5	ВКЛ	Тестовый режим (охлаждение)
	ВЫКЛ	Тестовый режим (нагрев)
SW3-6	ВКЛ	Принудительиый режнм
	ВЫКЛ	Обычная работа
SW3-7	ВКЛ	Тестовый режим
	ВЫКЛ	Обычная работа

Цветовые обозначения

Обозначение	Цвет
BK	Черный
BL	Голубой
BR	Коричневый
GN	Зеленый
GR	Серый
OR	Оранжевый
RD	Красный
WH	Белый
Y	Желтый
Y/GN	Желтый/Зеленый

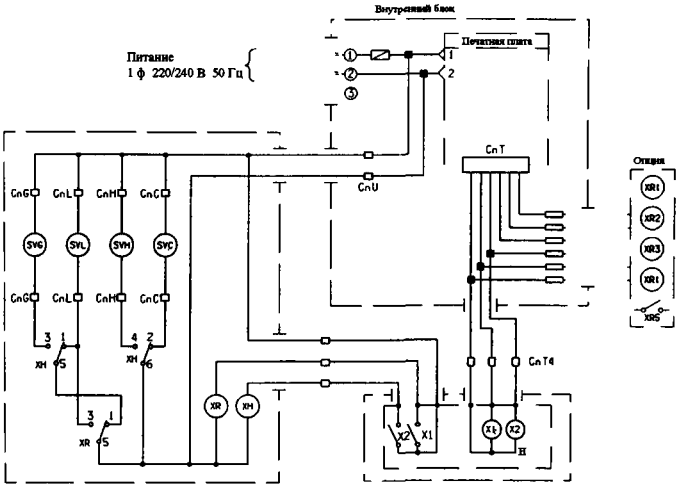


Рис. 7.3.19. Схема электрическая фреонового коммутатора

Условные обозначения

Обозначение	Название	Обозначение	Название
SVH	Газовый соленоидный клапан высокого давления	**SVG**	Байпасный соленоидный клапан
SVC	Газовый соленоидный клапан низкого давления	**XR, X1, XR1**	Реле
SVL	Жидкостной соленоидный клапан	**XH, X2, XR2**	Реле

В компрессорно-конденсаторном блоке имеется два четырехходовых клапана (20SS и 20SL) и два теплообменника.

Производительность регулируется путем байпассирования жидкого хладагента клапанами 20VF и 20VU, а также при необходимости соленоидным клапаном SVG, расположенным во фреоновом коммутаторе. Клапан SV1 предназначен для охлаждения компрессора. Остальные элементы аналогичны элементам системы КХ.

В зависимости от того, в каком состоянии находятся электрически управ-ляемые клапаны фреонового коммутатора (SVH, SVC, SVL и SVG), внутренние блоки работают в определенном режиме (табл. 7.3.1).

Управление клапанами фреонового коммутатора осуществляется через блок реле, подключенный к печатной плате внутреннего блока.

Таблица 7.3.1. Работа внутренних блоков в зависимости от положения клапанов фреонового коммутатора

Клапан / Режим работы	SVH	SVL	SVC	SVG
Напряжение питания не подано	закрыт	закрыт	закрыт	закрыт
Напряжение питания подано, вентиляция	закрыт	открыт	закрыт	закрыт
Нагрев	открыт	открыт	закрыт	закрыт
Охлаждение, оттаивание наружного блока	закрыт	открыт	открыт	закрыт

7.3.2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ

Приведенные выше схемные решения совместно с заложенными алгоритмами обеспечивают реализацию следующих функциональных систем KXR.

1. Рабочая частота

Распределение производительности между внутренними блоками выполняется в зависимости от затребованной ими частоты.

Таблица 7.3.2. Диапазон частот наружных блоков

Модель	Общая рабочая частота компрессора, Гц	Рабочая частота, Гц
		Инвертор (CM1)
FDCP224HKXRE2A (V) FDCP280HKXRE2A (V)	35–95	35–95

2. Работа отдельных компонентов в зависимости от рабочего режима кондиционера приведена табл. 7.3.3.

Таблица 7.3.3. Работа отдельных компонентов кондиционера

Режим / Компонент	Охлаждение		Вентиляция	Нагрев			Осушение
	Термостат ВКЛ	Термостат ВЫКЛ		Термостат ВКЛ	Термостат ВЫКЛ	Оттаивание	
Вентилятор внутреннего блока	По команде с пульта управления	По команде с пульта управления	По команде с пульта управления	По команде с пульта управления	Работает прерывисто*	ВКЛ ВЫКЛ	ВКЛ/ВЫКЛ
Электронный ТРВ	В зависимости от частоты	Закрыт полностью	Закрыт полностью	В зависимости от частоты	Закрыт полностью	Открыт полностью	В зависимости от частоты
Компрессор	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВКЛ/ВЫКЛ
Вентилятор наружного блока	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ/ВЫКЛ	ВКЛ/ВЫКЛ
Двигатель дренажного насоса	ВКЛ	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ
Соленоидный клапан (20VU)	Открыт/ закрыт	Открыт	Открыт	Открыт/ закрыт	Открыт	Закрыт	Открыт/ закрыт
Соленоидный клапан (20VF)	Закрыт/ открыт	Закрыт	Закрыт	Закрыт/ открыт	Закрыт	Открыт	Закрыт/ открыт
Четырехходовой клапан (20SL, SS)	Определяется индивидуально						
Соленоидный клапан (SV1,L,S)	Определяется индивидуально						

* Если перемычка J3 замкнута, вентилятор внутреннего блока выключен.

3. Разгрузка компрессора при пуске

На протяжении 30 с после запуска компрессор работает с частотой от 5 до 35 Гц независимо от запрашиваемой частоты и переходит на полную мощность только после того, как значение частоты поднимается до 60 Гц.

4. Оттаивание

Начало оттаивания определяется одним из следующих условий:

- компрессор проработал 45 мин со времени предыдущего оттаивания или 30 мин с момента переключения на режим нагрева;
- прошло 5 мин после выключения и повторного включения компрессора;
- прошло 5 мин после остановки вентилятора наружного блока;
- температура наружного теплообменника опускается ниже значения температуры, установленного заводом-производителем для начала оттаивания.

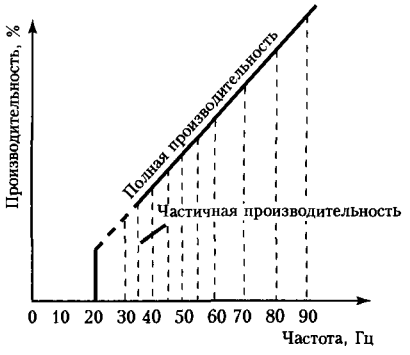


Рис. 7.3.3. Зависимость между частотой вращения и производительностью

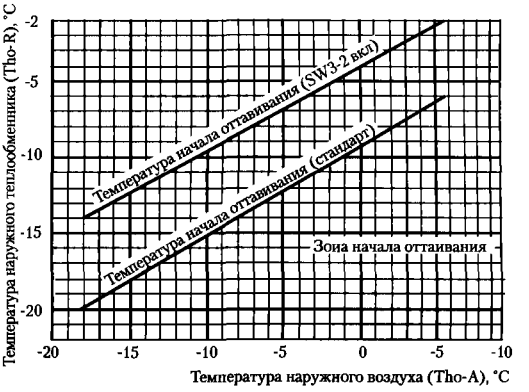


Рис. 7.3.4. Условия проведения оттаивания наружного блока компрессора

Условия начала оттаивания по температуре показаны на графике (рис. 7.3.4). Изменение зоны оттаивания осуществляется путем переключения тумблера SW3-2.

Оттаивание завершается при выполнении одного из следующих условий:

- температура наружного теплообменника поднимается до 20 °С;
- через 12 мин после начала оттаивания.

5. Антиснеговая защита

Если переключатель SW3-3 на печатной плате наружного блока находится в положении ON, то при падении наружной температуры ниже 3 °С каждые 10 мин будет включаться вентилятор наружного блока и работать с максимальной скоростью в течение 10 с.

6. Регулирование производительности компрессора

После запуска компрессор работает с частичной производительностью в течение 15 с и только после этого начинает выходить на запрашиваемую частоту.

1. Работа с полной производительностью: 35–95 Гц (интервал 5 Гц).
2. Работа с частичной производительностью: 35–45 Гц (интервал 5 Гц).

7. Защита при отклонении давления от допустимых пределов

Защита по высокому давлению включает в себя несколько функций (защита HP*, HP-A, HP-B и LP**), которые срабатывают в следующей последовательности: HP – HP-A – LP – HP-B.

7.1. Защита HP

Если датчик высокого давления 63H2 срабатывает дважды за 45 мин, кондиционер выключается и активизируется функция самодиагностики:

- пульт управления: высвечивается код ошибки E40;
- внутренний блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный индикатор выключен;
- наружный блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный мигает 3 раза.

7.2. Защита HP-A

При срабатывании датчика 63H2 вентилятор наружного блока начинает работать с максимальной скоростью (модели работы от A1 до C1, табл. 7.3.4) или останавливается (модели от C2 до E2). Частота инвертора снижается на 10 Гц. Если датчик все еще фиксирует превышение давления, частота продолжает уменьшаться по 10 Гц, пока не достигнет значения 35 Гц (частичная производительность).

Когда давление снижается до допустимого значения, частота инвертора начинает увеличиваться на 5 Гц каждые 3 мин, пока система не вернется в нормальный режим работы.

Таблица 7.3.4. Состояние работы компонентов системы

Модель работы	4-ходовой клапан		Соленоидный клапан				Скорость двигателя вентилятора	
	20SS	20SL	SVS	SVL	SV2	SV3	FM01	FM02
A1	Закрыт	Закрыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Открыт	Высокая	Высокая
A2	Закрыт	Закрыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Открыт	Высокая	ВЫКЛ
B1	Закрыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Открыт	Высокая	Высокая
B2	Закрыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Открыт	Высокая	ВЫКЛ
B3	Закрыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Закрыт	Средняя	ВЫКЛ
C1	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Открыт	Открыт	Высокая	Высокая
C2	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Закрыт	Закрыт	Средняя	ВЫКЛ
D1	Открыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Закрыт	Средняя	ВЫКЛ
D2	Открыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Открыт	Высокая	ВЫКЛ
D3	Открыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Закрыт	Открыт	Высокая	Высокая
E1	Открыт	Открыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Открыт	Высокая	ВЫКЛ
E2	Открыт	Открыт	Открыт	Открыт	Закрыт	Открыт	Высокая	Высокая

* * HP (High Pressure) – высокое давление

** LP (Low Pressure) – низкое давление.

7.3. Защита LP и HP-B

В данном случае высокое и низкое давление регулируется с помощью соленоидных клапанов, вентилятора наружного блока и других компонентов. Выделяют 12 моделей работы, каждая из которых предусматривает определенное положение (функционирование) отдельных компонентов системы.

7.3.1. Защита LP

Когда срабатывает датчик низкого давления 63L (1,96 МПа — защита включается, 2,75 МПа — выключается), система начинает работать в соответствии с описанными моделями, начиная с A1 и заканчивая E2 (табл. 7.3.4), повышая уровень давления за счет регулирования производительности.

7.3.2. HP-B3 (режим снижения давления)

Когда срабатывает датчик давления 63H3 (2,50 МПа — защита включается, 2,11 МПа — выключается), система начинает работать в соответствии с моделями от E2 до A1, снижая уровень высокого давления за счет регулирования производительности.

7.3.3. HP-B4 (режим повышения давления)

Когда срабатывает датчик давления 63H4 (1,67 МПа — защита включается, 1,86 МПа — выключается), система начинает работать в соответствии с моделями от A1 до E2, увеличивая высокое давление за счет регулирования производительности.

8. Выбор рабочей модели

8.1. Выбор начальной рабочей модели

Модель работы определяется при запуске компрессора в зависимости от режима работы внутренних блоков.

Таблица 7.3.5. Рабочие модели

Режим работы внутреннних блоков	Рабочая модель
Работа всех блоков на охлаждение	A1
Работа большинства блоков на охлаждение	A1
Работа половины блоков на охлаждение, половины — на нагрев	B1
Работа большинства блоков на нагрев	C2
Работа всех блоков на нагрев	D1

8.2. Смена рабочей модели

Модели работы изменяются по мере срабатывания датчиков давления (63L, 63H3, 63H4). При переходе на новую модель система работает в течение 2 мин в соответствии с параметрами, предусмотренными данной моделью. Однако, если в это время срабатывает один из датчиков, система переходит к следующей рабочей модели.

8.3. Смена рабочей модели при переключении режимов

При переключении режима работы системы (например, большинство блоков переключаются с нагрева на охлаждение или наоборот) модель изменяется, как показано в табл. 7.3.6.

IBIK

Таблица 7.3.6. Переходные модели

Режим работы	Модель работы
Переход с нагрева на охлаждение	A1
Переход с охлаждения на нагрев	D3

9. Охлаждение компрессора

Соленоидный клапан SV1 закрыт во всех режимах работы кондиционера и открывается только при срабатывании одной из систем защиты.

Таблица 7.3.7. Положение клапана SV1

Работа	Положение SV1
Нормальная работа	Закрыт
Контроль температуры картера компрессора	Открыт/закрыт*
Контроль температуры нагнетания	Открыт/закрыт*

* Положение клапана определяется в зависимости от температуры компрессора.

10. Управление рабочей частотой компрессора

Если хоть один внутренний блок на протяжении 6 мин запрашивает максимальную производительность, рабочая частота компрессора повышается на 10 Гц. После этого частота продолжает увеличиваться на 10 Гц каждые 6 мин, однако не более чем на 30 Гц.

11. Защита при переключении режимов

При переключении одного из блоков с режима охлаждения (включая автоматический режим), осушки или вентиляции на режим нагрева и наоборот происходит следующее:

11.1. При работающем компрессоре:

1. На протяжении 2 мин 45 с кондиционер продолжает работать в режиме, в котором он работал до переключения режимов.
2. Четырехходовой клапан (20SL, 20SS) переключается через 2 мин после остановки компрессора.
3. Компрессор стоит 3 мин, после чего начинает работать по алгоритму, показанному на рис. 7.3.6.

11.2. Компрессор был отключен на протяжении 2 мин 45 с и более:

1. Переключение режимов происходит без задержки.
2. Компрессор и четырехходовой клапан работают, как описано в п. 11.1.

11.3. Компрессор был отключен менее 2 мин 45 с:

1. Переключение режимов произойдет после того, как компрессор простоит 2 мин 45 с.
2. Компрессор и четырехходовой клапан работают, как описано в п.11.1.

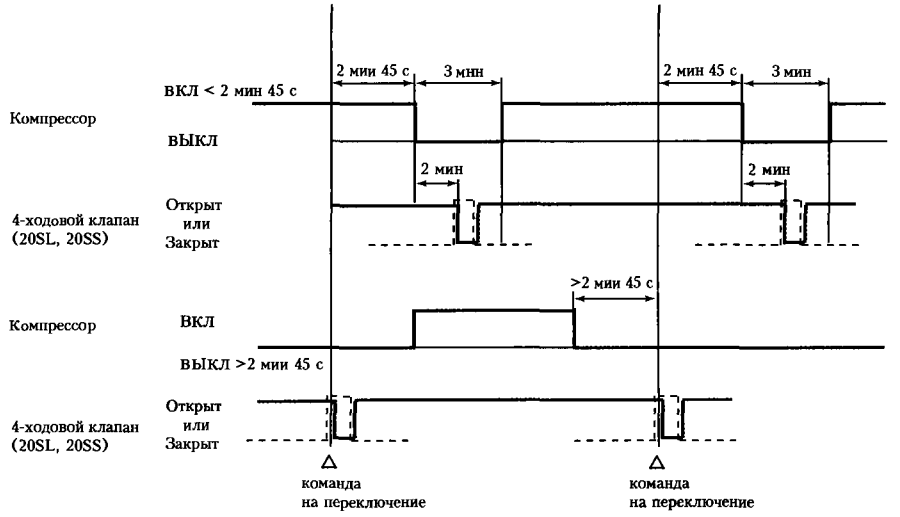


Рис. 7.3.24. Циклограмма переключения 4-ходового клапана

12. Защитные и контрольные функции

12.1. Тестовый режим

Тестовый режим запускается с помощью переключателей SW3-4, 5 на печатной плате наружного блока. Максимальная частота при работе в тестовом режиме — 95 Гц.

Таблица 7.3.8. Включение тестового режима

Переключатели		Функция
SW3-4	ON	Управление всеми подсоединенными блоками. Работа наружного блока с максимальной частотой при поступлении запроса с внутренних блоков
	OFF	Нормальная работа
SW3-5	ON	При SW3-4 в положении ON: Режим охлаждения
	OFF	При SW3-4 в положении ON: Режим нагрева

12.2. Защита терморегулирующих вентилей от накопления масла

Если компрессор начинает работать сразу после включения питания или общее время его работы составляет 10 ч, начинается очистка терморегулирующих вентилей от накопившегося в них масла. При этом отключаются компрессор, термостат, вентиляторы и по очереди начинают открываться терморегулирующие вентили внутренних блоков с интервалом в 4 мин. Если кондиционер работает в режиме охлаждения или осушения, вентили удерживаются открытыми в течение 1 мин, если в режиме нагрева — в течение 4 мин.

12.3. Защита при превышении высокого давления

Если датчиком 63H2 фиксируется превышение допустимого значения давления, частота компрессора снижается на 10 Гц и отключается вентилятор наружного блока. Компрессор работает с такой частотой

IBIK

на протяжении 3 мин, после чего переходит в нормальный режим работы (частота увеличивается на 5 Гц в секунду). Датчик 63Н2 при давлении 2,84 МПа отключает систему, при 2,26 МПа — включает.

12.4. Контроль температуры нагнетания

Если температура нагнетания (перегретый пар на выходе компрессора) превышает допустимое значение (датчик Tho-D), срабатывает соленоидный клапан SV1, и частота компрессора начинает снижаться.

Таблица 7.3.9. Контроль температуры нагнетания

Температура (датчик Tho-D)	Алгоритм работы
>115 °С	Соленоидный клапан SV1 открыт (закрывается при снижении температуры до 108 °С); ТРВ внутреннего блока открыт на 5 %
>120 °С	Частота снижается на 10 Гц каждые 2 мин
>130 °С	Аварийное выключение кондиционера

Если в течение 2 с фиксируется температура более 130 °С, компрессор останавливается и запускается повторно только при снижении температуры до 90 °С.

Если датчик температуры нагнетательного патрубка срабатывает дважды за 60 мин или на протяжении 60 с удерживается температура выше 130 °С (включая время остановки компрессора), происходит аварийное выключение кондиционера.

Кондиционер перезапустится только в том случае, если на протяжении 45 мин после срабатывания датчика температура не будет превышать 90 °С. Чтобы сбросить индикацию ошибки, необходимо выключить и снова включить питание.

12.5. Защита компрессора в пусковом режиме

После запуска компрессор работает с частотой 35 Гц, затем в течение 15 с — с частотой 60 Гц и только после этого выходит на заданную частоту.

Если запрашиваемая частота превышает 65 Гц, то компрессор в течение 1 мин 45 с работает с частотой 65 Гц, а затем переходит на запрашиваемую. Однако при первом запуске или при запуске после 6-часовой остановки скорость вращения компрессора увеличивается постепенно — на 5 Гц в минуту на протяжении 13 мин.

12.6. Задержка запуска компрессора

Если инверторный компрессор был остановлен по команде термостата, из-за сбоя в системе и пр., его невозможно будет запустить в течение 3 мин после остановки. Однако таймер не сработает, если выключить и снова включить питание.

12.7. *Проверка подогрева картера компрессора*

Если время, прошедшее со времени подачи питания, составляет менее 6 ч, то при включении кондиционера он будет работать с постепенным увеличением производительности в соответствии с диаграммой (рис. 7.3.7).

Кондиционер запустится повторно по этой же циклограмме, если время между его остановкой и повторным запуском составит менее 33 мин.

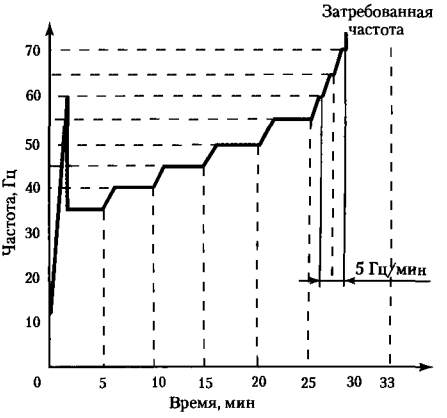


Рис. 7.3.7. Выход кондиционера на режим при прогреве компрессора менее 6 ч

2.8. *Защита при обрыве фазы*

Если на вторичной стороне пускателя 52С напряжение будет равно нулю, произойдет аварийное выключение кондиционера и сработает функция самодиагностики:

- пульт управления: высветится код ошибки Е34;
- внутренний блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный индикатор выключен;
- наружный блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный мигает 2 раза.

12.9. Проверка рабочего тока

Проверка рабочего тока системы осуществляется автоматически. Если фиксируется превышение его допустимого значения, рабочая частота начинает снижаться с интервалом в 5 Гц до 35 Гц (частичная производительность).

Инвертор работает с частотой 35 Гц в течение 3 мин и, если значение тока продолжает оставаться в недопустимых пределах, выключается. Если величина тока опускается до допустимого значения, система возвращается к нормальному режиму работы.

12.10. Защита от превышения рабочего тока

Если фиксируется значение тока, превышающее допустимое, инвертор останавливается и запускается повторно через 3 мин. После перезапуска инвертор начинает работать с частотой 35 Гц, увеличивая ее на 5 Гц каждые 3 мин. Если превышение тока определяется четыре раза за 15 мин, кондиционер выключается и срабатывает функция самодиагностики:

- на пульте управления: высветится код ошибки Е42;
- внутренний блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный индикатор выключен;
- наружный блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный мигает 4 раза.

IBIK

12.11. Защита силовых транзисторов от перегрева

Если температура силового транзистора превышает допустимое значение, инвертор останавливается и перезапускается автоматически через 3 мин. Если на протяжении последующих 2 ч будет зафиксировано повторное превышение температуры, инвертор остановится, произойдет аварийное выключение кондиционера и сработает функция самодиагностики:

- пульт управления: высветится код ошибки E41;
- внутренний блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный индикатор выключен;
- наружный блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный мигает 4 раза.

12.12. Проверка количества подсоединенных внутренних блоков

Если количество подсоединенных внутренних блоков превышает допустимое значение (табл. 7.3.10), кондиционер выключится и сработает функция самодиагностики:

- пульт управления: высветится код ошибки E43;
- внутренний блок: зеленый индикатор мигает, красный индикатор выключен;
- наружный блок: зеленый индикатор мигает постоянно, красный мигает 7 раз.

Таблица 7.3.10. Проверка количества подсоединенных внутренних блоков

Модель	Количество внутреннних блоков
FDCP224HKXRE2A 244HKXRE2V	12
FDCP280HKXRE2A 280HKXRE2V	16

12.13. Защита от обмерзания при работе в режиме охлаждения

Если температура внутреннего теплообменника (датчик Th1-R) опускается ниже 3 °С, начинает снижаться производительность компрессора (закрывается ТРВ).

Если на протяжении 2 мин температура теплообменника остается менее 2 °С, термостат выключается и кондиционер начинает работать в режиме вентиляции. Работа кондиционера на охлаждение возобновляется, когда температура повышается до 16 °С.

Однако защита от обмерзания не срабатывает первые 10 мин после включения термостата.

Если на протяжении часа температура теплообменника равна 2 °С и ниже, компрессор останавливается на 3 мин.

12.14. Управление температурой картера компрессора

Температура картера определяется датчиком Tho-C и регулируется с помощью соленоидного клапана (SV1) и электронного ТРВ.

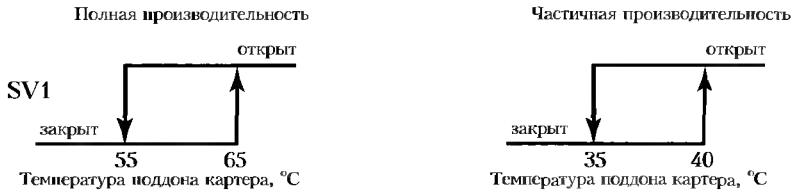


Рис. 7.3.8. Регулирование температуры с помощью соленоидного клапана

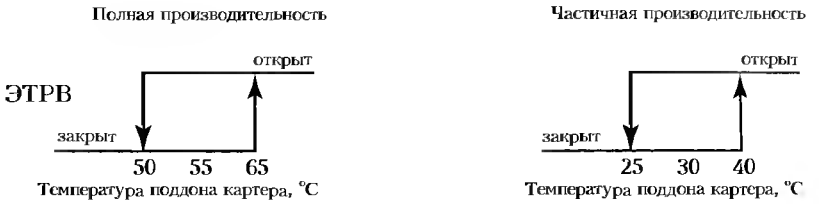


Рис. 7.3.9. Регулирование температуры с помощью электронного ТРВ

7.3.3. ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ

Схема соединений системы KXR с двумя групповыми фреоновыми коммутаторами приведена на рис. 7.3.10, а разводка сигнальных и управляющих линий – на рис. 7.3.11. В остальном электромонтаж и установка адресации блоков аналогичны системам КХ.

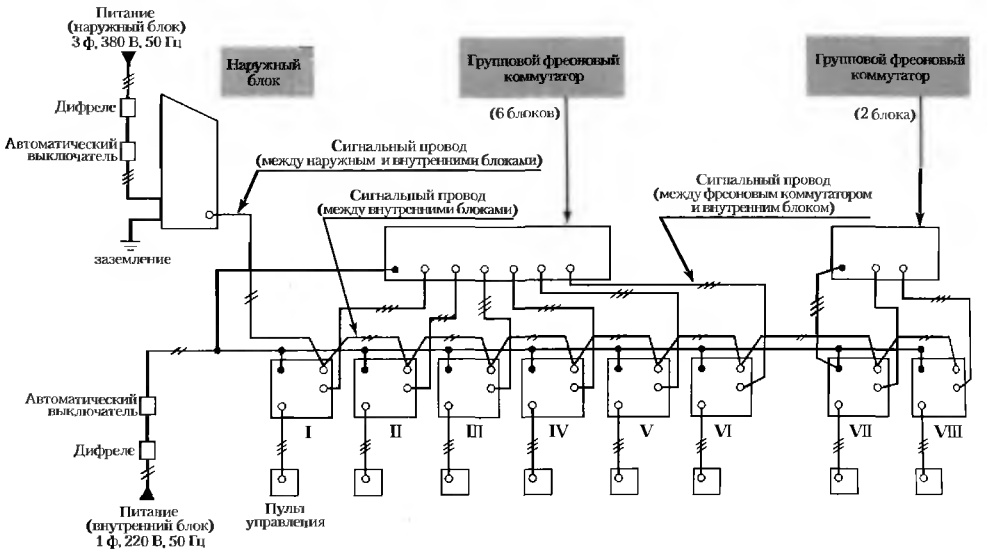


Рис. 7.3.10. Схема соединений системы KXR с двумя групповыми фреоновыми коммутаторами

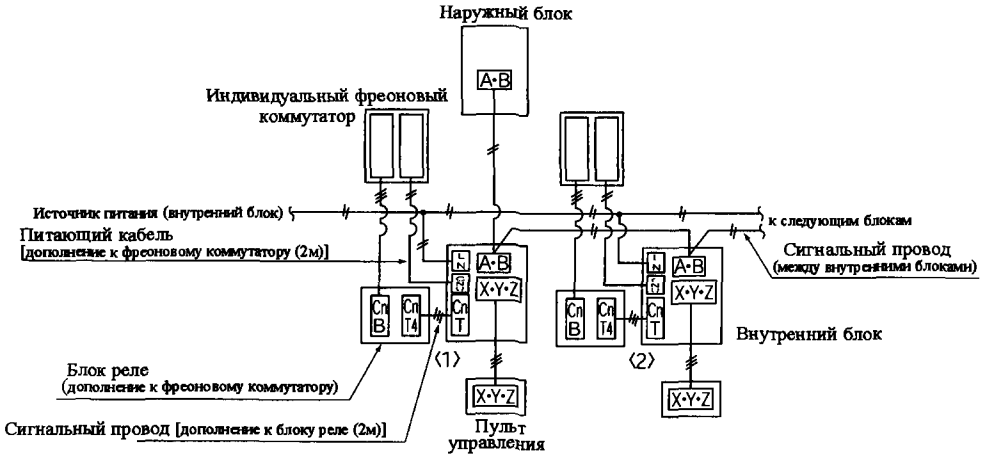


Рис. 7.3.11. Разводка сигнальных и управляющих линий

При подсоединении к одному фреоновому коммутатору нескольких внутренних блоков в одном помещении все они могут управляться с одного пульта.

Напряжение питания на фреоновый коммутатор подается с внутреннего блока, который обслуживается этим коммутатором. Сигналы управления подаются во фреоновый коммутатор с разъема CnT внутреннего блока через блок реле.

7.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНДИЦИОНЕРОВ С НАРАЩИВАЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ

7.4.1. ТИПОВЫЕ СХЕМНЫЕ РЕШЕНИЯ

Приведенные выше многозональные системы кондиционирования воздуха типа KX (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), VRV (Daikin) имеют производительность до 70 кВт и ограниченное число обслуживаемых зон (до 16). При организации системы кондиционирования воздуха в гостиницах, офисных помещениях, коттеджах возникает необходимость устанавливать 3–4 и более многозональные системы. В этом случае системы работают автономно, не поддерживая друг друга и не используя возможности взаимного резервирования при выходе из строя одной их систем. При частичной загрузке каждой из систем или перегрузки одной из них отсутствует возможность перераспределения производительности, выравнивания времени наработки систем и т. д.

IBIK

Устранить эти недостатки можно путем увязки всех систем в единый комплекс, построив его по принципу наращивания однотипных блоков с общей системой управления.

Примером такой системы является «Инверторная многозональная серия КХК», выпускаемая Mitsubishi Heavy Industries.

В состав комплекта входят:

1. Компрессорно-конденсаторные блоки с регулируемой производительностью (инверторное управление) на 22,4 кВт (8 HP) и 28,0 кВт (10 HP).
2. Компрессорно-конденсаторные блоки с постоянной производительностью 22,4 кВт и 28,0 кВт.
3. Внутренние блоки аналогичные блокам серии КХ.

В зависимости от требуемой производительности система может наращиваться. На рис. 7.4.1 приведены примеры комбинированных систем с максимальной производительностью 72,8; 109,0 и 145,6 кВт.

Рис. 7.4.1. Принцип наращивания мощности компрессорно-кондесаторных блоков КХК

Гидравлические схемы сопряжения компрессорно-конденсаторных и внутренних блоков в таких системах подробно описаны в [4]. Схемы принципиальные электрические аналогичны блокам системы КХ, приведенным в разделе 7.2.1. Принципиальная электрическая схема неинверторного блока приведена на рис. 7.4.2.

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

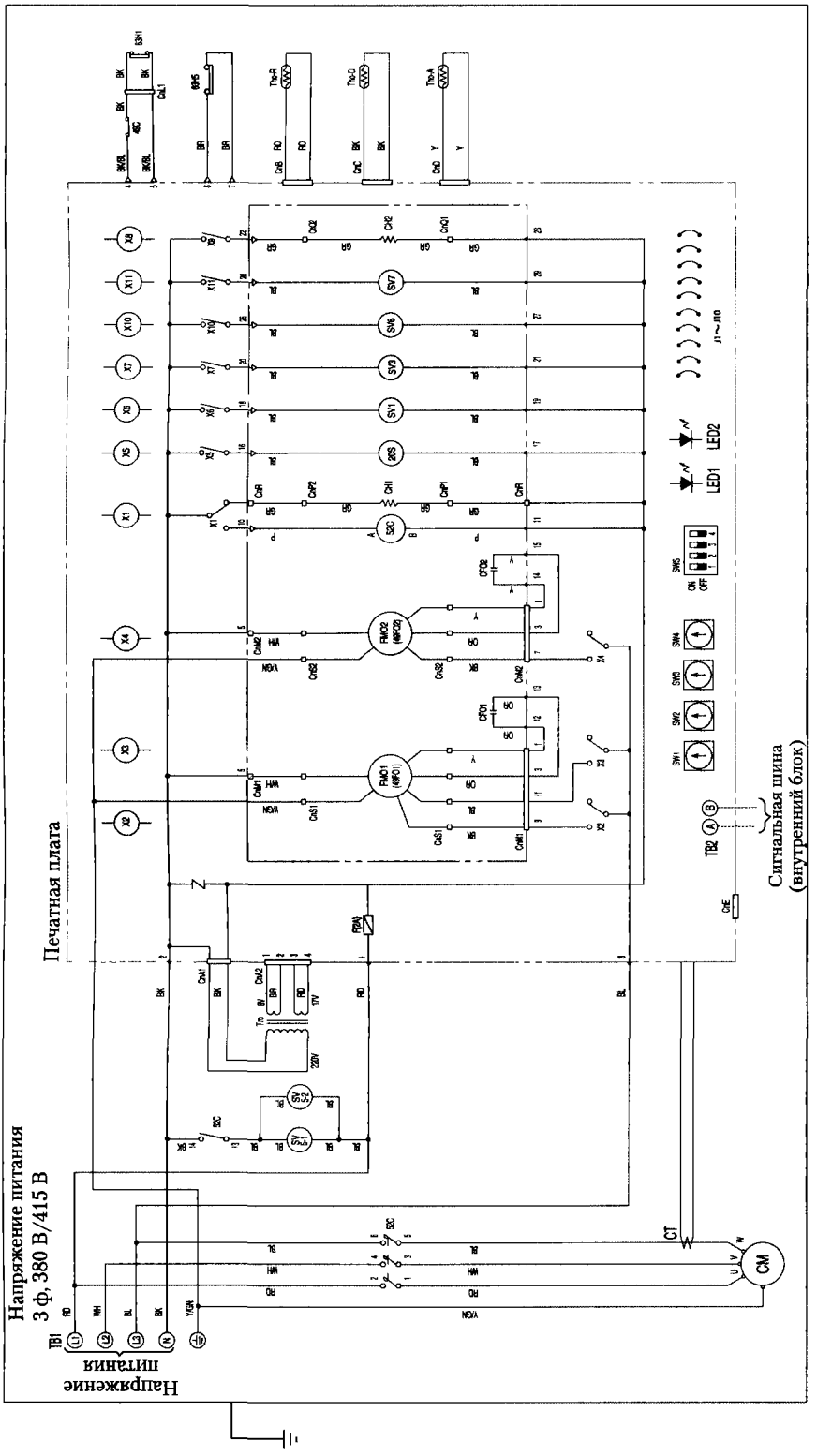


Рис. 7.4.2. Принципиальная электрическая схема неинверторного блока системы КХК

Условные обозначения:

Обозначение	Название	Обозначение	Название
CM	Электродвигатель компрессора	$63H_1$	Реле защиты по высокому давленню
$FMO_{1,2}$	Электродвигатель вентилятора наружного блока	$63H_2$	Датчик регулировки давления конденсации
IM	Электродвигатель вентилятора инвертора	$63H_3$	Реле защиты по высокому давлению
52C	Электромагнитный контактор включения электродвигателя компрессора	$63H_4$	Реле защиты по высокому давлению
$49FO_{1,2}$	Внутренний термостат электродвигателя вентилятора наружного блока	63L	Реле защиты по низкому давлению
CH	Нагреватель картера компрессора	Tho-A	Термистор (наружная температура)
$CFO_{1,2}$	Конденсатор для электродвигателя вентилятора наружного блока	Tho-C	Термистор (поддон картера)
X_1	Реле (для 52C)	Tho-D	Термистор (температура перегретого пара)
X_2	Реле (для 20SS)	Tho-R	Термистор (температура наружного теплообменника)
X_3	Реле (для 20SL)	$CT_{1,2}$	Трансформатор тока
X_4	Реле (для SV1)	NR	Помехоподавляющий фильтр
X_7	Реле (для 20VF, 20VU)	SK	Искрогаситель
X_{8-10}	Реле (для FM_O1)	SA	Устройство защитного отключения
X_{11}	Реле (для FM_O2)	Tr	Трансформатор
X_{12}	Реле (для SVS)	$Va_{1,2,3,4}$	Варистор
X_{13}	Реле (для SVL)	$TB_{1,2}$	Клеммная колодка
X_{14}	Реле (для SV2)	F	Предохранитель
X_{20}	Реле (для SV3)	$Cn_{A\,Y}$	Соединитель (□ -обозначение)
20Ss	Четырехходовой клапан передней части теплообменника	SW1	Номер наружного блока (десятки)
$20S_L$	Четырехходовой клапан задней части теплообменника	SW2	Номер наружного блока (единицы)
$20V_F$	Соленоидный клапан (регулировка производительности)	SW3-1	Перезапуск индикатора
$20V_U$	Соленоидный клапан (регулировка производительности)	SW3-2	Оттаивание
SV_1	Соленоидный клапан (охлаждение компрессора)	SW3-3	Антиснеговая защита
SV_2	Соленоидный клапан (байпас в режиме охлаждения)	LED1	Индикатор (красный)
SV_3	Соленоидный клапан (байпас перегретого пара)	LED2	Индикатор (зеленый)
SV_S	Соленоидный клапан (отключение передней части теплообменника)	LED3-5	Индикатор (желтый)
SV_L	Соленоидный клапан (отключение задней части теплообменника)	LD1	Индикатор (зеленый)
		LD2-4	Индикатор (красный)

Функции переключателей

Обозначение	Название	
SW3-4	ВКЛ	Тестовый режим
	ВЫКЛ	Обычная работа
SW3-5	ВКЛ	Тестовый режим (охлаждение)
	ВЫКЛ	Тестовый режим (нагрев)
SW3-6	ВКЛ	Принудительный режим
	ВЫКЛ	Обычная работа
SW3-7	ВКЛ	Тестовый режим
	ВЫКЛ	Обычная работа

Цветовые обозначения

Обозначение	Цвет
BK	Черный
BL	Голубой
BR	Коричневый
GN	Зеленый
GR	Серый
OR	Оранжевый
RD	Красный
WH	Белый
Y	Желтый
Y/GN	Желтый/Зеленый

7.4.2. АЛГОРИТМЫ РАБОТЫ

1. Работа компрессоров в пусковом режиме

После подачи напряжения питания включаются последовательно все наружные блоки в соответствии с присвоенными им номерами. Если все блоки были остановлены и затем поступит команда на включение режимов охлаждения или осушения, включится инверторный блок, затем через каждые 10 с будут включаться подсоединенные к этому комплексу неинверторные блоки. Перед этим происходит переустановка четырехходового клапана в нужное положение. Компрессоры и вентиляторы неинверторных наружных блоков работают в тестовом режиме 30 с, после чего все неинверторные блоки останавливаются.

2. Регулировка производительности

Регулировка производительности неинверторных блоков СМ3, 4, 5 производится путем байпасирования хладагента через соленоидные клапаны SV6 и SV7 в соответствии с таблицей:

Соленоидный клапан		Производительность
SV6	SV7	
ON	OFF	Полная
OFF	ON	50 %

Перед остановкой компрессоров СМ3, 4 и 5 соленоидные клапаны включаются на 1 мин с производительностью 50 %, после чего компрессоры останавливаются.

3. Трехминутная задержка включения компрессора

Если произошла остановка компрессоров по команде датчика температуры (Tho-A), давления (63H1) или тока (CT2), то последующее включение может быть произведено не ранее, чем через 3 мин.

Задержка включения компрессора не происходит при включении напряжения питания или в период оттаивания.

4. Работа вентилятора наружного блока

В случае отключения компрессора по сигналу системы защиты (давление, ток) вентиляторы наружного блока продолжают работать в течение 30 мин. В режиме охлаждения вентиляторы наружного блока включаются только при температуре наружного воздуха выше 17 °С.

При работе в режиме нагрева скорость вентилятора наружного блока изменяется по циклограмме в соответствии с рис. 7.4.3.

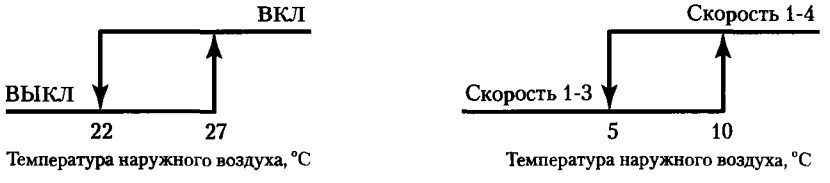


Рис. 7.4.3. Работа вентилятора наружного блока

В неинверторных блоках скорость вращения вентилятора обеспечивает температуру наружного теплообменника в пределах от 42 до 48 °С.

Таблицы условных значений скоростей вентиляторов наружных блоков:

ИНВЕРТОРНЫЙ БЛОК		
Условная скорость	Вентилятор	
	FM01	FM02
4	Hi	ON
3	Hi	OFF
2	Me	OFF
1	Lo	OFF

НЕИНВЕРТОРНЫЙ БЛОК		
Условная скорость	Вентилятор	
	FM01	FM02
3	Hi	ON
2	Hi	OFF
1	Lo	OFF

5. Тестовая проверка в пусковом режиме

После подачи напряжения питания запуск компрессоров производится в порядке, описанном в таблице:

	Условия	Способ запуска
1	Первый запуск компрессора – через 6 ч после подачи питания; запуск, когда общее количество запусков после подачи питания составляет 2 и более после 6-часовой остановки	Установка четырехходового клапана, затем после прогрева картера компрессор запускается в соответствии с циклограммой А.
2	Первый запуск менее чем через 6 ч после подачи питания	Установка четырехходового клапана, затем после прогрева картера, компрессор запускается в соответствии с циклограммой В
3	Запуск при условиях, отличных от описанных в пунктах 1 и 2	После установки четырехходового клапана запуск осуществляется с защитой компрессора

При запуске инверторного компрессора CM1 независимо от затребованной частоты будет происходить следующее:

Компрессор начнет работать с частотой в диапазоне от 5 до 25 Гц. В это время защита от превышения давления и тока отключена.

После достижения частоты 25 Гц компрессор начнет работать с частотой в диапазоне от 25 до 66 (90) Гц. Максимальное значение частоты зависит от температуры наружного воздуха (Tho-A):

- если температура наружного воздуха ниже 0 °С и максимальная частота составляет 90 Гц, компрессор будет работать на протяжении 45 с;
- если температура наружного воздуха выше 0 °С, максимальная частота составляет 65 Гц, блок будет работать на протяжении 32,5 с.

В это время защита от превышения давления и тока включена.

6. Защита компрессора в пусковом режиме

После установки четырехходового клапана компрессор начинает работать в пусковом режиме. Компрессор будет работать с частотой 65 Гц, даже если затребованная частота превышает это значение, на протяжении 1 мин 45 с.

После того, как СМ1 проработает на частоте 65 Гц на протяжении 1 мин 45 с, и если затребованная частота при этом составит 90 Гц и более, компрессор СМ2 выйдет на полную производительность. После этого при необходимости с задержкой в 10 с последовательно включатся компрессоры СМ3 и СМ4.

7. Работа компрессора по циклограмме А

Компрессор запускается по прошествии 6 ч после подачи питания или при общем количестве запусков 2 и более.

После установки четырехходового клапана компрессор работает с затребованной частотой, если она не превышает 35 Гц.

По истечении 12 мин после запуска значение частоты начнет увеличиваться на 5 Гц каждую минуту. Если на протяжении 12 мин компрессор останавливается, то частота начнет подниматься на 5 Гц каждую минуту, пока не вернется к частоте, которая запрашивалась до остановки.

При возникновении условий для запуска компрессора СМ2 он запустится, однако не раньше, чем по истечении 8 мин после запуска компрессора СМ1. Компрессоры СМ3, СМ4 и СМ5 будут запускаться последовательно с интервалом в 10 с после полной загрузки компрессора СМ2.

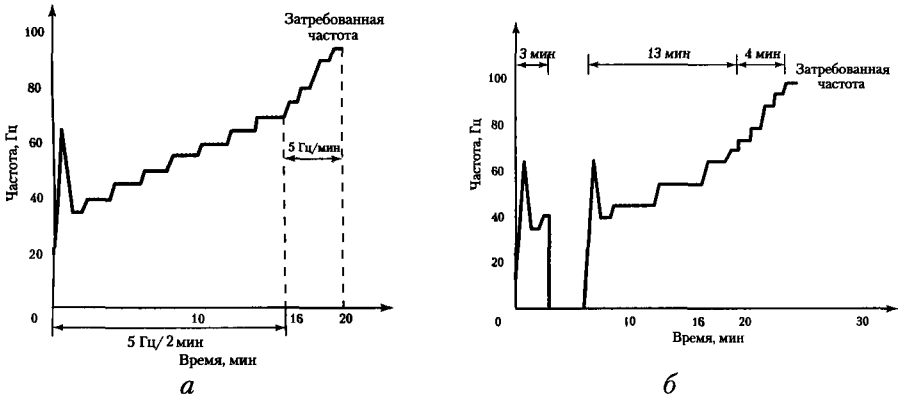


Рис. 7.4.4. Режимы пуска компрессора:
а – циклограмма А; *б* – циклограмма Б

8. Работа компрессора по циклограмме Б

Компрессор запускается по циклограмме Б, если со времени подачи питания не прошло 6 часов. После установки четырехходового клапана компрессор начинает работать с частотой 35 Гц. Если затребованная частота ниже этого значения, то компрессор будет работать с затребованной частотой. Если затребованная частота выше 35 Гц, то частота компрессора начнет увеличиваться на 5 Гц каждые 2 мин на протяжении 16 мин. Последующие 4 мин частота увеличивается на 5 Гц каждую минуту. Весь цикл длится 20 мин.

IBIK

Если промежуток времени между остановкой компрессора и его повторным запуском составляет менее 20 мин, то при втором запуске эта циклограмма не повторяется (компрессор запустится по циклограмме А). Но если компрессор был остановлен на 20 мин и более, то циклограмма запуска повторится.

Если в течение 3 мин после запуска произошла остановка компрессора, то он запустится снова через 3 мин.

Если переключатель SW3-3 находится в положении OFF (заводская уставка), компрессор работает, как показано на рис. 7.4.5.

Если значения наружной температуры (Tho-A) или температуры картера компрессора (Tho-C) расположены в области, отмеченной на графике темным (рис. 7.4.5), компрессор не запустится.

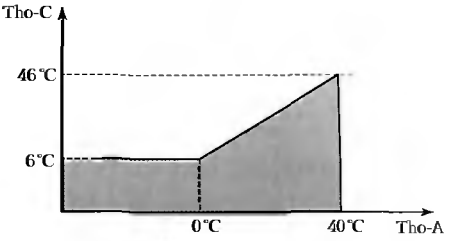


Рис. 7.4.5. Область допустимого включения компрессора (светлая)

Компрессор запустится, если выполняется одно из следующих условий:

- после включения напряжения питания прошло 6 ч;
- переключатель SW3-3 переведен в положение ON;
- через 30 мин после подачи питания температурные значения вышли за пределы области, отмеченной на графике темным (рис. 7.4.5), однако запустится только инверторный компрессор.

9. Запуск и остановка неинверторных компрессоров

Неинверторные компрессоры запускаются последовательно друг за другом через каждые 10 с после выхода инверторного компрессора на полную мощность. Количество включаемых компрессоров определяется запрашиваемой производительностью. Неинверторный компрессор (CM2) инверторного блока будет работать до тех пор, пока частота инверторного компрессора CM1 не снизится до 40 Гц. Когда частота CM1 снижается до 40 Гц, CM2 останавливается. Компрессор CM1 принимает на себя нагрузки компрессора CM2, следовательно, его частота и производительность увеличиваются.

10. Работа инверторного компрессора CM1

При включении компрессора CM1 его частота вращения изменяется от 5 до 25 Гц с интервалом в 1 Гц и со скоростью 1 Гц/с. При этом, если затребованная частота становится равной нулю, компрессор останавливается.

В диапазоне от 25 до 100 Гц частота увеличивается на 5 Гц каждые 10 с (за исключением пусковых режимов, оговоренных в п. 5–8, и режима оттаивания).

11. Охлаждение компрессора

Охлаждение компрессора производится путем подачи в него паров хладагента низкого давления. При повышении температуры картера компрессора свыше 80 °С открываются байпасные соленоидные клапаны SV1 и SV2, и через капиллярные трубки в картер компрессора поступает кипящий хладагент. При снижении температуры картера до 75 °С вентили SV1 и SV2 закрываются.

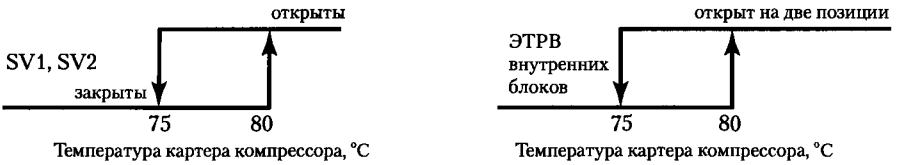


Рис. 7.4.6. Температурный режим компрессора

Учитывая, что часть хладагента будет байпасироваться из жидкостной магистрали, для сохранения производительности электронные вентили внутренних блоков дополнительно откроются на 2 позиции.

12. Регулировка температуры нагнетания

Регулировка температуры нагнетания обеспечивается путем подачи кипящего хладагента в компрессор через байпасные соленоидные клапаны SV1 и SV2. При температуре нагнетания (датчики Tho-D, Tho-D1, Tho-D2) свыше 115 °С (инвертор), 95 °С (неинвертор) SV1 и SV2 открываются, при температуре 108 (85) °С – закрываются.

Для сохранения производительности внутренних блоков дополнительно открываются электронные вентили наружных блоков.

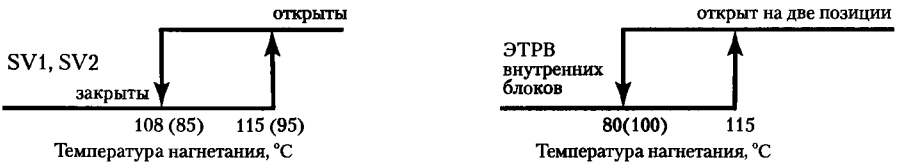


Рис. 7.4.7. Регулировка температуры нагнетания

Если температура нагнетания повысится до 130 °С, компрессор отключится. После охлаждения компрессора до 90 °С он снова включится.

Если температура нагнетания достигнет значения 130 °С дважды за 60 мин, произойдет аварийное отключение компрессора и высветится ошибка Е36.

Рис. 7.4.8. Защита инверторного блока при превышении допустимого значения давления нагнетания

13. Защита при превышении допустимого значения давления нагнетания

Инверторный блок

Если давление нагнетания (определяется датчиком 63Н2) превысит значение 2,5 МПа для хладагента R22 и 2,79 МПа для хладагента R407C, скорость вращения

двигателя компрессора СМ1 будет уменьшаться каждые 5 с на 8 Гц, пока давление не снизится до 2,06 МПа (R22) или 2,26 МПа (R407C).

Неинверторные блоки

Регулировка давления нагнетания производится путем отключения компрессоров или снижения их производительности методом байпасирования. При достижении давления 2,65 МПа компрессор СМ2 отключается, СМ3, СМ4, СМ5 работают с производительностью 50 %. При снижении давления в течение 6 мин до 2,5 МПа (R22) или 2,26 МПа (R407C) система переходит в нормальный режим работы. Если давление повысится до 2,94 МПа (R22) или 3,24 МПа (R407C), компрессоры СМ2–5 отключаются. Повторное включение произойдет, если в течение 6 мин давление снизится до 2,35 МПа (R22) или 2,65 МПа (R407C).

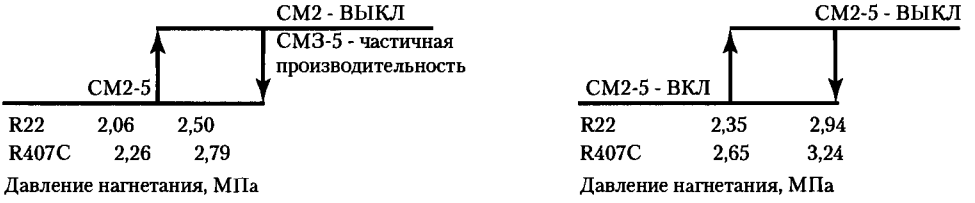


Рис. 7.4.9. Защита неинверторного блока при превышении допустимого значения давления нагнетания

14. Защита при превышении допустимого значения тока

Если рабочий ток по фазе L3 превышает допустимое значение, кондиционер начинает работать по следующему алгоритму:

- снижается частота компрессора СМ1 с интервалом 5 Гц в секунду, пока не достигнет значения 40 Гц;
- компрессор СМ2 останавливается;
- компрессоры СМ3, 4, 5 переходят в режим частичной нагрузки;
- частота компрессора СМ1 снижается до 25 Гц;
- если ток инвертора превышает допустимое значение, компрессор отключается;
- если после автоматического перезапуска в течение 6 мин значение тока будет в норме, компрессор начнет работать с затребованной частотой. В противном случае произойдет аварийная остановка компрессора и высветится ошибка Е33.

15. Выравнивание уровня масла

Режим 1

Если компрессор СМ2 непрерывно проработал более 3 ч, происходит следующее:

Шаг 1. Частота компрессора СМ1 снижается до значения 40 Гц. Компрессор СМ2 продолжает работать 3 мин.

Шаг 2. Компрессор СМ1 начинает работать с частотой 90 Гц, компрессор СМ2 отключается, а компрессоры СМ2, СМ4, СМ5 включаются и работают 3 мин с частичной нагрузкой.

Режим 2

Данный способ выравнивания масла используется в случаях, когда время непрерывной работы всей системы превышает 3 ч.

Во всех наружных блоках открывается соленоидный клапан SV3, и блоки начинают работать следующим образом:

Шаг	Инверторный блок		Неинверторный блок 1	Неинверторный блок 2	Неинверторный блок 3	Время, мин
	CM1	CM2				
1	40 Гц	ВЫКЛ	ВКЛ*	ВЫКЛ	ВЫКЛ	3
2	40 Гц	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ*	ВЫКЛ	3
3	40 Гц	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	3
4	90 Гц	ВКЛ	ВЫКЛ	ВЫКЛ	ВКЛ*	3

* Режим работы меняется в зависимости от температуры наружного воздуха.

Рис. 7.4.10. Выравнивание уровня масла

16. Защита при снижении уровня масла в компрессоре

После того, как компрессор CM1 проработал на частоте 25 Гц 9 мин, он выходит на частоту 35 Гц и работает 1 мин. Компрессор аварийно отключается, если он проработал на частоте 25 Гц более 30 мин.

17. Очистка терморегулирующего вентиля от накопления масла

Если компрессор начинает работать сразу после подачи питания или общее время его работы составляет 10 ч, включается режим очистки терморегулирующих вентилей. При этом отключаются термостат и вентиляторы, по очереди с интервалом 4 мин полностью открываются все терморегулирующие вентили. Если кондиционер работает в режиме охлаждения или осушения, терморегулирующие вентили удерживаются открытыми в течение 1 мин, если в режиме нагрева – в течение 4 мин.

18. Антиснеговая защита

Если перемычка J6 на печатной плате наружного блока разомкнута, то при температуре наружного воздуха ниже 3 °С каждые 10 мин будет включаться вентилятор наружного блока и работать с максимальной скоростью на протяжении 10 с.

19. Защита при обрыве одной из фаз напряжения питания компрессора CM2

Если во вторичной цепи контактора 52C2 в течение 5 с будет отсутствовать ток в фазе L3 или его значение снизится до 2 А, сработает аварийная защита компрессора CM2 и на инверторный блок поступит сигнал о наличии неисправности, связанной с обрывом фазы.

IBIK

20. Защита при заклинивании двигателя компрессора СМ1

Если значение силы тока компрессора СМ1 превышает 10 А на протяжении 0,5 с при непрерывной работе с частотой 25 Гц и менее, компрессор останавливается. Перезапуск компрессора будет произведен через 3 мин. Если на протяжении 60 мин превышение тока фиксируется 5 раз или если за 10 мин сила тока не снизится до 2 А и менее, сработает аварийная защита и компрессор остановится.

21. Защита при превышении тока в неинверторном компрессоре (СМ2-5)

Инверторный блок

Если во вторичной цепи контактора 52С в фазе L3 значение тока будет превышать установленное значение на протяжении 0,5 с и более, компрессор остановится. При первом превышении останавливается компрессор СМ2. Через 3 мин происходит его перезапуск. Если на протяжении последующих 40 мин превышение зафиксируется повторно или поступит сигнал от неинверторного блока о превышении тока, сработает аварийная защита, и компрессор остановится.

Неинверторный блок

Если во вторичной цепи контактора 52С в фазе L3 значение тока будет превышать установленное значение на протяжении 0,5 с и более, компрессор остановится. При первом превышении останавливаются компрессоры СМ3–5. Через 3 мин происходит их перезапуск. Если на протяжении 40 мин превышение тока фиксируется повторно, на инверторный блок поступает сигнал о наличии неисправности, связанной с превышением тока.

22. Защита при превышении допустимого значения давления (инверторный блок)

Если один из двух датчиков высокого давления (63Н1-1, 63Н1-2: 2,94 МПа – ВКЛ, 2,35 МПа – ВЫКЛ) дважды за 40 мин зафиксирует превышение давления, сработает аварийная защита и компрессор остановится.

Если датчик сработает в момент пуска, компрессор остановится и его повторный запуск произойдет через 3 мин.

23. Защита при высоком давлении и перегреве обмотки двигателя компрессора (неинверторный блок)

Если датчик высокого давления (63Н1) или термостат внутреннего блока (49 °С) сработают дважды на протяжении 40 мин, компрессор остановится. Если датчик сработает в момент пуска компрессора, компрессор остановится, и его повторный запуск произойдет через 3 мин.

24. Защита при превышении тока компрессора (инверторный блок)

Если ток превышает установленное значение, компрессор останавливается и запускается снова через 3 мин. Если защита срабатывает 4 раза в течение 15 мин или в течение 5 мин после повторного запуска, происходит аварийная остановка компрессора.

25. Защита от перегрева мощного транзистора (инверторный блок)

Если температура мощного транзистора достигает 118 °С, компрессор останавливается и автоматически запускается повторно через 3 мин или как только температура снизится до допустимого уровня. Если на протяжении последующих 2 часов защита сработает повторно, произойдет аварийная остановка компрессора.

26. Режим форсированного охлаждения/нагрева (инверторный блок)

Форсированный режим включается, если переключатели SW3-7 на печатной плате переведены в положение ON, а на разъеме CnG установлена перемычка. Если при работе в форсированном режиме на пульте управления будет выбран другой режим, то на дисплее высветится надпись: «Mode doesn't match» (несоответствие режимов).

SW3-7	CnG	Режим работы
ВЫКЛ	С/без перемычки	Нормальная работа
ВКЛ	Без перемычки	Форсированное охлаждение
	С перемычкой	Форсированный нагрев

Уставка производителя: SW3-7 – OFF; CnG – без перемычки.

27. Проверка связи внутренних и наружных блоков (кратковременный тестовый режим)

Проверка связи осуществляется перед запуском тестового режима. Если переключатели SW3-4, 5, 6 перевести в положение ON, начнется проверка связи между внутренними и наружными блоками.

Питание к нагревателю картера компрессора подавалось

Внутренние и наружные блоки отключаются после тестового режима, когда компрессор CM1 проработает 16 мин. (Терморегулирующий вентиль полностью открыт, вентилятор внутреннего блока выключен, на дисплее пульта высвечивается слово «CENTER»).

Температура всех внутренних теплообменников проверяется через 3 мин после начала работы компрессора CM2 (с 6-минутной задержкой). Затем температура внутренних теплообменников проверяется с интервалом в 20 с. Температура должна снизиться на 7 °С и более по сравнению с температурой до запуска.

Если через 5 мин выявляется, что на одном из блоков температура не опустилась на 7 °С, на дисплеях пульта и наружного блока высвечивается ошибка. Если все в норме, на 7-сегментном дисплее высвечивается индикация «—». Индикацию можно сбросить, переведя переключатель SW3-4 в положение OFF.

Питание к нагревателю картера не подавалось

Если питание не подавалось более 6 ч, тестовый режим длится 8 мин. Если питание не подавалось менее 6 ч – 3 мин.

7.4.3. ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ

Схема информационных связей системы КХК показана на рис. 7.4.11.

Электропроводка напряжения питания выполняется независимо для наружных и внутренних блоков. Сечение проводящих проводов должно обеспечивать в период пуска падение напряжения на проводах не более 2 % от номинального напряжения.

Максимальные длины проводов и их сечения указаны в табл. 7.4.1.

Автоматические выключатели должны обеспечивать прохождение в течение 1 с пускового тока, в 5–6 раз большего, чем паспортный ток срабатывания (типа С).

Общий коммутационный аппарат (автоматический выключатель или разъединитель) для цепи питания наружных блоков выбирается на номинальный ток, равный сумме паспортных токов установленных наружных блоков.

Таблица 7.4.1. Выбор проводов для монтажа систем КХК

Рабочий ток, А	Сечение питающего кабеля, мм²	Макс. длина кабеля, м	Токи срабатывания автоматических выключателей, А		Сечение кабеля, мм²	
			Автомат защиты	Автомат тока утечки	Сигнальный	Заземления
Менее 10	2	23	20	20 А 30 мА 0,1с и менее	Двухжильный экранированный 0,75–2,0	Одножильный 0,75–2,0
Более 10 и менее 15	3,5	24	30	20 А 30 мА 0,1с и менее		
Более 15 и менее 22	5,5	27	40	20 А 30 мА 0,1с и менее		

Наружные и внутренние блоки соединяются сигнальной линией (выводы А, В). Так как по этой линии передаются импульсные сигналы напряжением 5 В, то с целью обеспечения защиты от помех эти цепи необходимо экранировать. Диаметр провода сигнальной линии составляет 0,75–2,0 мм². Провода А и В неполярны.

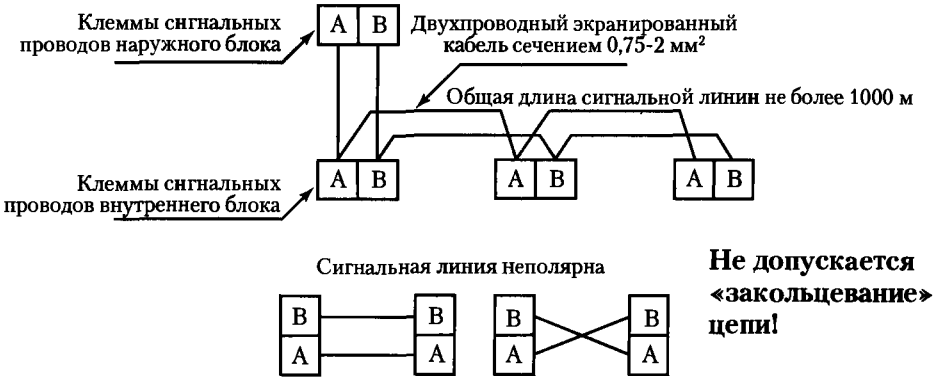


Рис. 7.4.11. Схема информационной (сигнальной) линии

Управление системой КХК осуществляется аналогично системе КХ с использованием тех же проводных и дистанционных пультов.

Установка адресации блоков может быть выполнена одним из трех способов:

- автоматически;
- с пульта управления;
- вручную.

Адреса присваиваются до включения напряжения питания.

Таблица 7.4.2. Возможные номера для наружных и внутренних блоков

Установка адресации	Наружный блок	Внутренний блок	
	Номер наружного блока	Номер наружного блока	Номер внутреннего блока
Автоматическая	49	49	49
С пульта	00–47	49	49
Ручная	00–47	00–47	00–47

На печатной плате наружного инверторного блока установлено два переключателя: SW1 и SW2. Этими переключателями задается адрес наружного инверторного блока. На переключателе SW1 устанавливаются десятки (0–4), на переключателе SW2 – единицы (0–9). Таким образом, этому блоку можно присвоить номер от 00 до 49. На наружном неинверторном блоке имеются четыре переключателя: SW1 и SW2, которые служат для присвоения собственного адреса этому неинверторному блоку (также от 00 до 49). На переключателях SW3 и SW4 устанавливается адрес инверторного блока, которому подчинен данный неинверторный блок. Номера блоков не должны повторяться (табл. 7.4.3.). Однажды установленный номер сохраняется в памяти компьютера даже после отключения питания.

Таблица 7.4.3. Назначение переключателей SW

Печатная плата внутреннего блока	SW1 и SW2 (синие)	Выбор номера внутреннего блока (десятки и единицы)
	SW3 и SW4 (зеленые)	Выбор номера наружного блока (десятки и единицы)
Печатная плата инверторного наружного блока (главный)	SW1 и SW2 (зеленые)	Выбор номера наружного блока (десятки и единицы)
Печатная плата неинверторного наружного блока (подчиненный)	SW1 и SW2 (зеленые)	Выбор номера наружного блока (десятки и единицы)
	SW3 и SW4 (красные)	Выбор номера инверторного наружного блока (единицы и десятки)

Если система состоит из нескольких групп, каждая из которых имеет свою фреоновую магистраль, возможна установка адресации вручную или с помощью пульта. Не допускается объединение групп с разными хладагентами.

Автоматическая установка адресации

1. Установить адрес инверторного блока – 49 (это заводская уставка, тем не менее, следует ее проверить).
2. Установить в неинверторных блоках переключатель SW3 в положение «4», а SW4 – в положение «9». Это адрес инверторного блока. На переключателях SW1 и SW2 первого неинверторного блока установить значения 0 и 0, второго – 0 и 1, третьего – 0 и 2, четвертого – 0 и 3. Можно устанавливать значения от 0 до 49, но не допускать повторений номеров.
3. На переключателях SW1 и SW3 установить номер 4 (десятки), на переключателях SW2 и SW4 установить 9 (единицы), т. е. 49.
4. Подать питание на наружные блоки, а затем на внутренние (только в такой последовательности). Если на пульте управления высветится «OUTDOOR No», значит на наружный блок не подано питание.
5. Примерно через 1 мин после подачи питания блокам будут присвоены номера.
6. Нажать кнопку «CHECK» на пульте управления внутреннего блока, чтобы на дисплее высветился адрес, присвоенный данному внутреннему блоку.

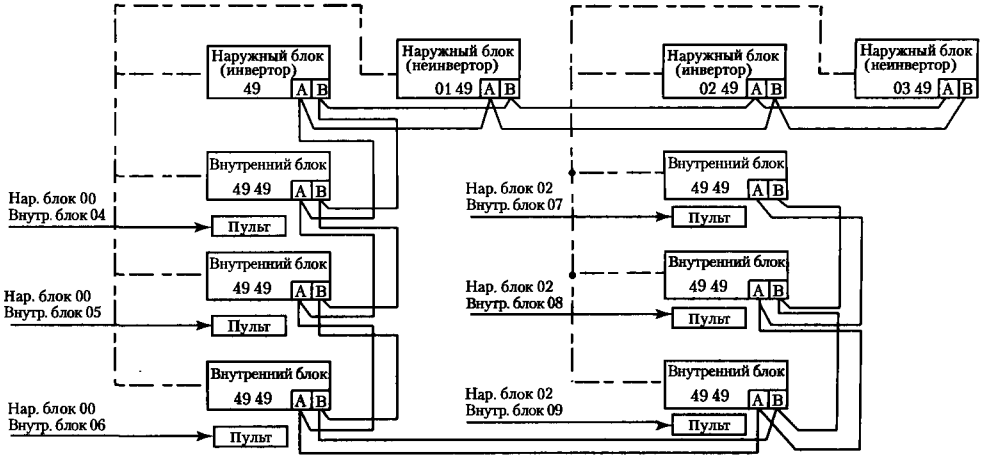


Рис. 7.4.12. Пример автоматической установки адресации блоков систем КХК с пульта управления

Установка адреса с пульта управления

Для установки адреса с пульта необходимо, чтобы для каждого внутреннего блока был свой пульт управления.

1. Установить на переключателях SW1 и SW2 инверторного блока номер от 00 до 47 (48 и 49 устанавливать нельзя). На рис. 7.4.12 установлены номера: 00 – для одного инверторного блока, 02 – для другого.

2. На неинверторных блоках на переключателях SW3 и SW4 установить номер инверторного блока, которому соподчинен неинверторный. На рис. 7.4.12 установлены номера: 00 – для одного неинверторного блока, 02 – другого. На переключателях SW1 и SW2 установить номера, которые будут присвоены неинверторным блокам.
3. На переключателях SW1 и SW3 внутренних блоков установить номер 4 (десятки), на SW2 и SW4 установить 9 (единицы), т. е. 49.
4. Подать питание на централизованные пульты (если они имеются).
5. Подать питание на наружные и внутренние блоки.
6. Ввести номера внутренних блоков с пультов управления – номер инверторного блока, которому подчинен внутренний блок; номер внутреннего блока от 00 до 47, не допуская повторений, следующим образом:
   - После подачи питания отображаемый на дисплее номер наружного блока начнет мигать, в секции температуры возвратного потока воздуха высветится «--», а в секции времени «U-». Если высвечивается только номер наружного блока («OUTDOOR No»), это означает, что на наружный блок не подано питание.
   - Нажимая кнопки ▲ и ▼, предназначенные для установки температуры, набрать номер наружного блока (отображается в секции температуры).
   - Нажать кнопку «SET». На дисплее отобразится номер наружного блока.
   - Нажимая кнопки ▲ и ▼, установить желаемый номер внутреннего блока (мигающая индикация в секции времени).
   - Нажать кнопку «SET».
   - Символ «U» начинает мигать, номера наружного и внутреннего блоков светятся постоянно. Если номера указаны правильно, нажать кнопку «SET». После этого индикатор мигает 10 с, что обозначает завершение установки. Если необходимо установить другие номера, следует нажать кнопку «CHECK» и повторить установку.
7. Чтобы удалить из памяти адрес, установленный с пульта управления:
   - Нажать на пульте управления одновременно кнопки «CHECK», «TIMER» и «FAN SPEED». Адрес будет удален из памяти;
   - отключить электропитание внутреннего и наружного блоков. Установка вернется к безадресному состоянию.

Установка адресации вручную производится аналогично системам типа КХ.

Раздел 8 Жестко программируемые контроллеры для систем вентиляции и кондиционирования

8.1. ИЗМЕРИТЕЛЬ-РЕГУЛЯТОР МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ ТРМ 33, ПО «ОВЕН», РОССИЯ

8.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Измеритель-регулятор типа ТРМ 33 предназначен для регулирования температуры в помещениях, оборудованных системой вентиляции по схеме, приведенной на рис. 8.1.1.

ТРМ 33 обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- регулирование температуры приточного воздуха;
- прогрев калорифера при вводе системы в действие и в переходных режимах ее работы;
- защита системы от завышения температуры обратной воды относительно заданных параметров;
- защита водяного калорифера от замораживания;
- работа системы в дежурном режиме с выключенным вентилятором и закрытыми жалюзи;
- автоматический перевод системы в летний режим работы и обратно.

При работе в составе системы прибор получает информацию от двух групп подключенных к нему входных датчиков.

К первой группе относятся термопреобразователи сопротивления $T_н$, $T_{обр}$ и $T_{пр}$, контролирующие соответственно температуру наружного воздуха, обратной воды и приточного воздуха.

Ко второй группе относятся датчики-реле:

- протока жидкости через калорифер (защита от замораживания);
- функционирования вентилятора;
- переключения в дежурный режим, подключения таймера и др.

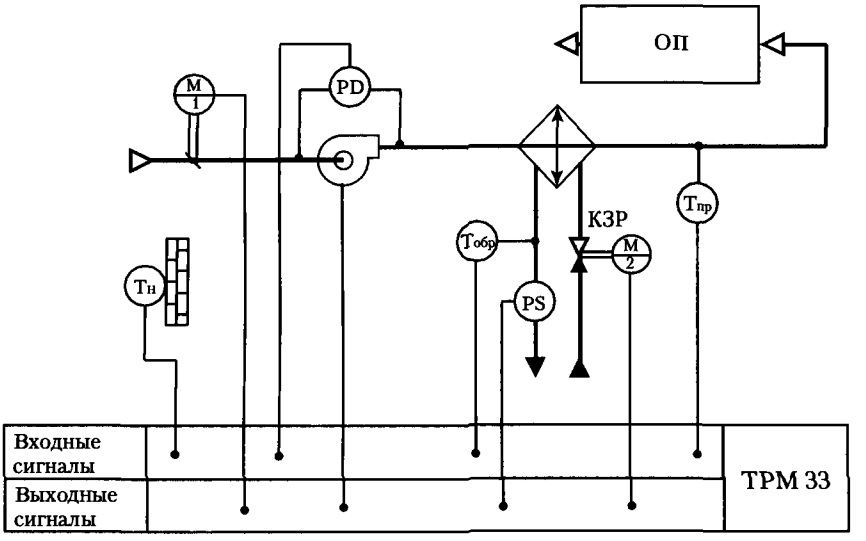


Рис. 8.1.1. Система приточной вентиляции с регулятором ТРМ 33

Таблица 8.1.1. Технические характеристики регулятора ТРМ 33

Характеристики	Значение
Номинальное напряжение питания, В/Гц	220/50
Допустимое отклонение напряжения питания, %	-15...+10
Потребляемая мощность, ВА, не более	6
Диапазон контроля температуры, °С, не менее	минус 50...+200
Разрешающая способность, °С	0,1
Предел допускаемой основной приведенной погрешности измерения температуры (без учета погрешности датчиков), %	±5
Тип датчиков контроля температуры	ТСМ, ТСП
Количество каналов контроля температуры	3
Количество дискретных входов	3
Время одного цикла опроса датчиков, с, не более	6
Способ отображения информации	цифровой
Исполнительные механизмы	жалюзи подачи воздуха; вентилятор обдува калорифера; запорно-регулирующий клапан обратной воды
Способ управления исполнительными механизмами	контакты, э/м реле
Максимальный ток, коммутируемый контактами реле при напряжении 220 В, 50 Гц и cos ϕ>0,4, А	1
Интерфейс связи с ЭВМ через адаптер сети АС-2	RS-232
Длина линии связи прибора с адаптером сети, м, не более	1000
Условия эксплуатации: • температура окружающего воздуха, °С • атмосферное давление, кПа • относительная влажность воздуха, %	 +5 ...+50 86...107 30...80
Степень защиты лицевой панели/клеммников подключения	IP20/IP00
Габаритные размеры, мм	96×96×180
Масса, кг, не более	1,2

IBIK

8.1.2. РАБОТА РЕГУЛЯТОРА ТРМ 33 В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ

На лицевой панели регулятора ТРМ 33 (рис. 8.1.2) расположены два четырехразрядных цифровых индикатора, служащих для отображения необходимой буквенно-цифровой информации, а также данных о перемещении запорно-регулирующего клапана (КЗР). Здесь же расположены восемь кнопок управления режимами работы.

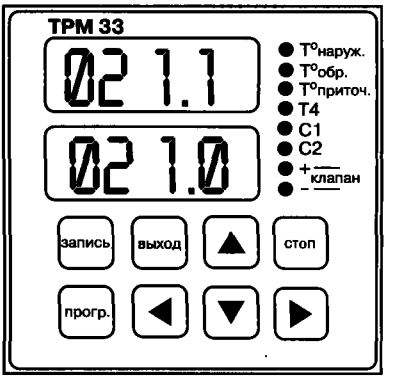


Рис. 8.1.2. Лицевая панель регулятора ТРМ33

На задней стенке прибора размещены две клеммные колодки, предназначенные для соединения линии связи ТРМ 33 с датчиками, источником питания, исполнительными механизмами и адаптером сети.

Измерение температуры наружного ($T_н$) и приточного ($T_{пр}$) воздуха, а также температуры обратной воды ($T_{обр}$) в контуре теплоносителя производится термопреобразователями. Одновременно прибор производит опрос других датчиков.

ТРМ 33 управляет работой вентилятора и жалюзи, осуществляющих подачу воздуха, а также регулирует положение запорно-регулирующего клапана, обеспечивая автоматическое выполнение системой ниже перечисленных режимов.

Прогрев калорифера

В данном режиме прибор формирует команду на выключение вентилятора и закрытие жалюзи, а также полностью открывает КЗР с целью максимально быстрого разогрева калорифера. Время прогрева определяется пользователем, исходя из эксплуатационных параметров системы, и задается при программировании параметра А-04. О работе системы в режиме прогрева калорифера информирует заставка Р_ _0 на нижнем цифровом индикаторе прибора (канал контроля – $T_н$).

Вывод системы из режима прогрева осуществляется автоматически по окончании заданного интервала времени.

Регулирование температуры приточного воздуха

В данном режиме прибор формирует команду на открытие жалюзи и включение вентилятора, осуществляющего подачу наружного воздуха, а также управляет положением КЗР, изменяя при этом поток теплоносителя через калорифер и поддерживая заданную температуру приточного воздуха.

Условия выполнения: $T_{обр\,min} < T_{обр} < T_{обр\,max}$, а также $T_{пр} > T_{ав}$.

То есть температура обратной воды на выходе калорифера должна находиться в пределах границ, определенных пользователем относительно заданного графика $T_{обр\,гр} = f(T_н)$, и одновременно должна отсутствовать опасность замораживания калорифера.

Граничные уставки $T_{обр\,min}$ и $T_{обр\,max}$ вычисляются прибором автоматически, исходя из текущей температуры наружного воздуха, заданного графика $T_{обр\,гр} = f(T_н)$ и границ отклонения от него Δ_{max} и Δ_{min}.

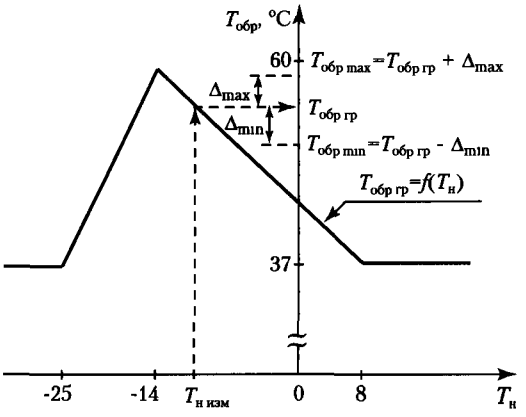


Рис. 8.1.3. Формирование уставок температуры обратной воды

Пример формирования уставок $T_{обр\,min}$ и $T_{обр\,max}$ приведен на рис. 8.1.3.

Значения Δ_{max} и Δ_{min} задаются пользователем при программировании параметров U-01 и U-02 соответственно.

Параметры графика $T_{обр\,гр} = f(T_н)$, заданные при программировании прибора на заводе-изготовителе, могут быть изменены пользователем, исходя из конкретных эксплуатационных требований.

Порядок задания параметров графика следующий:

1. График $T_{обр\,гр} = f(T_н)$, обрабатываемый прибором при эксплуатации, в общем случае представляет собой кусочно-линейную функцию с тремя точками перелома (*A*, *B*, *C*), параметры которых задаются пользователем при программировании прибора.

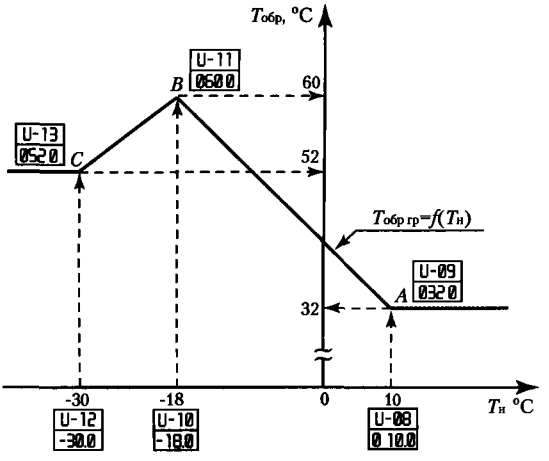


Рис. 8.1.4. График зависимости $T_{обр\,гр} = f(T_н)$

Пример графика $T_{обр\,гр} = f(T_н)$, приведен на рис. 8.1.4.

2. Для полного задания параметров графика пользователю достаточно занести в память прибора координаты точек его перегиба *A*, *B* и *C* (то есть для каждой точки заданную температуру наружного воздуха и соответствующую ей температуру обратной воды).

Задание точек перегиба производится при программировании параметров U-08...U-13. При этом для первой точки перегиба (*A*) задание соответствующей ей температуры наружного воздуха производится при программировании параметра U-08, а задание температуры обратной воды – при программировании параметра U-09.

Для второй точки перегиба (*B*) задание температуры наружного воздуха и температуры обратной воды производится при программировании соответственно параметров U-10 и U-11.

Для третьей точки перегиба (*C*) задание температуры наружного воздуха и температуры обратной воды производится при программировании соответственно параметров U-12 и U-13.

3. При задании параметров графика $T_{обр.гр} = f(T_н)$ должны выполняться следующие условия:

- температура наружного воздуха, задаваемая для точки *A*, должна быть больше температуры, задаваемой для точки *B*, а температура, задаваемая для точки *B*, должна быть больше температуры, задаваемой для точки *C*;
- минимальная температура обратной воды должна составлять 10 °С;
- программированию подлежат все параметры от U-08 до U-13, даже если график представляет собой прямую линию.

Регулирование температуры приточного воздуха в данном режиме работы осуществляется по уставке, заданной пользователем при программировании параметра U-04.

О работе системы в режиме регулирования температуры приточного воздуха информирует заставка P_ _2 на нижнем цифровом индикаторе прибора (канал контроля – $T_н$).

Защита от завышения температуры обратной воды

Наличие данного режима регламентируется недопустимостью возврата в теплосеть обратной воды повышенной (относительно заданного графика) температуры.

В этом режиме прибор продолжает формировать команду на выключение вентилятора и закрытие жалюзи, а также полностью открывает КЗР с целью максимального повышения температуры воды в калорифере и защиты его от замораживания.

Условия выполнения: $T_{обр} \geq T_{обр.max}$ или $T_{пр} \geq T_{ав}$.

О работе системы в режиме завышения температуры обратной воды информирует заставка P_ _3 на нижнем цифровом индикаторе прибора (канал контроля – $T_н$)

Защита от замораживания воды в калорифере

В данном режиме прибор формирует команду на включение вентилятора и закрытие жалюзи, а также полностью открывает КЗР с целью максимального повышения температуры воды в калорифере и защиты его от замораживания.

Условия выполнения: $T_{обр} < T_{обр.max}$ или $T_{пр} < T_{ав}$.

Уставка $T_{обр.min}$ вычисляется прибором, исходя из заданного графика $T_{обр.гр} = f(T_н)$. Уставка $T_{ав}$ (аварийная температура приточного воздуха, свидетельствующая об опасности замораживания калорифера) задается пользователем при программировании параметра U-03.

Кроме вышеуказанных температурных условий, прибор переводит систему в режим защиты калорифера от замораживания при неисправности (обрыв или короткое замыкание) любого из входных термопреобразователей, контролирующих параметры $T_н$, $T_{обр}$ или $T_{пр}$, а также при срабатывании (замыкании) контактного датчика С3.

О работе системы в режиме защиты калорифера от замораживания информирует заставка Р_ _4 на нижнем цифровом индикаторе прибора (канал контроля – $T_н$).

Выход из режима осуществляется автоматически после ликвидации причины его включения, однако переход к дальнейшей работе производится с задержкой по времени, необходимой для прогрева калорифера.

Летний режим

Прибор автоматически переводит систему приточной вентиляции в летний режим работы, если температура наружного воздуха превышает заданную пользователем уставку $T_{летн}$, то есть $T_н > T_{летн}$.

При этом ТРМ 33 продолжает формировать команду на открытие жалюзи, работу вентилятора, но осуществляет полное закрытие КЗР с целью прекращения циркуляции горячей воды через калорифер.

Значение уставки $T_{летн}$ задается пользователем при программировании в приборе параметра U-05.

О работе системы в летнем режиме информирует заставка Р_ _5 на нижнем цифровом индикаторе прибора (канал контроля – $T_н$).

В летнем режиме отработки по сигналам датчиков, подключенных к входам С2 и С3, блокируются.

Перевод системы из летнего режима в режим регулирования приточного воздуха осуществляется при снижении температуры наружного воздуха до значения, заданного при программировании параметра U-08, соответствующего первой точке перегиба графика $T_{обр.гр} = f(T_н)$.

Дежурный режим

При отсутствии необходимости работы приточной вентиляции (ночное время суток, выходные дни и т. п.) система может быть переведена в дежурный режим, при котором осуществляется выключение вентилятора и закрытие жалюзи. В дежурном режиме прибор (при помощи КЗР) снижает температуру обратной воды до значений, меньших величины уставки, вычисленной по графику $T_{обр.гр} = f(T_н)$, и прекращает ее регулирование.

Перевод системы в дежурный режим может быть осуществлен программно (изменением числового значения параметра Р-01) или

дистанционно (замыканием контактов коммутирующего устройства, подключенного к входу С1 прибора).

О работе прибора в дежурном режиме информирует заставка Р_ _1 на нижнем цифровом индикаторе прибора (канал контроля – $T_н$).

8.1.3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ РЕГУЛЯТОРА ТРМ 33

Прибор работает в одном из трех основных режимов: ***«Регулирование»***, ***«Просмотр»*** или ***«Программирование»***.

Переключение режимов и управление прибором производится при помощи кнопок, расположенных на его лицевой стороне. Назначение кнопок в различных режимах работы приведено на рис. 8.1.5.

Режим «Регулирование» – основной рабочий режим, в который автоматически переводится прибор после подачи на него питания. В этом режиме прибор выполняет следующие функции:

- производит циклический опрос всех датчиков, измеряя при этом температуру наружного и приточного воздуха, а также температуру обратной воды на выходе калорифера;
- изменяет полученные при измерениях результаты с учетом заданных по программе корректирующих значений;
- выводит на верхний цифровой индикатор откорректированное значение температуры в канале контроля, выбранном для индикации ($T_н$, $T_{обр}$, $T_{пр}$);
- сравнивает откорректированные значения контролируемых параметров с заданными уставками и формирует сигналы управления исполнительными механизмами в соответствии с выполняемым режимом работы.

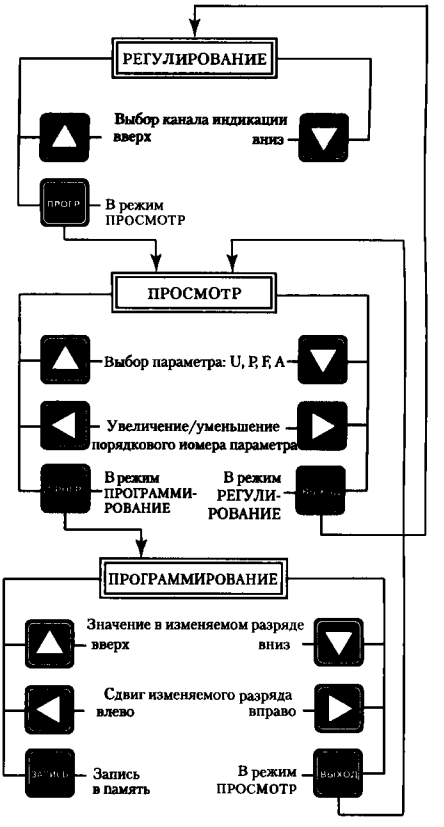


Рис. 8.1.5. Режимы работы регулятора ТРМ 33

Режим «Просмотр» – режим, в котором пользователь осуществляет контроль заданных при программировании прибора уставок и параметров, определяющих его системы. Переход в режим «Просмотр» осуществляется из режи-

ма «Регулирование» нажатием кнопки ПРОГР. О входе в режим свидетельствует вывод на верхний цифровой индикатор наименования параметра U-01, а на нижний – его цифрового значения. Выбор параметров контроля U, P, F или A осуществляется кнопками ◀ или ▶, а изменение их порядкового номера – кнопками ▲ ▼.

Режим «Программирование» – режим, в котором пользователь имеет возможность изменить заданные уставки, коэффициенты или параметры, выбранные при их просмотре.

Переход в режим «Программирование» осуществляется из режима «Просмотр» нажатием кнопки ПРОГР при отображении параметра, требующего изменения. Вход в режим характеризуется появлением мигающего разряда на нижнем цифровом индикаторе, отображающем заданное значение уставки, коэффициента или параметра.

Изменение текущего значения в мигающем разряде осуществляется кнопками ▲ или ▼, а его сдвиг – кнопками ◀ или ▶.

После установки требуемого значения его можно занести в память прибора, нажав и удерживая кнопку ЗАПИСЬ в течение 1 с. Память прибора является энергонезависимой и сохраняет заданные значения при обесточивании ТРМ 33.

Возврат прибора в режим «Просмотр» для выбора следующего параметра программирования осуществляется однократным нажатием кнопки ВЫХОД, а переход в режим «Регулирование» – двойным нажатием этой кнопки.

8.2. РЕГУЛЯТОР С ПРОГРАММНЫМИ КАРТАМИ ECL CONTROL, DANFOSS, ГЕРМАНИЯ

8.2.1. НАЗНАЧЕНИЕ

Регуляторы с программными картами относятся к категории жестко программируемых средств, но, в то же время, являются универсальными приборами широкого применения.

Программы управления конкретными устройствами записываются на заводе-изготовителе на специальном носителе – информационной карте. Функционирует регулятор только при введении в него информационной карты. При удалении карты регулятор не может функционировать, что является дополнительной гарантией безопасной работы. Некоторые заводские уставки при наладке системы могут быть изменены пользователем.

В качестве примера рассмотрим универсальный электронный регулятор (ECL Comfort 300) для управления приточной вентиляцией, который поставляется компанией Danfoss (Германия).

Регулятор обеспечивает:

- поддержание постоянной температуры воздуха в приточном воздуховоде или в помещении;
- защиту водяного калорифера от замораживания;
- пуск и выключение установки в запрограммированное время;
- прогрев калорифера перед включением вентилятора и открытием воздушной заслонки;
- переход на второй режим регулирования при достижении определенного значения температуры наружного воздуха.

Данные функции регулятор ECL Comfort 300 выполняет при использовании смарт-карты C14. В применяемой двухсторонней карте желтая сторона (при введении в посадочное место регулятора желтая сторона карты обращена к пользователю) предназначена для ввода в память регулятора базовых уставок.

Для наладки, ежедневной эксплуатации и изменения ограниченного числа параметров пользователем предназначена серая сторона карты.

Общий вид регулятора показан на рис. 8.2.1.

Регулятор может монтироваться на стене, в щите управления на DIN-рейке или на лицевой панели щита.

▲ ▼	Для перемещения от строки к строке по карте ECL, например, к строке 2, используются кнопки-стрелки.
⊕⊖	Для изменения установок используются кнопки «плюс»/«минус»
⊘	На одном и том же дисплее можно изменять более одной установки или значения. Кнопки сдвига используется для переключения между опциями.
⊕	Селектор контура переключает регулятор между контурами I и II. Сервисные параметры можно настроить для каждого контура.

Рис. 8.2.1. Общий вид регулятора ECL Comfort 300

8.2.2. ВАРИАНТЫ СТАНДАРТНЫХ ПРОГРАММ

Существует набор стандартных смарт-карт, которые позволяют автоматизировать различные конфигурации вентиляционных систем (рис. 8.2.2–8.2.6). В инструкции по наладке приводятся монтажные схемы для всех стандартных вариантов. Если монтируемая система отличается от стандартной, то регулятор может быть адаптирован под эту систему. Рассмотрим варианты стандартных программ для смарт-карты С14.

Вариант 1. Система отопления с водяным калорифером (рис. 8.2.2).

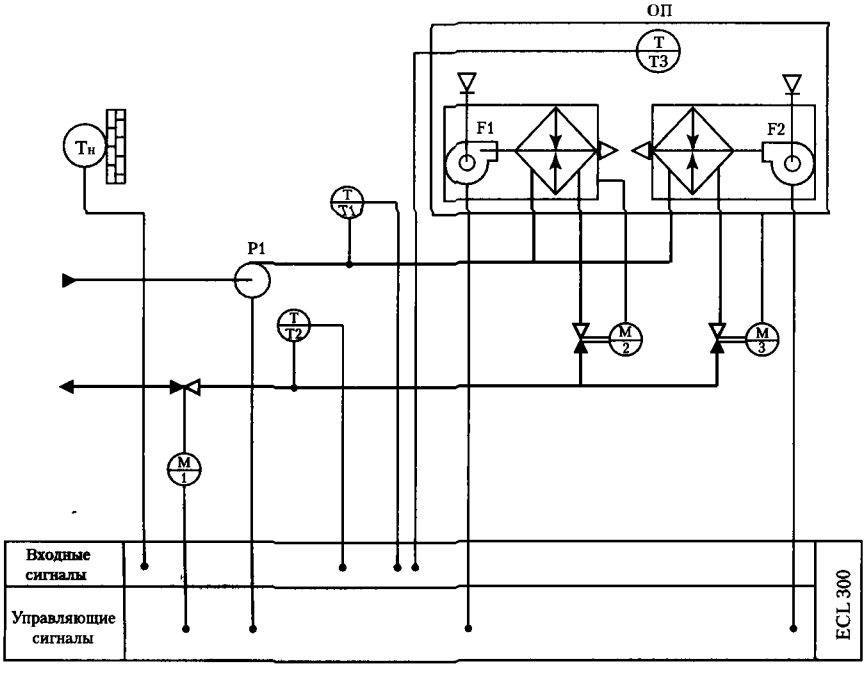


Рис. 8.2.2. Система отопления с водяным калорифером

Система отопления с водяными калориферами предназначена для поддержания температуры воздуха в помещении путем изменения расхода при постоянной температуре теплоносителя.

Температура воздуха в помещении регулируется по ПИ-закону. Подача теплоносителя осуществляется насосом Р1. Температура теплоносителя поддерживается постоянной с помощью клапана с электроприводом М1.

Вариант 2. Система вентиляции с поддержанием постоянной температуры приточного воздуха.

ПИ-регулирование температуры приточного воздуха обеспечивается расходом теплоносителя с помощью клапана М2.

Вариант 3. Аналогичен варианту 2, но постоянной поддерживается температура воздуха в помещении (рис. 8.2.3).

IBIK

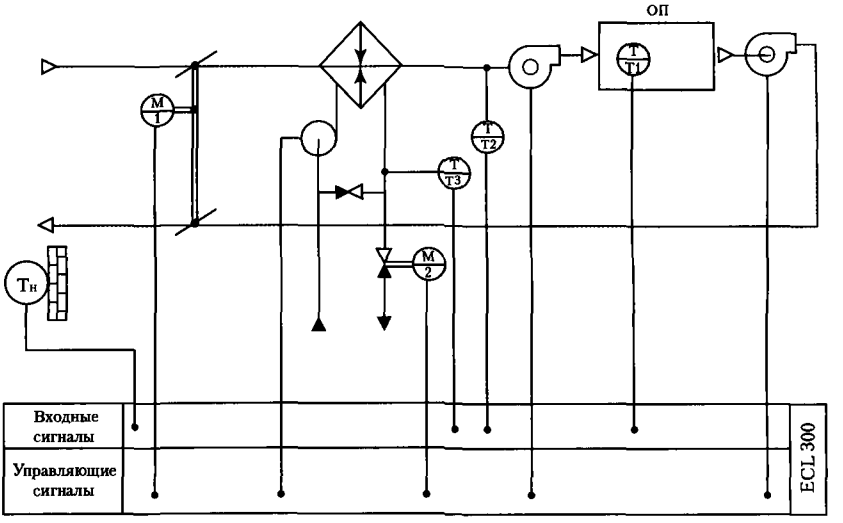


Рис. 8.2.3. Система вентиляции с поддержанием постоянной температуры приточного воздуха

Вариант 4. Вентиляционная система с рециркуляцией воздуха.

Реализуется ПИ-регулирование приточного воздуха и П-регулирование температуры воздуха в помещении с задержкой по времени включения жалюзи и клапана (рис. 8.2.4).

Температура поддерживается на постоянном уровне за счет изменения положения жалюзи, управляемых электроприводом М1, и клапана на теплоносителе с электроприводом М2.

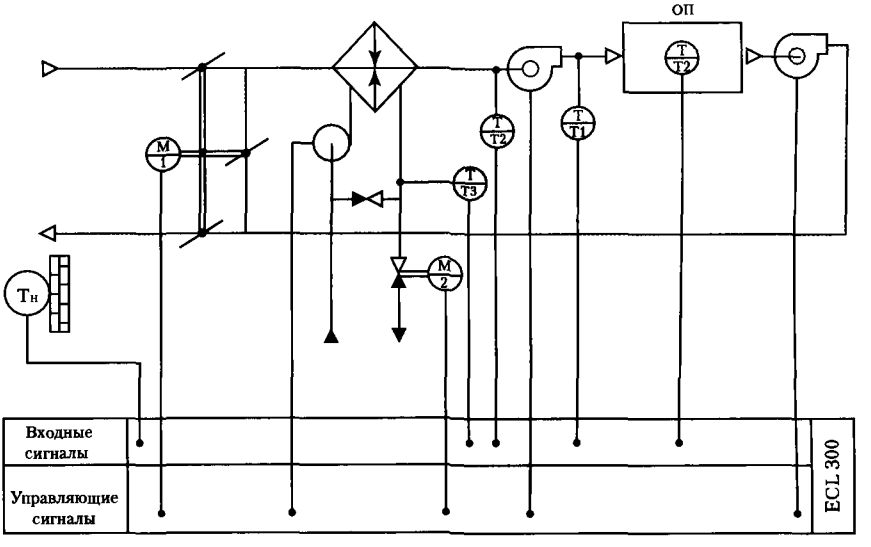


Рис. 8.2.4. Система вентиляции с рециркуляцией воздуха

Вариант 5. Вентиляционная система с нагревателем и охладителем воздуха.

В зимний период температура поддерживается постоянной с помощью клапана с электроприводом М2, а в летний период – М3 (рис. 8.2.5).

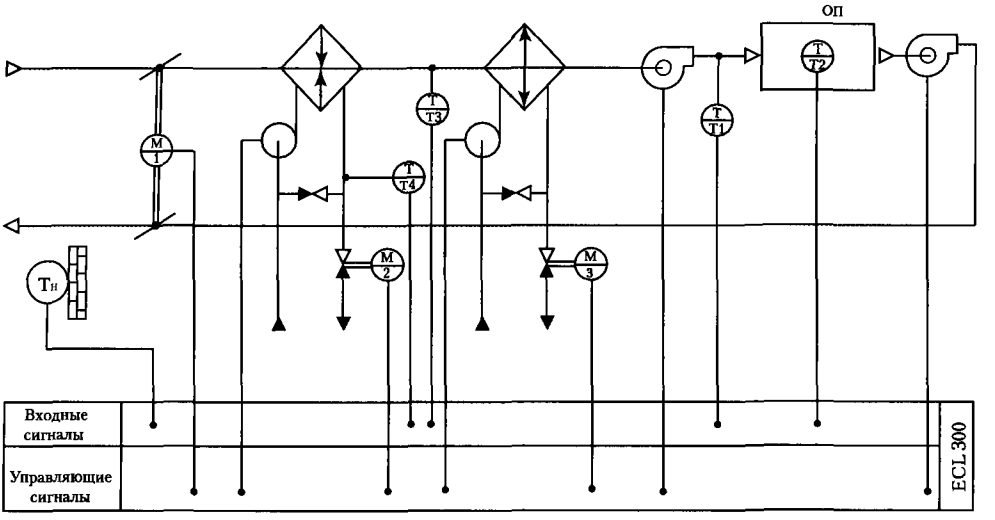


Рис. 8.2.5. Система вентиляции с нагревателем и охладителем воздуха

Вариант 6. Вентиляционная система с утилизацией тепла удаляемого воздуха.

Реализуется ПИ-регулирование температуры приточного воздуха по датчику Т1 и П-регулирование температуры воздуха в помещении по датчику Т2 (рис. 8.2.6).

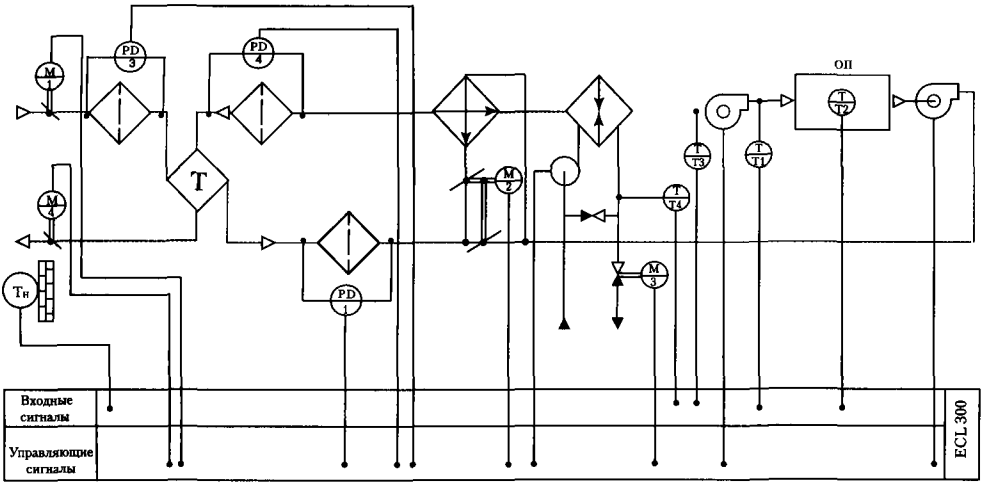


Рис. 8.2.6. Система вентиляции с утилизацией тепла

IBIK

Температура воздуха поддерживается постоянной путем регулирования расхода теплоносителя клапаном с электроприводом М3 и электроприводом М2, управляющим заслонками утилизатора Т.

8.2.3. ВЫБОР ВИДА ДИСПЛЕЯ

С помощью кнопок ▲ и ▼ можно выбрать необходимый вид дисплея регулятора (А, В или С). Вид дисплея индицируется в верхнем левом углу.

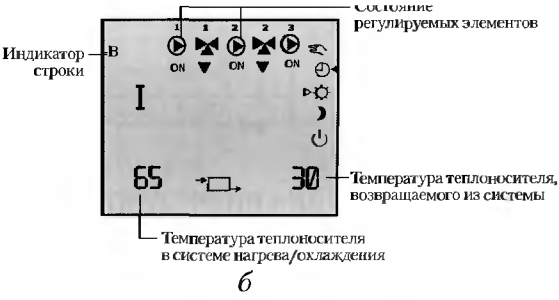


Рис. 8.2.7. Виды дисплея регулятора ECL Comfort 300:
а – дисплей А (температура воздуха в помещении/приточном воздуховоде);
б – дисплей В (информация о системе);
в – дисплей С (график на день, бездействие)

На любом типе дисплея высвечивается тип контура регулирования: I – контур отопления, II – контур охлаждения.

После введения карты (желтая сторона) регулятор запускается на заводские уставки, которые копируются в его память, а на дисплее отображается тип системы, установленной в регуляторе (в рассматриваемом случае – С14). Через 10 с дисплей изменится на тип С (рис. 8.2.7, *в*). Регулятор готов к установке параметров регулирования и управления.

Настройка установок смарт-карты производится по серой стороне.

Перечень параметров, которые могут быть изменены пользователем, приведен в табл. 8.2.1.

Таблица 8.2.1. Перечень параметров, которые могут быть изменены пользователем

Строка	Параметр	Диапазон	Уставка	
			заводская	пользовательская
Контур I				
	Балансовая температура, °С	-20...110	20	
1	Нейтральная зона – D_z	ВЫКЛ; 0,5...25,0	ВЫКЛ	
2	Диапазон температуры регулируемой среды, °С	-20...110	20...50	
3	Воздействие температуры воздуха в помещении	0,0...25,0	5,0	
4	Зона пропорциональности	1...250	80	
5	Постоянная интегрирования, с	5...999	30	
6	Время срабатывания клапана с приводом, с	5...250	35	
7	Зона нечувствительности, °С	0...9	3	
Контур II				
4	Зона пропорциональности	1...250	80	
5	Постоянная интегрирования, с	5...999	30	
6	Время срабатывания клапана с приводом, с	5...250	35	
7	Зона нечувствительности, °С	0...9	3	

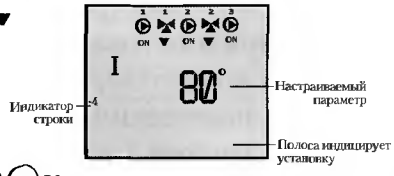
8.2.4. НАСТРОЙКА ПИ-РЕГУЛЯТОРА

Настройка ПИ-регулирования выполняется по строкам 4–7.

Настройка сервисных параметров начинается со строки 4, как показано ниже.

Все вновь введенные уставки и параметры можно скопировать на карту ECL, которую для этого необходимо установить так, чтобы ее желтая сторона была обращена к пользователю.

Таблица 8.2.2. Установки ПИ-регулирования, строки 4–7

Строка	Параметр	Контур	Диапазон	Заводская уставка	Пример
4	Зона пропорциональности	I/II	1...250	80/80	▲ ▼ Перейти к строке 4.  ⊕ ⊖ Установить зону пропорциональности. Более высокое значение приведет к устойчивому, но медленному регулированию температуры.
5	Постоянная интегрирования, с	I/II	5...999	30/30	▲ ▼ Перейти к строке 5. ⊕ ⊖ Установить большую постоянную интегрирования для получения медленной, но устойчивой реакции на отклонения. Малая постоянная интегрирования вызовет быструю реакцию регулятора, но устойчивость при этом будет меньше.
6	Время срабатывания клапана с приводом, с	I/II	5...250	35/35	▲ ▼ Перейти к строке 6. ⊕ ⊖ Установить время перемещения клапана с приводом (см. пример ниже). Это то время, которое потребуется клапану на перемещение от полностью закрытого к полностью открытому положению.
7	Зона нечувствительности, °C	I/II	0...9	3/3	▲ ▼ Перейти к строке 7. ⊕ ⊖ Если возможно допустить изменение температуры регулируемой среды, зону нечувствительности установить на высокое значение. Если фактическая температура лежит в зоне нечувствительности, то регулятор не будет активизировать клапан.

Сохранение персональных изменений на карте ECL гарантирует то, что установки не будут утеряны при случайном сбое в работе регулятора.

Одним из важнейших преимуществ регулятора ECL Comfort является его безопасность и возможность предотвратить несанкционированный доступ. Если карта ECL извлечена, то изменить установки невозможно. Регулятор вновь готов к работе, если карта ECL вставлена желтой стороной, обращенной к пользователю.

8.3. КОНТРОЛЛЕРЫ ТАС 2000, t.a.c.,ШВЕЦИЯ

8.3.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контроллеры серии ТАС 2000 являются жесткопрограммируемыми контроллерами для систем вентиляции.

Назначение контроллеров ТАС 2000 – поддержание постоянной температуры в помещении или приточного воздуха путем управления контурами нагрева, охлаждения и рекуперации. Имеются следующие типы контроллеров (табл. 8.3.1):

- ТАС 2411 – управление контуром нагрева по температуре воздуха в помещении или приточного воздуха (рис. 8.3.1);
- ТАС 2412 – управление контуром нагрева по температуре воздуха в помещении или приточного воздуха с роторным рекупертором тепла (рис. 8.3.2);
- ТАС 2413 – управление контуром нагрева и охлаждения с пластинчатым рекуператором тепла (рис. 8.3.3).

Таблица 8.3.1. Функции контроллеров ТАС 2000

	Контур нагрева	Рекуператор/заслонка	Охлаждение
ТАС 2411	×		
ТАС 2412	×	×	
ТАС 2413	×	×	×

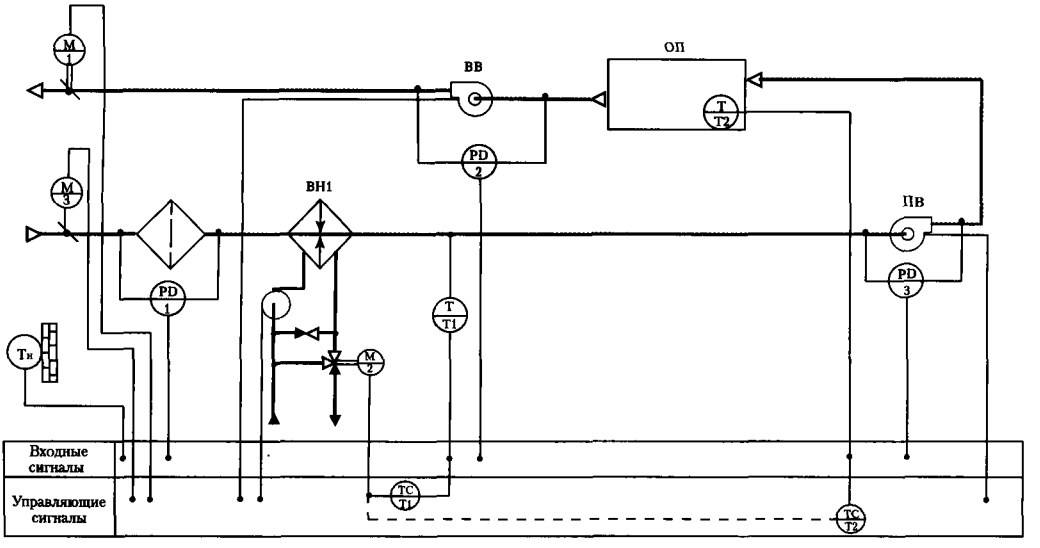


Рис. 8.3.1. Система управления на базе контроллера ТАС 2411

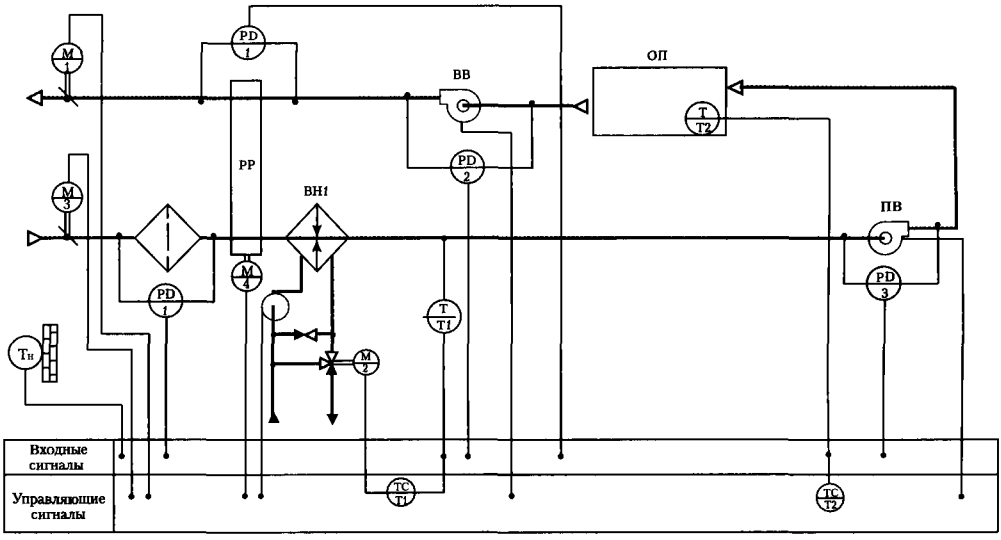


Рис. 8.3.2. Система управления на базе контроллера TAC 2412

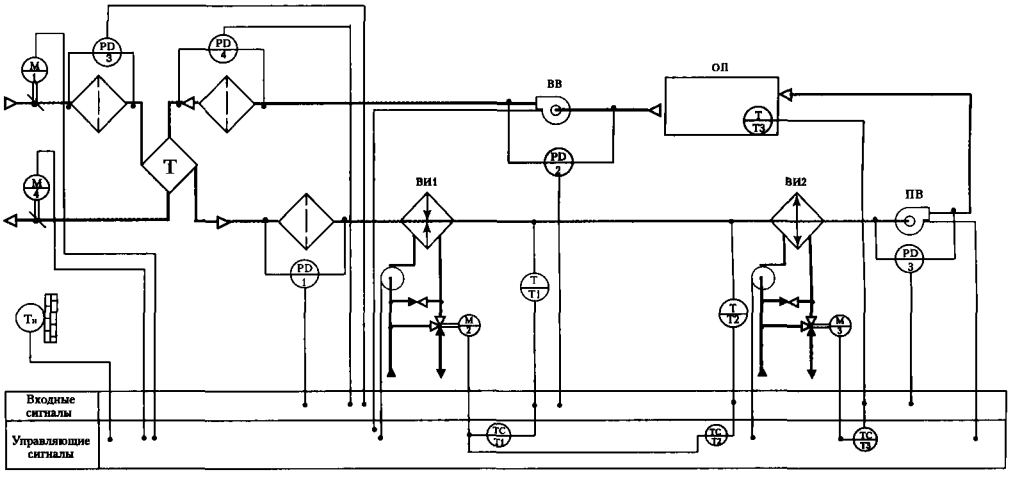


Рис. 8.3.3. Система управления на базе контроллера TAC 2413

Помимо этих функций все версии TAC 2000 обеспечивают:

- расписание работы вентиляционной системы;
- индикацию аварий;
- управление насосом, тренировочное включение насоса в летний период;
- дистанционное изменение уставок.

Выбор способа управления (по температуре воздуха в помещении или приточного воздуха), типа нагревателя (водяной или электрический) и других параметров устанавливается переключателями DIP1–8 (табл. 8.3.2).

Таблица 8.3.2. Выбор способа управления

DIP	Положение переключателя		
	OFF (ВЫКЛ)	ON (ВКЛ)	Изменения
1	Управление по температуре притока	Управление по температуре помещения/ удаляемого воздуха	
2	Температура помещения (при 1 = ВЫКЛ)	Температура удаляемого воздуха (при 1 = ВКЛ)	
3	HEX (теплообменник)	Заслонка подмеса	
4	HEX при остан.=0% (3 = ВЫКЛ)	HEX при остан.=100% (3 = ВЫКЛ)	
5	Водяной нагрев	Электрический нагрев	
6	Водяное охлаждение	Непосредственное охлаждение DX (при 1 = ВКЛ)	
7	Выход 2-10 В, нагрев и охлаждение	Выход 0-10 В, нагрев и охлаждение	
8	«Горячий старт». Аппаратный сброс, возврат к уставкам «по умолчанию», кроме даты и времени. Сбросить ВСЕ уставки (холодный старт)		ВКЛ и снова ВЫКЛ

Примечание: при поставке все переключатели установлены в положение OFF

Внешний вид контроллера TAC 2000 показан на рис. 8.3.4, а вид информационного дисплея на рис. 8.3.5.

Порядок ввода значений параметров.

1. Номер параметра (Р-№) выбирается при помощи клавиш ▲ или ▼.
2. Для перехода к Р 18-Р 99 нажмите одновременно ▲ и ▼.
3. Клавиши + или − служат для изменения значения параметра.
4. Для быстрого изменения параметра удерживайте клавишу нажатой.
5. Для выхода нажмите ⊡/■.

Рис. 8.3.4. Внешний вид контроллера TAC 2000

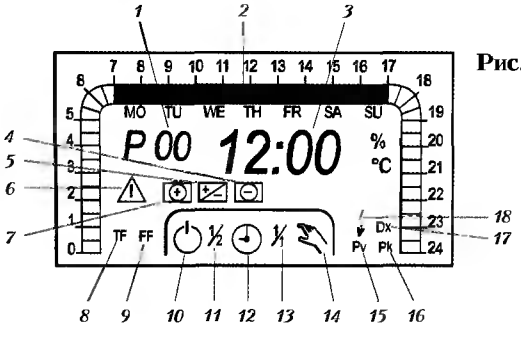


Рис. 8.3.5. Информационный дисплей контроллера TAC 2000:

1 – номер параметра; *2* – суточное расписание; *3* – значение параметра; *4* – охлаждение; *5* – рекуперация; *6* - авария; *7* – нагрев; *8* – приточная вентиляция; *9* – вытяжная вентиляция; *10* – ВЫКЛ; *11* – малая скорость; *12* – автоматический режим; *13* – большая скорость нагрева; *14* – ручной режим; *15* – насос; *16* – насос, охлаждение; *17* – непосредственное охлаждение DX; *18* – электрический нагрев

8.3.2. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ УПРАВЛЕНИЯ

Так как наибольшее число выполняемых функций реализуется контроллером TAC 2413, рассмотрим основные функции управления.

Рекуперация тепла

TAC 2413 может управлять рекуператорами тепла или заслонками воздуха (выход Y2). Управляющий сигнал, подаваемый на HEX (рекуператор, теплообменник) равен 0–10 В.

Задачи управления задаются переключателями DIP3 и DIP4. Эффективность рассчитывается по данным датчика наружной температуры, а также датчиков приточного и удаляемого воздуха. При низкой эффективности поступает сигнал тревоги. При отсутствии указанных датчиков эта функция не работает.

Данные датчика температуры удаляемого воздуха также используются для защиты от замораживания рекуператора.

При замораживании эффективность блока рекуперации снижается. Поэтому TAC 2413 имеет встроенную функцию размораживания, которая активизируется заменой датчика температуры вытяжного воздуха на датчик дифференциального давления. В таком случае сигнал на HEX сводится к позиции «закрыт». Если за заданное время (по умолчанию – 10 мин) размораживание не завершено, для ускорения процесса выключается приточный вентилятор. Если размораживание не завершено за максимально заданное время (по умолчанию – 30 мин), поступает аварийное сообщение.

Рециркуляционная заслонка

Управляющий сигнал на рециркуляционную заслонку имеет диапазон 0–10 В. При 0 В (100 % рекуперации) заслонка приточного воздуха закрыта, при 10 В – полностью открыта. Заслонки приточного, рециркуляционного и удаляемого воздуха имеют заданный предел минимального забора приточного воздуха (заводская уставка – 30 %). Имеется два режима работы: «Экономия» и «Комфорт». В положении «Экономия» контур нагрева будет работать только после того, как рекуперационная заслонка займет положение минимального забора приточного воздуха. В положении «Комфорт» контур нагрева будет работать независимо от положения рециркуляционной заслонки.

Клапан регулирования забора наружного воздуха

Управляющий сигнал на клапан подмеса свежего воздуха – 0–10 В, где 0 В составляет 0 % (наружный клапан закрыт), а 10 В равно 100 % (наружная клапан открыт). Клапаны наружного, рекуперационого и удаляемого воздуха имеют заданный минимум забора наружного воздуха (по умолчанию – 30%).

Параметр 30 имеет два положения: «Экономия» и «Комфорт». В положении «Комфорт» контур нагрева включается независимо от положения заслонки наружного воздуха. В положении «Экономия» контур нагрева включается только после того, как клапан займет положение минимального забора наружного воздуха.

Контур нагрева с водяным калорифером

Если одной рекуперации недостаточно для прогрева помещения, включается контур нагрева. Стандартный сигнал равен 2–10 В, при желании его можно изменить на 0–10 переключателем DIP7. Напряжение 0(2) В соответствуют закрытому клапану (0 %), а 10 В – открытому (100 %). Уровень управляющего сигнала одинаков для нагрева и охлаждения.

Выход регулируется по основной программе (управление температурой притока), по программе ограничения по минимуму или же по программе поддержания при остановке системы вентиляции. При запуске клапан нагрева открывается в соответствии с наружной температурой. После включения приточного вентилятора клапан нагрева регулируется согласно температуре приточного воздуха.

Насос контура нагрева работает постоянно, если наружная температура ниже, чем значения параметра «Наружная температура для остановки насоса, контур нагрева», по умолчанию – 17 °С. В летний период насос отключается с пятиминутной задержкой при условии, что температура выше значения параметра «Ограничение наружной температуры для остановки насоса, контура нагрева».

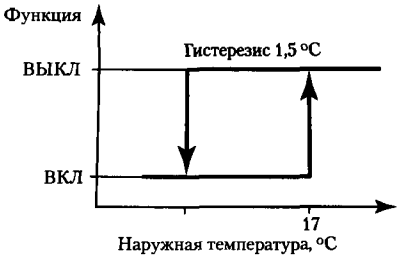


Рис. 8.3.6. Фиксированный гистерезис работы насоса

Чтобы избежать частого включения и отключения насоса при наружной температуре, близкой к ограничению, введен фиксированный гистерезис (рис. 8.3.6). В целях предупреждения заклинивания насос включается один раз в день – в 12:00–12:01 (тренировка насоса).

Контур нагрева с электрическим калорифером

Режим задается переключателем DIP5. При работе в режиме электронагрева защита от замораживания отключается и заменяется защитой от перегрева. Управляющий сигнал Y1 подается на дополнительный контроллер ступеней или тиристорное устройство. При управляющем сигнале «рекуперация 100 %» цифровой выход К4 сначала замыкает управляемый контур, затем сигнал Y1 поступает на дополнительный контроллер ступеней или тиристорное устройство. При остановке системы вентиляции управляющий сигнал сводится к 0 %. Вентиляторы продолжают работать заданное время (3 мин – по умол-

чанию). Те же действия выполняются в случае поступления сигнала аварии от вентиляторов или по причине перегрева.

Контур охлаждения

Логика работы контуров нагрева и охлаждения в TAC 2413 направлена на достижение максимально возможного комфорта при минимальных затратах энергии. Нейтральная зона между уставками нагрева и охлаждения (рис. 8.3.7) обеспечивает стабильность работы систем, уменьшая риск наложения или колебаний в работе двух контуров.

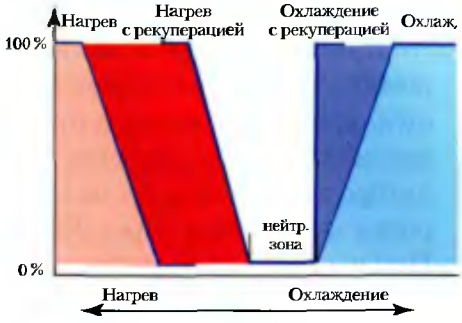


Рис. 8.3.7. Нейтральная зона между уставками нагрева и охлаждения

Сигнал на клапан охлаждения равен 2–10 В. При помощи переключателя DIP7 его можно изменить на 0–10 В.

Если уставка температуры находится в пределах нейтральной зоны, не включается ни один из контуров. Контур охлаждения включается только при повышении температуры помещения или приточного воздуха до уставки охлаждения. В этом случае TAC 2413 автоматически переходит от работы в режиме нагрева (по уставке нагрева) к режиму охлаждения (по уставке охлаждения). Контур нагрева включается при понижении температуры до уставки нагрева. Насос контура охлаждения работает при нагрузке охлаждения постоянно, при отсутствии нагрузки – тренировочное включение насоса осуществляется раз в день (12:00–12:01).

Прямое охлаждение помещений (DX-охлаждение)

Задается переключателем DIP6 и работает только в том случае, если контроллеру задано управление по температуре помещения. Одноступенчатое прямое охлаждение управляется с цифрового входа K5. Для включения нескольких ступеней используется выход Y3 (2–10 В).

Режим DX отключается, если температура приточного воздуха опускается до заданного ограничения по минимуму.

Рекуперация холода

Для снижения энергопотребления в режиме охлаждения TAC 2413 использует содержание холода в приточном воздухе. Если температура удаляемого воздуха ниже наружной, включается режим экономии, т. е. блок рекуперации работает с максимальной отдачей. Если система имеет клапаны подмеса, устанавливается положение минимального забора наружного воздуха. Рекуперация холода отключается, если наружная температура ниже температуры возвращаемого воздуха.

IBIK

Уставки нагрева и охлаждения

Рекуперация тепла и контур нагрева регулируются по уставке нагрева. Контур охлаждения имеет свою уставку. Обе уставки можно изменять, однако разница между ними должна быть не менее 0,5 °С.

Управление вентиляторами

При запуске системы вентиляторы включаются после задержки, которая определяется текущим состоянием системы. Сначала включается вытяжной вентилятор, после чего активизируется приточный вентилятор. Если имеется двухскоростной режим работы, оба вентилятора запускаются на малой скорости. Режим работы на полной скорости включается через 30 с после запуска приточного вентилятора. При переходе от полной скорости к малой оба вентилятора останавливаются на 10 с, затем включается вытяжной, а после него – приточный.

Недельные и годовая программы

Существуют две недельные программы запуска и остановки системы вентиляции – полной скорости (1/1) и малой скорости (1/2). Кроме того, имеется годовая программа, которая позволяет отключать систему вентиляции на более длительный срок. Существует возможность заранее запрограммировать до 6 периодов «праздников и выходных» в год. Каждый период задается датами начала и окончания.

Функция CO_2

При выборе функции CO_2 будет регулироваться качество воздуха (сигнал 0–10 В от датчика углекислого газа сравнивается с заданным значением).

Подавая внешнее управляющее напряжение 2–10 В постоянного тока на вход SPC, можно смещать текущую уставку. При 6 В смещения не происходит, 2 В и 10 В обеспечивают заданное смещение со знаком «–» или «+», т. е. 2 В понижают, а 10 В повышают уставку.

Ночное охлаждение

С целью снижения энергозатрат в летнее время TAC 2413 использует относительно холодный ночной воздух для охлаждения здания. Если наружный и комнатный датчики установлены, функция ночного охлаждения активируется автоматически, даже если при настройке контроллера было выбрано управление по температуре приточного воздуха.

Режим ночного охлаждения включается, если температура в помещении превышает заданное ограничение и выполняются следующие условия:

- летний период;
- до начала нормального дневного режима работы осталось меньше времени, чем установлено (по умолчанию – 10 ч);

- наружная температура превышает значение параметра «Минимальная наружная температура для ночного охлаждения»;
- разница между наружной температурой и температурой в помещении больше 5 °С;
- температура в помещении на 1,0 °С выше «Уставки ночного охлаждения», при этом ночное охлаждение отключается автоматически, если температура в помещении понизится до этой уставки.

Во избежание перегрева здания НЕХ, заслонка возвращаемого воздуха и контур нагрева отключаются на некоторое время в течение обычного рабочего режима.

Ночной нагрев

Если задано управление по температуре приточного воздуха, но имеется датчик комнатной температуры, ночной прогрев включается автоматически. Стандартно система вентиляции отключена, но если температура в помещении упадает ниже «Уставки ночного нагрева», система вентиляции включается. При температуре в помещении на 1 °С выше этой уставки система вентиляции снова отключается.

Компенсация температуры наружного воздуха

Уставка приточной температуры или температуры помещения может компенсироваться напрямую по данным датчиками наружной температуры. Имеются два графика: для зимнего и летнего периодов (рис. 8.3.8). Если в системе не установлен датчик наружной температуры, функция компенсации не выполняется. При первом включении контроллера данная функция не активирована до тех пор, пока не будут заданы нужные значения для зимней и летней компенсации.

Компенсация может быть со знаком плюс или минус. Уровень компенсации в °С показывает на сколько сместится уставка температуры приточного воздуха или температуры помещения.

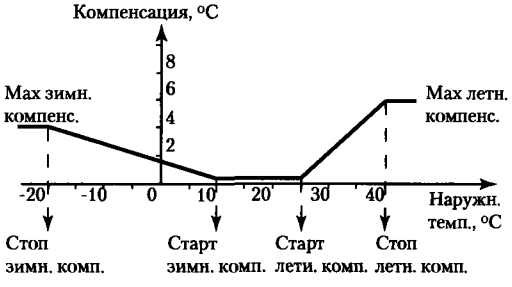


Рис. 8.3.8. График компенсации наружной температуры для летнего и зимнего периода

Летнее время

Переход с зимнего на летнее время и обратно производится автоматически.

Летний режим

Работа некоторых функций зависит от текущего времени года (зима/лето). Режим охлаждения включается только летом, это же ограничение относится к ночному охлаждению и отключению насоса контура нагрева.

8.3.3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ

Кроме поддержания температуры контроллеры TAC 2000 выполняют следующие функции:

- сигнализация аварии (2 группы аварий – 1 и 5);
- тренировочное включение сети;
- дистанционное изменение уставок.

TAC 2000 имеют функции аварийной индикации. При регистрации аварийного сообщения на дисплее появляется мигающий значок и символ того объекта, где зарегистрирована авария. Все виды аварий разделены по уровню приоритета на две группы: А и В. Для некоторых видов аварий пользователь может сам задать приоритет А или В. Аварии типа А сбрасываются вручную и всегда включают сумматор аварий. Аварии типа В сбрасываются автоматически и включают сумматор аварий только в том случае, если это задано пользователем.

Авария вентилятора

При поступлении сообщения об аварии предусмотрена задержка в 60 с после замыкания датчиком дифференциального давления на вентиляторе контакта U4. При электронагреве применяется другая функция – авария регистрируется, если датчик размыкает контакт U4.

Пожарная тревога

Регистрируется в приточном воздуховоде, если температура в нем превышает 70 °С (задержка – 10 с). Регистрируется также в вытяжном воздуховоде, если его температура превышает 50 °С. Т. е. короткое замыкание кабеля датчика или параллельного соединения регистрируется термостатом и служит причиной сигнала аварии.

Защита от замораживания

Система защиты от замораживания активизируется при температуре ниже заданного ограничения. Система вентиляции останавливается с пятисекундной задержкой перед регистрацией аварии группы А. При замыкании датчика защиты от замораживания поступает особое аварийное сообщение «Отказ датчика».

Авария насоса

Насос контура нагрева и защита от перегрева имеют один общий вход. Авария регистрируется после пятисекундной задержки при разомкнутом контакте, если вход К4 подключен.

Риск обмерзания рекуператора

Регистрируется, если размораживание не завершено в течение «Максимального времени, отведенного на размораживание».

Эффективность

Авария по эффективности регистрируется, если:

- сигнал HEX (рекуператор) равен 100 %, а ограничение не активно;

- эффективность ниже заданного граничного уровня в течение 60 мин.

Авария при отклонении температуры

Регистрируется, если в течении 60 мин реальная температура притока отличается от своей уставки, и эта уставка превышает допустимое отклонение (по умолчанию – 3 °С).

Пользователь имеет возможность оперативно изменять около ста параметров настройки регуляторов, режимов работы оборудования, уставок блокировок и защит. Для примера некоторые из них приведены в табл. 8.3.4.

Таблица 8.3.4. Перечень изменяемых параметров

P	Параметр	MIN	MAX	Шаг	Умолч.	Измен.	Пояснения
P 00	Текущее время. Показ и выбор режима работы						ВЫКЛ, Ручной, Автомат. режимы со скоростью 1/2 или 1/1
P 01	Температура притока, °С			0,1			Реальное значение
P 02	Уставка для температуры протока, °С			0,1			Реальное значение
P 03	Температура помещения, °С			0,1			Реальное значение
P 04	Уставка для температуры помещения, °С			0,1			Реальное значение
P 05	Температура возращенного воздуха, °С			0,1			Реальное значение
P 06	Обратка, контур нагрева, °С			0,1			Реальное значение
P 07	Эффект НЕХ, %			1			Реальное значение
P 08	Температура вытяжки, °С			0,1			Реальное значение
P 09	Наружная температура, °С			0,1			Реальное значение
P 10	Уставка нагрева, °С	0	50	0,1	20		
P 11	Уставка охлаждения, °С	0	50	0,1	22		
P 60	Пропорциональный регулятор притока при работе нагрева, °С	1	100	0,1	25		(0,5х при скорости 1/1)
P 61	Время интег. регулирования притока при работе нагрева, мин	1	20	1	4		
P 62	Регулирование ограничения возврата, уставка контура нагрева, °С	0	50	0,1	12		
P 63	Пропорциональный ряд для регулятора ограничения возврата, °С	1	100	0,1	25		
P 85	Авария, отклонение температуры				0		(0=ВЫКЛ, 1=ВКЛ) летний период
P 86	Отклонение температуры, тип аварии				0		0=тип В, 1=В+Сумм., 2=
P 87	Отклонение температуры, лимит аварии, °С	0	20	0,1	3		Отклонение + или –
P 88	Ручной режим, тип аварии				0		0=сумм.нет, 1=сумм. Аварий
P 89	Настройка комнатного датчика, °С	–5	5	0,1	0		

8.4. КОНТРОЛЛЕРЫ РЕГУЛИРУЮЩИЕ ДЛЯ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА, «РАУТ-АВТОМАТИК», УКРАИНА

8.4.1. КОНТРОЛЛЕР РЕГУЛИРУЮЩИЙ «АЭРОКЛИМ 3Н-пв»

8.4.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контроллер АЭРОКЛИМ 3Н-пв предназначен для управления приточной, приточно-вытяжной установкой, водяным (электрическим) воздухонагревателем (индекс Т)или приточной установкой с паровым увлажнителем воздуха (индекс В).

Выбрать контроллер для требуемой функциональной схемы установки можно тремя способами:

- выбрать подходящую модель по каталогу;
- выдать техническое задание заводу-изготовителю контроллера, заполнив опросный лист;
- воспользоваться программой подбора контроллера («АКВ-мастер»).

Технические характеристики

1.	Число аналоговых входов: по выбору (Pt1000, Ni1000, 0–5, 0–20, 4–20 мА, 0–10 В)	4
2.	Число дискретных входов:	4
3.	Число аналоговых выходов (0–10) В	3
4.	Число дискретных (релейных) выходов	3
•	беспотенциальных нормально-разомкнутых: (220 В, 8 А)	2
•	потенциальный (24 В, 100 мА)	1

8.4.1.2. УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЛЕРА

Прибор состоит из двух печатных плат: управления/индикации и ввода-вывода внешних сигналов.

Плата управления и индикации осуществляет индикацию и обработку данных, вводимых с клавиатуры прибора.

Плата ввода-вывода внешних сигналов осуществляет:

- согласование входных и выходных сигналов с цепями микропроцессора;
- обеспечивает питающим напряжением все узлы прибора;
- осуществляет преобразование входных сигналов, обработку полученной информации в цифровой код для микропроцессора;
- формирует управляющее воздействие в соответствии с выбранным законом регулирования.

Плата ввода-вывода содержит:

- клеммы для внешних подключений к входам и выходам прибора и подводу питания;
- электронные компоненты для преобразования входных сигналов к необходимым для работы прибора логическим и аналоговым уровням и формирования уровней выходных сигналов;
- преобразователь питающего напряжения в напряжения, необходимые для работы прибора;
- микропроцессор со встроенным АЦП.

Контроллер имеет следующие элементы управления и индикации:

- индикатор;
- кнопки.

Жидкокристаллический индикатор с подсветкой имеет 2 строки по 8 символов.

Подсветка индикатора выключается автоматически, если кнопки на контроллере не нажимались в течение 4 мин либо через 2 мин после включения питания. При нажатии любой кнопки подсветка возобновляется.

Рис. 8.4.1. Контроллер «АЭРОКЛИМ 3Н-пв»

Контроллер имеет 4 кнопки, предназначенные для выполнения следующих функций:

1. ВОЗВРАТ – перемещение на один уровень вверх в дереве циклических списков для отмены редактирования параметра;
2. ВВОД:
   - перемещение на один уровень вниз в дереве циклических списков;
   - выбора функции;
   - вход в режим редактирования параметра;
   - сохранения измененного параметра;
3. ВЛЕВО:
   - перемещение по спискам функций влево;
   - уменьшение редактируемого параметра;
   - закрытие исполнительного механизма в ручном режиме;
4. ВПРАВО:
   - перемещение по спискам функций вправо;
   - увеличение редактируемого параметра;
   - открытие исполнительного механизма в ручном режиме;
   - увеличение мощности нагрева электрокалорифером в ручном режиме.

8.4.1.3. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Контроллер «АЭРОКЛИМ-3Н-пв» осуществляет следующие общие функции:

- включение/выключение приточного вентилятора из меню контроллера и внешними кнопками;
- возможность автоматического перезапуска приточного вентилятора после сбоя подачи питания;
- отключение приточного вентилятора в случае возникновения аварии;
- технологическая и аварийная сигнализация;
- выбор режима работы контроллера из меню контроллера;
- ручная настройка всех контуров регулирования;
- автоматическая настройка всех контуров регулирования;
- самонастройка всех контуров регулирования;
- настройка уставок регулируемых параметров;
- настройка уставок защиты и блокировок.

Для включения приточного вентилятора необходимо нажать кнопку ПУСК на щите управления вентиляционной установкой либо на пульте дистанционного управления, либо осуществить включение приточного вентилятора из меню контроллера. Включение приточного вентилятора в автоматическом режиме работы контроллера «АЭРОКЛИМ-3Н-пв Т» с водяным воздухонагревателем происходит следующим образом.

После подачи команды на включение, если текущий режим «зима» и температура наружного воздуха ниже заданной уставки или если текущий режим «зима» и отсутствует датчик температуры наружного воздуха, осуществляется прогрев воздухонагревателя. В любой момент времени можно остановить прогрев, нажав кнопку **СТОП** на щите управления вентиляционной установкой либо на пульте дистанционного управления или осуществить останов из меню управления приточным вентилятором. После окончания прогрева включается приточный вентилятор. Если текущий режим «лето», то при подаче команды на включение приточный вентилятор включается без задержки.

Включение приточного вентилятора в автоматическом режиме работы контроллера «АЭРОКЛИМ-3Н-пв Т» с электрокалорифером происходит по команде на включение без задержки в любом из режимов «зима-лето». Включение вентилятора в ручном режиме работы контроллера (для всех модификаций) происходит по команде на включение без задержки.

Включение приточного вентилятора для модификации контроллера «АЭРОКЛИМ-3Н-пв В» происходит по команде на включение без задержки в любом режиме работы контроллера.

После включения приточного вентилятора в автоматическом режиме работы начнется автоматическое поддержание заданной температуры путем воздействия на клапан воздухонагревателя (электрокалорифер) или воздухоохладителя и заслонки (для модификации «АЭРОКЛИМ-3Н-пв Т»). Также начнется автоматическое поддержание заданной влажности, путем воздействия на клапан парового увлажнителя (для модификации «АЭРОКЛИМ-3Н-пв В»).

В ручном режиме работы контроллера не осуществляется автоматическое поддержание заданной влажности и температуры, а заслонками можно управлять вручную из меню контроллера.

Для выключения приточного вентилятора необходимо нажать кнопку **СТОП** или выключить вентилятор из меню контроллера.

Выключение приточного вентилятора «АЭРОКЛИМ-3Н-пв Т» с электрокалорифером происходит следующим образом. После подачи команды выключения электрокалорифер выключается без задержки, приточный вентилятор выключается с n-минутной задержкой, необходимой для съема тепла с электрокалорифера.

Если электрокалорифер не работал в течение n минут до подачи команды выключения, то при подаче команды выключения приточный вентилятор выключается без задержки. В любой момент времени (при съеме тепла), если нет аварии, сигнализирующей о перегреве электрокалорифера, можно возобновить работу системы, нажав кнопку **ПУСК** или включив систему из меню контроллера.

Для отключения вентилятора без съема тепла необходимо нажать и удерживать нажатой в течение 3 с кнопку **СТОП**.

В контроллере предусмотрена возможность автоматического включения приточного вентилятора после его отключения при возникновении угрозы замораживания.

Предусмотрена также возможность автоматического включения приточного вентилятора после сбоя питания. При активизации данной функции, если в момент пропадания питания приточный вентилятора был включен и контроллер находился в автоматическом режиме работы, после восстановления питания будет осуществлено автоматическое включение вентилятора.

Автоматическое включение приточного вентилятора осуществляется с трехминутной задержкой. В любой момент времени можно остановить перезапуск, нажав кнопку **СТОП**, или осуществить останов из меню управления приточным вентилятором.

8.4.1.4. МОДИФИКАЦИИ

Контроллер «АЭРОКЛИМ-3Н-пв» может осуществлять управление приточными и приточно-вытяжными установками с разным составом оборудования.

«АЭРОКЛИМ-3Н-пв Т» предназначен для управления установками с водяным воздухонагревателем или электрокалорифером.

Состав исполнительных механизмов:

- клапан водяного нагревателя или односекционный электрокалорифер с аналоговым или дискретным управлением;
- насос водяного нагревателя;
- клапан водяного охладителя;
- заслонки наружного, рециркуляционного, удаляемого воздуха.

Функции:

- поддержание температуры воздуха в воздуховоде;
- каскадное поддержание температуры воздуха в помещении или вытяжном воздуховоде с ограничением температуры в приточном канале (см. 6.5.4);
- выбор параметра, по которому будет поддерживаться температура (приточный воздух или воздух в помещении/ вытяжном воздуховоде) отдельно для каждого из режимов: «зима» и «лето»;
- автоматическое или ручное переключение режимов «зима/лето»;
- автоматический реверс заслонок;
- обеспечение подачи минимального количества свежего наружного воздуха путем ограничения закрытия заслонки наружного воздуха;
- управление клапаном водяного охладителя в ручном режиме работы контроллера кнопками с лицевой панели контроллера;
- управление заслонками наружного, рециркуляционного, удаляемого воздуха в ручном режиме работы контроллера кнопками с лицевой панели контроллера.

Для уставок с водяным воздухонагревателем дополнительно выполняются функции:

- поддержание заданной температуры путем воздействия на клапаны водяного нагревателя или воздухоохладителя и заслонки наружного, рециркуляционного, удаляемого воздуха;
- автоматический переход от регулирования клапаном водяного нагревателя к заслонкам наружного, рециркуляционного, удаляемого воздуха, затем к клапану водяного охладителя и наоборот;
- поддержание температуры обратного теплоносителя на минимально возможном уровне при выключенном приточном вентиляторе в режиме «зима» путем воздействия на клапан водя-

ного нагревателя;

- n-минутный прогрев водяного нагревателя перед пуском приточного вентилятора в режиме «зима» при температуре наружного воздуха ниже заданной уставки;
- сигнализация прогрева водяного нагревателя;
- защита от замораживания водяного нагревателя;
- защита от холодного пуска;
- автоматическое включение и выключение циркуляционного насоса в автоматическом режиме работы контроллера в зависимости от выбранного режима управления насосом;
- управление клапаном водяного нагревателя в ручном режиме работы контроллера с лицевой панели контроллера;
- включение/выключение циркуляционного насоса в ручном режиме работы контроллера из меню контроллера.

Для установок с электрокалорифером дополнительно выполняются функции:

- поддержание заданной температуры путем воздействия на электрокалорифер или клапан водяного охладителя и заслонки наружного, рециркуляционного, удаляемого воздуха, затем на клапан водяного охладителя и наоборот;
- отключение приточного вентилятора с задержкой, необходимой для съема тепла с электрокалорифера;
- сигнализация съема тепла с электрокалорифера;
- защита электрокалорифера от перегрева;
- управление электрокалорифером в ручном режиме работы контроллера кнопками с лицевой панели контроллера;
- возможность подключения к контроллеру электрокалорифера с аналоговым или дискретным управлением.

«АЭРОКЛИМ-3Н-пв В» (для установок с паровым увлажнителем).

Управление:

- клапан парового увлажнителя.

Функции:

- поддержание влажности воздуха в канале;
- каскадное поддержание влажности в помещении с ограничением влажности в приточном канале;
- выбор параметра, по которому будет поддерживаться влажность (приточный воздух или воздух в помещении);
- закрытие клапана парового увлажнителя при выключении приточного вентилятора;
- выключение приточного вентилятора при превышении максимального значения влажности приточного воздуха.

8.4.2. КОНТРОЛЛЕР РЕГУЛИРУЮЩИЙ «КАДЕТ-3Н»

8.4.2.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контроллер «КАДЕТ-3Н» предназначен для управления сложными приточно-вытяжными системами вентиляции и кондиционирования воздуха:

- центральными прямоточными кондиционерами;
- центральными приточно-вытяжными установками;
- центральными кондиционерами с рециркуляцией воздуха;
- центральными кондиционерами с теплоутилизаторами.

Возможны более 30 вариантов комплектации установок вентиляции и кондиционирования с различными нагревателями, охладителями, увлажнителями, рекуператорами, фильтрами и т. д.

Контроллер состоит из двух блоков: блок контроллера и блок питания.

Рис. 8.4.2. Контроллер «КАДЕТ-3Н»

Рис. 8.4.3. Блок питания контроллера «КАДЕТ-3Н»

Технические характеристики

Напряжение питания, В,	24
Потребляемая мощность, Вт, не более,	13
Закон регулирования	ПИД/самонастройка с адаптацией
Входы:	
• датчики, шт.	4
• внешний датчик-задатчик, шт.	1
• дискретные входы, шт.	6
Выходы (напряжение, В)	
• регулирующие клапаны	2, 0–10
• заслонки	0–10
• дискретные беспотенциальные	220 В, 8 А
• дискретные с нулевой точкой (опция), 2 шт.	220 В, 8 А

IBIK

8.4.2.2. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

1. Общие функции

В контроллере записана одна из схем управления сложными приточными камерами и кондиционерами (оговаривается при заказе). Для всех схем существует определенный набор общих функций, не зависящий от конфигурации.

Управление вентиляторами:

- управление приточным и вытяжным вентиляторами осуществляется в сблокированном или раздельном режимах;
- контроль за работой вентилятора осуществляется по сигналам перепада давления либо по пускателям;
- пуск и останов двигателей может быть осуществлен тремя способами:
  - внешними кнопками;
  - кнопками с лицевой панели контроллера;
  - по временным программам для каждого дня недели отдельно.

2. Переход «зима-лето»

Пользователь может выбрать один из двух вариантов перехода: автоматический или ручной.

При ручном режиме пользователь сам определяет режимы «зима-лето» и осуществляет ручное переключение из меню контроллера. При автоматическом режиме необходимо подключение датчика наружного воздуха. В этом случае пользователь только задает уставку по температуре наружного воздуха, при которой контроллер сам производит переключение с учетом «зоны нечувствительности». Величина зоны задается пользователем.

3. Изменение температуры регулирования

Изменение температуры регулирования может быть как по режиму «зима-лето», так и по режиму «ночь-день».

По режиму «зима-лето» пользователь выбирает параметр, по которому будет поддерживаться температура: канал или помещение. После выбранных алгоритмов контроллер сам будет определять состояние «зима-лето».

По режиму «ночь-день» пользователь при круглосуточной работе установки может выбрать величину, на которую будет снижаться или повышаться уставка, и время, когда должно произойти это изменение, а также время, когда параметр должен вернуться в первоначальное значение.

4. Управление заслонками

При наличии рециркуляционной заслонки контроллер поддерживает температуру, управляя заслонками, включая их автоматический реверс. Кроме этого, пользователь может задать минимальное

открытие заслонки наружного воздуха, чтобы обеспечить гарантированную подачу необходимого количества свежего воздуха.

5. Функции, добавляемые в зависимости от конфигурации

5.1. Управление электрокалорифером

Контроллер управляет 3-секционным калорифером и осуществляет n-минутную задержку остановки вентилятора при выключении системы, которая задается пользователем из меню. Также осуществляется защита электрокалорифера от перегрева. Для этого на электрокалорифер устанавливаются термодатчики.

5.2. Управление компрессорно-конденсаторным агрегатом (ККА)

Контроллер управляет ККА, блокируя его работу, при неработающем вентиляторе.

5.3. Управление водяным воздухонагревателем

При наличии водяного воздухонагревателя I-го подогрева контроллер осуществляет n-минутный прогрев воздухонагревателя в режиме «зима» перед пуском установки. Время прогрева задается пользователем при наладке, исходя из инерционности воздухонагревателя. При этом осуществляется также управление насосом.

При наличии водяного воздухонагревателя II-го подогрева на нем происходит только процесс регулирования.

5.4. Управление водяным воздухоохладителем

При наличии водяного воздухоохладителя контроллер дает разрешение на пуск чиллера и управляет трехходовым клапаном.

5.5. Управление камерой орошения или сотовым увлажнителем

При наличии камеры орошения контроллер управляет насосом камеры и трехходовым клапаном.

5.6. Управление вращающимся рекуператором

При наличии вращающегося рекуператора контроллер управляет его включением и отключением или скоростью его вращения. Кроме того, происходит управление заслонкой на байпасе.

5.7. Управление теплоутилизатором на промежуточных теплообменниках

При наличии такой схемы контроллер управляет клапаном и насосом промежуточного контура.

6. Диспетчеризация и архив

6.1. Контроллер имеет интерфейс RS-485, благодаря которому его можно подключить к системе диспетчеризации.

6.2. Контроллер имеет архив данных и журнал аварий. Пользователь может задать частоту, с которой необходимо сохранять архив данных: от 1 до 15 дней.

8.4.3. КОНТРОЛЛЕР РЕГУЛИРУЮЩИЙ «КЛИМАВЕН 3»

8.4.3.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Микропроцессорный контроллер «КЛИМАВЕН 3» предназначен для управления основными типами приточных и приточно-вытяжных камер.

Технические характеристики

Напряжение питания, В,	220
Потребляемая мощность, Вт, не более,	13
Закон регулирования	ПИД/самонастройка с адаптацией
Входы:	
• аналоговые, шт.	5
• дискретные, шт.	6
Выходы:	
• регулирующие клапаны и заслонки (0–10 В), шт.	3
• дискретные переключатели (220 В, 8 А), шт.	2
• дискретные импульсные (220 В, 8 А), шт.	3
Класс защиты корпуса	IP20
Крепление корпуса	50 мм, DIN-рейка

Рис. 8.4.4. Контроллер «КЛИМАВЕН 3»

Рис. 8.4.5. Блок питания контроллера «КЛИМАВЕН 3»

8.4.3.2. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

1. Регулирование температуры

Пользователь в меню контроллера выбирает один из двух алгоритмов поддержания температуры:

- поддержание в канале (в этом случае устанавливается канальный датчик);
- каскадное поддержание температуры в помещении или в вытяжном воздуховоде с ограничением температуры в приточном канале (в этом случае устанавливаются датчики в помещении (вытяжном или приточном каналах).

2. Управление вентиляторами

- управление приточным и вытяжным вентиляторами осуществляется в сблокированном режиме;
- контроль за работой вентилятора осуществляется по сигнализаторам перепада давления (ременная передача или однофазные двигатели) либо по пускателям (трехфазные двигатели на валу с вентиляторами);
- пуск и останов двигателей может быть осуществлен тремя способами:
  - внешними кнопками;
  - кнопками с лицевой панели контроллера;
  - по временным программам для каждого дня недели отдельно.

3. Переход «зима-лето»

Пользователь может выбрать один из вариантов режима перехода: автоматический или ручной.

- при ручном выборе режима работы пользователь сам для себя определяет режимы «зима-лето» и осуществляет ручное переключение из меню контроллера.
- при автоматическом выборе необходимо подключение датчика наружного воздуха. В этом случае пользователь только задает уставку по температуре наружного воздуха, при которой контроллер сам производит переключение с учетом «зоны нечувствительности». Величина зоны задается пользователем.

4. Изменение температуры регулирования

Изменение температуры регулирования может быть как по режиму «зима-лето», так и по режиму «ночь-день»:

- по режиму «зима-лето» пользователь выбирает параметр, по которому будет поддерживаться температура в канале или в помещении.

После выбранных алгоритмов контроллер сам будет определять по состоянию «зима-лето», какой параметр поддерживать.

- по режиму «ночь-день» пользователь при круглосуточной работе установки может выбрать величину, на которую будет снижаться или повышаться уставка, и время, когда должно произойти это изменение и когда параметр должен вернуться в первоначальное значение.

5. Управление заслонками

При наличии рециркуляционной заслонки контроллер поддерживает температуру, управляя заслонками, включая их автоматический реверс. Кроме этого, пользователь может задать минимальное открытие заслонки наружного воздуха для обеспечения гарантированной подачи необходимого процента свежего воздуха в помещение.

8.4.3.3. МОДИФИКАЦИИ

Ниже перечислены основные функции различных модификаций контроллера «КЛИМАВЕН 3».

«КЛИМАВЕН 3.1»

- управление клапанами теплой и холодной воды;
- управление насосом;
- поддержание температуры обратного теплоносителя на задаваемом уровне при выключенной установке;
- n-минутный прогрев воздухонагревателя в режиме «зима» перед пуском установки. Время прогрева задается пользователем при наладке, исходя из инерционности воздухонагревателя;
- задержка пуска включения вентилятора и открытия заслонки на время прогрева калорифера.

«КЛИМАВЕН 3.2»

- управление электрокалорифером (до 3 секций);
- управление клапаном холодной воды;
- n-минутная задержка остановки вентилятора при выключении системы (в зимнем режиме) – задается пользователем из меню;
- защита электрокалорифера от перегрева. Для этого на электрокалорифер устанавливаются термодатчики (1 или 2 последовательно).

«КЛИМАВЕН 3.3»

- управление клапаном теплой воды;
- управление насосом;
- поддержание температуры обратного теплоносителя на задаваемом уровне при выключенной установке;
- n-минутный прогрев воздухонагревателя в режиме «зима» перед пуском установки. Время прогрева задается пользователем при наладке, исходя из инерционности воздухонагревателя;
- задержка пуска включения вентилятора и открытия заслонки на время прогрева калорифера;
- управление компрессорно-конденсаторным агрегатом.

«КЛИМАВЕН 3.4»

- управление электрокалорифером (до 3 секций);
- n-минутная задержка остановки вентилятора при выключении системы (в зимнем режиме) – задается пользователем из меню;
- защита электрокалорифера от перегрева; для этого на электрокалорифер устанавливаются термодатчики (1 или 2 последовательно);
- управление компрессорно-конденсаторным агрегатом.

8.5. КОНТРОЛЛЕРЫ ДЛЯ ФЭНКОЙЛОВ, HONEYWELL, ШВЕЦИЯ

8.5.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контроллеры W7752 D, E, F, G и J предназначены для управления водяными клапанами фэнкойлов по температуре в помещении. Внешний вид контроллера представлен на рис. 8.5.1.

Контроллеры W7752 управляют двух- и четырехтрубными фэнкойлами и дополнительными электронагревателями (W7752 D, F).

Рис. 8.5.1. Внешний вид контроллера W7752

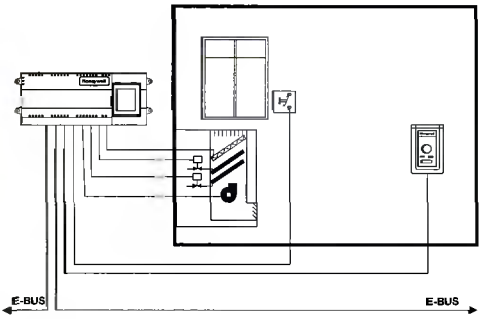


Рис. 8.5.2. Функциональная схема подключения контроллера

Контроллеры W7752 управляют одно-, двух- и трехскоростными вентиляторами. Поставляются контроллеры с заводской настройкой, полностью подготовленные к работе и обеспечивают:

- автономную работу или работу в высокоскоростной сети (78 килобит) Echelon® LonMark®;
- прямое подключение исполнительных механизмов;
- прямое подключение вентилятора;
- прямое подключение электронагрева;
- параметры по умолчанию, сконфигурированные производителем;
- широкий набор клапанов и исполнительных механизмов;
- блокировки и задержки по времени для защиты аппаратуры.

Контроллеры могут работать как автономно, так и в сети со стандартной шиной Echelon LonWorks®. Реализованы интерфейсы для целого ряда исполнительных механизмов. Системы обогрева могут быть водяными или электрическими, а системы охлаждения – с подачей холодной воды или с хладагентами. Высокий уровень синхронизации и блокировок делают контроллеры W7752 особенно пригодными для систем с электронагревом и холодильными машинами.

С контроллерами могут взаимодействовать разнообразные дополнительные настенные модули, которые способны обеспечить:

IBIK

- поддержание заданной температуры;
- регулировку скорости вентилятора;
- дополнительные режимы.

Все настенные модули имеют датчик температуры помещения. Помимо этого, можно использовать отдельный датчик температуры удаляемого воздуха C7068A.

Таблица 8.5.1. Типы поддерживаемых выходов

Выход	Возможности
Нагрев	Трехпозиционный, тепловой, ВКЛ/ВЫКЛ, многоступенчатый электрический
Охлаждение	Трехпозициоиное, тепловое, ВКЛ/ВЫКЛ, многоступенчатый компрессорное
Вентилятор	ВКЛ/ВЫКЛ, двухскоростной, трехскоростной
Электроподогрев	ВКЛ/ВЫКЛ

Таблица 8.5.2. Технические характеристика входов/выходов

Входы:	Функция	Характеристики
Цифровой	Окно/занятость помещения переключение/воздушный поток	Закрыт ≤ 400 Ом (1,5 мА), открыт ≥ 10 КОм (4,8 В)
Аналоговый/цифровой	Скорость вентилятора/ручная корректировка	резисторная схема
Аналоговый	Датчик температуры	20 кОм NTC
Аналоговый	Настройка уставки	10 кОм
Выходы:		
Цифровой	Ручная коррекция	U = 0–5 В
Симистор (2 пары)	Нагрев и охлаждение	U = 20–250 В, I = 250 мА
Релейный (3)	Включение вентилятора	U = 24 В, I = 3 А
Реле высокой мощности	Электронагрев (активная нагрузка)	U = 20–300 В, I = 10 А

8.5.2. РЕЖИМЫ РАБОТЫ

Контроллеры W7752 имеют следующие режимы работы.

Режим чередования

Чередование нагрева и охлаждения можно выбрать, задав восемь различных вариантов последовательности работы (каждый из них может быть с/без управления вентилятором):

- только нагрев;
- только охлаждение;
- переключение нагрев/охлаждение;
- последовательность нагрева и охлаждения;
- все перечисленное с электроподогревом.

Режим при занятости помещений

Это нормальный режим работы для помещений или зон в состоянии занятости. Переключить контроллер в этот режим можно командой сети, комнатным датчиком занятости или кнопкой дополнительного режима на настенном модуле. В режиме занятости вентилятор управляется положением переключателя скорости вентилятора на настенном модуле или алгоритмом управления, если переключателя установлен на «автоматический режим». В зоне нечувствительности вентилятор может быть сконфигурирован на включенное или выключенное состояние.

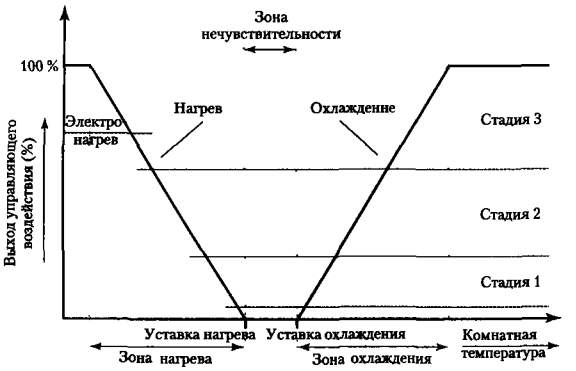


Рис. 8.5.3. Последовательность включения режимов работы

Режим ожидания

Режим ожидания позволяет экономить энергию путем снижения нагрузки по нагреву или охлаждению в период временной незанятости помещения. В этом режиме в зоне нечувствительности вентилятор отключается.

Режим незанятости

Этот режим используется при более длительных периодах незанятости, например, в ночное время, выходные дни и периоды отпуска.

Открывание окна

Если контроллер сконфигурирован на обнаружение открывания окна, то он автоматически прекращает управление нагревом и охлаждением до тех пор, пока окно не будет закрыто. Защита от замораживания остается активна.

Защита от замораживания

В качестве защиты от замораживания при падении температуры ниже 8 °С контроллер включает цепь нагрева.

Управление при задымленности помещения

Для управления задымленностью вентилятор может включаться или выключаться путем подачи команды от сети (E-Bus).

Отказ вентилятора

При наличии детектора воздушного потока контроллер осуществляет защиту оборудования путем блокировки системы при отказе вентилятора.

IBIK

Раздел 9 Свободно программируемые контроллеры для систем вентиляции и кондиционирования

9.1. КОНТРОЛЛЕРЫ ТАС XENTA, t.a.c., ШВЕЦИЯ

9.1.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Контроллеры ТАС Xenta являются свободно программируемыми контроллерами, разработанными для систем отопления, вентиляции и кондиционирования.

Контроллеры ТАС Xenta построены по модульному принципу, функциональность которых можно наращивать, добавляя блоки расширения к базовым устройствам.

Выпускается три базовые модификации контроллеров ТАС Xenta (280/300/401), отличающиеся различным количеством входов и выходов (табл. 9.1.1). Для увеличения числа входов-выходов используются расширители ТАС Xenta 400. ТАС Xenta 280 имеет две версии – 281 и 282, а ТАС Xenta 300 – 301 и 302.

ТАС Xenta 401 не имеет собственных входов и выходов, и используется в качестве центрального интегрирующего элемента в открытых системах совместно с расширителями ТАС Xenta 400 (до 10 блоков расширения).

К каждому контролеру Xenta подключается панель оператора Xenta OP. С помощью панели оператор может наблюдать за ходом процессов регулирования и управления, изменять режимы работы исполнительных механизмов или установки в целом, технологические уставки, получать и подтверждать сообщения о событиях и авариях, возникших в системе.

Помимо контроллеров в состав каждой системы автоматического управления входят датчики температуры воды, наружного воздуха и температуры воздуха в канале воздуховода, реле перепада давления на воздушных фильтрах и вентиляторах, термостаты защиты калорифера от размораживания, приводы регулирующих клапанов и воздушных заслонок.

Таблица 9.1.1. Конфигурация входов/выходов в контроллерах TAC Xenta

Блок I/O TAC	DI	DI статус	DO	DO руч. упр	UI	TI	AO	AO руч. упр
Xenta 411	10	-	-	-	-	-	-	-
Xenta 412	10	10	-	-	-	-	-	-
Xenta 421	4	-	5	-	-	-	-	-
Xenta 422	4	4	5	5	-	-	-	-
Xenta 451	-	-	-	-	4	4	2	-
Xenta 452	-	4	-	-	4	4	2	2
Xenta 471	-	-	-	-	8	-	-	-
Xenta 491	-	-	-	-	-	-	8	-
Xenta 492	-	-	-	-	-	-	8	8
Xenta 301	4	-	6	-	4	4	2	-
Xenta 302	4	-	4	-	4	4	4	-
Xenta 281	2	-	3	-	4	-	-	3
Xenta 282	2	-	4	-	4	2	-	4

DI, DO: Цифровой вход, выход

UI, TI: Универсальный, термисторный вход

AO: Аналоговый выход

Контроллеры TAC Xenta решают следующие задачи:

- прогрев калорифера перед пуском вентиляторов и открытием воздушной заслонки до достижения температурой обратной воды в системе отопления значения, вычисленного в зависимости от температуры наружного воздуха;
- аварийный останов системы, в случае невозможности ее прогрева перед стартом, по истечению установленного интервала времени;
- поддержание заданной температуры воздуха в канале воздуховода зимой в режиме отопления;
- приоритетное над поддержанием температуры воздуха поддержание температуры обратной воды в контуре отопления на уровне значения, вычисленного в зависимости от температуры наружного воздуха;
- поддержание заданной температуры и влажности воздуха в канале воздуховода летом (в режиме охлаждения);
- автоматический переход на летний или зимний режим работы по среднесуточному значению температуры наружного воздуха;
- управление работой вытяжного и приточного вентиляторов в зависимости от заданного режима: понижением скорости вращения ночью либо без понижения, либо с отключением установки на ночь;
- защита калорифера при возникновении угрозы замораживания путем остановки вентиляторов, закрытия воздушной заслонки и прогрева калорифера;

- остановка системы в случае неисправности приточного и вытяжного вентиляторов;
- остановка системы в случае загрязнения воздушного фильтра;
- остановка системы в случае срабатывания пожарной сигнализации;
- управление работой установки с помощью панели оператора;
- накопление и выдача на панель оператора информации о возникших авариях с указанием даты и времени их возникновения и снятия.

Цифровые входы (DI). DI используются для получения аварийных сообщений, индикации состояний, подсчета импульсов (например, для замера величины протока) и т. д. Отслеживание сигналов аварии также является одной из важных функций DI. Существует возможность запрограммировать счетчик импульсов при поступлении сигнала аварии и передачу данных для рабочей статистики. Цифровые входы не требуют внешнего источника питания.

Универсальные входы (UI). Универсальные входы могут быть определены как аналоговые или цифровые. Для каждого UI задается верхний и нижний предел. При использовании в качестве цифровых универсальные входы могут определять положения переключателей. Конкретный тип использования UI выбирается при помощи программы приложения.

Цифровые выходы (DO). Цифровые выходы предназначены для управления вентиляторами, насосами и другими подобными устройствами. Сигнал на выходе может иметь широтно-импульсную модуляцию (для трехпозиционного управления).

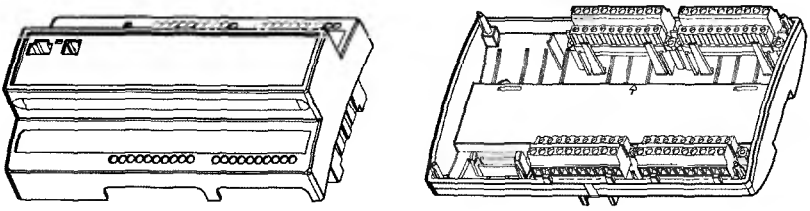
Аналоговые выходы (AO). Предназначены для управления приводами или для соединения с другими контроллерами.

Внешний вид контроллера показан на рис. 9.1.1. Контроллер состоит из двух частей: контактной и электронной (рис. 9.1.2).

К TAC Xenta 300 подключаются датчики, преобразователи и прочие управляющие устройства. Все провода соединяются с контактной частью контроллера, поэтому электронную часть можно извлекать для технического обслуживания без нарушения физических контактов. Потеря питания не оказывает влияния на энергонезависимую память контроллера. Все значения, имеющиеся в памяти, восстанавливаются при повторном запуске.

Контроллеры TAC Xenta могут подключаться к системе диспетчеризации TAC Vista (см. 10.3.1.), что позволяет считывать показатели работы насосов, вентиляторов и т. п. в виде цветных графиков и распечатывать их. Существует возможность считывать показания температур и аварийные сообщения, а также при необходимости изменять уставки, в том числе, временные.

Рис. 9.1.1. Общий вид контроллеров TAC Xenta



а *б*

Рис. 9.1.2. Конструкция контроллера TAC Xenta:
а – электронная часть,
б – контактная часть

Передача данных между системами автоматики и диспетчеризации возможна по проводным, телефонным, оптическим, радио каналам, включая системы сотовой связи.

Порт RS232 контроллера TAC Xenta 300 предназначен для подключения к компьютеру графического инструмента программирования TAC Menta, загрузки и наладки программ. Данный порт также может использоваться для соединения TAC Vista с отдельными контроллерами TAC Xenta.

TAC Xenta 300 может использоваться в различных конфигурациях:

- отдельный контроллер;
- небольшая сеть контроллеров с панелями оператора;
- контроллеры, TAC Xenta OP и другое оборудование, связанные между собой через необходимые адаптеры и подключенные к центральному диспетчерскому пункту TAC Vista.

Технические характеристики контроллеровTAC Xenta приведены в табл. 9.1.2.

Таблица 9.1.2. Технические характеристики контроллеров TAC Xenta

Напряжение питания, В, Гц или В, постоянного тока	24±20%, 50/60 19-40
Потребляемая мощность, не более, Вт	5
Допустимая температура, °С • при хранении • при работе	 От –20 до +50 От 0 до +50
Допустимая влажность, %	90, без конденсации
Часы реального времени: • погрешность при +25 °С, мин в год • продолжительность работы при потере питания, ч	 12 72
Цифровые входы (X1-X4): • напряжение на разомкнутых контактах, В, постоянного тока • сила тока через замкнутые контакты, мА, не более • - длительность входного импульса, мс, не более	 33 4 20
Универсальные входы (U1-U4): при использовании в качестве цифровых входов: • напряжение на разомкнутых контактах, В, постоянного тока • сила тока через замкнутые контакты, мА • длительность входного импульса, не менее, мс при использовании в качестве термисторных входов: • термисторный датчик TAC , Ом, при °С • диапазон измерения, °С при использованин в качестве потенциальных входов: • сигнал на входе, В, постоянного тока • сопротивление на входе, кОм • погрешность, % от шкалы	 26 4 20 1800 при 25 от –50 до +150 0–10 100 1
Входы датчиков (B1–B4): • термисторный датчик TAC, Ом при °С • диапазон измерения°С	 1800 при 25 от –50 до +150
Цифровые выходы (реле K1-K6 или K1-K4): • управляющее напряжение, релейные выходы, В переменного тока • сила тока, не более, А	 до 230 2
Аналоговые выходы (Y1-Y2, или Y1-Y4): • управляющее напряжение, В, постоянного тока • сила тока защиты от коротких замыканий, не более, мА • отклонение, не более, %	 0–10 2 ±1
Средства коммуникации: • TAC Menta; модем, б/с • TAC Vista (от версии 3.1), включение программы приложения • TAC Xenta OP	 9600, RS232, RJ45 TP/FT-10, контакты под винт TP/FT-10, модульный разъем
Стандарт LonMark®: • совместимость • приложение	 LonMark Interop. Guidelines v 3.0 LonMark Functional Profile: Plant Controller

9.1.2. ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ Xenta OP

Для управления системами автоматики на базе контроллеров Xenta используется пульт Xenta OP. Внешний вид панели оператора представлен на рис. 9.1.3.

Панель оператора также подключается к сети и может быть использована как общая для всех контроллеров. Подключение – через разъем контроллера или непосредственно к сетевому кабелю (порт TAC Xenta OP).

IBIK

Вся информация на панели оператора представлена в виде вложенных меню. Для входа в какой-либо раздел используется клавиша «ввод», а для выхода на верхний уровень меню – клавиша «выход». Передвижение по разделам и переход от одного экрана к другому в пределах одного раздела осуществляется клавишами «вверх» и «вниз». Все значения в разделах меню имеют пояснения и единицы измерения. Для двоичных сигналов значение 1 соответствует положению «включено», 0 – «выключено». Передвижение в пределах одного экрана от одного значения к другому, ввод новых значений осуществляется клавишей «ввод». Отказ от изменения значения – клавиша «выход». Изменение выбранных значений (тех, на которых стоит курсор) происходит при нажатии клавиш «+» и «-». Измененные в процессе эксплуатации рабочие уставки сохраняются при длительном отключении питания. Панель оператора можно подключать к любому контроллеру Xenta 301 и 302.

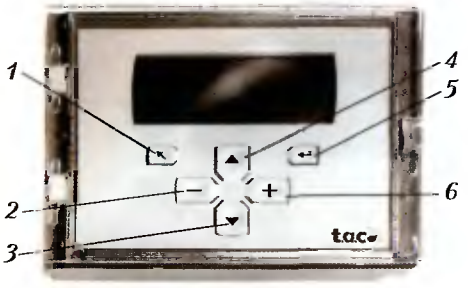


Рис. 9.1.3. Внешний вид панели оператора Xenta OP:
1 – выход; *2* – уменьшение; *3* – вниз; *4* – вверх; *5* – ввод; *6* – увеличение

9.1.3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ТАС Xenta

Контроллеры ТАС Xenta являются свободно программируемыми устройствами. То есть программы их работы составляются исходя из требований технического задания для конкретной установки, затем заносятся в контроллер. Для этого используется графический инструмент программирования ТАС Menta, который загружается в персональный компьютер. Далее пользователь составляет алгоритм работы системы, используя графические модули ТАС Menta (рис. 9.1.4). Процедура описана в руководстве *Engineering Application in TAC Menta*. Устройство конфигурируется в следующих вариантах:

- работа в индивидуальном режиме;
- работа в сети.

При конфигурировании работы в сети каждое устройство сети должно получить свой сетевой адрес.

Для облегчения программирования разработана библиотека элементов автоматики ТАС в формате AutoCad 2000. После открытия файла «Библиотека TAC.dwg"/Dising Center/Blocks на экране появится

IBIK

список всех блоков, находящихся в библиотеке (рис. 9.1.5). Нужный блок путем перетаскивания мышью вставляется в формируемый пользователем блок управления объектом.

В библиотеке имеется ряд блоков, основными из которых являются следующие:

- мастер (командный блок управления системой);
- управление насосом;
- управление вентилятором;
- фильтр;
- термисторный вход;
- зима-лето;
- прогрев;
- нагрев;
- рекуператор;
- управление теплообменником охлаждения;
- осушка;
- увлажнение;
- регулятор давления.

Рис. 9.1.4. Инструмент программирования (принцип работы)

В библиотеку также включены общие электрические обозначения и элементы.

Для примера приведем описание некоторых блоков.

Блок «Мастер»

Является командным блоком управления системой, в котором предусмотрено:

- задержка на отключение вентилятора при электронагревателе;
- задержка на перезапуск системы;
- экстренная остановка системы от внешнего сигнала;
- остановка системы по критической аварии и пожаре;
- указание на аварию (мигание аварийной лампы);
- сброс аварий системы.

В зависимости от положения переключателя «Автомат/Отключ/Ручное»можно выбрать один из режимов работы:

- автоматический – включение системы либо от таймера (Enable_Timer =1) либо включение вручную с панели оператора или VISTA;
- ручной – прямое включение от переключателя.

При команде «ПУСК» блок выдает команду Start_Progrev, что ведет к включению модуля прогрева и подготовке прямой (обратной) воды калорифера (при водяном нагреве). После прогрева, на МАСТЕР приходит сигнал Progrev_OK, и происходит выдача сигнала на включение вентилятора.

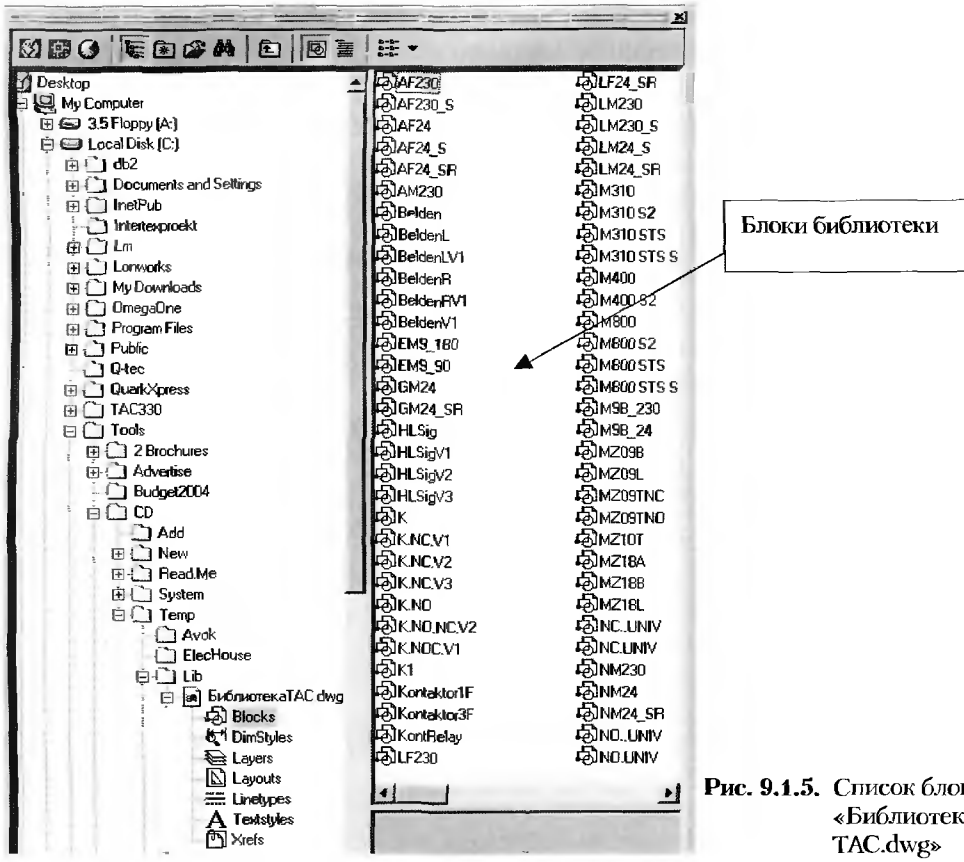


Рис. 9.1.5. Список блоков «Библиотека TAC.dwg»

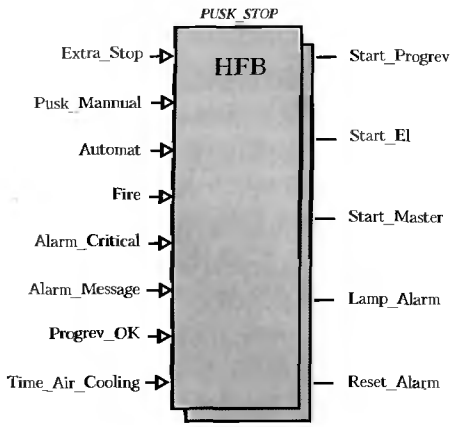


Рис. 9.1.6. Схема подключения блока «Мастер»

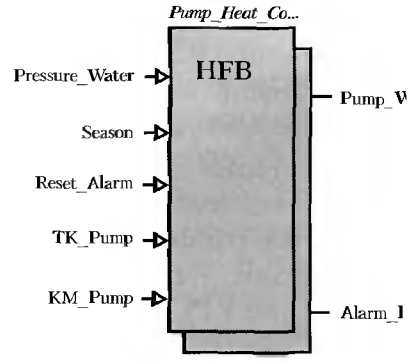


Рис. 9.1.7. Схема подключения блока «Управление насосом»

Таблица 9.1.4. Входы/выходы блока «Мастер»

Имя	Тип	Значение
Extra Stop	Binary	Вход, экстренная остановка (внешняя кнопка)
Pusk_Manual	Binary	Вход, ручное управление (от переключателя на щите)
Automat	Binary	Вход, автоматическое управление (от переключателя на щите)
Fire	Binary	Вход, пожарная сигнализация
Alarm_Critical	Binary	Вход, критическая авария
Alarm_Message	Binary	Вход, авария уведомление
Progrev_OK	Binary	Вход, подтверждение прогрева (от модуля **ПРОГРЕВ**)
Time_Air_Cooling	Binary	Вход, время обдува в секундах (от модуля **ЭЛ. НАГРЕВ**)
Reset_Alarm	Binary	Выход, сброс аварии
Start_Progrev	Binary	Выход, старт прогрева
Start_E1	Binary	Выход, старт электронагрева
Start_Master	Binary	Выход, старт вентиляторов
Lamp_Alarm	Binary	Выход, лампа авария

Структура блока «Мастер» приведена на рис. 9.1.8.

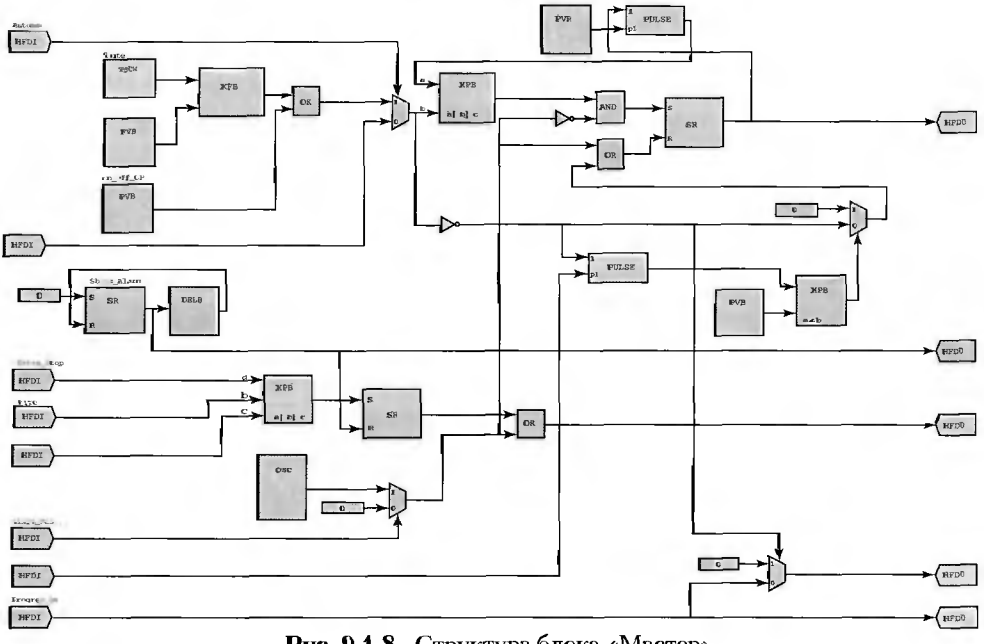


Рис. 9.1.8. Структура блока «Мастер»

Блок «Управление насосом»

Основной режим работы блока управления насосом – автоматический. В этом случае насос запускается автоматически в режиме «ЗИМА» и останавливается в режиме «ЛЕТО». В установленное время происходит прокрутка насоса.

В ручном режиме насос включается с панели оператора и прокрутка не происходит.

Таблица 9.1.5. Входы/выходы блока «Управление насосом»

Имя	Тип	Значение
Pressure_Water	Binary	Вход, датчик давления воды
Season	Binary	Вход, сезон (1–зима, 0–лето)
Reset_Alarm	Binary	Вход, сброс аварии
TK_Pump	Binary	Вход, термоконтакты насоса
KM_Pump	Binary	Вход, статус контактора насоса
Pump_Work	Binary	Выход, старт насоса
Alarm_Pump	Binary	Выход, авария насоса

Таблица 9.1.6. Типы аварийных сообщений

Alarm_Pump_1 No water in heater	Нет воды в калорифере
Alarm_Pump_2 Breaking TK	Размыкание термоконтактов насоса
Alarm_Pump_3 No Status Pump	Нет статуса контактов

Авария *Alarm_Pump_1 No water in heater*, не приводящая к остановке машины в целом (на случай сезона «ЛЕТО»), не требует подтверждения, но блокирует пуск насоса. Аварии 2 и 3 блокируют пуск установки в целом и требуют квитирования оператором.

Аналогично составлены и другие программные блоки.

9.1.4. РЕЖИМЫ РАБОТЫ

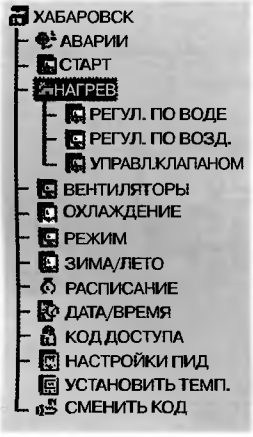


Рис. 9.1.10. Структура меню панели оператора

Ниже приведено описание некоторых разделов меню режимов работы, структура которого показана на рис. 9.1.10. Рядом с изображением дисплея, при входе в соответствующий раздел даны необходимые пояснения.

Аварии

```
№     АВАРИИ KKK/NNN
---- Alarm Text ----
--- Signal Name ----
YY-MM-DD  HH:MM  ACK
```

В этом разделе находятся все аварийные сообщения, возникшие в системе.

Представлен порядковый номер/общее число аварий, текст аварийного сообщения, дата и время аварийного сообщения, статус аварии. Аббревиатура «ON» указывает на возникновение аварийной ситуации, «OFF» – ее снятие. «АСК» – указывает на то, что авария подтверждена оператором, но условия ее возникновения еще не сняты. Подтверждение аварийного сообщения происходит при нажатии клавиши «ВВОД». Снятая и подтвержденная авария удаляется из списка аварийных сообщений. Переход к следующему по списку аварийному сообщению осуществляется клавишами «вверх» и «вниз».

```
№   СТАРТ ВЕНТ.  ~#
ПУСК ~#  ПРОГРЕВ ~#
ВРЕМЯ РАЗОГРЕВА,МИН
МАКС:  ~#  РЕАЛ:  ~#
```

Старт

«СТАРТ ВЕНТ» – показывает состояние вентиляторов;

«ПУСК» – включение/выключение системы;

«ПРОГРЕВ» – включение режима нагрева.

На дисплее также отображается максимальное и текущее время прогрева. Если за установленное время калорифер не прогреется до нужной температуры, пуск вентиляторов не произойдет.

```
ae  СТАРТ
СБРОС АВАРИИ ~#
```

Пуск установки возможен только после устранения и сброса всех аварий. Сброс аварий осуществляется автоматически после повторного запуска, однако можно сбросить аварии в этом разделе и без запуска установки. После установки 1 в этой строке аварии сбросятся, через некоторое время (3–4 с), значение опять вернется в 0. Естественно, для того, чтобы это произошло, должны быть устранены условия, вызвавшие аварию.

Нагрев

В этом разделе находятся три подраздела: регулирование по воде, регулирование по воздуху и управление клапаном. Раздел регулирования по воде определяет работу программного регулятора, который поддерживает температуру обратной воды не ниже минимальной. Раздел регулирования по воздуху показывает работу регулятора для поддержания температуры воздуха в канале. Третий раздел позволяет управлять клапаном вручную.

Управление клапаном

```
ae УПРАВЛ.КЛАПАНОМ
Y2 - РУЧН/АВТ ~#
ОТКРЫТЬ НА ~### %
СОСТОЯНИЕ  ~### %
```

В этом подразделе осуществляется переключение ручного/автоматического режима работы клапана отопления, задание степени открытия в ручном режиме и контроль реального состояния клапана. Состояние клапана и задание отображаются в процентах от максимально возможного.

Управление вентиляторами

```
ae  ВЕНТИЛЯТОРЫ В1
СКОРОСТЬ ~#
СОСТ.В1/1 ~# В1/2 ~#
КОНТАКТОР ~#
```

Устанавливается скорость работы вентилятора В1. Скорость может принимать значение 0, 1, 2. Значение 0 выключает вентилятор. Отображаются состояния выходов контроллера для включения первой и второй скоростей соответственно и состояние магнитного пускателя (контактора). Предусмотрено аварийное отключение вентилятора и остановка системы в случае, если после выдачи контроллером команды на включение, контактор не сработал. Это может произойти, например, при неисправности электрической цепи или срабатывании автоматических выключателей. В этом случае на панель оператора выдается аварийное сообщение.

Охлаждение

```
ae   ОХЛАЖДЕНИЕ   ~#
УСТАВКА ТЕМП.~##.#°C
РЕАЛЬН.ТЕЗ   ~##.#°C
СОСТ.КЛАПАНА  ~###%
```

Задается уставка температуры, отображается реальное значение и состояние клапана. Единица в правом верхнем углу показывает включение режима охлаждения.

```
ab    ОХЛАЖДЕНИЕ
Y3 РУЧН.УПР ~#
ОТКРЫТЬ НА ~### %
СОСТОЯНИЕ   ~### %
```

Кроме того, в этом разделе осуществляется переключение ручного/автоматического режима работы клапана охлаждения, задание степени открытия в ручном режиме, контроль реального состояния клапана. Состояние клапана и задание отображаются в процентах от максимально возможного.

Режим день-ночь

```
ab     РЕЖИМ   ~#
1-ПОСТОЯННО ВКЛ.
2-НОЧЬ ВЫКЛ.
3-НОЧЬ ВЕНТ.СКОР.1
```

Устанавливается режим работы системы в ночное и дневное время.

Дата и время

```
ab     DATA/ВРЕМЯ

YY-MM-DD CurWeekDay
HH:MM
```

Раздел устанавливает текущую дату и время. День недели устанавливается автоматически.

9.1.5. НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

```
ab  НАСТРОЙКИ ПИД
HeatingDz ~##.#
HeatingG ~###.#
HeatingTi ~####
```

Разделы меню, расположенные ниже раздела «Код доступа» (рис. 9.1.10), являются служебными, они доступны только представителям пусконаладочной организации. Одним из таких разделов является раздел «Настройка ПИД». Программный ПИД-регулятор для поддержания температуры воздуха в канале управляет работой клапана обогрева калорифера. Регулятор сравнивает измеренное и установленное значения температуры воздуха, и выдает пропорциональный управляющий сигнал на привод клапана. «HeatingDz» – параметр «зона нечувствительности» программного ПИ-регулятора. Величина задается в градусах. Если величина изменения регулируемого параметра не выходит за величину установленную в этом поле, выходной сигнал регулятора не изменяется до следующего программного цикла.

«HeatingG» – коэффициент усиления программного ПИД-регулятора. Параметр задает коэффициент пропорциональности, между входным и выходным сигналом регулятора. Слишком большие значения этого параметра могут привести к неустойчивости системы регулирования, слишком маленькие – к неэффективному регулированию.

«HeatingTi» – время интегрирования программного ПИД-регулятора в секундах. Параметр определяет скорость реакции регулятора на возмущающие воздействия (рассогласования установленной и реальной температур). Слишком маленькое значение ухудшает устой-

чивость системы, приводит к перерегулированию и возникновению колебаний, слишком большое приводит к замедленному отклику на изменения параметра, большим рассогласованиям регулируемой температуры и уставки.

Параметр «Время хода штока клапана» задается, исходя из паспортных данных на привод клапана.

```
ac  НАСТРОЙКИ ПИД
StrTimeAir  ~###
```

Настроечные параметры остальных программных ПИД-регуляторов аналогичны. «HeatingRetDz», «Heating RetG», «HeatingRetTi», «StrTimeWater» – для регулятора, поддерживающего температуру воды в контуре обогрева.

Параметры «CoolingDz», «CoolingG», «CoolingTi», «StrTimeCooling» – для регулятора, поддерживающего температуру воды в контуре охлаждения.

9.2. КОНТРОЛЛЕРЫ СЕРИИ MICRONET, SATCHWELL CONTROL SYSTEMS, АНГЛИЯ

9.2.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Свободно программируемые контроллеры серии MicroNet являются универсальными и позволяют создать систему управления любыми несложными объектами, при управлении которыми допустимо время реакции системы управления на изменение состояния объекта более 0,4 с. Введя в контроллер соответствующую программу, можно осуществлять управление приборами, начиная от светофоров и заканчивая средней сложности технологическими системами, содержащими до 8 независимых контуров ПИД-регулирования, 4 независимых систем автоматического резервирования, 8 независимых временных графиков (по 28 событий в каждом) и т. д.

Таблица 9.2.1. Технические характеристики свободно программируемых контроллеров типа MN фирмы Satchwell, Англия

Технические характеристики	Тип контроллера			
	MN 300,	MN 440	MN 500	MN 620
Напряжение питания	24 В переменного тока, 50/60 Гц от трансформатора			
Максимальная потребляемая мощность, ВА		10	12	15
Универсальные входы	8	6	10	12
Цифровые входы	-	–	2	8
Аналоговые выходы	–	3 (0–10 В)	4 (0–10 В)	4 (0–10 В)
Дискретные выходы	4 (сим.)+3 (реле)	6 (сим.)	6 (реле)	8 (сим.)
Количество контуров ПИД-регулирования	6	7	8	8
Степень защиты	IP20		IP40	
Рабочая температура, °С	0–50			
Относительная влажность, %	5–95			
Габариты: ширина, высота, глубина, мм	155×107×50		244×165×55	

Контроллеры серии MicroNet (MN 300, MN 440, MN 500, MN 620) представляют собой свободно программируемые устройства, ориентированные, в основном, на управление установками кондиционирования воздуха и вентиляции, системами централизованного теплоснабжения и холодильными установками.

Конструктивно контроллеры выполнены в виде литого корпуса, в котором размещена печатная плата и съемные блоки винтовых клеммных зажимов низковольтных электрических соединений.

Контроллер MN-300 имеет 8 входов и 7 выходов; MN-440 – 6 входов и 9 выходов; MN-500 – 12 входов и 10 выходов; MN-620 – 20 входов и 12 выходов. Универсальные входы позволяют подключать к контроллеру любой сигнал: аналоговый (постоянное напряжение в диапазоне от 0 до 10 В или сопротивление от 0,25 до 9,75 кОм) или дискретный (сухой, гальванически развязанный контакт) с помощью перемычек, расположенных на печатной плате контроллера (рис. 9.2.1).

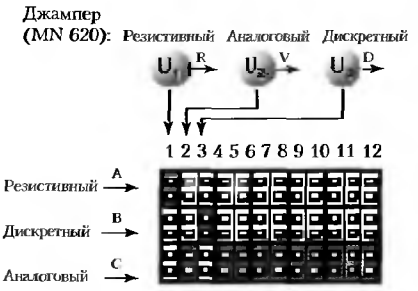


Рис. 9.2.1. Выбор вида сигнала на универсальных входах для контроллера MN-620

Контроллеры имеют следующие особенности:

- свободно программируются с помощью графического языка FBD (function block diagram – язык функциональных блоков);
- могут работать в составе различных сетей передачи данных (см. 10.3.3);
- имеется выход напряжения 15 В постоянного тока для питания датчиков влажности, давления и других подключенных устройств;
- возможность установки модуля часов реального времени при работе в автономном режиме (в отсутствие передачи времени по сети от интерфейса пользователя или системы диспетчерского управления);
- электрически программируемое постоянное запоминающее устройство контроллера обеспечивает хранение данных в течение 10 лет (при нормальных условиях эксплуатации).

Для индикации параметров и их изменения в процессе наладки и эксплуатации предусмотрено два вида дисплея: экран-клавиатура с текстовым меню MN-LCD (рис. 9.2.2) и графический сенсорный дисплей MN-Touch (рис. 9.2.3).

Для управления одиночным (не включенным в сеть управления) контроллером используется дисплей MN-LCD.

При наличии в сети нескольких контроллеров возможна реализация централизованного управления контроллерами с помощью дисплея

MN-Touch, оснащенного графическим сенсорным дисплеем.

MN-LCD представляет собой текстовый дисплей с системой меню, с помощью которого регулируются и настраиваются параметры контроллеров.

Рис. 9.2.2. Дисплей MN-LCD

Дисплей имеет встраиваемый модуль часов реального времени с отдельным электропитанием от литиевой батареи, обеспечивающей ход системных часов при отсутствии питания.

Рис. 9.2.3. Дисплея MN-Touch

По сравнению с MN-LCD дисплей MN-Touch позволяет пользователю дополнительно осуществлять:

- просмотр гистограмм (графиков) изменения выбранных параметров во времени (данные графиков хранятся в контроллерах);
- просмотр параметров в виде интуитивно понятных анимированных пиктограмм;
- просмотр всех параметров с установленными признаками отказов (аварийными пределами);
- доступ к чтению и записи параметров, к экрану системных параметров и подтверждению аварий.

9.2.2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРОВ СЕРИИ MICRONET

Программирование контроллеров серии MN осуществляется при помощи персонального компьютера (ПК) с использованием пакета сервисного объектно-ориентированного программного обеспечения VisiSat Configuration Tool.

VisiSat Configuration Tool представляет собой гибкий, интегрированный программный пакет проектирования систем управления, предназначенный для работы с операционными системами Microsoft – Windows NT и Windows 2000 Professional. Пакет VisiSat Configuration Tool используется совместно с графическим 32-разрядным интерфейсом Microsoft Visio 2000 для графического отображения управляющих элементов и структуры приложения. Пакет предназначен для контроллеров MN 300, MN 440, MN 500, MN 620, жидкокристаллических дисплеев и дисплеев с сенсорным экраном. С помощью пакета пользователь может создавать прикладные программы в соответствии с конкретными требованиями, изменять значения параметров, задавать требуемые свойства и загружать прикладные программы в автономные контроллеры или контроллеры, работающие в сети.

Особенностью пакета VisiSat Configuration Tool является возможность понятного графического представления стандартных алгоритмов и функций управления, а также наличие набора удобных средств, позволяющих автоматизировать выполнение рутинных процедур.

Функциональные модули (объекты) размещаются в окне интерфейса в виде мнемосхем (рис. 9.2.4). Кроме того, некоторые объекты имеют набор редактируемых свойств. При проектировании из библиотеки выбираются необходимые блоки и переносятся мышкой компьютера на чертеж. Затем выбранные блоки соединяются в соответствии с разработанным алгоритмом. Таким образом, можно реализовать любой алгоритм управления объектом. В процессе наладки системы программные блоки и связи между ними можно менять. После автоматической компиляции готовой программы (перевода на язык ассемблера, используемого в контроллере микропроцессора) программа записывается в ПЗУ контроллера. При этом один контроллер может управлять несколькими независимыми объектами, несколько контроллеров можно объединять в сеть.

Экран монитора ПК с изображением набранной программы управления центральным кондиционером показан на рис. 9.2.5.

Требования к аппаратному обеспечению пакета VisiSat Configuration Tool приведены в табл. 9.2.2.

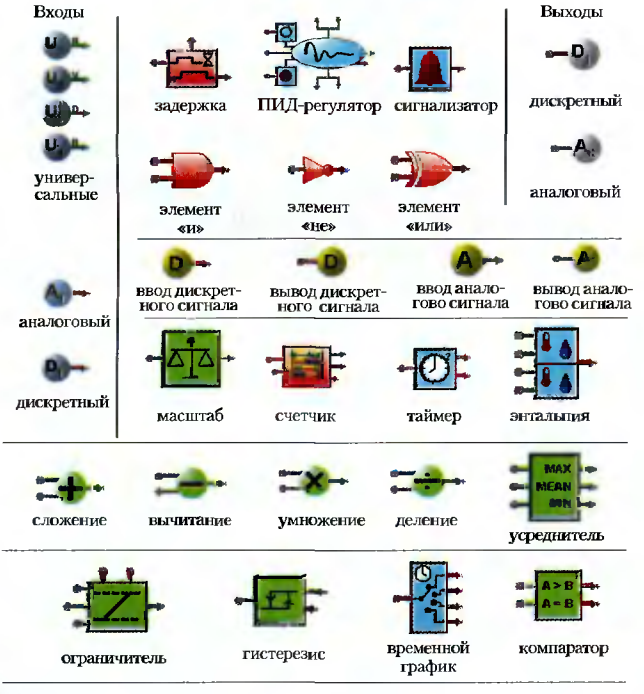


Рис. 9.2.4. Основные типовые стандартные программные блоки VisiSat Configuration Tool

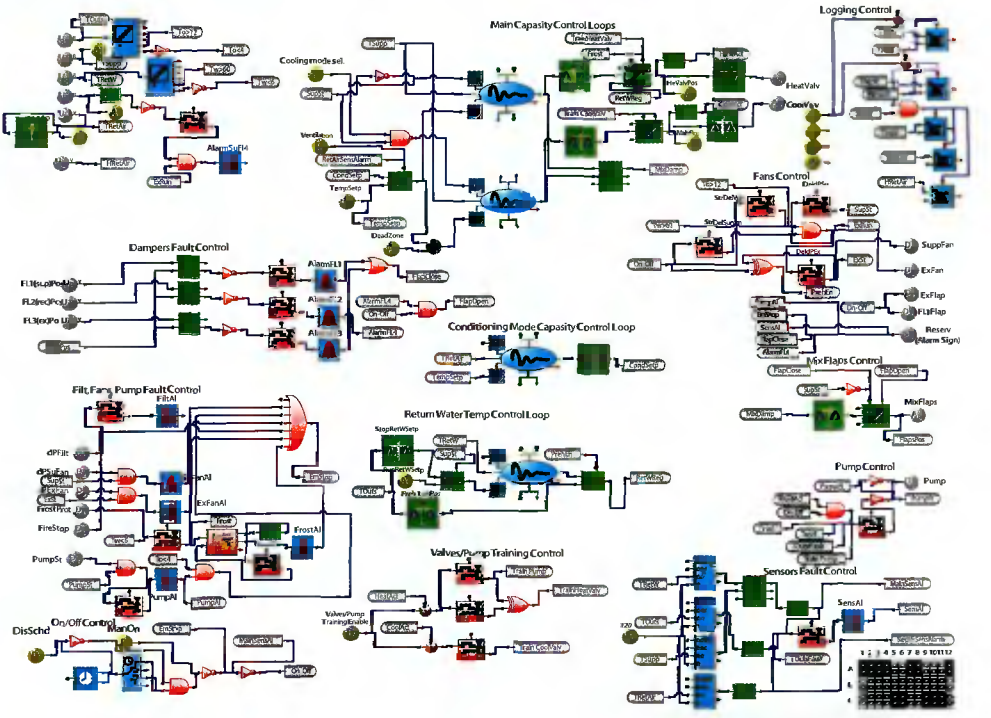


Рис. 9.2.5. Программа управления центральным кондиционером на базе контроллера MN 620

Таблица 9.2.2. Минимальная конфигурация персонального компьютера (ПК)

Тип	Настольный или портативный ПК
Процессор	Pentium II, тактовая частота минимум 233 МГц
ОЗУ	64 Мб (не менее); рекомендуемый объем – 128 Мб
Накопители на диске	Минимум 70 Мбайт для программ и 20 Мбайт для данных
Видеосистема	Графическая плата SVGA; монитор SVGA; минимальная разрешающая способность 800x600, рекомендуемая – 1024x768; 16 миллионов цветов
Операционная система	Windows NT 4.0 (service pack 5 или выше) или Windows 2000 Professional, Visio 2000
Привод CD-ROM	Для установки программного обеспечения

Дисплеи MN-LCD и MN-Touch также программируются с помощью пакета VisiSat Configuration Tool.

Перенастройка пользовательских параметров контроллера в процессе работы при применении MN-LCD осуществляется с помощью 4-строчного алфавитно-цифрового экрана и кнопок, расположенных на передней панели (рис. 9.2.3). С помощью кнопок-стрелок (▲, ▼) можно перемещаться по пунктам меню и изменять в соответствии с табл. 9.2.3 параметры контроллера. Переход на основную страницу меню и вверх на один уровень производится кнопкой ESC.

Сенсорный графический дисплей MN-Touch более сложный, однако, он позволяет пользователю контролировать и настраивать параметры как одного, так и группы контроллеров, объединенных в сеть.

IBIK

Таблица 9.2.3. Характеристики перенастройки параметров контроллера MN в процессе работы с помощью дисплея MN-LCD

Опция меню	Информация об изменении параметров
Страница по умолчанию	Позволяет программно назначить основную страницу для постоянного отображения времени, состояния оборудования и т. д.
Изменение аналоговой величины	Позволяет уменьшить или увеличить значение параметра в пределах заданного диапазона
Изменение дискретной величины	Позволяет выбрать состояние включения (On) или выключения (Off)
Изменение или установка параметров циклограммы	Позволяет выбрать дату и время в часах и минутах
Изменение или установка расписания нерабочих дней	Позволяет задавать даты начала и окончания отпускного периода и нерабочих дней

Дисплей может отображать до 16 меню, каждое из которых обеспечивает доступ к 16 (или менее) различным параметрам. Общее количество отображаемых параметров – до 256. Количество обслуживаемых контроллеров – до 63. Программирование и настройка дисплея не вызывают особых трудностей благодаря графическому изображению процессов и объектов в виде пиктограмм (рис. 9.2.6), хотя и требует определенных практических навыков.

Рис. 9.2.6. Мнемосимволы дисплея MN-Touch

Обращаться к элементам управления можно, касаясь их изображений на экране. Например, при касании надписи Disable Schedule блокируется расписание. Символ вентилятора показывает, вращается вентилятор или остановлен. Аварийный сигнал отображается подсвеченным колокольчиком и т. п. Создав дополнительно защищенное паролем сервисное меню, можно отключить отдельные блоки и устройства, изменить параметры настройки системы при наладке, проверить работоспособность устройства и отдельных элементов.

9.2.3. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ С КОНТРОЛЛЕРАМИ СЕРИИ MICRONET

Примером комплектного устройства автоматики, выполненного на базе контроллера MN440, может служить универсальная система автоматизации приточной установки с водяным калорифером мощностью 25–250 кВт, разработанная и поставляемая фирмой «ИВИК» (Украина). Функциональная схема автоматизации и схема электрическая принципиальная такой системы показана на рис. 9.2.7 и рис. 9.2.8 соответственно.

Комплектное устройство обеспечивает выполнение следующих функций управления:

- дистанционное управление включением (выносной пульт управления);
- управление приточным и вытяжным вентиляторами с суммарной мощностью до 9 кВт;
- управление циркуляционным насосом контура калорифера по запросам от регулятора и системы защиты от замораживания;
- задержка включения вентиляторов на время открытия воздушной заслонки;
- задержка выключения вентиляторов с целью обеспечения докипания фреона в испарителе (если установка содержит выносной компрессорно-конденсаторный блок);
- регулируемый прогрев калорифера перед стартом системы (как функция температуры наружного воздуха);
- поддержание температуры приточного воздуха либо температуры в помещении (по выбору) на заданном уровне с помощью электронного микропроцессорного управляющего контроллера;
- регулируемая рециркуляция вытяжного воздуха в целях экономии энергоресурсов (опция, в этом случае функция управления мощностью водяного калорифера охлаждения недоступна);
- плавное регулирование расхода теплоносителя через калорифер подогрева посредством 2(3)-ходового регулирующего вентиля седельчатого типа и циркуляционного насоса либо управление компрессорно-конденсаторным блоком (включено/выключено);
- функции управления и защиты реализуются электронным микропроцессорным управляющим контроллером;
- защита вентиляторов и циркуляционного насоса от перегрузки по току;

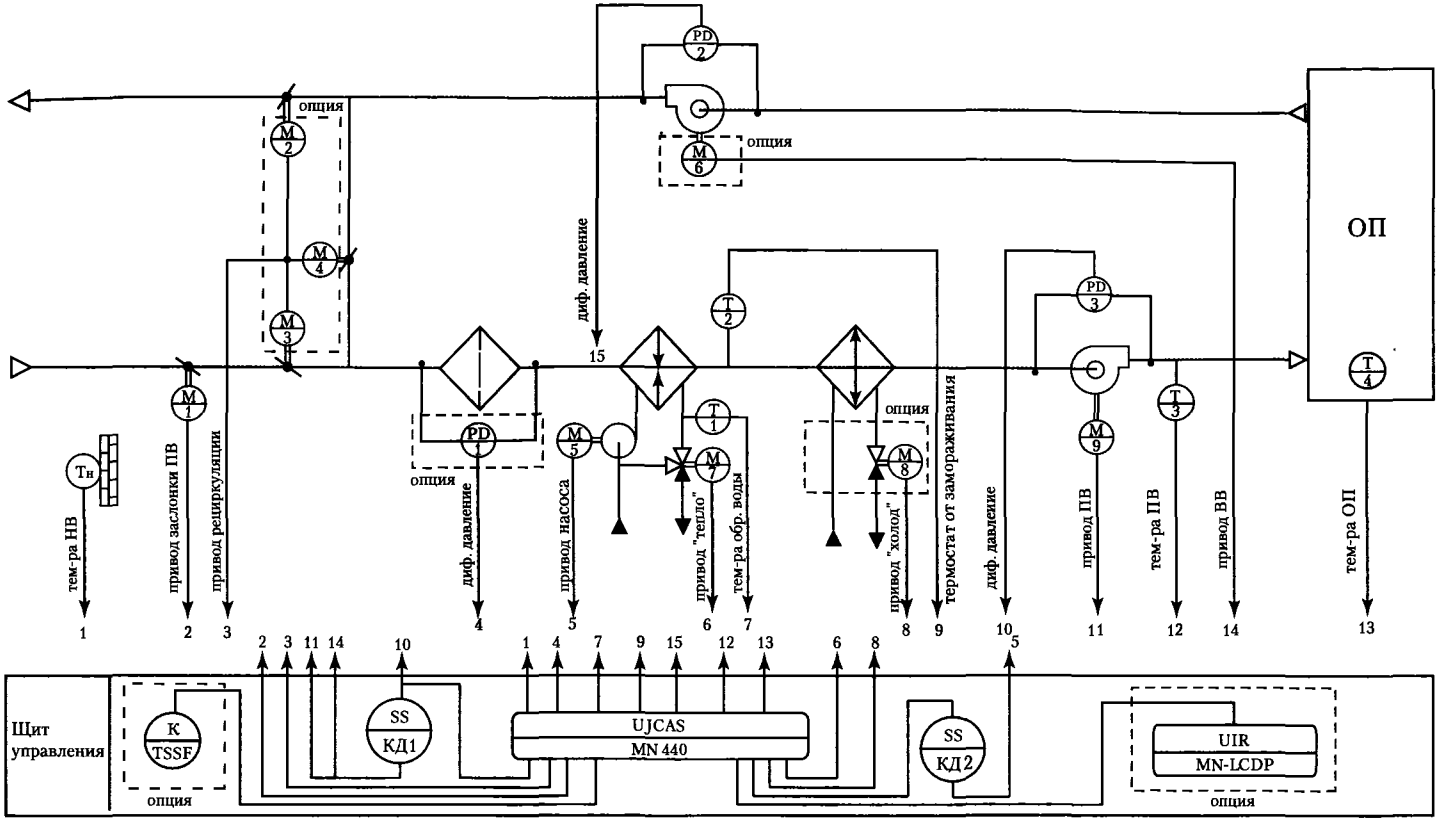


Рис. 9.2.7. Схема функциональная автоматизации приточной установки с водяным калорифером

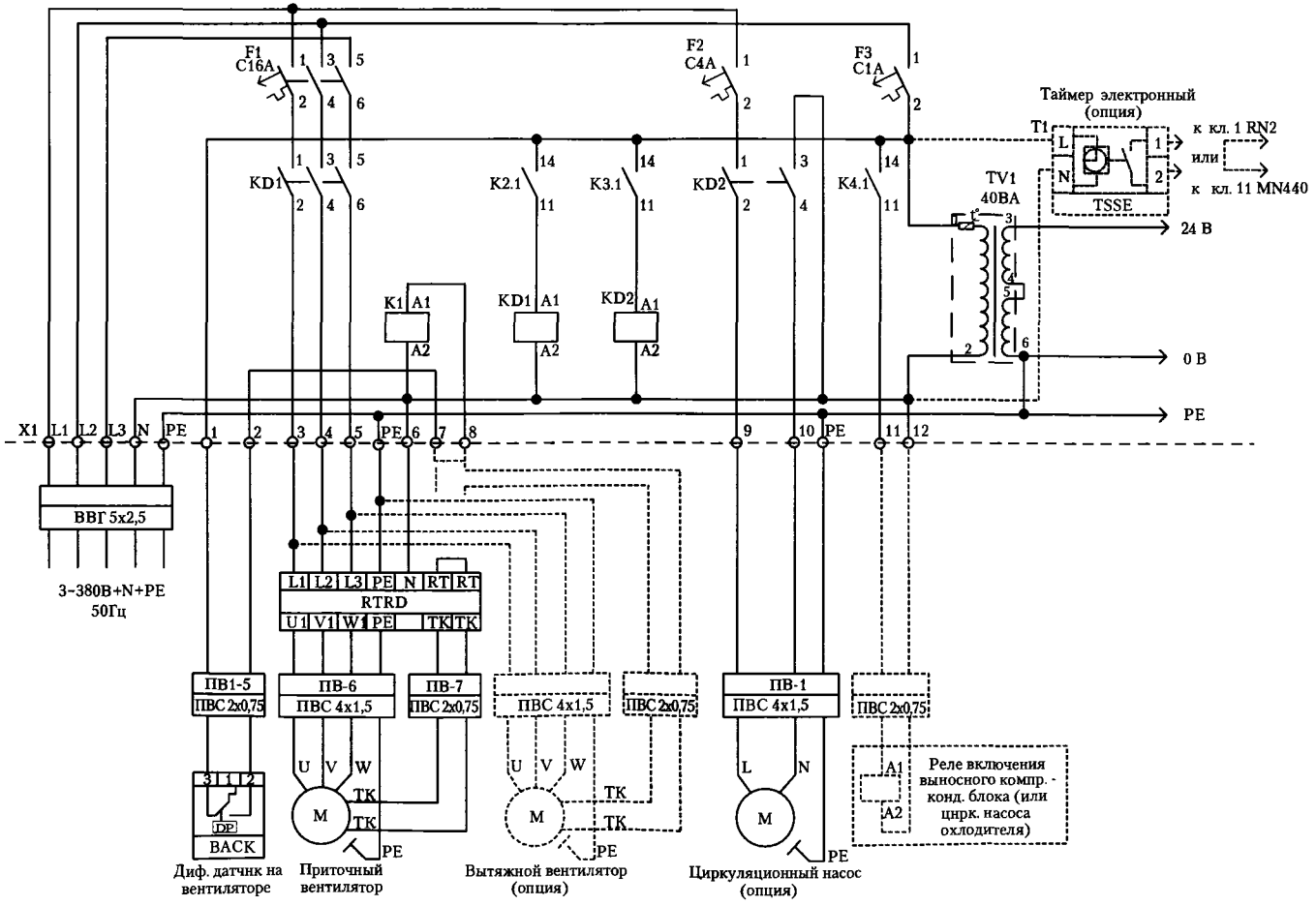


Рис. 9.2.8 (начало). Схема принципиальная электрическая системы автоматизации приточной установки с водяным калорифером

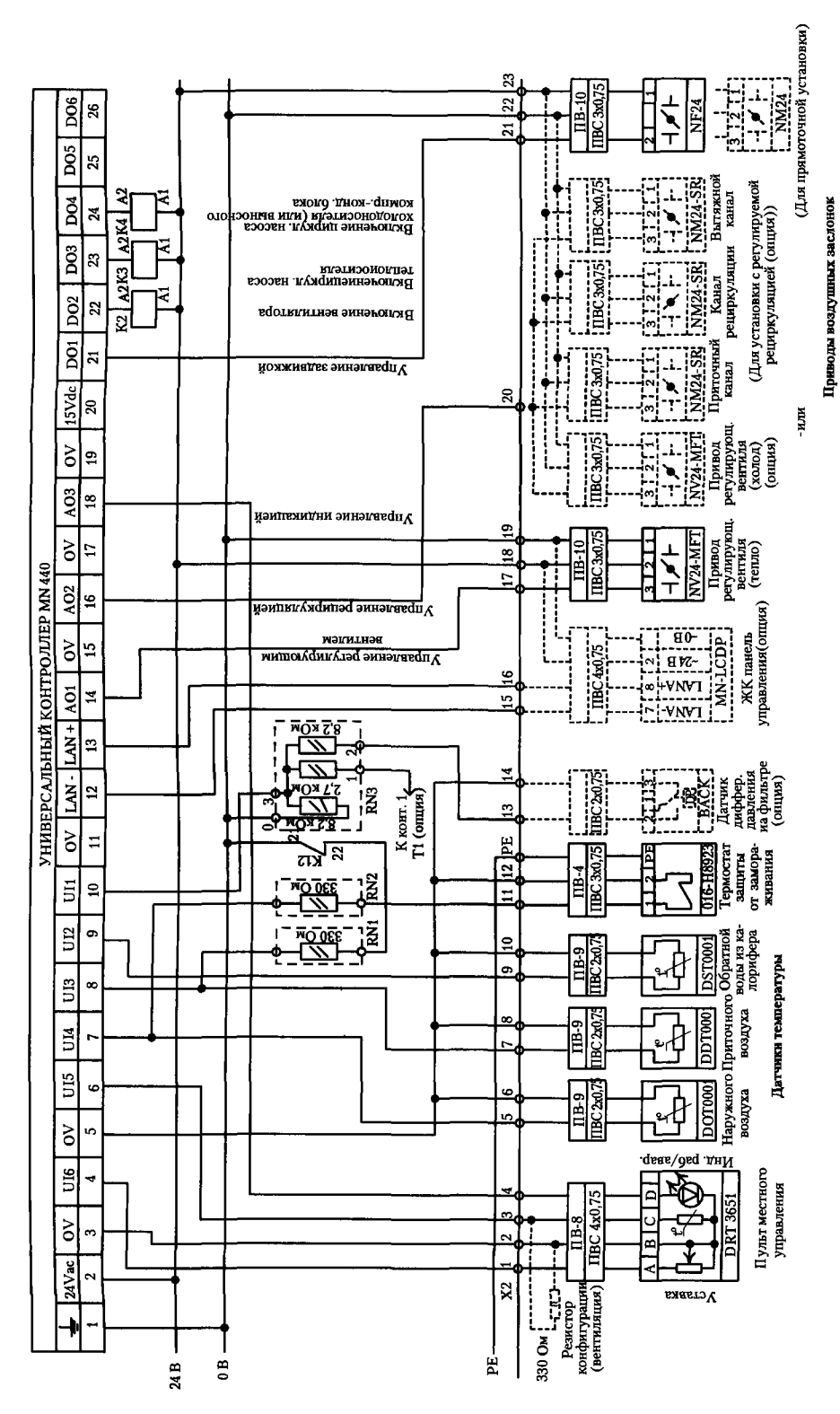


Рис. 9.2.8 (окончание). Схема принципиальная электрическая системы автоматизации приточной установки с водяным калорифером

- защита вентиляторов (например, Danvent) от перегрева по сигналу от встроенного защитного термоконтакта;
- 2-ступенчатая защита калорифера от замораживания по сигналам от термостата защиты от замораживания и датчика контроля температуры обратной воды из калорифера;
- индикация рабочего режима и аварийных сигналов (засорение фильтра (опция), авария вентилятора, защита от замораживания калорифера подогрева, авария выносного компрессорно-конденсаторного блока) с помощью сигнальной лампы на пульте местного управления;
- работа системы по расписанию с помощью электромеханического или электронного недельного таймера (опция);
- расширенный доступ к параметрам управления и контроля состояния с помощью выносной панели оператора с алфавитным ЖК-дисплеем (опция).

В базовый комплект поставки входят:

- электропривод воздушной заслонки с самозакрытием при обесточивании (для прямоточного варианта);
- датчик температуры наружного воздуха;
- канальный датчик температуры приточного воздуха;
- накладной датчик температуры обратной воды калорифера (на рисунке не показан)
- термостат защиты от замораживания;
- дифференциальный датчик давления для контроля работы приточного вентилятора;
- пульт местного управления с выключателем-задатчиком температуры, встроенным датчиком температуры в помещении и многофункциональным индикатором;
- щит управления.

Кроме подбора датчиков, исполнительных механизмов и щита управления в комплект поставки входит пакет документации на русском языке, содержащей подробные инструкции по монтажу, наладке и эксплуатации системы, технологические и электрические схемы, кабельный журнал и т. д.

Таким образом, заказчик, владеющий базовыми знаниями в области автоматизации, может самостоятельно смонтировать и наладить систему автоматики приточной вентиляции соответствующей конфигурации.

9.3. КОМПЛЕКС КОНТАР КМ 800, ОАО «МОСКОВСКИЙ ЗАВОД ТЕПЛОВОЙ АВТОМАТИКИ», РОССИЯ

9.3.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Комплекс КОНТАР КМ 800 (далее – комплекс) предназначен для автоматического управления и мониторинга параметров широкого спектра технологических процессов, в том числе для систем теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха.

Комплекс представляет собой распределенную систему, построенную на новейших электронных компонентах и использующую современную информационную технологию.

Свободно программируемые модули, входящие в комплекс, выполняют функции распределенного управления и сбора информации. Связаны они между собой общим протоколом связи.

При помощи инструментальной системы программирования KONGRAF пользователь может без профессиональных программистов, используя графический интерфейс, запрограммировать систему.

В комплекс входят три основных модуля:

- MC8 – контроллер измерительный;
- MC5 – контроллер измерительный;
- MR8 – модуль релейный.

Основным элементом комплекса КМ800 являются контроллер MC8, который выполняет следующие основные функции:

- измерение и преобразование в цифровую форму сигналов, поступающих от аналоговых и дискретных датчиков технологических параметров;
- формирование дискретных и аналоговых выходных сигналов для воздействия на технологический процесс;
- формирование алгоритмов функционирования, необходимых для управления конкретными технологическими процессами (например, аналоговое или импульсное ПИД-регулирование, различные виды формирования задания, программно-логическое управление, автоматическое включение резервного оборудования и т. д.);
- вывод информации на дисплей встроенного пульта оператора или на виртуальную панель на экране компьютера, ноутбука, карманного ПК или другого средства вычислительной техники, сочлененного с контроллером по каналу интерфейсной связи;
- обеспечение связи через интерфейс RS485 между контроллерами и другими модулями.

Имеются исполнения контроллеров с транзисторными и симисторными выходными ключами. Контроллеры, имеющие симисторные выходные ключи, могут непосредственно управлять исполнительными механизмами клапанов, заслонок, магнитными пускателями и т. д. Контроллеры с транзисторными выходными ключами обычно устанавливаются в комплекте с релейными модулями MR8, которые выполняют функции усиления мощности и расширения дискретных входов.

В состав MC8 входит микроконтроллер C8051, в котором сосредоточены функции многоканальных АЦП и ЦАП и несколько видов последовательных интерфейсов.

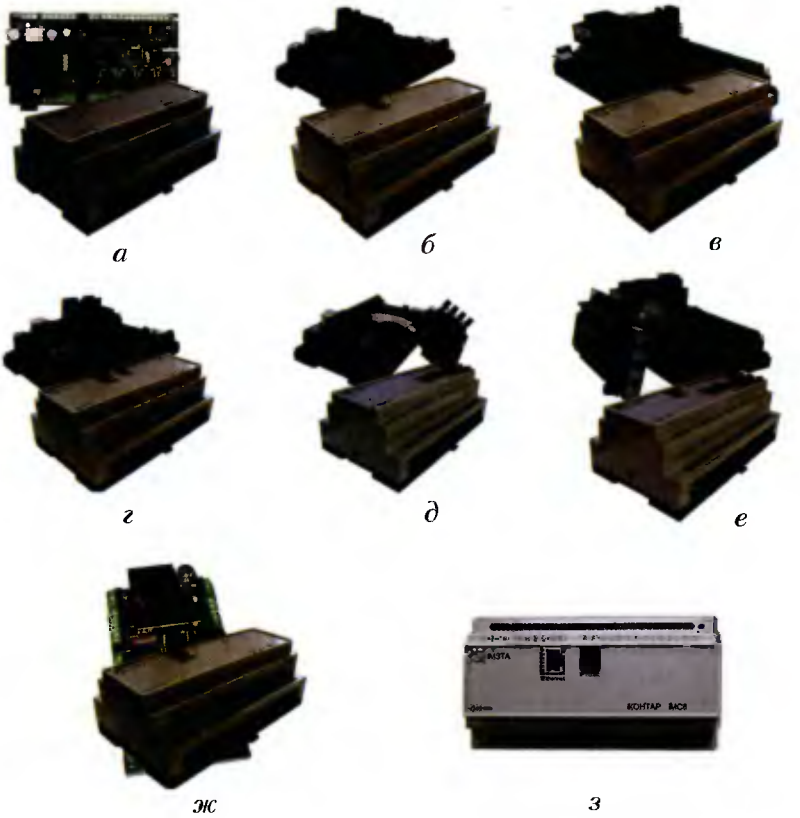


Рис. 9.3.1. Примеры различных исполнений контроллеров MC8:
а – базовое исполнение MC8;
б – исполнение с интерфейсом Ethernet;
в – исполнение с дополнительным интерфейсом RS232C;
г – исполнение с интерфейсом Ethernet и дополнительным интерфейсом RS232;
д – исполнение со встроенным пультом управления;
е – исполнение с интерфейсом Ethernet и со встроенным пультом управления;
ж – исполнение с интерфейсом LonWorks;
з – общий вид контроллера MC8

а

б

Рис. 9.3.2. Общий вид модулей:
а – MR8; *б* – MC5

Таблица 9.3.1. Основные технические характеристики контроллера MC8

Дискретные входы	
• количество	4
• тип выхода	сухой контакт
• напряжение, В	30
• ток, мА,	10
• частота коммутации, Гц, не более	300
• гальваническая изоляция	от всех остальных цепей
Аналоговые входы	
• количество	8
• вид сигнала	произвольный
• разрядность, бит	12
• коэффициент предварительного усиления	от 1 до 16
• подключаемые датчики:	
- термометры сопротивления, Ом	50, 100, 500, 1000
- термисторы, кОм	3,0; 10,0
- датчики постоянного тока, мА	0–5, 0(4)–20
- датчики постоянного напряжения, В	0–2,4; 0–10
• сухой контакт:	
- ток, мА	5
- напряжение, В	10
• термопары	ТПП (S), ТПР (В), ТВР (А-1), ТХА (К), ТХК (L)
• точность измерения, не менее, % от номинального диапазона входного сигнала	0,2
Дискретные выходы	
• тип выхода	сухой транзисторный контакт
• количество	8
• постоянный ток, А	0,01–0,15
• напряжение, В, не более	48
• тип выхода	симисторный ключ, гальванически изолированный
• количество	8
- переменный ток, А	0,02-0,5
- напряжение, 50(60) Гц, не более, В	48
Аналоговые входы	
• количество	2
• тип входа	произвольный
• на нагрузку не менее 2 кОм, В	0–10
• на нагрузку не более 2 кОм, мА	0–5
• на нагрузку не более 500 Ом, мА	0(4)–20
• разрядность, бит	12

IBIK

Таблица 9.3.2. Основные технические характеристики контроллера MC5

Дискретные входы	
• количество	4
• тип входа	сухой контакт
• напряжение, В	18
• ток, мА	5
• частота коммутации, Гц, не более	300
• гальваническая изоляция	от всех остальных цепей
Аналоговые входы	
• количество	5
• подключаемые датчики:	
- термометры сопротивления, Ом	500, 1000
- термисторы, кОм	3,0; 10,0
- датчики постоянного тока, мА	0-5, 0,4-20
- датчики постояиного напряжения, В	0-10
Дискретные выходы	
• количество	5
• тип выхода	сухой контакт (реле на переключение)
• постоянный ток, А	0 – 3,0
• иапряжеиие, макс, В	250
Аналоговые входы	
• количество	1
- на нагрузку не более 0,5 кОм	0(4)–20 мА
- на нагрузку не менее 2,0 кОм	0–10 В

Таблица 9.3.3. Основные технические характеристики контроллера MR8

Выходные ключи	
• количество	
• электромагнитные реле	4
• симисторные ключи + электромагнитные реле	2+2
• параметры симисториых ключей:	
- напряжеиие 50 Гц, В, не более	380,0
- переменный ток, А, не более	0,8
- переменный ток, А, не более	0,02
• параметры релейных ключей (переключающий контакт):	
- напряжение переменного тока 50 Гц, В, не более	250,0
- переменный ток, А, не более	3,0
Входы управления	
• количество	4
• тип входа	дискретные
• иапряжение постоянного тока на управляющем ключе, В, не более	35
• управляющий ток через управляющий ключ, мА, не менее	20
Дискретные входы (передача информации на верхний уровень)	
• количество	8
• напряжение постоянного тока на управляющем ключе, В, не более	35
• управляющий ток через управляющий ключ, мА, не более	10

9.3.2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА КОНТРОЛЛЕРА MC8

Основой контролера является плата, на которой расположены все элементы базового модуля. Базовый модуль выпускается в двух исполнениях: для питания от сети 220 В с транзисторными выходными ключами и для питания от 24 В с симисторными выходными ключами (с гальванической изоляцией).

Центральный процессор (CPU) представляет собой однокристальный микроконтроллер C8051, включающий многоканальные анало-

го-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи и поддерживающий несколько видов последовательных интерфейсов.

Устройство ввода информации содержит гальванический разделитель (ГР) для дискретных входных сигналов DI.1...DI.4 и конфигураторы для аналоговых входных сигналов AI.1...AI.8.

Устройство вывода информации включает в себя «сухие» ключи дискретных выходных сигналов DO.1...DO.8 и конфигурируемое устройство преобразования аналоговых выходных сигналов AO.1, AO.1.

Блок питания формирует напряжение постоянного тока для питания всех узлов контроллера.

Часы-календарь поддерживают текущее время и календарную дату, при отсутствии питания работают не менее 14 суток.

Интерфейсы: на основной плате – RS232C и RS485 (гальванически разделенный). Выполнены в виде дополнительно подключаемых интерфейсных субмодулей: Ethernet (содержит в себе миниатюрный сервер, поддерживающий web-страницу, RS232C, LonWorks.

Пульт управления – субмодуль, использующийся в качестве устройства ввода-вывода информации и для ручного управления контроллером.

Функциональная схема контроллера MC8 показана на рис. 9.3.3.

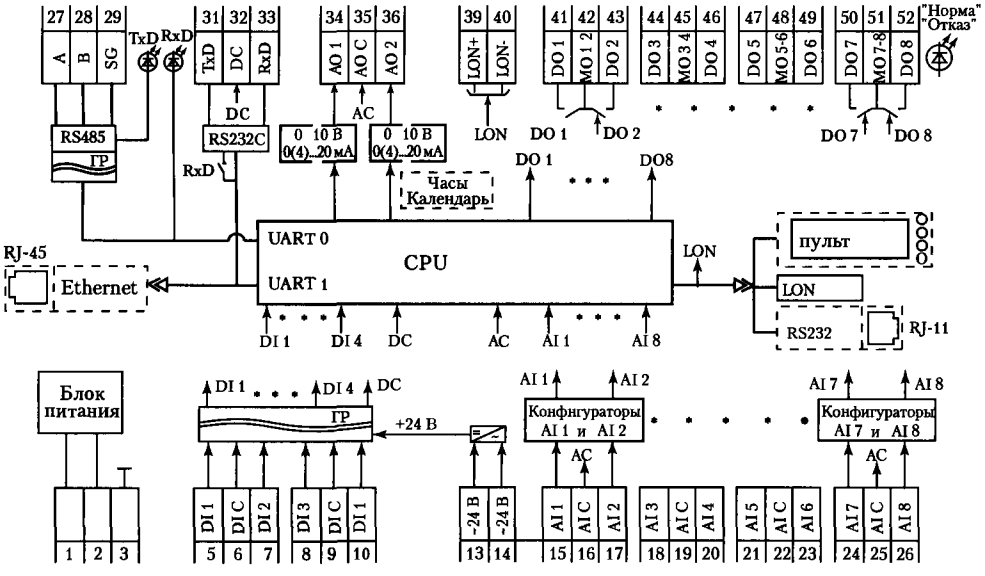


Рис. 9.3.3. Функциональная схема контроллера MC8

9.3.3. ПРОГРАММИРОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА МС8

Работа контроллера осуществляется в соответствии с функциональным алгоритмом, записанным в память процессора. Для самостоятельной разработки функции алгоритма предлагается инструментальная система KONGRAF.

Самый простой вариант, когда одиночный контроллер запрограммирован производителем под типовую задачу. В этом случае общение пользователя с контроллером (наблюдение и изменение параметров) осуществляется при помощи встроенного пульта, содержащего двухстрочный ЖК-дисплей (32 знака), 8 светодиодных индикаторов и 4 кнопки. Программа виртуальной панели управления Console, поставляемая в комплекте с приборами, позволяет общаться с контроллером, не имеющим встроенного пульта. К контроллеру по интерфейсу RS232C может быть подключен для наладки и контроля ноутбук, карманный или стационарный компьютер.

Составной контроллер или локальная сеть содержит ведущий (Master) и ведомые (Slave) контроллеры. Для программирования поставляется инструментальная система, которая в наглядной графической форме позволяет пользователю запрограммировать желаемый алгоритм, используя предлагаемую библиотеку. В библиотеке алгоритмов содержатся как функциональные узлы, так и готовые проекты управления типовыми объектами (вентиляционные установки, кондиционеры, отопление, горячее водоснабжение, насосы и т. п.).

Другой возможностью является программирование контроллеров через интернет на сервере изготовителя. Пользователь, получив доступ к инструментальной системе, размещенной на сервере, разрабатывает свой проект. Получение исполняемых файлов осуществляется при помощи программы-транслятора, размещенной на сервере изготовителя. Составив проект и сохранив его на диске, пользователь имеет возможность переслать его описание на сервер изготовителя, где осуществляется трансляция в исполняемый файл. Результат трансляции автоматически возвращается на компьютер пользователя и размещается в папке проекта, откуда файл может быть загружен в контроллер. При интеграции контроллеров «КОНТАР» и SCADA-системы предоставляется OPC XML сервер.

В контроллер МС8 при выпуске загружается операционная система. Операционная система («нулевой алгоритм») обеспечивает восприятие и преобразование в цифровую форму всех аналоговых и дискретных входных сигналов, а также отображение и возможность ручного управления всеми аналоговыми и дискретными выходными сигналами.

Работа контролера осуществляется в соответствии с функциональным алгоритмом (ФА), записанным в его память. Контроллер, с загруженным ФА после конфигурирования и подключения внешних соединений, полностью готов к работе. При отсутствии ФА его

IBIK

необходимо загрузить. По заказу ФА может быть запрограммирован производителем под конкретную типовую задачу.

Если не оговорено при заказе, то в контроллер загружается проверочный алгоритм, позволяющий производить техническую проверку.

Как правило, ФА состоит из двух файлов: файла параметров и файла алгоритма. В некоторых случаях могут быть дополнительные файлы: файл таблицы пересылок (загружается в Master-контроллер), файл таблицы модема, файл планировщика.

Для самостоятельной разработки ФА потребитель может воспользоваться разработанной производителем инструментальной системой, позволяющей в наглядной графической форме запрограммировать желаемый алгоритм (проект) на основе предлагаемой библиотеки алгоритмов.

Разработанный пользователем ФА или выбранный им готовый проект транслируется в исполняемый код в виде bin-файлов (например, на web-серверере изготовителя, доступном через интернет). Загрузка ФА может происходить по интерфейсу RS232C посредством подключения контроллера к компьютеру или по сети Ethernet.

Типы подключаемых датчиков, диапазон измерения сигнала и основная погрешность измерения представлены в таблице 9.3.4.

Таблица 9.3.4. Типы датчиков, подключаемых к контроллеру

Типы датчиков		Диапазон изменения датчиков	Основная погрешность измерения, макс, %
Датчики постоянного напряжения		0...2 400 мВ	0,2
		0...10 В	0,2
Датчики постоянного тока, мА		0...5	1,0
		0...20	0,25
		4...20	0,3
Термометры сопротивления, °С	50 П, 100 П, 500 П	–50...270	0,3
	50 М, 100 М	–50...200	
	100 Н	–50...180	
Термисторы: 10 кОм, 3 кОм (при 25 °С)		0...100	0,5
Реостатные датчики: 100 Ом, 1 кОм, %		0...100	0,5

9.3.4. ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ МС8

При помощи пульта осуществляется контроль входных и выходных сигналов, просмотр состояния контроллера и управление им.

Пульт управления предусматривает два уровня доступа к информации: список оператора и списки наладчика.

В списке оператора возможно:

- просмотр и изменение параметров;
- вход в списки наладчика;
- установка времени и даты;
- просмотр отказов;

- управление выходами;
- просмотр состояния дискретных входов;
- управление режимами работы ЦАП аналоговых выходов.

В списке наладчика возможно:

- просмотр и изменение всех параметров, входящих в функциональный алгоритм;
- управление режимами работы;
- редактирование состава параметров в списке оператора.

Рис. 9.3.11. Расположение элементов управления и индикации на пульте управления МС8

Работа со списком оператора

Структура меню пульта для списка оператора приведена на рис. 9.3.12.

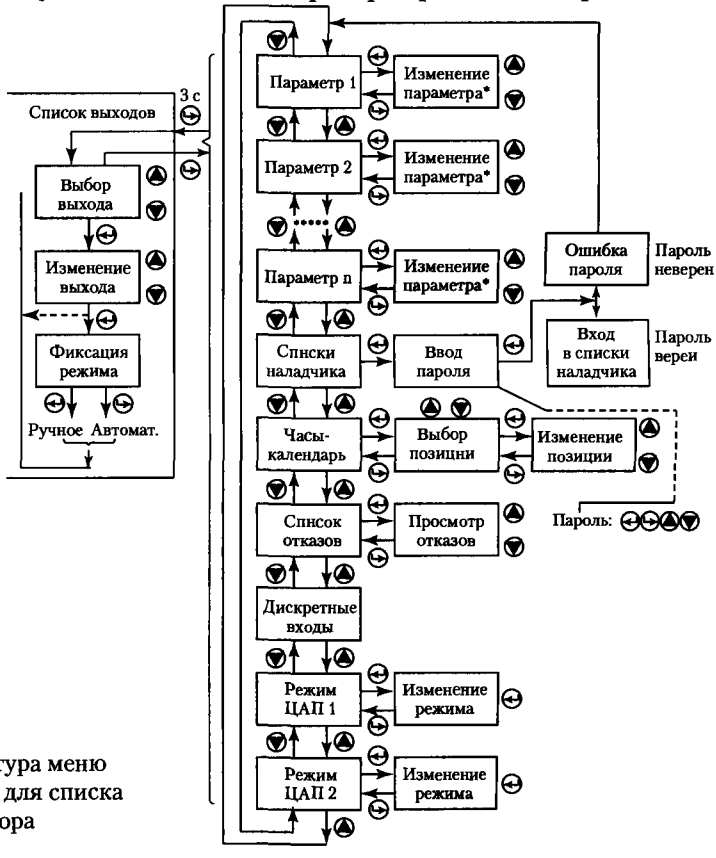


Рис. 9.3.12. Структура меню пульта для списка оператора

Переход от одного пункта меню к другому осуществляется по кругу при помощи кнопок ▲, ▼.

При достижении конца (начала) меню (а также и всех списков) на несколько секунд возникает надпись «Реверс. Конец (Начало) списка».

Параметр 1

Параметр 1 отображается сразу после включения питания контроллера. Производится просмотр параметра (наименование, его значение, единица измерения), который входит в функциональный алгоритм данного контроллера.

Состав и количество отображаемых параметров определяет наладчик («Работа со списками наладчика»).

При необходимости изменения выбранного параметра нажать кнопку ⏎. Если параметр можно изменить вручную, на дисплее появляется надпись (на 2–3 с) «Изменение параметра». После этого с помощью кнопок ▲, ▼ можно увеличивать или уменьшать его значение.

Для ввода нового значения – кнопка ⏎. При этом появится надпись «Конец изменения» и дисплей возвратится к отображению установленного параметра.

При недоступности изменения возникает надпись «Изменение параметра. Только чтение», и дисплей возвращается к отображению выбранного параметра.

Списки наладчика (переход на уровень наладчика)

Вход в списки наладчика – кнопка ⏎ . Чтобы подтвердить вход на данный уровень (защита от случайного нажатия), необходимо ввести пароль – нажать поочередно все 4 кнопки сверху вниз. При неправильном вводе пароля возникает надпись «Ошибка пароля» и происходит возврат к отображению параметра 1 списка оператора.

Часы-календарь

При выборе этого пункта на дисплей выводятся текущие значения часов, минут, секунд, дня недели, месяца и года.

Изменение времени или даты – кнопка ⏎ (мигает позиция, доступная для изменения).

Выбор позиции (часы, минуты и т. д.) для изменения – кнопки ▲ (следующая позиция), ▼ (предыдущая позиция).

Для изменения выбранной позиции – повторно кнопка ⏎ (позиция продолжает мигать).

Для установки нужного значения – кнопки ▲, ▼.

Конец установки выбранной позиции – кнопка ⏎ .

Для ввода в действие новых значений времени и даты – повторное нажатие кнопки ⏎.

Список отказов

Здесь представлены все возможные отказы в данном функциональном алгоритме.

Вход в список – кнопка ⏎.

Для просмотра списка – кнопки ▲, ▼.

Если нет отказа, то кроме наименования отказа, высвечивается надпись «Норма», в противном случае – «Отказ».

Выход из списка – кнопка ⏎.

Дискретные входы

Отображение состояния дискретных входов (DI):

«OFF» – вход разомкнут;

«ON» – вход замкнут.

Режим ЦАП *I*(*U*)

Устанавливает режим работы соответствующего аналогового выхода (ЦАП) по току (*I*) или по напряжению (*U*).

Вход – кнопка ⏎.

Переключение между режимами – кнопки ▲, ▼.

Выход – кнопка ⮌.

Список выходов

Данный список предназначен для оперативного выбора режима управления выходами – автоматическое или ручное (при ручном управлении хотя бы одним из выходов в правом нижнем углу дисплея мигает буква «М»), а также для изменения параметров выходов при ручном режиме. Для каждого аналогового выхода предусмотрена установка верхнего и нижнего пределов изменения сигналов (в процентах).

Вход в список осуществляется из любого пункта главного меню длительным удержанием (более 3 с) кнопки ⮌, после чего дисплей отобразит параметры первого из выходов, задействованных в функциональном алгоритме.

Переход от одного выхода к другому – кнопки ▲, ▼.

Для выбора выхода, которым необходимо управлять вручную, – кнопка ⏎ (в правом нижнем углу дисплея начнет мигать буква «М» – признак ручного управления).

Воздействие на выход в ручном режиме производится кнопками ▲, ▼. При этом:

- для дискетного выхода кнопка ▲ – включает, кнопка ▼ – выключает выход;
- для импульсного выхода кнопка ▲ включает выход «больше» во время ее нажатия, кнопка ▼ – включает выход «меньше» во время ее нажатия;
- для аналогового выхода кнопка ▲ – увеличивает численное значение выходного сигнала, кнопка ▼ – уменьшает.

Срабатывание дискретных и импульсных выходов контролируется соответствующими светодиодами на пульте.

По окончании изменения выхода – нажать кнопку ⏎, при этом на дисплее появляется надпись, предлагающая зафиксировать режим управления:

- если нужно оставить выход в ручном режиме – нажать кнопку ⏎;
- если нужно вернуть выход в автоматический режим – нажать кнопку ⮌.

Возврат в основное меню – кнопка ⮌ при индикации любого из выходов.

Работа со списками наладчика

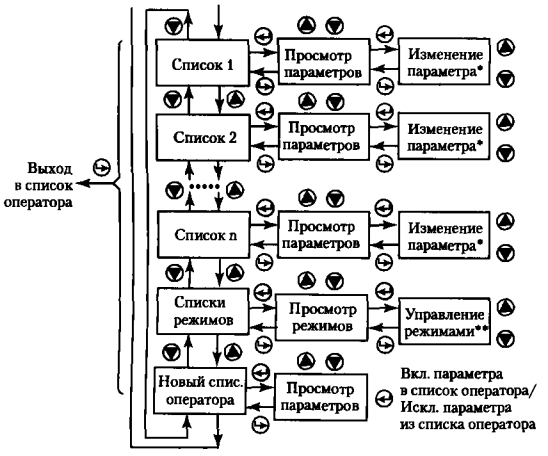


Рис. 9.3.13. Структура меню пульта для списков наладчика

Структура меню для уровня списка наладчика представлена на рис. 9.3.13.

При входе сразу отображается заголовок первого списка наладчика. Переход от одного пункта меню к другому осуществляется по кругу при помощи кнопок ▲, ▼.

Для возврата в основное меню – кнопка ⊖.

Список 1

Отображает все параметры (наименования, значения, единицы измерения), входящие в конкретный набор списка для данного контроллера. Состав и количество таких списков – в соответствии с функциональным алгоритмом.

Для просмотра параметров, входящих в выбранный список – кнопка ⊖.

Листание параметров внутри каждого списка и изменение величин выбранных параметров, доступных для изменения, производится также как в списке оператора.

Выход из списка – кнопка ⊖.

Список режимов

Все режимы, входящие в состав функционального алгоритма, представлены в этом списке. Для каждого режима указано, можно им управлять или нет.

Вход в этот список – кнопка ⊖.

Переход от одного режима к другому осуществляется по кругу кнопками ▲, ▼.

Для управления выбранным режимом – кнопка ⊖.

Изменения в управлении – кнопки ▲, ▼.

Описание управления ручным режимом – пункт «Список выходов».

Выход из списка – кнопка ⊖.

Новый список оператора

Этот пункт меню служит для выбора состава отображаемых параметров в списке оператора.

Вход – кнопка ⊖.

Листание параметров – кнопки ▲, ▼.

Включение выбранного параметра в список оператора или исключение из него – кнопка ⊖.

Выход из списка – кнопка ⊖.

Раздел 10 Автоматизированные системы управления микроклиматом зданий

10.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

10.1.1. КОНТРОЛЛЕРЫ И СЕТИ

При использовании в системах автоматики микропроцессорных контроллеров последние могут быть объединены в сеть. Это позволяет создать многоуровневые системы управления, в том числе АСУ зданий и сооружений.

Для подключения к сети МК должен иметь специальные устройства (сетевая плата, сетевой адаптер, модуль сопряжения), которые должны обеспечить обработку и прием и передачу информации, представленной в виде двоичного кода на всех уровнях взаимодействия МК в сети (физическом, передача данных, сетевом и др.). Вид представления информации и правила ее обработки определяется специальным документальным соглашением – ***протоколом*** или ***интерфейсом***.

Протокол – формализованные правила, определяющие последовательность и формат сообщений, которыми обмениваются компоненты (узлы) сети, лежащие на одном уровне.

Интерфейс – набор функций, выполняемый данным уровнем для выше лежащего уровня, а также форматы сообщений, которыми обмениваются два соседних уровня в ходе своего взаимодействия.

Приведенные определения показывают, что понятия «интерфейс» и «протокол», в сущности обозначает одно и тоже, а именно – формально заданные процедуры (алгоритмы) взаимодействия компонентов в сети.

Сети, объединяющее МК, как правило, работают в режиме реального времени и объединяются протоколом RS485. Краткий обзор их особенностей можно найти в [21], где приведены основные протоколы и интерфейсы промышленных сетей, а также основы их построения. В данном разделе изложим базовые понятия о сетях.

Любая сеть состоит из узлов и линий связи между ними. ***Узлами*** сети могут быть контроллеры, датчики и исполнительные механизмы, оснащенные микропроцессором, сетевая станция, персональные компьютеры либо специальное коммуникационное оборудование.

Линии, связывающие узлы сети, называются ***каналами передачи данных или каналами (линиями) связи.***

В линиях связи используются две основные технологии: проводниковая и безпроводниковая.

Проводниковая связь в основном осуществляется с помощью медных электрических проводников. При этом в качестве носителя информации используется электрический ток различных частот и форм сигнала. Наиболее распространенные виды проводников, используемых в сетях:

- коаксиальный кабель – изолированная медная жила, экранированная металлической оплеткой;
- экранированная или неэкранированная витая пара – пара изолированных скрученных проводов;
- телефонные линии общего пользования – двухжильные изолированные провода абонентских линий и многожильные кабели телефонных коммуникаций.

Носителем информации в ***беспроводной связи*** являются электромагнитные волны, а передающей средой – воздух, вода, вакуум или другая среда, не задерживающая носитель. По частотному диапазону беспроводная связь подразделяется на:

- радиосвязь – используется в спутниковой связи и при удаленном доступе;
- инфракрасная связь – используется в основном для связи с беспроводными периферийными устройствами.

Основными видами соединения узлов и линий связи (только сети) являются: «шина», «звезда», «кольцо» (рис. 10.1.1.) и смешанное соединение, производное от основных.

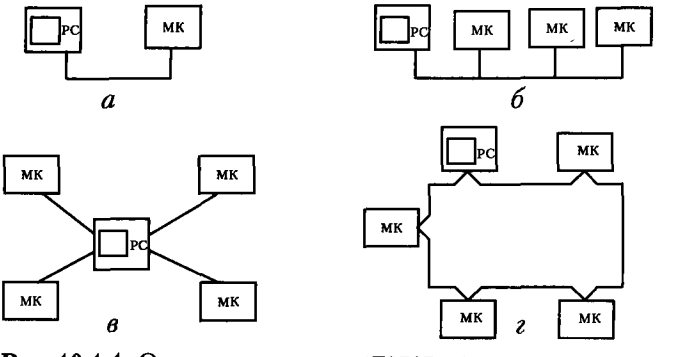


Рис. 10.1.1. Основные сетевые топологии:
а – узел-узел; *б* – линейная связь (шина);
в – соединение звездой; *г* – соединение кольцом

IBIK

Проводниковые линии связи могут также быть выполнены с помощью оптоволокна (световода), в котором в качестве носителя используется модулированный световой луч, испускаемый лазером.

Сравнительные характеристики основных топологий сети (табл. 10.1.1) показывают большую надежность шинной топологии, что обусловило ее более широкое применение, в частности и в системах кондиционирования и вентиляции. Однако в такой сети требуется четко регламентировать порядок доступа к среде передачи. Существует два метода регулирования такого доступа:

- централизованный, когда выделяется узел с главным приоритетом («Мастер»), который назначает и отслеживает порядок доступа к шине всех других узлов. При отказе «Мастера» цикл обмена по шине останавливается;
- децентрализованной, с программно переходящими функциями «Мастера» от одного узла сети к другому, что делает работу такой сети более надежной.

Таблица 10.1.1. Сравнительные характеристики основных топологий сети

Сравнительные характеристики	Звезда	Кольцо	Шина
1. Режим доступа	Доступ и управление через центральный узел	Децентрализованное управление. Доступ от узла к узлу	Возможен централизованный и децентрализованный доступ
2. Надежность	Сбой центрального узла – сбой всей системы	Разрыв линии связи приводит к сбою всей сети	Ошибка одного узла не приводит к сбою всей сети
3. Расширяемость	Ограничено числом физических портов на центральном узле	Возможно расширение числа узлов, но время ответа снижается	Возможно расширение числа узлов, но время ответа снижается

Узлы сети обмениваются сообщениями, состоящими из фреймов. **Фрейм** – это обозначение пакета информации, применяемого в сетевой технологии. У каждого фрейма есть минимальный и максимальный размер, формат заголовка и применяемые механизмы коррекции ошибок. И хотя в каждой сетевой технологии может применяться свой формат фрейма, все они в принципе схожи между собой, отличаясь лишь в деталях. Так, в большинстве сетевых технологий фрейм состоит из двух частей: ***заголовка фрейма*** и ***области данных***, следующей за ним (рис. 10.1.2.). В заголовке обычно располагается адрес назначения, адрес источника, информация о типе фрейма, необходимая для правильной его интерпретации, и другие служебные данные. Размер заголовка чаще всего неизменен в фреймах конкретного типа сети, область же данных может иметь переменный размер определяемый объемом передаваемой данных.

Адрес назначения используется контроллерами локальной сети для определения того, кому из них предназначен фрейм. Когда один из контроллеров ведет передачу данных, электрический сигнал, несу-

IBIK

щий информацию, будут получать все подключенные к этой среде узлы. Таким образом, копию переданного фрейма получат все контроллеры сети. Однако примет ее и передаст для обработки процессору только тот контроллер, адрес которого указан в заголовке.

Именно для этого в сетях применяется адресация: каждой станции присвоен своей уникальный номер, называемый ***аппаратным адресом***, или ***адресом доступа к передающей среде***.

Существует три способа адресации:

- статический – адрес назначается сетевой карте при ее производстве и является неизменным;
- динамический – адрес назначается ведущим узлом («Мастером») при каждой перезагрузке;
- настраиваемый – адрес устанавливает сам пользователь для каждого узла. Такой адрес компактен, так как должен быть уникален только для данной сети. При этом он является постоянным и не изменяется при перезагрузке (его хранят в энергонезависимой памяти).

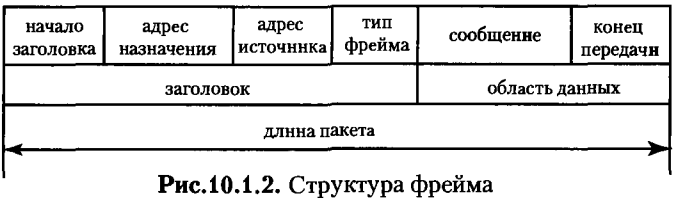


Рис.10.1.2. Структура фрейма

Системы управления, объединенные в сеть, могут быть закрытыми и открытыми.

Закрытые системы работают по уникальным протоколам связи, поддерживаемым только одним производителем. Такие системы зародились в то время, когда проблема интеграции изделий других производителей еще не была актуальной. В настоящее время они используются в основном для создания одноуровневых локальных сетей.

Открытые промышленные сети должны обеспечивать совместимость работы в сети приборов от разных производителей и выход в системы более высоких уровней. При этом переход на следующий уровень осуществляется через специальный узел (шлюз), который является компонентом сети как верхнего, так и нижнего уровней.

В настоящее время на рынке промышленных сетей существует несколько десятков технологий (протоколов) организации промышленных сетей (CAN, LON, PROFIBUS, Interbus, ControlNet, FF и др.). Каждая из них имеет свои особенности и области применения. В то же время единый международный стандарт промышленной сети отсутствует, хотя работы над его созданием ведутся уже долгое время. Скорее всего, со временем определится несколько технологий, вокруг которых будет сосредоточено основное внимание пользователей

IBIK

и производителей. Так, например, наиболее перспективная сетевая технология нового поколения – LonWorks – стала стандартом de facto в области автоматизации зданий в США и Европе.

10.1.2. СЕТЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ LON WORKS

Применение разработанной в 1991 г. сетевой технологии LonWorks в различных отраслях расширятся с каждым днем. Проектом LonWorks руководит компания Echelon, а о поддержке проекта заявили практически все крупные производители автоматики: ABB, Belimo, Cerberus, Cisco, Daikin, Danfoss, Fuji, Gewiss, Grundfos, Hitachi, Honeywell, Legrand, Matsushita, Mitsubishi, Moeller, Philips, Rockwell, Samsung, Sauter, Siemens, TAC, Toshiba, Viessmann и т. д.

В основе технологии LonWorks лежит понятие «распределенного интеллекта». В каждом из узлов сети находится микрочип сетевого процессора NeuronChip, что позволяет сделать интеллектуальным любой датчик, исполнительный механизм или коммутационный аппарат. Такой подход позволяет легко и быстро адаптировать систему к реальным потребностям заказчика и достичь максимальной скорости при разработке и коммерческом внедрении сетей управления на основе этого стандарта. LonWorks обеспечивает простую и эффективную интеграцию различных систем (например, системы безопасности, кондиционирования, вентиляции, освещения и т. п.).

Особенности технологии LonWorks:

- открытая архитектура, которая гарантирует совместимость оборудования различных производителей. В основе технологии лежит стандартизованный протокол LonTalk (EIA-709.1 – Control Network Protocol Specification). Протокол предложен фирмой Echelon (США);
- технология LonWorks предоставляет разработчику систем управления семь уровней модели ISO/OSI* в отличие от других технологий, которые предлагают только низшие уровни. На прикладном уровне в LonWorks доступны сетевой интерфейс и менеджмент, а на уровне представления данных – сетевые переменные, при помощи которых производится обмен информацией;
- оборудование, функционирующее по технологии LonWorks, поддерживает различные сетевые топологии. К ним относятся шина, звезда, кольцо, а также широко распространенная смешанная топология. На рынке имеются несколько типов маршрутизаторов, которые обеспечивают подключение к различным промышленным (ProfiLon) и общественным (Internet, Intranet) сетям;

* Международный стандарт по информационным сетям.

IBIK

- на физическом уровне поддерживаются различные среды: витая медная пара, оптический кабель, радиочастоты, силовая сеть;
- для уменьшения нагрузки на сеть используется событийный механизм обмена сообщениями, то есть данные передаются только тогда, когда произошли какие-либо изменения;
- для построения устройств по технологии LonWorks фирмой Toshiba и Cypress Sem. выпускаются специализированные микропроцессоры NeuronChip;
- существуют программные интерфейсы, позволяющие реализовать протокол LonTalk на других платформах (Intel, Motorola и др.);
- для описания параллельных процессов управления в сети LonWorks разработан язык параллельного программирования Neuron-C, основанный на асинхронных обменах сообщениями с косвенной адресацией. Имеется встроенная поддержка распределенной операционной системы.

Для обеспечения координации работ по внедрению технологии LonWorks в мировую практику создана независимая ассоциация производителей оборудования по этой технологии – LonMark, которая вырабатывает стандартные виды представления информации, стандартные профили управления устройствами и системами, а также проверяет совместимость устройств и систем с выдачей соответствующего сертификата.

В настоящее время существует примерно 4 тысячи разработчиков и производителей оборудования по технологии LonWorks. Особенности технологии позволяют успешно решать задачи в таких областях, как промышленная автоматизация, автоматизация зданий и транспорта, бытовая автоматика.

10.2. ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ

10.2.1. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫМИ КОНДИЦИОНЕРАМИ КХ, МНІ, ЯПОНИЯ

Системы автоматизации жилых и общественных зданий по степени их интеграции можно разделить на следующие классы:

- локальные системы централизованного управления микроклиматом;
- системы контроля и управления инженерным оборудованием зданий и сооружений;
- системы интеллектуальной автоматики (технологии «Умный дом»).

IBIK

Простейшие локальные системы управления используются в многозональных кондиционерах, например, серии КХ (MHI, Япония) или VRV (Daikin, Япония).

На рис. 10.2.1 показана функциональная схема системы управления многозональным полупромышленным кондиционером типа КХ (MHI), в которой 48 внутренних блоков с помощью двухпроводной сигнальной линии объединены в одну локальную сеть (SuperLynk).

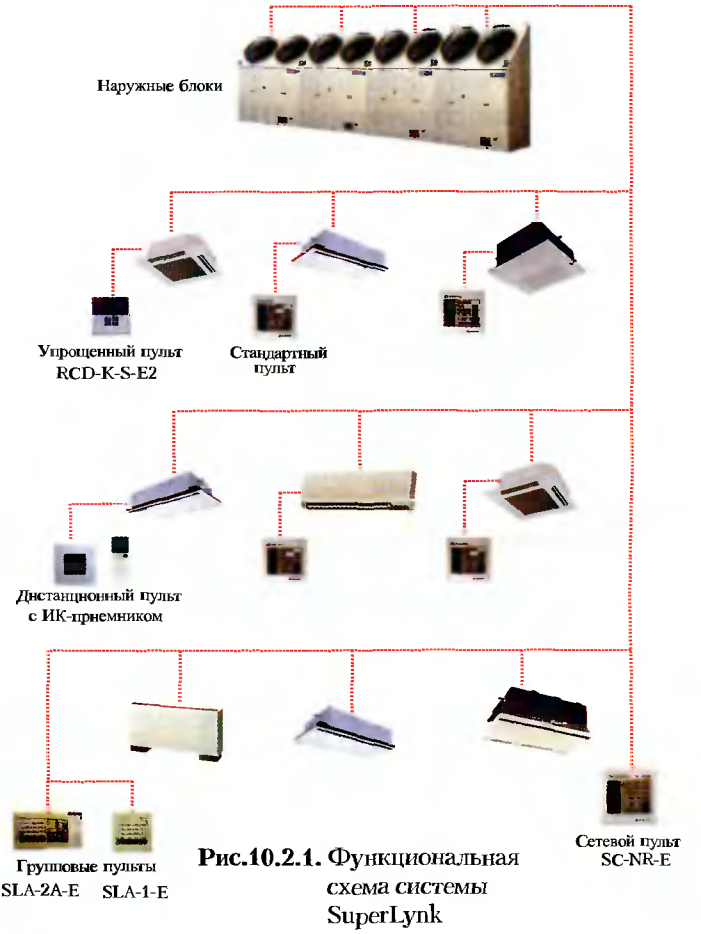


Рис.10.2.1. Функциональная схема системы SuperLynk

По сигнальной линии идет обмен данными между наружным блоком, где расположен центральный процессор, и внутренними блоками. Для подсоединения к сети достаточно задать адресацию внутренних и наружных блоков. Управление внутренними блоками может осуществляться как с помощью индивидуальных пультов, так и с помощью централизованного пульта управления, контролирующего режимы работы каждого внутреннего блока и состояние системы в целом.

Используя модуль QSS-Checker (рис. 10.2.2), можно подключать несколько кондиционеров системы КХ, объединенных в одну систему, к персональному компьютеру, интегрируя все элементы в локальную

IBIK

сеть. Это позволяет осуществлять централизованный контроль и функциональное управление всей системой кондиционирования.

Рис. 10.2.2. Итерфейсный модуль QSS-Checker для работы с ПК

Модель QSS-Checker совместно с ПК обеспечивает выполнение трех функций:

- контроль рабочих параметров (табл. 10.2.1; 10.2.2);
- функциональное управление и изменение установочных параметров;
- обработка аварийных состояний и сбоев в работе.

Функции управления:

- включение/выключение каждого внутреннего блока;

Таблица 10.2.1. Контроль рабочих параметров (внутренний блок)

№	Параметр	КХ	КХ Выше 36 кВт
1	Заданная температура	+	+
2	Температура в помещении	+	+
3	Температура теплообменника	+	+
4	Требуемая частота	+	+
5	Компрессор ВКЛ/ВЫКЛ	+	+
6	Действительная частота компрессора	+	+
7	Открытие ТРВ	+	+
8	Сбой в работе (код неисправности)	+	+
9	Режим работы	+	+
10	Кондиционер ВКЛ/ВЫКЛ	+	+

Таблица 10.2.2. Контроль рабочих параметров (наружный блок)

№	Параметр	КХ	КХ Выше 36 кВт
1	Рабочая частота компрессора	+	+
2	Температура наружного воздуха	+	+
3	Температура теплообменника (1)	+	+
4	Температура нагнетания (1)	+	+
5	Температура поддона картера	+	+
6	Ток компрессора (1)	+	+
7	Температура нагнетания (2)		+
8	Ток компрессора (2)		+
9	Температура нагнетания (3)		+
10	Ток компрессора (3)		+
11	Температура теплообменника (3)		+

- выбор рабочего режима каждого внутреннего блока;
- установка требуемой температуры (от 0 до 50 °С);
- установка скорости вентилятора;
- перезапуск кондиционера при возникновении сбоя;
- выбор типа управления: централизованное или управление с одного из пультов по принципу приоритета первой заданной команды;
- одновременное включение или выключение всех внутренних блоков.

IBIK

В окне программы контроля отображаются данные, которые в последствии можно сохранить в отдельном файле как рабочие характеристики.

При возникновении аварийной ситуации или сбоя в работе блока, рабочее состояние которого в данный момент контролируется, подается звуковой сигнал, а на дисплей компьютера выводится соответствующее сообщение.

Для сопряжения локальной сети SuperLynk с системой более высокого уровня, выполненной на базе LonWorks, используется коммуникационный интерфейс SC-LIF-E. Данный интерфейс поддерживает базовый контроль и отображение состояния кондиционеров моделей KX2, KX4 и KX-GHP Mitsubishi Heavy Industries с терминала основного компьютера системы управления зданием (BMS). Этот интерфейс предназначен только для конвертации коммуникационных данных и не предназначен для прикладного применения, например, работы по заданному расписанию или расчета энергопотребления и т. п. Каждый коммуникационный интерфейс SC-LIF-E обеспечивает стыковку с сетью LonWorks до 16 внутренних блоков кондиционеров KX.

Последней модификацией управления микроклиматом зданий с использованием кондиционеров KX является система KX-CompTrol, функциональная схема которой показана на рис. 10.2.3. Система позволяет объединять в сеть, проводить мониторинг и управлять 15 наружными и 768 внутренними блоками через персональный компьютер, по телефону, факсу, электронной почте, сообщениями SMS. Для этого используются интерфейсные модули Gateway, подключаемые к ПК через RS232. Схема соединений показана на рис. 10.2.4.

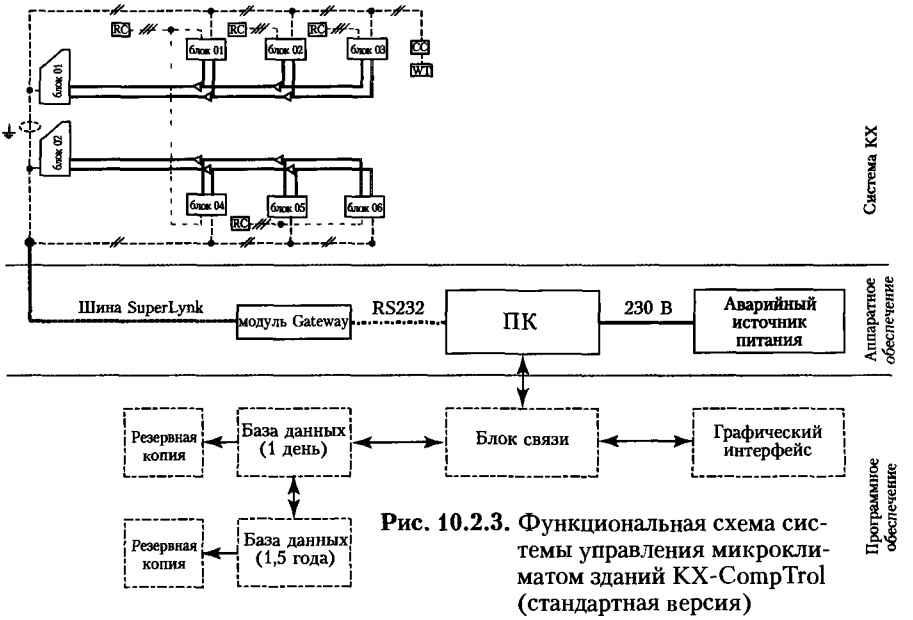


Рис. 10.2.3. Функциональная схема системы управления микроклиматом зданий KX-CompTrol (стандартная версия)

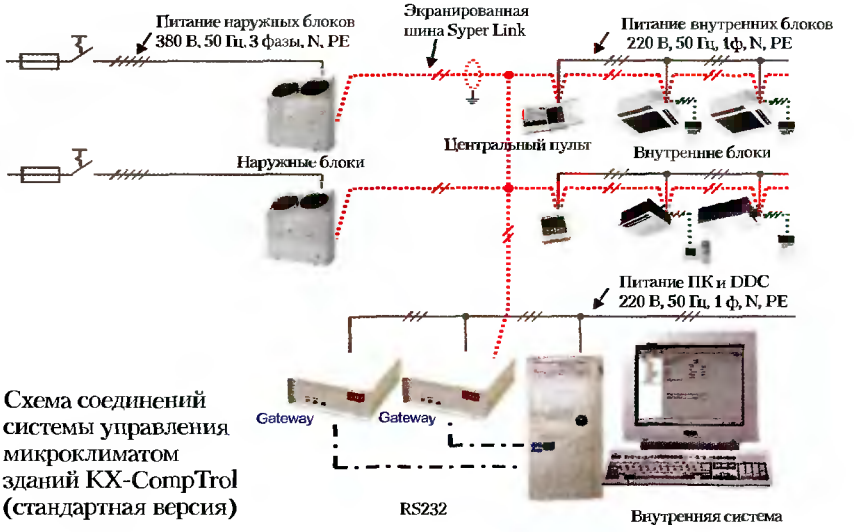


Рис. 10.2.4. Схема соединений системы управления микроклиматом зданий KX-CompTrol (стандартная версия)

Система позволяет выполнять следующие функции:

- постоянный контроль рабочих параметров;
- графическое отображение и экспорт рабочих параметров;
- изменение установочных параметров для каждого внутреннего блока;
- объединение внутренних блоков в группы;
- включение/выключение блоков;
- архивирование данных работы системы за 1,5 года;
- создание дневных, недельных и ежегодных программ работы оборудования.
- измерение диапазона колебаний температуры наружного воздуха;
- автоматический переход в режимы «лето-зима»;
- контроль потребляемой мощности и ее стоимости, как всей системы, так и отдельных ее составляющих (блоков и групп).

Последняя функция реализуется с помощью контроллера DDC, к которому подключаются счетчики электроэнергии, наружные температурные датчики и другие внешние устройства (рис. 10.2.5. и 10.2.6.). Центральный модуль DDC подключается к ПК через интерфейс RS232 и имеет 8 дискретных входов (24 В) и 6 релейных выходов (10 А, 24–230 В). Дополнительно можно подключить до 6 модулей с аналоговыми или дискретными выходами.

IBIK

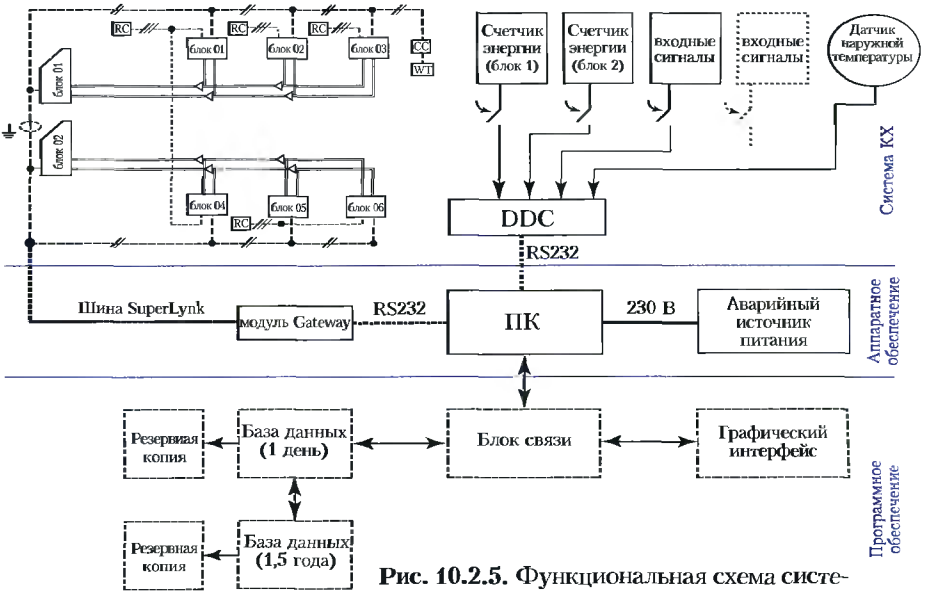


Рис. 10.2.5. Функциональная схема системы управления микроклиматом зданий KX-CompTrol (профессиональная версия)

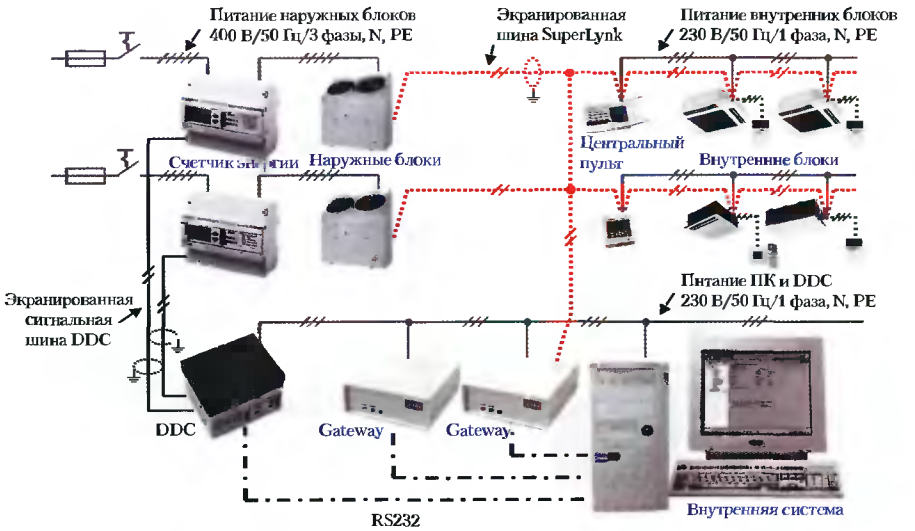


Рис. 10.2.6. Схема соединений системы управления микроклиматом зданий KX-CompTrol (профессиональная версия)

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

10.2.2. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЗОНАЛЬНЫМИ КОНДИЦИОНЕРАМИ VRV, DAIKIN, ЯПОНИЯ

10.2.2.1. СИСТЕМА INTELLIGENT TOUCH CONTROLLER

Система Intelligent Touch Controller предназначена для централизованного управления климатическим оборудованием компании Daikin с числом внутренних блоков до 64. Совмещает функции мониторинга (по 4 параметрам), управления (по 8 параметрам), отображения (по 5 параметрам) и измерения (по 2 параметрам). Добиться этих возможностей позволяет применение сетевого протокола DIII Net компании Daikin. Параметры состояния системы кондиционирования выводятся на цветной ЖК-дисплей размером 230×147×40 мм. Вся информация отображается в виде наглядных пиктограмм. Управление – сенсорное. Прикосновение к пиктограмме дает возможность получить информацию об определенном параметре системы. Система Intelligent Touch Controller позволяет быстро вводить различные команды, производить многочисленные настройки, загружая соответствующие меню. Управление настройками можно сделать полностью автоматическим, введя функции годового графика. Конструктивно система Intelligent Touch Controller выполнена в виде небольшого блока, который можно разместить на любой стене помещения (рис. 10.2.7). Ввод устройства в эксплуатацию занимает совсем немного времени.

Рис. 10.2.7. Интеллектуальный контроллер системы Intelligent Touch Controller, совмещенный с сенсорным дисплеем

IBIK

10.2.2.2. СИСТЕМА HI-VRV

Система Hi-VRV объединяет наружные и внутренние блоки кондиционеров VRV, блоки приточно-вытяжной вентиляции с утилизацией тепла (рекуператоры) HRV с системой управления D-BACS на базе персонального компьютера (рис. 10.2.8).

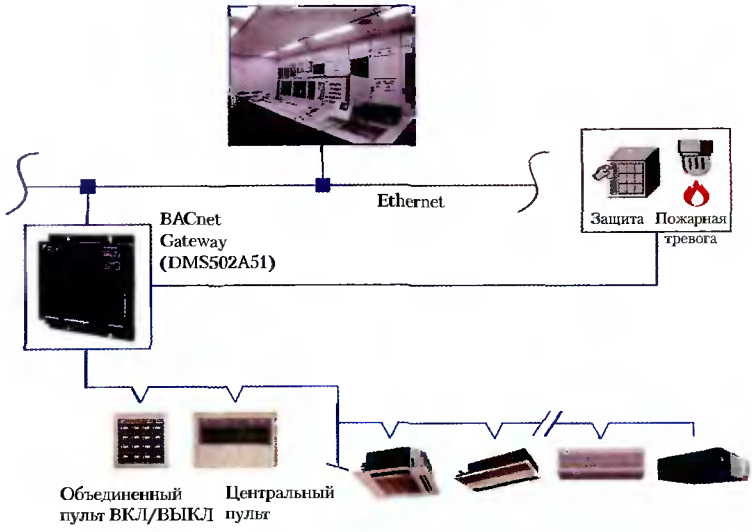


Рис. 10.2.8. Система управления микроклиматом здания Hi-VRV (Daikin, Япония)

Рис. 10.2.9. Централизованное управление системами VRV и HRV

Для централизованного управления системами VRV и HRV разработано программное обеспечение, работающее в среде Windows и имеющее удобный интерфейс. Система D-BACS позволяет контролировать и управлять работой установок VRV, систем вентиляции с регенерацией тепла HRV и других исполнительных механизмов. Подключив все системы к одному компьютеру, пользователь имеет возможность управлять микроклиматом всего здания.

Возможности системы D-BACS:

- общее количество управляемых блоков – до 1024;
- объединение внутренних блоков в логические группы для удобства управления;
- индикация состояния каждого внутреннего блока:
  - текущий режим работы (охлаждение/нагрева/вентиляция/выключен);
  - температура воздуха в помещении (заданная, минимально/максимально допустимая);
  - разрешение/запрет управлять с автономного пульта;
  - состояние фильтра (время, оставшееся до его очистки или замены);
  - месторасположение блока (этаж, помещение, владелец);
  - при возникновении неисправности – ее код;
- индикация состояния наружных блоков: режим работы, температура наружного воздуха, адрес блока;
- задание режимов работы внутренних блоков:
  - включение/выключение;
  - установка температуры;
  - разрешение/запрет управления блоком с автономного пульта;
- задание направления воздушного потока (шесть положений) для низкой и высокой скорости вентилятора;
- оптимизация работы системы с помощью недельных и ежедневных таймеров (задается время, к которому должна быть достигнута требуемая температура, программа сама выбирает оптимальное время запуска для каждого помещения);
- оптимизация и подсчет затрат на электроэнергию с возможностью задания дневного и ночного тарифов.

10.2.2.3. ИНТЕГРАЦИЯ СИСТЕМЫ HI-VRV В СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ

Разработанные специализированные программы WinDACMS и REMDACMS позволяют интегрировать систему Hi-VRV в систему управления инженерными коммуникациями всего здания и центральную систему контроля и управления (рис. 10.2.10). Центральная система позволяет контролировать микроклимат нескольких зданий и сооружений. При этом сервисный центр может получить информацию не только о работе любой локальной сети, но и о причинах аварии отдельных ее элементов (рис. 10.2.11). Число контролируемых внутренних блоков такой системы возрастает до 1024.

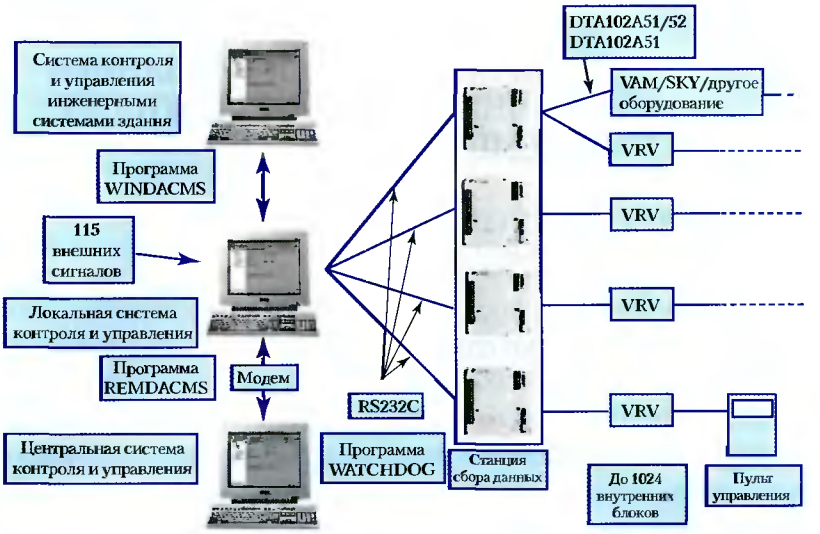


Рис. 10.2.10. Интегрирование системы управления микроклиматом здания Hi-VRVв систему управления высшего уровня

Рис. 10.2.11. Связь локальных систем управления микроклиматом здания с сервисным центром

10.3. СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ АДМИНИСТРАТИВНЫХ И ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

10.3.1. SCADA-СИСТЕМЫ

Автоматизированные системы управления климатом зданий обычно включают не только системы на базе автономных кондиционеров, но и десятки единиц другого сложного климатического оборудования (центральные кондиционеры, чиллеры, фанкойлы и др.) с сотнями и тысячами контролируемых параметров. Такие системы управления, выполненные на основе микропроцессорных контроллеров, обычно интегрируют в системы управления всем инженерным оборудованием зданий и сооружений. В состав основного инженерного оборудования здания входят подсистемы автоматического управления:

- лифтовым хозяйством;
- теплоснабжения:
  - система центрального теплоснабжения;
  - индивидуальная котельная;
  - система горячего водоснабжения.
- охранной сигнализации;
- климатом:
  - центральные кондиционеры;
  - холодильные машины и фэнкойлы;
  - системы автономного кондиционирования.
- электроснабжения:
  - центральная щитовая;
  - дизельная ЭС.
- водоснабжения и канализации.
- пожарной защиты и сигнализации.

В настоящее время, помимо термина АСУ, широкое распространение для обозначения подобных систем такого уровня получил термин SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – система диспетчерского управления и сбора данных). В таких системах данные о текущих параметрах технологического процесса используются для контроля технологического процесса и управления им с автоматизированных рабочих мест операторов. Выполняется архивирование истории изменения технологических параметров, формируются отчетные данные для предоставления информации руководящему персоналу.

IBIK

Основные функции системы SCADA.

1. Сбор, первичная обработка и накопление информации о параметрах технологического процесса и состоянии оборудования, получаемой от промышленных контроллеров и других цифровых устройств, непосредственно связанных с технологической аппаратурой.
2. Отображение информации о текущих параметрах технологического процесса на экране ПК в виде графических мнемосхем.
3. Отображение графиков текущих значений технологических параметров в реальном времени за заданный интервал.
4. Выявление критических (аварийных) ситуаций.
5. Вывод на экран ПК технологических и аварийных сообщений.
6. Архивирование истории изменения параметров технологического процесса.
7. Операторское управление технологическим процессом.
8. Предоставление данных о параметрах технологического процесса для использования их в системах управления предприятием.
9. Генерирование и просмотр отчетов по истории изменения параметров технологического процесса.

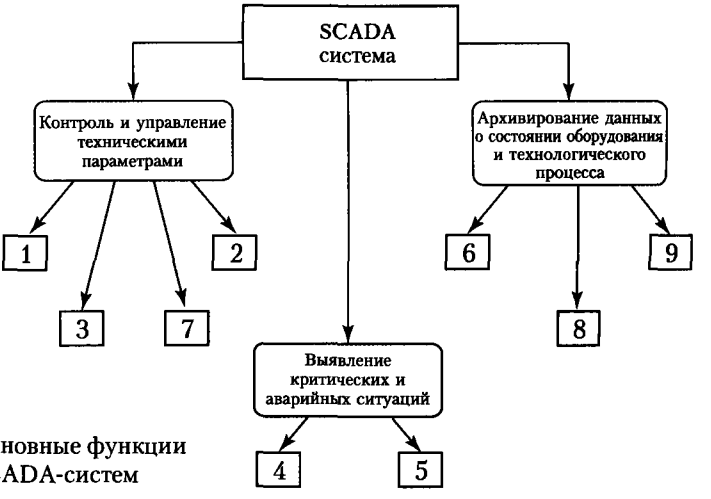


Рис. 10.3.1. Основные функции SCADA-систем

Основная трудность при построении таких систем до последнего времени состояла в том, что аппаратные и программные средства различных производителей, даже сходные по управляющим функциям, были, как правило, несовместимы друг с другом. Фирмы-разработчики использовали свои закрытые коммуникационные протоколы и не предусматривали интерфейсов для взаимодействия с системами других производителей. Являясь собственностью отдельных компаний,

соответствующие продукты и технологии автоматизации с трудом поддавались интеграции. Для решения этой проблемы требовались дорогостоящие технические решения, связанные с написанием нового программного обеспечения, изменением топологии сети и закупкой дополнительных компонентов.

В настоящее время существует ряд сетевых технологий и протоколов (ARCNET, BACnet, EIB и др.) для создания SCADA-систем. Наиболее перспективная технология, продвигаемая сейчас на рынок- LonWorks, рассмотренная в 10.1.2.

Ниже рассмотрены примеры построения SCADA-систем автоматизации зданий, в том числе с использованием технологии LonWorks.

10.3.2. СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ TAC VISTA, t.a.c., ШВЕЦИЯ

Система диспетчеризации TAC Vista, выполненная на базе локальных контроллеров TAC Xenta (раздел 9.3), позволяет осуществлять полный контроль над системами жизнеобеспечения задний. Центральным элементом является ПК, оснащенный программой TAC Vista. Компьютеры и локальные контроллеры TAC Xenta соединены в сеть LonWorks (рис. 10.3.2).

Система диспетчеризации предназначается для центрального мониторинга и управления различным оборудованием, размещенным в здании (рис. 10.3.3).

Управляемые инженерные системы:

- система кондиционирования;
- приточная и вытяжная вентиляция;
- система холодоснабжения;
- тепловой пункт (включая ГВС и отопление);
- управление фэнкойлами и отопительными батареями в помещениях;
- система дымоудаления и подпора воздуха (решается в комплексе с пожарной сигнализацией средствами автоматического пожаротушения);
- водоснабжение и водоподготовка;
- системы дренажа и канализации;
- управление освещением;
- учет потребления электроэнергии и тепла;
- система санкционированного доступа.

IBIK

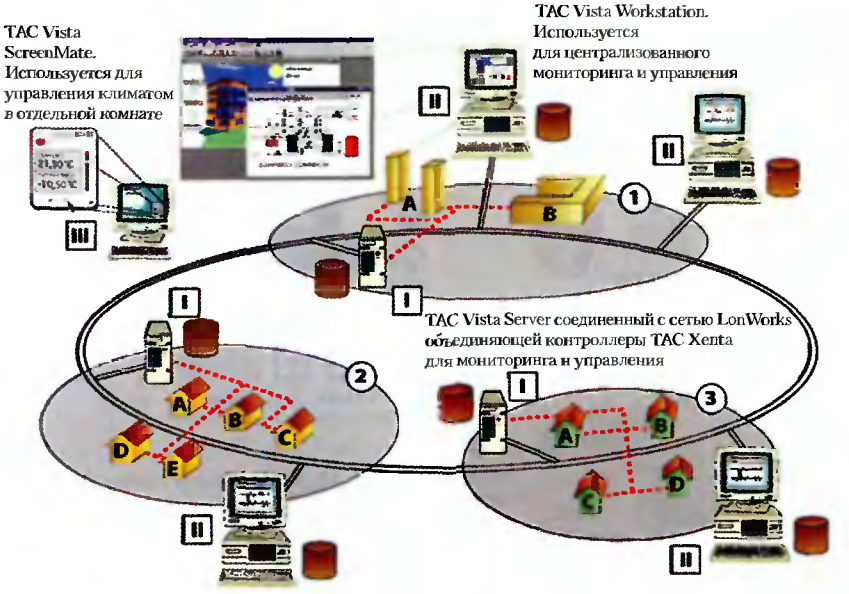


Рис. 10.3.2. Система контроля и управления инженерным оборудованием зданий TAC Vista

Каждый контроллер TAC Xenta управляет определенной технологической установкой (центральный кондиционер, чиллер, фэнкойл и пр.). Все контроллеры и центральный компьютер с программой TAC Vista соединены витой парой, по которой происходит обмен данными.

Программные и аппаратные средства автоматизированного рабочего места диспетчера предоставляют следующие возможности:

- наблюдение за режимными параметрами регулируемых процессов в удобной оператору форме – в виде графических мнемосхем установок и планов помещений;
- построение графиков изменения параметров в реальном времени;
- архивация всех данных, получаемых на протяжении года, для последующего анализа;
- выдача оператором управляющих команд, составление календарных планов работы оборудования;
- ограничение доступа операторов, документирование всех действий, производимых оператором, защита от проникновения в систему посторонних лиц;
- выдача отчетов, суммирующих информацию по работе систем здания за определенный срок.

IBIK

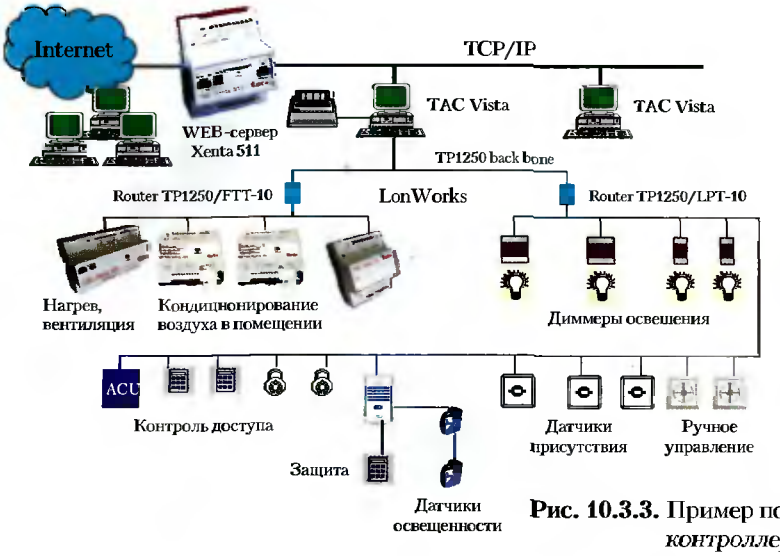


Рис. 10.3.3. Пример построения сети на *контроллерах TAC VISTA*

Для небольших систем LonWorks (например, небольшое здание с числом узлов в сети до 30), а также для управления отдельными устройствами в составе крупной сети TAC Vista используют контроллер TAC Xenta 511 (рис. 10.3.4, 10.3.5). Система диспетчеризации на его основе отслеживает события и изменения в сети LonWorks через Ethernet или RS232.

Списки регистрации состояний, аварийных сообщений и функциональных графических изображений создаются и обслуживаются при помощи инструмента программирования TAC Web Tool, который позволяет определять и конфигурировать сетевые переменные, использующиеся при регистрации данных и событий, а также при определении объектов аварии.

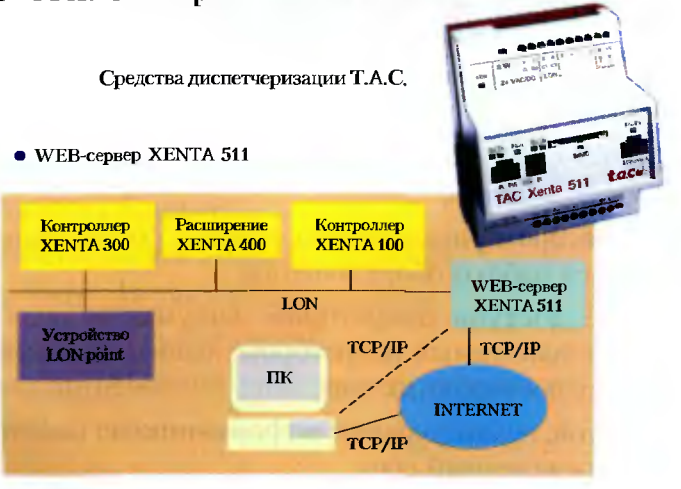


Рис. 10.3.4. Средства диспетчеризации на базе контроллера TAC Xenta 511

IBIK

Примеры представления информации в системе показаны на рис. 10.3.6.

Значения уставок, состояний и сигналов, поступающих из сети в режиме реального времени, выводятся на экран в форме таблицы (рис. 10.3.6, *а*). Значения, приведенные в таблице, могут изменяться только авторизованным пользователем.

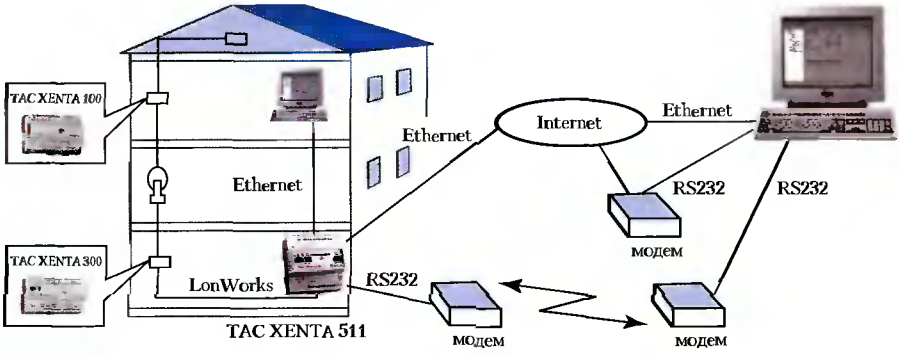


Рис. 10.3.5. Система диспетчеризации на основе контроллера TAC Xenta 511

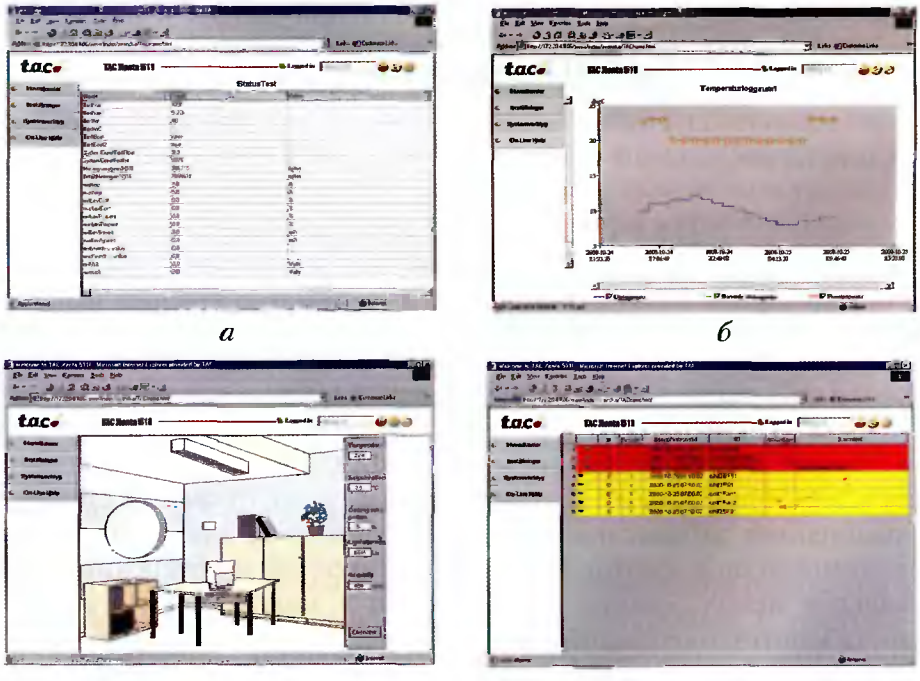


Рис. 10.3.6. Окна в системе диспетчеризации на основе контроллера TAC Xenta 511

Страница просмотра регистраций имеет вид графика зарегистрированных данных, представленных в хронологическом порядке (рис. 10.3.6, *б*). Функция регистрации активизируется либо автоматически (при помощи специального условия и/или уставки времени старта), либо в ручном режиме.

Функция просмотра графических изображений позволяет осуществлять просмотр функциональных графических изображений из TAC Vista в режиме реального времени, а также считывать значения сигналов, поступающих из сети LonWorks.

На изображениях выводятся реальные значения и текущие списки аварий (рис. 10.3.6, *в*). Авторизованный пользователь получает возможность изменять значения параметров и подтверждать получение аварийных сообщений непосредственно на экране.

На странице просмотра списка аварий в форме таблиц отображается информация о текущих авариях, полученная с заранее обозначенных объектов (рис. 10.3.6, *г*). Пользователь имеет возможность считывать, подтверждать получение, блокировать и сортировать аварийные сообщения. В хронологическом списке аварий регистрируется тип аварии, дата и время поступления сообщения, а также принявший его оператор. Новые аварийные сообщения регистрируются в данном списке автоматически. По мере заполнения списка устаревшие аварийные сообщения удаляются.

В случае регистрации проблем в системе сигналы аварии могут пересылаться адресатам по электронной почте или в виде SMS-сообщений на мобильный телефон.

10.3.3. СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ MICRONET, SATCHWELL CONTROL SYSTEMS, АНГЛИЯ

MicroNet – модульная, гибкая, простая в использовании система автоматизации зданий, предназначенная для управления системами теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, которая интегрируется с другими системами управления инженерным оборудованием. Функции управления реализованы на основе стандартных платформ и технологий открытых систем промышленной автоматики. Система разработана для средних зданий и комплексов с учетом всех их особенностей и обеспечивает оптимальное использование оборудования и максимальную эффективность капиталовложений.

Оборудование и программное обеспечение системы MicroNet базируется на концепции ***bus-de-jour*** (сеть на каждый день) – выбора типа сети управления (NCP, ARCNET или LonWorks). Для изменения типа сети с NCP (поддерживаемой по умолчанию) на ARCNET или LonWorks, достаточно установить соответствующую коммуника-

IBIK

ционную плату в контроллер. Такой подход позволяет максимально эффективно использовать технические и финансовые ресурсы при создании систем управления. Скорость и способ обмена данными зависит от типа сети управления.

Сеть NCP (9,6 Кб/с) является наиболее простой и применяется в системах, где не требуется открытый протокол и прямой обмен данными между контроллерами.

Сеть ARCNET (156 Кб/с) обеспечивает непосредственный обмен данными и наиболее высокую скорость обмена.

Сеть LonWorks (78 Кб/с) – наиболее гибкая, открытая и предполагает простую интеграцию LonMark-совместимого оборудования в единую систему.

Отображение состояния оборудования и управление его параметрами выполняется локальными средствами индикации и управления, а также при необходимости посредством системы центрального диспетчерского управления на базе персонального компьютера.

Система MicroNet предлагает два возможных подхода к построению таких систем:

- система центрального диспетчерского управления небольшими объектами (до 200 контролируемых параметров) на базе включенного в сеть управления NCP контроллера WEB-Gate – миниатюрного WEB-сервера. Контроллер WEB-Gate подключен к компьютерной сети Ethernet и сети Internet;
- система центрального либо распределенного (многотерминального) диспетчерского управления большими объектами (до 65 000 контролируемых параметров) на основе программной оболочки MicroNet View, являющейся аналогом системы управления производством InTouch (корпорация Wonderware).

Первый вариант реализации системы удаленного диспетчерского управления уникален в смысле возможности получения полнофункционального пользовательского интерфейса на базе любого персонального компьютера, включенного в одну сеть с устройством WEB-Gate. Кроме того, при наличии в локальной сети здания сервера электронной почты имеется возможность автоматической рассылки E-mail и/или SMS-сообщений на мобильные телефоны ответственных лиц.

Второй вариант системы диспетчерского управления реализуется одним или несколькими операторскими терминалами с программным обеспечением MicroNet View под управлением операционной системы Windows 2000.

Система визуализации и управления может быть реализована на одном компьютере (Single PC Terminal) или как распределенная многотерминальная структура на базе технологии «клиент-сервер».

Обмен данными между контроллерами в сети управления и приложением системы диспетчерского управления реализуется с использованием протокола DDE, либо NetDDE (для удаленного сбора данных). Библиотеки стандартных серверов ввода-вывода позволяют управлять оборудованием различных производителей и упрощают интеграцию этого оборудования в единую систему управления.

Ниже в качестве примера приведено краткое описание системы диспетчеризации офисно-жилого здания, разработанной специалистами компании «ИВИК» (Украина) на базе системы MicroNet.

Система предусматривает контроль и управление следующими подсистемами и видами инженерного оборудования здания:

- электроснабжение (силовые электроцепи электрощитовой);
- дизельная электростанция (ДЭС);
- индивидуальный тепловой пункт офисной части здания (ИТП2);
- индивидуальный тепловой пункт жилой части здания (ИТП3);
- центральные кондиционеры (К1, К2, К3);
- холодильные машины (ХМ1, ХМ2);
- приточно-вытяжные системы вентиляции;

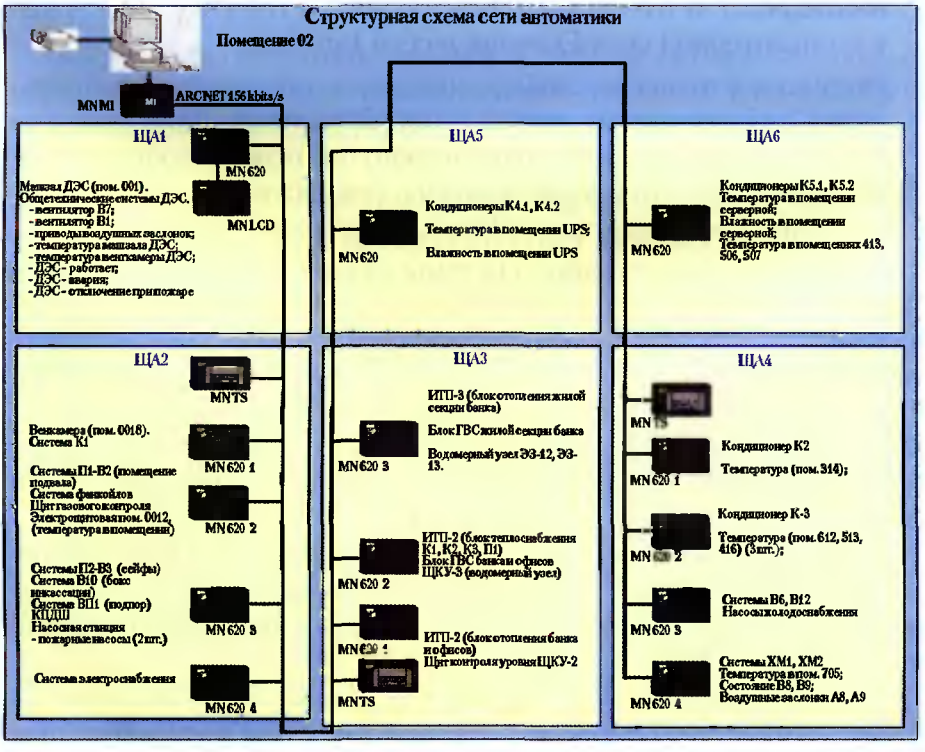


Рис. 10.3.7. Структурная схема автоматики

- пожарная сигнализация и системы дымоудаления.

Для построения системы применены свободно программируемые контроллеры серии MN и локальные сенсорные дисплеи MN-Touch Screen (см. раздел 9.2). Контроллеры объединены в сеть (рис. 10.3.7), подключенную к терминалу диспетчеризации инженерного оборудования здания.

Программное обеспечение системы диспетчерского управления, выполненное на основе оболочки MicroNet View, является аналогом системы управления производством InTouch и обеспечивает следующие возможности:

- визуализация комплекса автоматики инженерного оборудования при помощи анимированных мнемосхем управляемого оборудования;
- доступ в зависимости от уровня авторизации пользователя к определенному набору контролируемых параметров оборудования на мнемосхемах (система индивидуальных паролей);
- мониторинг состояния оборудования, оповещение о возникновении аварий и выходе параметров за установленные пределы (функции контроля);
- изменение параметров работы оборудования (функции управления);
- накопление данных для анализа качества работы оборудования (протоколы действий персонала диспетчерской службы) в виде графиков изменения параметров управляемых систем во времени и в виде текстового журнала событий (аварии и действия операторов).

Программное обеспечение системы построено таким образом, что все контролируемое инженерное оборудование знания разбито на несколько групп (окон). При запуске системы диспетчеризации на экране монитора отображается главное информационное окно. Экран монитора разделен на три зоны (рис. 10.3.8):

1. Заголовок – отображает название текущего окна.
2. Навигатор – область с древовидной структурой, состоящая из перечня схем. В верхней части находятся сервисные кнопки для быстрого перехода в соответствующее окно.
3. Область отображения окон – область, в которой отображаются выбранные в навигаторе окна с мнемосхемами оборудования, графиками и т. д.

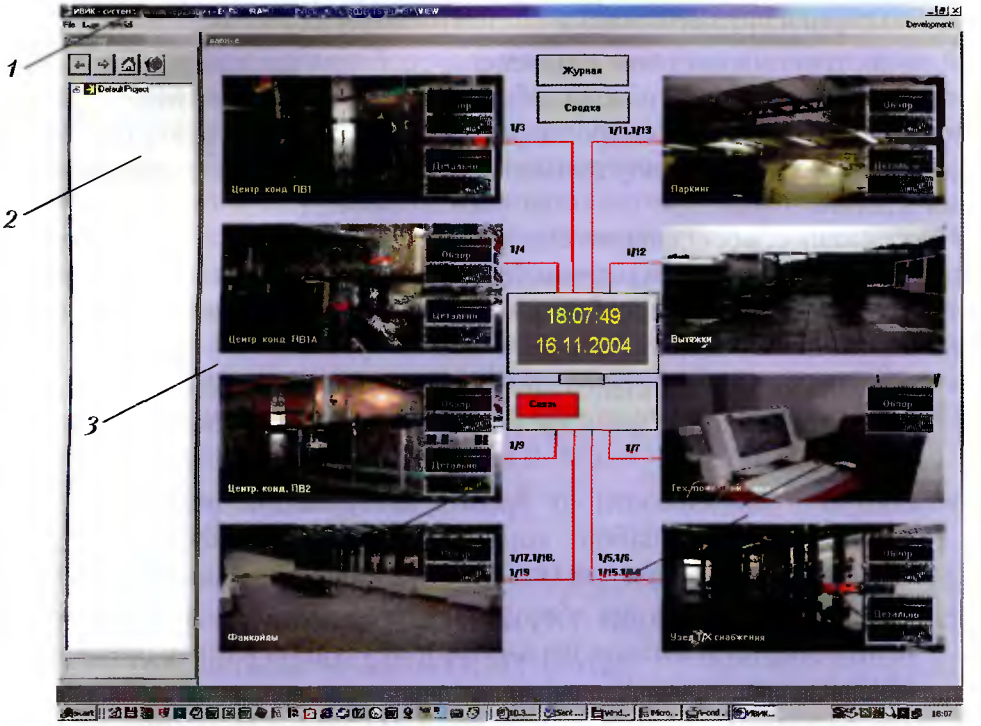


Рис. 10.3.8. Главное информационное окно системы диспетчеризации, разработанной компанией «ИВИК» (Украина):
1 – заголовок; *2* – навигатор; *3* – область отображения окон

Выделены три группы пользователей, идентификация которых при входе в систему основана на вводе имени и пароля. Права пользователя определяются параметром «Уровень доступа» (от 0 до 9999), который вводится для каждого пользователя при конфигурации системы доступа (табл. 10.3.1).

Таблица 10.3.1. Права пользователей системы диспетчеризации для различных групп и уровней доступа

Группа	Уровень доступа	Защита паролем	Права
1	0	нет	Пользователь имеет доступ к просмотру информации в главном окне системы и может запретить звуковой сигнал аварии.
2	6000	есть	Пользователь имеет доступ к информации на всех окнах системы, может изменять параметры работы оборудования, подтверждать аварии и просматривать журнал работы системы.
3	9999	есть	Права, аналогичные правам группы 2. Но кроме этого, имеется доступ к окну конфигурирования пользователей системы – добавление, удаление пользователей из списка, изменение паролей и уровней доступа.

В случае бездействия пользователя (группа 2 и 3) на протяжении 5 мин на 30 с выводится окно с предупреждением, в котором указывается время, оставшееся до автоматического выхода пользователя из системы. Если в течение этого времени пользователь не воспользуется клавиатурой или мышью, ему автоматически будет присвоен нулевой уровень доступа (группа 1).

На каждом экране с мнемосхемами систем имеются активные элементы – органы управления (тумблер включения/выключения системы, кнопки, поле ввода числового значения). Для удобства работы оператора для всех активных элементов, воздействующих на оборудование, при отображении на экране ПК применяется единый подход: при наведении курсора мыши на активный элемент этот элемент выделяется рамкой. Рамка окружает только ту его часть, где нужно произвести щелчок мышью, чтобы оказать управляющее воздействие.

При разработке системы диспетчерского управления в среде MicroNet Window Maker разработчиком создаются окна, которые содержат управляемые объекты, нарисованные с использованием графических примитивов (круг, квадрат, линия и т. д.). Каждый из них имеет набор изменяемых свойств (например, линия – цвет, длина, ширина, положение и ориентация в пространстве). Расположив объекты на экране таким образом, чтобы получить изображение, например, воздушной заслонки, и связав свойства составляющих изображение примитивов с соответствующими переменными из контроллера (положением заслонки в %), с помощью простых средств можно создать достаточно сложные и наглядные анимированные изображения средств автоматизации.

Автоматизация процессов навигации пользователя по окнам системы осуществляется посредством создания системы скриптов и Quick-сценариев. Применяя скрипты, можно создавать анимированные изображения (например, вращающийся вентилятор, работающий двигатель внутреннего сгорания в разрезе и др.). В качестве средств индикации и управления можно также использовать объекты Active-X (своего рода подпрограммы, написанные на языке высокого уровня Visual Basic).

Примером такого объекта из стандартной библиотеки MicroNet Window Maker может быть объект TimeSchedule (расписание), обрабатывающий данные о расписании работы системы на неделю, содержащиеся в переменной строкового типа (112 символов) соответствующего контроллера. Объект TimeSchedule выгружает эту переменную из контроллера, разбивает ее на участки, соответствующие отдельным записям «время включения» в формате «чч:мм» (всего 7 дней × 4 события в день = 28 записей) и представляет эту информацию пользователю для просмотра и редактирования в удобном для восприятия графическом виде (рис. 10.3.9).

На рис.10.3.10–10.3.12. представлены примеры окон наиболее характерных подсистем (блоков) с изображением мнемосхем, органов управления и сигнализации.

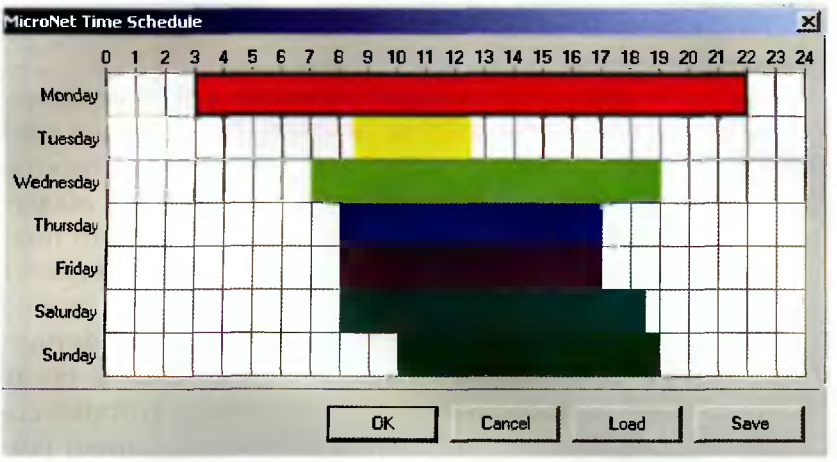


Рис. 10.3.9. Окно «Расписания работы системы»

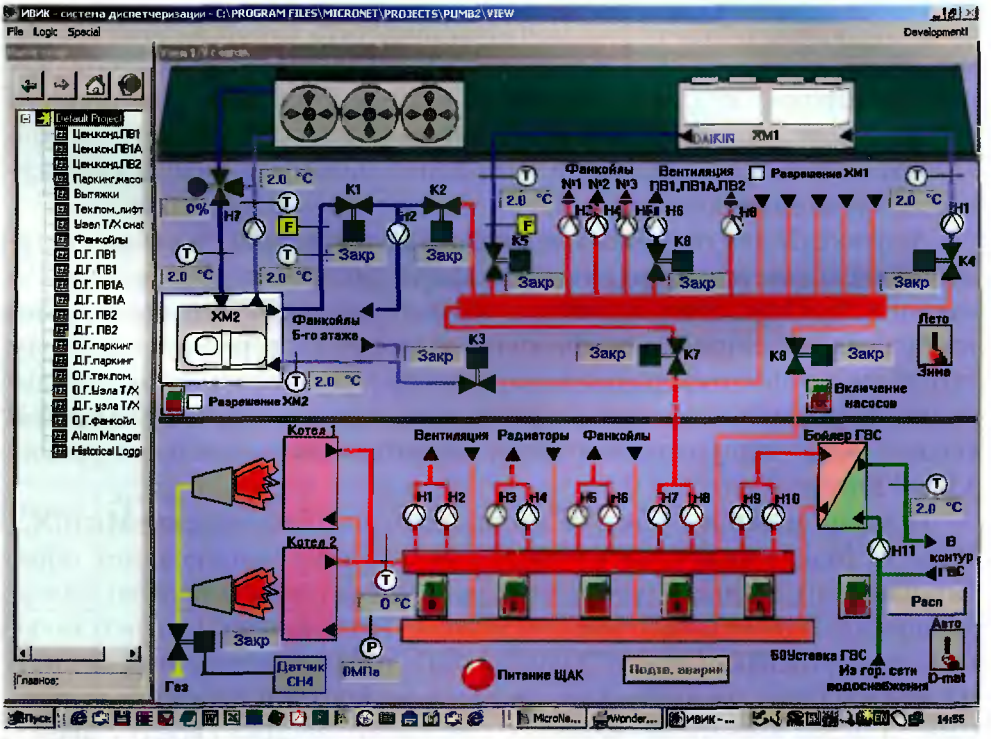


Рис. 10.3.10. Окна управления системой тепло-холодоснабжения здания с анимированными элементами

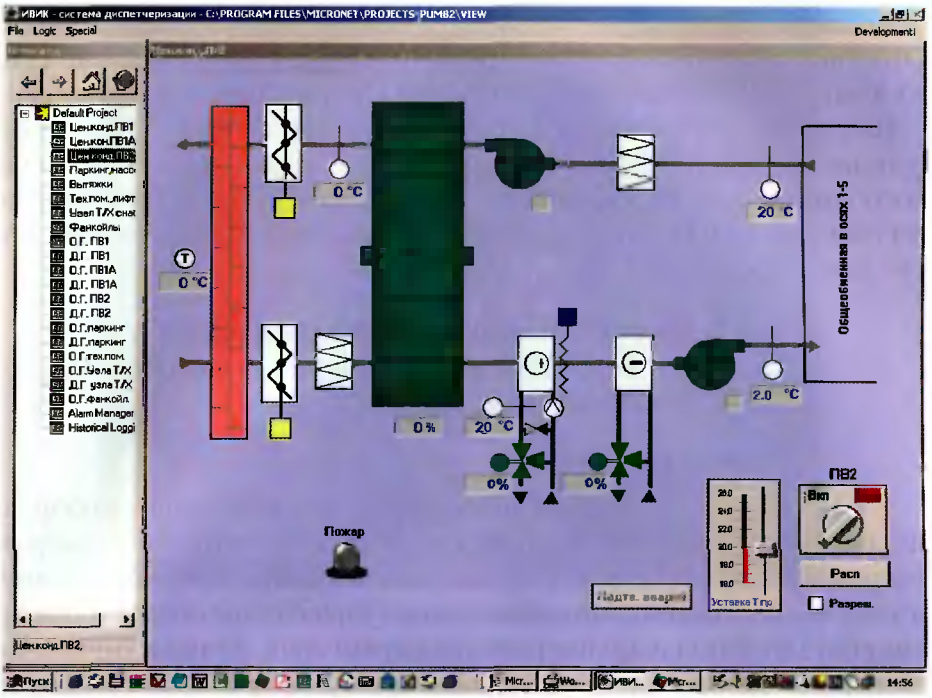


Рис. 10.3.11. Окно управления центральным кондиционером с рекуперацией воздуха

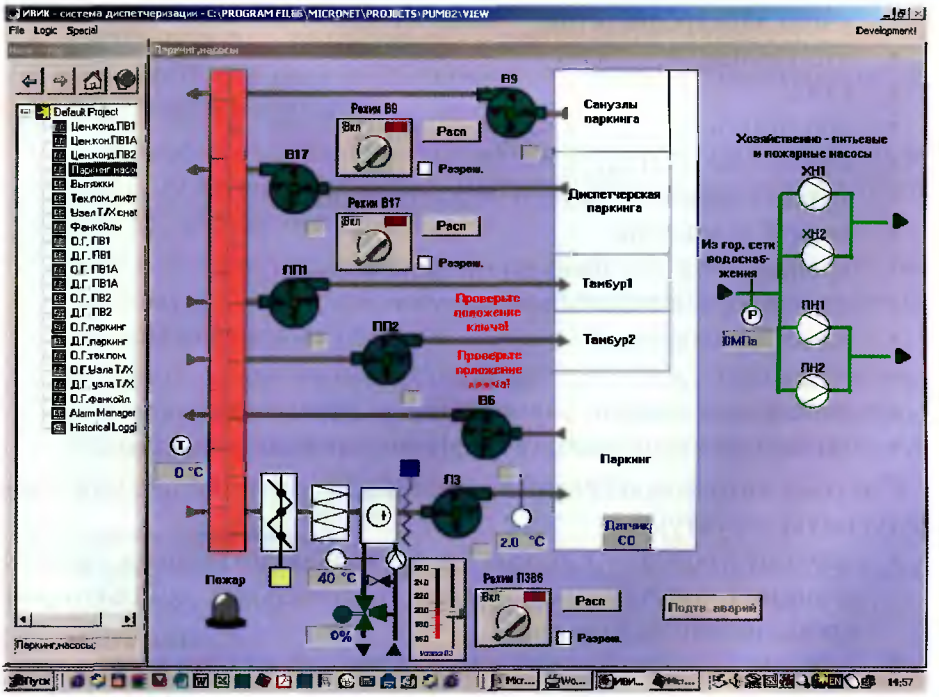


Рис. 10.3.12. Окно управления исполнительными элементами паркинга

После проведения пользователем изменений и нажатия кнопки «ОК», выполняется обратное преобразование (формирование строки) и загрузка измененной переменной (расписания) в контроллер.

Из главного информационного окна можно перейти к просмотру функционирования конкретной системы. Сделать это можно двумя способами: нажав на картинку с изображением требуемой системы или помещения в главном окне или выбрав систему/помещение в дереве навигатора.

10.3.4. СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ «МЕНЕДЖЕР ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ», «РАУТ-АВТОМАТИК», УКРАИНА

10.3.4.1. НАЗНАЧЕНИЕ

Система диспетчеризации инженерного оборудования административных, торговых и офисных зданий «Менеджер инженерных систем» (МИС-1) объединяет в единую информационную систему все подсистемы автоматического управления, обеспечивая при этом визуализацию и архивирование параметров, а также управление и контроль работы следующих технологических подсистем блоков объекта (рис. 10.3.12):

- учета тепловой энергии;
- учета электроэнергии;
- отопления;
- ГВС;
- кондиционирования и вентиляции;
- холодоснабжения;
- хозяйственно-питьевого водоснабжения;
- антиобледенения;
- дренажной и хоз-фекальной канализации;
- электроосвещения объекта;
- электроснабжения;
- лифтов;
- загазованности (информационные сигналы);
- пожарной сигнализации (информационные сигналы).

Система автоматического управления и диспетчеризации имеет следующую структуру:

- верхний уровень – система диспетчеризации (сервер + рабочие станции), выполненная на базе персональных компьютеров и промышленных станций;
- нижний уровень – система автоматического управления технологическими подсистемами (блоками) на базе микропроцессорных контроллеров.

Ниже приводится краткое описание некоторых блоков.

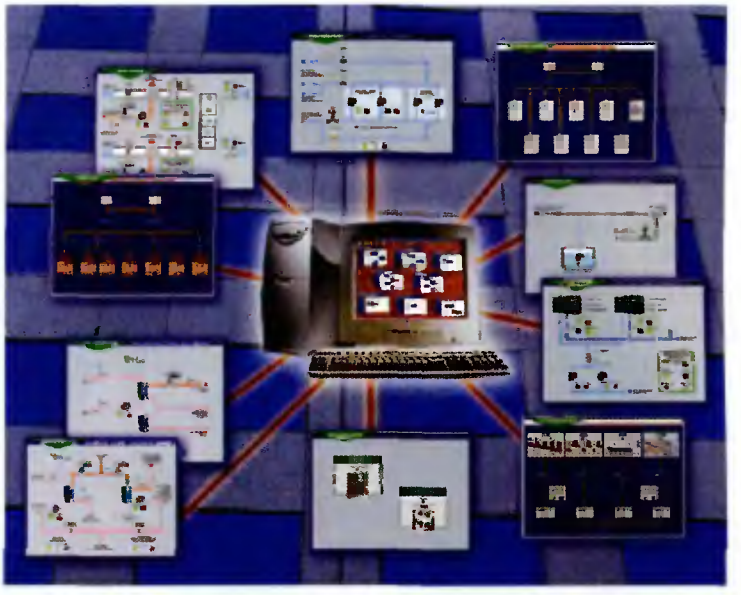


Рис. 10.3.13. МИС-1. Общая конфигурация системы

10.3.4.2. БЛОК ОТОПЛЕНИЯ

Алгоритмы регулирования

Пользователь выбирает один из алгоритмов регулирования:

- регулирование температуры в помещении (для небольших помещений или по характерным точкам) с учетом температуры наружного воздуха;
- регулирование температуры обратного теплоносителя по реальному сетевому графику местной теплосети с учетом температуры наружного воздуха;
- регулирование температуры обратного теплоносителя по расчетному сетевому графику местной теплосети с учетом температуры наружного воздуха;
- регулирование температуры подающего теплоносителя (смеси для зависимых схем и внутренней подачи для независимых систем) по расчетному сетевому графику местной теплосети с учетом температуры наружного воздуха.

Алгоритмы управления

- управление одним, двумя или тремя циркуляционными (независимая система) или подмешивающими (зависимая система) насосами;
- управление подпиточными насосами;
- управление электромагнитным подпиточным вентилем (независимая система).

Временные программы

- изменение сетевого графика в ночное время и в выходные дни (время задается для каждого дня отдельно);
- организация попеременной работы насосов с целью их одинаковой наработки.

Формирование аварийных сигналов

Контроллер формирует следующие аварийные сигналы с индикацией их на своем табло и выдачей в систему диспетчеризации:

- отклонение от сетевого графика;
- неисправность любого из подключенных насосов;
- неисправность контроллера;
- снижение давления во внутреннем контуре.

Визуализация технологической части системы отопления

- мультипликация следующих элементов:
  - вращение насосов;
  - движение регулирующих клапанов;
  - движение сред в разрывах трубопроводов;
- на мнемосхеме системы отопления над значением температуры теплоносителя отображаются значения уставок по температуре на вводе в здание и на подающем и обратном трубопроводах системы отопления.

С рабочей станции производятся следующие операции

В автоматическом режиме работы:

- останов всех насосов (при этом система автоматически переводится в дистанционных режим);

В дистанционном режиме работы:

- пуск и останов всех насосов;
- управление электромагнитными и регулирующими клапанами.

10.3.4.3. БЛОК ХОЛОДОСНАБЖЕНИЯ

Алгоритмы регулирования

- регулирование температуры подающего теплоносителя (осуществляет комплектная автоматика холодильной машины).

Алгоритмы управления

- управление циркуляционными насосами;
- предоставление или снятие разрешения на включение холодильной машины.

Временные программы

- работа холодильных машин распределяется равномерно по времени (смена ведущей машины по циклическому приоритету после каждого включения и выключения всех компрессоров);
- организация попеременной работы циркуляционных насосов.

IBIK

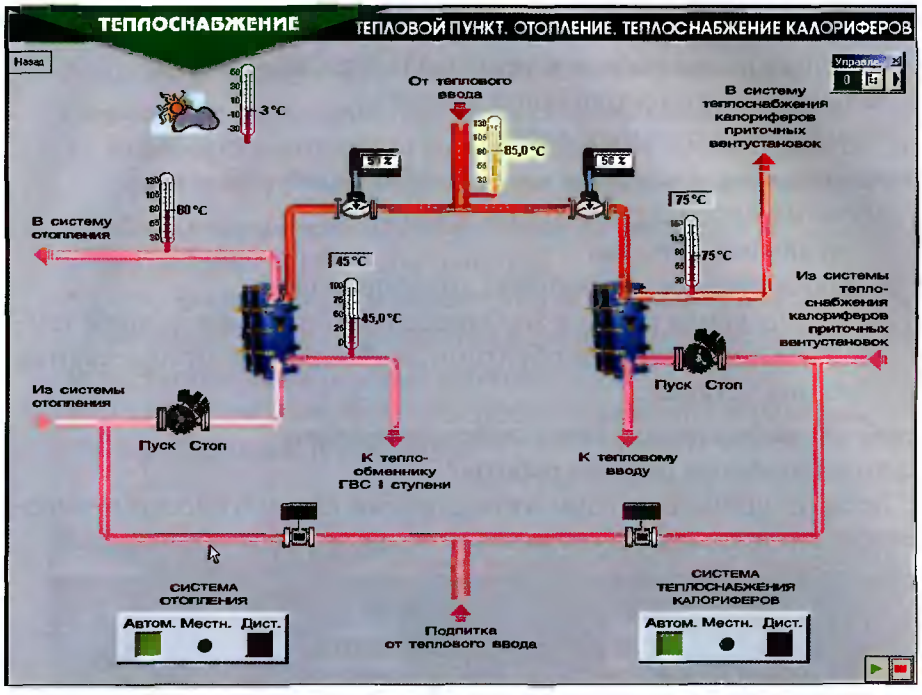


Рис. 10.3.14. МИС-1. Окно состояния теплоснабжения калориферов

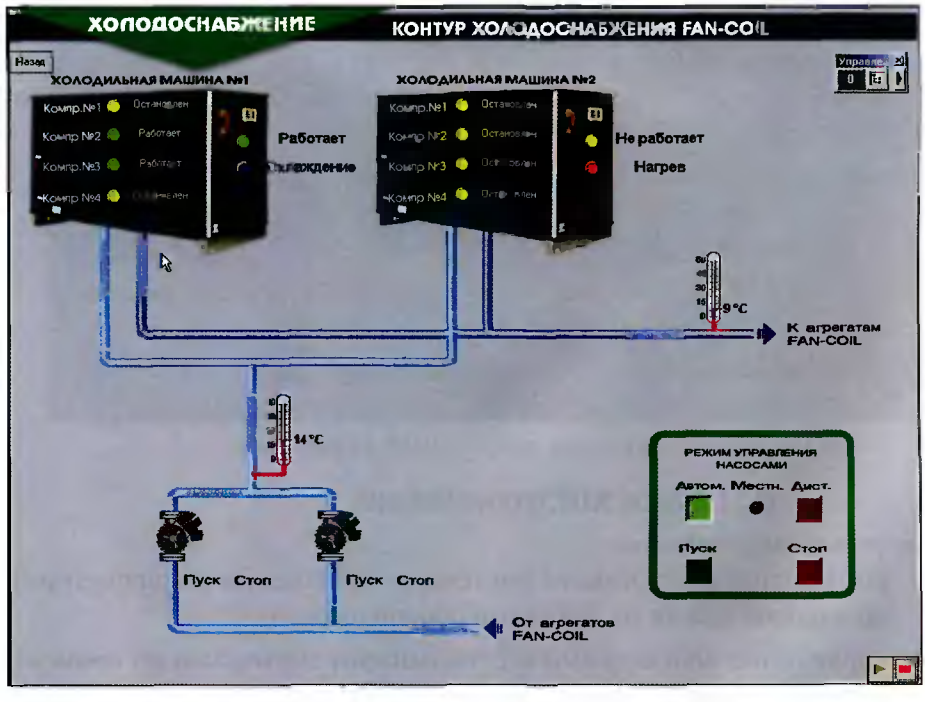


Рис. 10.3.15. МИС-1. Окно состояния блока холодоснабжения

Формирование аварийных сигналов

- неисправность любого из подключенных насосов;
- неисправность холодильной машины;
- неисправность контроллера.

Визуализация технологической части системы холодоснабжения

- мультипликация следующих элементов:
  - вращение насосов;
  - движение сред в разрывах трубопроводов;
- на мнемосхеме системы холодоснабжения над значением температуры подающем и обратном трубопроводе отображаются значения уставки.

С рабочей станции производятся следующие операции

В автоматическом режиме работы:

- останов установки (при этом система автоматически переводится в дистанционный режим).

В дистанционном режиме работы:

- пуск и останов холодильных машин;
- управление циркуляционными насосами.

10.3.4.4. БЛОК ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Алгоритмы регулирования

- управление питающими фидерами по временной программе в автоматическом режиме;
- отключение нагрузок списками по выбранному приоритету при перегрузке системы.

Формирование аварийных сигналов

- неисправность любого из питающих фидеров;
- превышение нагрузки.

Визуализация технологической части системы электроснабжения

- мультипликация состояния фидеров.

С рабочей станции производятся следующие операции

- включение/выключение фидеров.

10.3.4.5. БЛОК ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ

Алгоритмы регулирования

- управление различными системами освещения по временной программе и/или от датчиков освещенности;
- управление подсветками и рекламными системами по временной программе и/или от датчиков освещенности.

Формирование аварийных сигналов

- неисправность любой из систем освещения.

Визуализация технологической части системы электроосвещения

- подсветка соответствующих элементов мнемосхемы систем освещения и рекламы при их включении.

С рабочей станции производятся следующие операции

В автоматическом режиме работы:

- отключение систем освещения и рекламы (при этом система автоматически переводится в дистанционный режим работы).

В дистанционном режиме работы:

- включение/выключение систем освещения и рекламы, исключая программную логику.

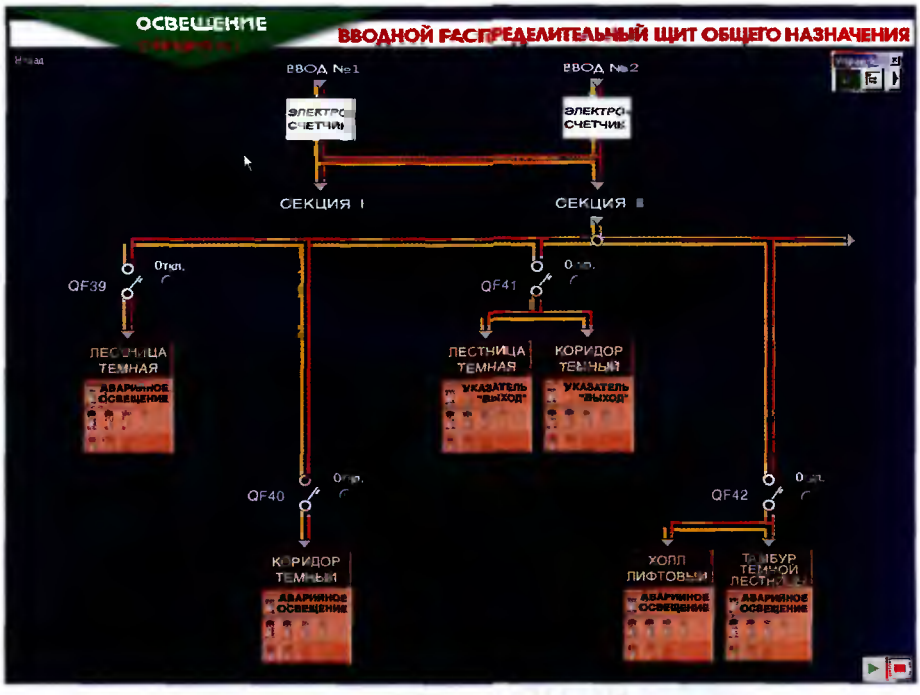


Рис. 10.3.16. МИС-1. Окно состояния блока освещения

10.3.5. СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ KONTAR-SCADA, ОАО «МОСКОВСКИЙ ЗАВОД ТЕПЛОВОЙ АВТОМАТИКИ», РОССИЯ

Система диспетчеризации KONTAR-SCADA предназначена для решения задач диспетчеризации и мониторинга объектов, автоматизированных при помощи семейств контроллеров КОНТАР (раздел 9.3).

KONTAR-SCADA выполнена в клиент-серверной архитектуре, благодаря чему не требуется установка специализированного программного обеспечения на клиентском компьютере. Расстояния, на которые разнесены клиент, сервер и диспетчерский компьютер могут быть любыми. Допускается объединение клиентской машины и сервера в случае диспетчеризации одного объекта.

Возможно построение системы диспетчеризации как на основе локального, так и глобального (Internet) сервера диспетчеризации. Для обеспечения работы системы диспетчеризации необходимо решить проблему передачи данных на диспетчерский сервер. Применение на верхнем уровне сети Ethernet и протокола TCP/IP позволяет использовать для решения весь диапазон современных сетевых технологий.

Программа KONTAR-SCADA, размещенная на глобальном сервере или нескольких серверах в сети Internet, обеспечивает обслуживание одновременно многих пользователей: их администрирование, поддержку человеко-машинного интерфейса, например, мнемосхем, архивирование событий, отображение различных параметров, графиков их изменения, необходимых для настройки, графиков за период для отчетов и анализа. KONTAR-SCADA позволяет планировать режимы работы оборудования на длительный период, содержит мощную базу данных, в которой хранится информация о проекте, параметрах контроллеров, вносимых изменениях и т. п.

Требования к техническому обеспечению системы:

Сервер:

- операционная система Windows 2000 professional;
- процессор PIII 800 МГц и выше;
- оперативная память 512 Мб.

Клиент:

- браузер Microsoft Internet Explorer версии 5.0 и выше;
- плагин Micrmedia;
- разрешение монитора 1024 на 768 точек (желательно).

Возможен гостевой вход в систему на сервер ОАО МЗТА, для чего используется имя «guest» и пароль «guest». В гостевом режиме доступ предоставляется только к некоторым рабочим действующим проектам, изменение их параметров и режимов работы невозможно.

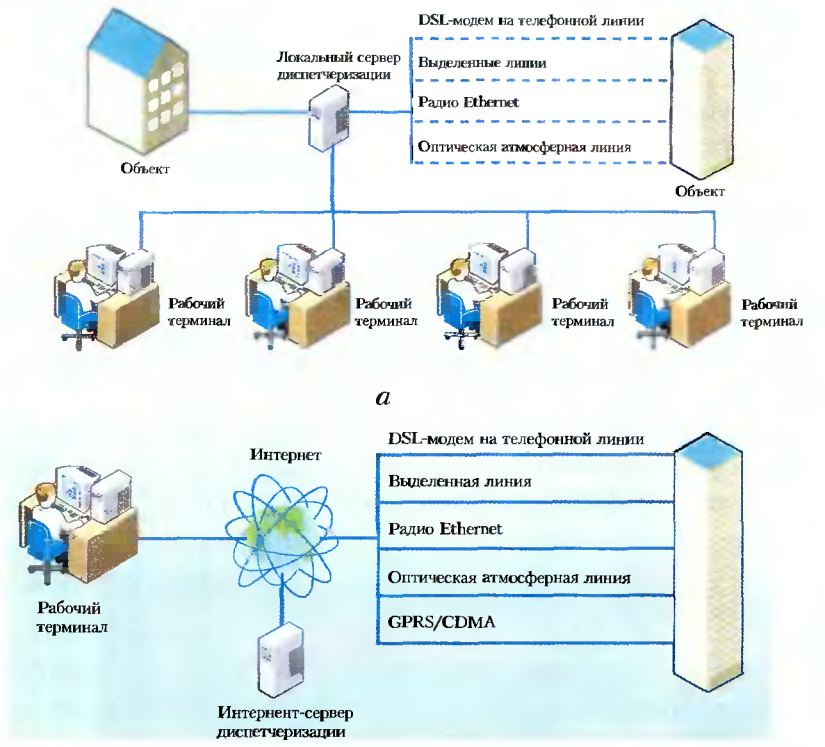


Рис. 10.3.17. Система диспетчеризации KONTAR-SCADA:
а – диспетчеризация с использованием локального сервера;
б – диспетчеризация с использованием Интернет-сервера

KONTAR-SCADA обеспечивает:

- наблюдение за состоянием объектов и значением параметров (в том числе через Internet);
- возможность удаленного управления объектов с ведением протокола;
- сбор и архивация отобранных параметров с возможностью построения графиков;
- оповещение об отказах системы с помощью SMS-сообщений, по электронной почте с архивацией этих отказов;
- управление правами доступа (только просмотр или просмотр и управление);
- задание времени включения/выключения оборудования, смены режима, изменения значения параметра и т. п.;
- быстрая разработка графического интерфейса пользователя при помощи библиотеки графических примитивов.

Особенностью программного обеспечения KONTAR-SCADA также является то, что система диспетчеризации может быть создана

разработчиком проекта без привлечения специалистов по программированию.

На рис. 10.3.18 и 10.3.19 показаны примеры выполнения мнемосхем в системе KONTAR-SCADA.

Мнемосхемы создаются из графических примитивов, входящих в состав библиотеки. Разработка мнемосхемы выполняется также как в инструментальной системе ИС KONGRAF. Отличие заключается в том, что в ИС KONGRAF на рабочее поле перемещаются программы из библиотеки алгоритмических блоков, а в KONTAR-SCADA – графические примитивы из библиотеки компонентов, отображающие ту или иную часть реального объекта управления.

Библиотека компонентов (графических примитивов) постоянно пополняется новыми примитивами. Если разработчик мнемосхемы не подобрал в существующей библиотеке нужного ему примитива, то он может заказать его фирме-разработчику или сделать его самостоятельно.

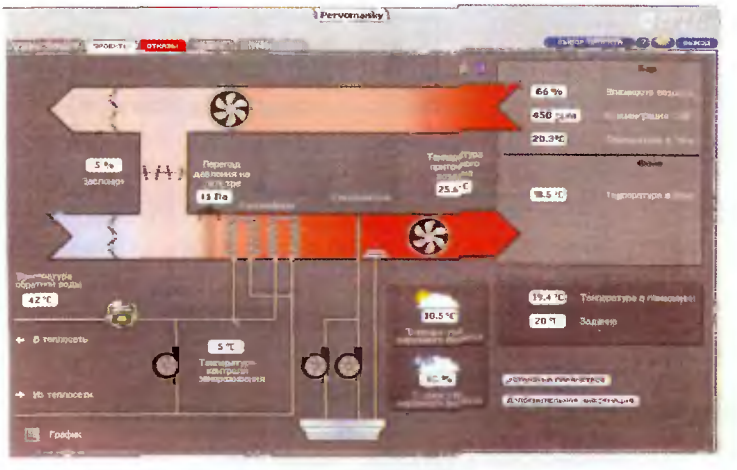


Рис. 10.3.18. Мнемосхема управления центральным кондиционером

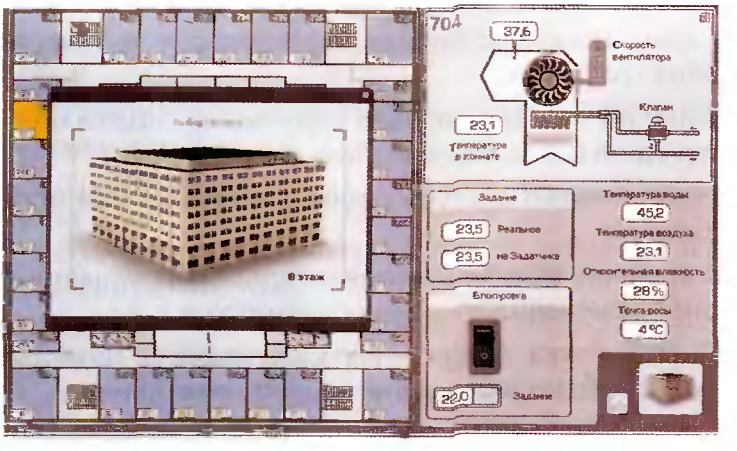


Рис. 10.3.19. Главное окно системы диспетчеризации управления СКВ административным зданим

10.4. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АСУ ЖИЛЫМИ ЗДАНИЯМИ (ТЕХНОЛОГИЯ «УМНЫЙ ДОМ»)

10.4.1. НАЗНАЧЕНИЕ

Современный жилой дом – это сложнейшая инфраструктура инженерных подсистем, технических и бытовых приборов. Автоматизированные системы для жилых домов, которые ориентированы на создание комфорта, уюта и удобства его обитателей получили название «Умный дом».

Наиболее насыщенными объектами являются гостиницы и крупные коттеджи, в которых задачи управления и диспетчеризации имеют следующую приоритетность (первая особенность «Умного дома»):

- комфорт и удобство;
- безопасность;
- имидж и престиж;
- экономичность.

Комфорт и удобство

Для создания комфорта используются не только традиционные системы, основанные на измерении параметров среды (температура, влажность, газовый состав), но и принципиально новые биометрические технологии. Сущность заключается в измерении биологического состояния человека в данный момент и соответствующей корректировке окружающей его среды. Например, автоматическая корректировка состава воды при водных процедурах в зависимости от предварительно измеренных значений температуры и влажности тела (MHI, Neuro & fuzzy logic).

Безопасность

Для зданий с большой насыщенностью инженерного и бытового оборудования большой проблемой является безопасность (противопожарная система, система антизатопления, охрана и др.). Возрастают требования к системам безопасности не только владельцев зданий, но и страховых компаний.

Имидж и престиж

Иногда при создании системы управления «Умный дом» этот аспект является определяющим. Заказчик в праве поддержать собственный имидж составом и системой управления своего дома, показать, что ему есть, чем гордиться.

Экономичность

Система «Умный дом» дает как явную, так и скрытую прибыль. Экономия электроэнергии достигает 50–75% (явная прибыль), значительно уменьшается вероятность краж, затопления, пожара, стои-

мость страхования (скрытая прибыль). При этом с увеличением числа функций системы, стоимость и эксплуатационные расходы на одну функцию уменьшаются.

Второй особенностью «Умного дома» является возможность управления разнородным оборудованием, производимым различными фирмами.

Третья особенность – возможность управления системой не только с центрального пульта управления, а с любой точки (комнаты) объекта или на удалении.

10.4.2. ОБЩИЕ ФУНКЦИИ

В общем случае к инженерным системам «Умного дома» относятся следующие блоки (подсистемы):

- вентиляция и кондиционирование;
- холодоснабжение;
- теплоснабжение (включая ГВС, отопление и подогрев полов);
- противопожарная система (включая дымоудаление и подпор воздуха);
- водоснабжение и водоподготовка;
- дистанционное управление бытовыми приборами;
- управление освещением;
- учет потребления электроэнергии и тепла;
- дренаж и канализации;
- санкционированный доступ;
- центральный выключатель;
- охрана;
- техническая безопасность (аварийная, затопления, дождевая, ветровая и др.).

Охранный блок включает:

- видеонаблюдение;
- домофон;
- оповещение (автодозвонитель);
- сигнализация;
- тревожный режим.

В предыдущих разделах книги многие из перечисленных инженерных блоков системы управления и диспетчеризации были рассмотрены. Поэтому приведем описание только некоторых функций охранного блока.

Блок антизатопления

При появлении воды в сканируемом помещении детектор затопления посылает сигнал на сервер управления. Сервер анализирует источник (место возникновения) аварийной ситуации, принимает ре-

шение о необходимости перекрытия водоснабжения и дает команду соответствующему клапану. Затем система оповещает владельца здания и/или службу технической поддержки посредством телефона, отправки электронной почты или SMS-сообщения. Подача воды будет возобновлена только после ликвидации причины аварии и поступления команды на разрешение работы.

Блок «Центральный выключатель»

Используется при уходе жильцов из дома для перевода инженерных систем в «дежурный режим», включения охранного блока и др.

При включении этого блока выключаются освещение (кроме «дежурного»), электроприборы (кроме холодильников, морозильников, автоответчиков). Отопление, водоподготовка, кондиционирование переключаются в «дежурный» режим.

Блок «Тревожный режим»

Включается по командам видеонаблюдения, превышения уровня шума или вручную. В этом режиме включается свет во всей зоне, кроме спальни и детской комнаты, посылается сигнал в службу охраны и раздается звуковой сигнал. Свет и звуковая тревога предотвращают нападение грабителей.

10.4.3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Структуру системы «Умный дом» можно условно разделить на три уровня (рис. 10.4.1):

- .уровень команд – средства взаимодействия с пользователем, например, сенсорные панели, интернет и мобильный телефон;
- уровень управления – средства автоматизации и управления, например, центральный контроллер или их объединение в многоуровневую сеть;
- уровень коммуникаций (обмен информацией) – интерфейсы управления оборудованием, например, устройства, организующие уровень физического соединения.

Уровень команд – это единственный уровень, с которым взаимодействует пользователь. Именно по развитию этого уровня пользователи часто судят об уровне системы в целом. В качестве положительного примера организации уровня команд можно привести разработки компании AMX. Последняя серия панелей управления компании AMX – это полноцветная высококачественная графика последнего поколения G4, широкие мультимедийные возможности (аудио и видео), неограниченная функциональность, а также использование беспроводной передачи данных (рис. 10.4.2).

Возможно управления панелями с компьютеров (в том числе через интернет) и компьютером с панелей.

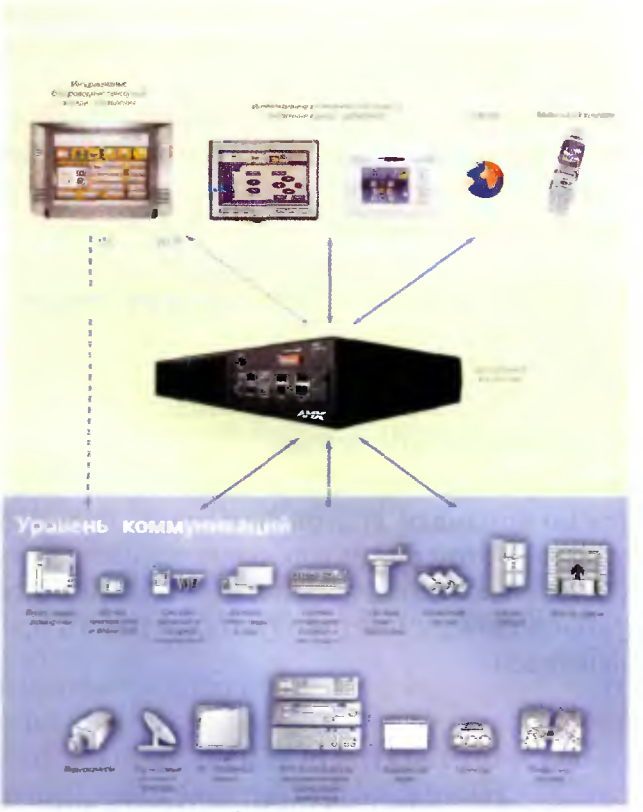


Рис.10.4.1. Структура «Умного дома»

Уровень управления – это контроллер или система из нескольких контроллеров, соединенных вместе через транспортный уровень. Сюда поступает информация от уровня команд, обрабатывается и пе-Передается в уровень коммуникаций. С другой стороны поступает информация и от уровня коммуникаций. Фактически этот уровень и есть система автоматизации. Системы AMX имеют развитый сетевой уровень передачи данных и поддерживают как свои шины данных – ICSNet и AxLink, так и протокол TCP/IP, что делает доступным использование Ethernet и Wi-Fi (беспроводной стандарт передачи данных). Мощный инструментарий позволяет разрабатывать программы любой сложности и использовать широкий спектр логических протоколов взаимодействия для интерфейсов уровня коммуникаций.

Уровень коммуникаций – это набор интерфейсов управления, которые служат для обмена информацией между устройствами (уровнем) управления по проводной или беспроводной линии связи. Этот уровень поддерживается различными протоколами связи. Интерфейсы управления бывают как встроенные в интегрированные контрол-

IBIK

леры, так и подключаемые непосредственно к шине.

Пользователи судят об уровне системы в целом по уровню средств взаимодействия. Они не должны знать ни уровень управления, ни уровень коммуникаций. Пользователям важно насколько будет удобно эксплуатировать эту систему, простота управления и насколько интуитивно понятным будет интерфейс. Именно поэтому системы «Умный дом» успешно завоевывают рынок.

Рис. 10.4.2. Беспроводная сенсорная панель управления первого уровня

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

Приложения

Приложение 1

Перечень основной нормативной документации по системам отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, действующей в Украине

1. **Перелік** чинних в Україні нормативних документів у галузі будівництва (за станом на 1 січня 2005 р.).
2. **СНиП 2.04.05-91** Отопление, вентиляция и кондиционирование.
3. Изменение №1 **СНиП 2.04.05-91** Отопление, вентиляция и кондиционирование.
4. Изменение №2 **СНиП 2.04.05-91** Отопление, вентиляция и кондиционирование.
5. **СНиП 23-01-99** Строительная климатология.
6. **СНиП II-3-79*** Строительная теплотехника.
7. **ДСТУ 365.1-97** Похідні одиниці фізичних величин міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці.
8. **ДСТУ Б А.2.4** (ГОСТ 21.101-97) Основні вимоги до проектної та робочої документації.
9. **ДСТУ Б А.2.4-8-95** (ГОСТ 21.205-93) СПДБ. Умовні позначення елементів санітарно-технічних систем.
10. **ДСТУ Б А.2.4-3-95** (ГОСТ 21.408-93) СПДБ. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
11. **ГОСТ 2.782-96** Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические
12. **ГОСТ 21.404-85** Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах
13. **ДБН А.2.2-3-97** Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва.
14. **ДСТУ Б А.2.4-95** (ГОСТ 21.408-93) Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.
15. **ДБН А.2.2-1-95** Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування.
16. **ДБН А.3.1-3-94** Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів. Основні положення.
17. **ДБН А.3.1-4-95** Положення про гарантійний паспорт-сертифікат на об'єкт, що вводиться в експлуатацію.
18. **ДБН А.2.2-2-96** Технічний захист інформації. Загальні вимоги до організації проектування і проектної документації для будівництва.
19. **ДБН В.2.2-3-97** Будинки та споруди навчальних закладів.
20. **ДБН В.2.5-13-98** Пожежна автоматика будинків і споруд.

ІВІК

21. **ДБН В.2.2-4-97** Здания и сооружения детских дошкольных учреждений.
22. **ДБН В.2.2-9-99** Громадські будинки та споруди. Основні положення.
23. **ДБН В.2.2.-10-2001** Будинки і споруди. Заклади охорони здоров'я.
24. **ДБН А.3.1.-5-96** Організація будівельного виробництва.
25. **ДБН А.1.1.-3-93** Порядок проведення експертизи, узгодження, затвердження, реєстрації, видання та скасування нормативних документів.
26. **ДБН А.1.1.-2-93** Порядок розробки, вимоги до побудови, викладу та оформлення нормативних документів.
27. **ВБН В.2.2-00032106-1-95** Будинки і споруди. Проектування банків і банківських сховищ.
28. **ДСТУ Б А.2.4-1-95** (ГОСТ 21.206-93) СПДБ. Умовні позначення трубопроводів.
29. **ДСТУ Б А.2.4-9-95** (ГОСТ 21.405-93) Правила виконання робочої документації теплової ізоляції обладнання і трубопроводів.
30. **ДСТУ б А.2.4-10-95** (ГОСТ 21.110-95) СПДБ. Правила виконання специфікацій обладнання виробів і матеріалів.
31. **ДСТУ Б А.2.4-11-95** (ГОСТ 21.114-95) СПДБ. Правила виконання ескізних креслень загальних видів нетипових виробів.
32. **ДСТУ Б А.2.4-4-99** (ГОСТ 21.101-97) Основні вимоги до проектної та робочої документації.
33. **ДСТУ Б В.2.5-17-2001** Труби зі структурованого поліетилену для мереж холодного, гарячого водопостачання та опалення. Технічні умови.
34. **СНиП 3.05.01-85** Внутренние санитарно-технические системы.
35. **СНиП 2.08.01-89** Жилые здания.
36. **СНиП 3-4-80** Правила производства и приемки работ. Глава 4. Техника безопасности в строительстве.
37. **СНиП 2.04.14-88*** Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
38. **ДСН 3.3.6.037-99** Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
39. **ДСН 3.3.6.042-99** Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
40. **ДСН 3.3.6.039-99** Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації.
41. **ДНАОП 1.1.10-1.04-01** Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями.
42. **ДНАОП 0.00-8.19-99** Порядок проведення опосвідчення електроустановок споживачів.
43. **ДНАОП 0.00-1.21-98** Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів.
44. **ДНАОП 0.00-1.29-97** Правила захисту від статичної електрики.
45. **ДНАОП 0.00-1.07-94** Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.
47. **СНиП 3.05.07-85** Системы автоматизации.
48. **РМГ-29-99** Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерения. МЕТРОЛОГИЯ. Основные термины и определения.

Приложение 2

Расчетные параметры наружного воздуха

Город	Расчетная географическая широта, град. с. ш.	Барометрическое давление, кПа	Период года	Параметры А			Параметры Б			Среднесуточная амплитуда температуры воздуха, °С	Количество градусо-суток отопит периода
				Температура, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с		
Бердянск	46	101	Тепл Холодн	25,9 −7	53,9 −2,5	1 1	30,5 −19	63 −17,6	1 1	12,5 —	3024
Винница	48	97	Тепл Холодн	23 −10	53,6 −6,7	2,8 7,1	27,3 −21	56,9 −19,7	2,8 5,2	11,9 —	3610
Джанкой	46	101	Тепл Холодн	27,8 −5	58,9 0	1 1	32,4 −17	63 −15,5	1 1	14 —	2640
Днепропетровск	48	101	Тепл Холодн	26,5 −9	54 −5,4	1 7	31 −23	57,4 −22	1 5,7	11,3 —	3325
Донецк	49	101	Тепл Холодн	25,3 −10	54,7 −6,7	1 6,2	30,4 −23	53,9 −22,2	1 6,2	13,9 —	3623
Евпаторня	45	101	Тепл Холодн	28,8 −3	63 −2,7	4 7,1	31,4 −16	67 −14,2	4 7,1	8,4 —	2324
Житомир	48	99	Тепл Холодн	23,1 −9	50,5 −5,2	1 5,4	27,7 −22	54,7 −21	1 5,4	10,8 —	3610
Запорожье	48	101	Тепл Холодн	27,1 −8	55,7 −5,4	1 7,8	31,2 −22	58,6 −21,2	1 7,1	12,5 —	3202
Ивано Франковск	48	97	Тепл Холодн	22,8 −9	54,7 −5,4	1 5,8	27,4 −20	58,9 −18,9	1 5,8	11,2 —	3330
Измаил	44	101	Тепл Холодн	27,2 −5	58,6 0	1 1	31,8 −14	61,5 −11,7	1 7	11,8 —	2812
Керчь	44	101	Тепл Холодн	26 −4	60,7 1,3	4,1 10,2	30,3 −15	62,8 −13	4,1 9	11 —	2174
Киев	51	99	Тепл Холодн	23,7 −10	53,6 −6,7	1 5,3	28,7 −22	56,1 −20,7	1 4,2	10,8 —	3572
Кировоград	48	99	Тепл Холодн	25,8 −5,4	55,3 −5,4	1 6,7	29,7 −22	57,4 −20,7	1 5,7	12,9 —	3515
Конотоп	52	99	Тепл Холодн	24 −11	52,3 −8	1 5	28 −24	55,7 −22,2	1 4,3	11,6 —	3919
Луганск	48	101	Тепл Холодн	27,4 −10	56,3 −6,7	1 6,7	31,8 −25	58,6 −24,3	1 5,2	13,9 —	3528
Луцк	52	97	Тепл Холодн	22,6 −8	50,5 −4,2	1 6,3	27,2 −20	54,7 −18,9	1 6,3	10,3 —	3403
Львов	48	97	Тепл Холодн	22,1 −9	53,2 −2,5	1 7,1	26,4 −19	57,4 −17,6	1 5,1	10,6 —	3476
Любашевка	49	99	Тепл Холодн	25,4 −9	54,7 −5	1 1	30 −20	58,9 −18,9	1 1	11,1 —	3311
Мариуполь	48	101	Тепл Холодн	26,6 −9	57,8 −5,4	3,6 12	31,8 −23	60,7 −22,2	3,6 8	11,4 —	3253
Николаев	48	101	Тепл Холодн	27,9 −7	58,2 −2,9	3,2 11	31 −20	62 −18,6	3,2 10	12,5 —	2904
Одесса	48	101	Тепл Холодн	25 −6	59 −1,3	3,3 12	28,6 −18	62 −18,3	3,3 11	8,8 —	2805
Полтава	48	99	Тепл Холодн	24,5 −11	53,6 −8	4,4 6,8	29,4 −23	56,5 −21,9	4,4 6,2	11,5 —	3721
Ровно	52	97	Тепл Холодн	22,6 −9	51,5 −5,4	1 6,8	25,1 −21	55,3 −19,7	1 5,1	10,7 —	3533
Севастополь	44	101	Тепл Холодн	25 0	60,7 −7,1	2,3 10,2	29,4 −11	64,5 −8,4	2,3 9	8,5 —	2015
Симферополь	44	97	Тепл Холодн	26,1 −4	59,5 −7,1	1 1,3	31,8 −15	63,2 −14	1 8	14 —	2544

Окончание приложения 2

Город	Расчетная географическая широта, град. с. ш.	Барометрическое давление, кПа	Период года	Параметры А			Параметры Б			Среднесуточная амплитуда температуры воздуха, °С	Количество градусо-суток отопит. периода
				Температура, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с	Температура, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Скорость ветра, м/с		
Славянск	48	99	Тепл. Холодн.	27,1 −10	54,4 −6,7	1 6,8	31,2 −23	58,2 −24,3	1 5,2	13,2 —	3585
Сумы	52	99	Тепл. Холодн.	23,6 −12	50,5 −9,2	1 5,9	28,2 −24	54,7 −23,7	1 5,9	10,7 —	3997
Тернополь	48	97	Тепл. Холодн.	22,1 −9	52,8 −5	1 7,1	26,8 −21	57,4 −19,7	1 5,1	11,8 —	3515
Ужгород	48	99	Тепл. Холодн.	24,2 −6	54,4 −1,3	1 6	28,1 −18	58,6 −16,3	1 4,3	11,1 —	2657
Умань	48	99	Тепл. Холодн.	24,1 −9	53,6 −5	1 7,1	28,7 −22	57,8 −19,7	1 5,7	12,7 —	3572
Феодосия	45	101	Тепл. Холодн.	26,3 −2	63 1,3	1 6	30,9 −15	67 −13	1 6	8,2 —	2174
Харьков	50	99	Тепл. Холодн.	25,1 −11	52,8 −8	1 6,7	29,4 −23	56,1 −22,2	1 6,1	11,6 —	3799
Херсон	48	101	Тепл. Холодн.	29 −7	57,8 −2,9	1 9,9	30,6 −19	61,5 −17,8	1 8	12,7 —	2906
Хмельницкий	48	97	Тепл. Холодн.	22,9 −9	54,7 −5,4	1 5,7	27,5 −21	53,9 −20,1	1 5,7	10,9 —	3553
Черкассы	50	99	Тепл. Холодн.	24,5 −9	54,7 −5,2	1 1	29,1 −22	58,9 −21	1 1	11,2 —	3591
Чернигов	52	99	Тепл. Холодн.	23,2 −10	51,5 −6,7	1 4,2	27,8 −23	54,4 −21,9	1 3,8	11 —	3763
Черновцы	48	97	Тепл. Холодн.	23,8 −9	54,7 −5,4	1 5,4	28,4 −20	58,9 −18,9	1 5,4	10,6 —	3228
Ялта	44	101	Тепл. Холодн.	26,3 −1	61,1 8	1 9	30,5 −6	64,5 −2,5	1 8,7	8,4 —	1613

Примечание 1. Для других населенных пунктов расчетные параметры наружного воздуха следует принимать по ближайшему из указанных в таблице городов.

Примечание 2. Количество градусо-суток отопительного периода указано для помещений с температурой +10 °С. Для помещений с другой температурой следует применять коэффициент $k=(t_в-P_{ср.о})$, где $P_{ср.о}$ — средняя температура отопительного периода, °С; $t_в$ — температура воздуха в помещении, °С.

IBIK

Приложение 3

Основные физические характеристики влажного воздуха при давлении 101 кПа

Температура воздуха, °С	1 м³ сухого воздуха			Парциальное давление водяных паров, насыщающих воздух	Содержание водяного пара при полном насыщении		
	масса, кг	взятый при 0 °С образует при t °С объем, м³	взятый при t°С образует при 0 °С объем, м³	мм рт. ст.	в 1 м³ паро-воздушной смеси, кг	в 1 кг паро-воздушной смеси, кг	в 1 кг сухого воздуха, г
-20	1,396	0,927	1,079	0,94	0,0011	0,0008	0,77
-19	1,39	0,93	1,075	1,015	0,0012	0,0008	0,86
-18	1,385	0,934	1,071	1,116	0,0013	0,0009	0,93
-17	1,379	0,938	1,066	1,207	0,0014	0,001	1,04
-16	1,374	0,941	1,062	1,315	0,0015	0,0011	1,11
-15	1,368	0,945	1,058	1,429	0,0016	0,0012	1,2
-14	1,363	0,949	1,054	1,551	0,0017	0,0013	1,3
-13	1,358	0,952	1,05	1,684	0,0019	0,0014	1,4
-12	1,353	0,956	1,046	1,826	0,002	0,0015	1,5
-11	1,348	0,959	1,042	1,979	0,0022	0,0016	1,65
-10	1,342	0,963	1,038	2,143	0,0023	0,0017	1,79
-9	1,337	0,967	1,034	2,32	0,0025	0,0019	1,93
-8	1,332	0,971	1,03	2,509	0,0027	0,002	2,08
-7	1,327	0,974	1,026	2,712	0,0029	0,0022	2,25
-6	1,322	0,978	1,023	2,928	0,0031	0,0024	2,4
-5	1,317	0,982	1,019	3,158	0,0034	0,0026	2,6
-4	1,312	0,985	1,015	3,404	0,0036	0,0028	2,8
-3	1,308	0,989	1,011	3,669	0,0039	0,003	3,1
-2	1,303	0,993	1,007	3,952	0,0042	0,0032	3,28
-1	1,298	0,996	1,004	4,256	0,0045	0,0035	3,58
0	1,293	1	1	4,579	0,0049	0,0038	3,8
+1	1,288	1,004	0,996	4,926	0,0052	0,0041	4,15
2	1,284	1,007	0,993	5,294	0,0056	0,0043	4,48
3	1,279	1,011	0,989	5,685	0,006	0,0047	4,77
4	1,275	1,015	0,986	6,101	0,0064	0,005	5,1
5	1,27	1,018	0,982	6,534	0,0068	0,0054	5,4
6	1,265	1,022	0,979	7,013	0,0073	0,0057	5,78
7	1,261	1,026	0,975	7,513	0,0077	0,0061	6,21
8	1,256	1,029	0,972	8,045	0,0083	0,0066	6,65
9	1,252	1,033	0,968	8,609	0,0088	0,007	7,13
10	1,248	1,037	0,965	9,209	0,0094	0,0075	7,64
11	1,243	1,04	0,961	9,844	0,01	0,008	8,15
12	1,239	1,044	0,958	10,518	0,0107	0,0086	8,75
13	1,235	1,048	0,955	11,231	0,0113	0,0092	9,35
14	1,23	1,051	0,951	11,987	0,0121	0,0098	9,97
15	1,226	1,055	0,948	12,788	0,0128	0,0105	10,62
16	1,222	1,059	0,945	13,634	0,0136	0,0112	11,4
17	1,217	1,062	0,941	14,53	0,0145	0,0119	12,11
18	1,213	1,066	0,938	15,477	0,0154	0,0127	12,93
19	1,209	1,070	0,935	16,477	0,0163	0,0135	13,80
20	1,205	1,073	0,932	17,533	0,0173	0,0144	14,71
21	1,201	1,077	0,929	18,650	0,0183	0,0153	15,60
22	1,197	1,081	0,925	19,827	0,0194	0,0163	16,80
23	1,193	1,084	0,922	21,068	0,0206	0,0173	17,70
24	1,189	1,088	0,919	22,377	0,0218	0,0184	18,81
25	1,185	1,092	0,916	23,756	0,0230	0,0195	20,10
26	1,181	1,095	0,913	25,209	0,0244	0,0207	21,40
27	1,177	1,099	0,910	26,739	0,0258	0,0220	22,65
28	1,173	1,103	0,907	28,349	0,0272	0,0234	24,00
29	1,169	1,106	0,904	30,043	0,0288	0,0248	25,60
30	1,165	1,110	0,901	31,824	0,0304	0,0263	27,23
31	1,161	1,114	0,989	33,965	0,0320	0,0278	28,80
32	1,157	1,117	0,895	35,663	0,0338	0,0295	30,61
33	1,154	1,121	0,892	37,729	0,0357	0,0312	32,50
34	1,150	1,125	0,889	39,898	0,0376	0,0331	34,43
35	1,146	1,128	0,886	42,175	0,0396	0,0350	36,63
36	1,142	1,132	0,884	44,563	0,0417	0,0370	38,08
37	1,139	1,136	0,881	47,067	0,0439	0,0392	41,10
38	1,135	1,139	0,878	49,692	0,0462	0,0414	43,55
39	1,132	1,148	0,875	52,442	0,0486	0,0438	46,10
40	1,128	1,147	0,872	55,324	0,0511	0,0463	49,00
41	1,124	1,150	0,869	58,340	0,0538	0,0489	51,70
42	1,121	1,154	0,867	61,500	0,0565	0,0516	54,80
43	1,117	1,158	0,864	64,800	0,0594	0,0545	58,00
44	1,114	1,161	0,861	68,260	0,0623	0,0575	61,31
45	1,110	1,165	0,858	71,880	0,0654	0,0607	65,26
46	1,107	1,169	0,856	75,650	0,0687	0,0640	68,91
47	1,103	1,172	0,853	79,600	0,0720	0,0675	72,80
48	1,100	1,176	0,850	83,710	0,0756	0,0711	77,00
49	1,096	1,180	0,848	88,020	0,0792	0,0750	81,51

Приложение 4

Тепло- и влаговыделения одного человека

Физическая нагрузка людей	Температура воздуха в помещении, °С	Тепловыделение, Вт			Влаговыделение, г/ч	Выделение CO_2, г/ч
		явное тепло	скрытое тепло	полное количество тепла		
В спокойном состоянии (театры, клубы и т д)	10	110	30	140	30	30
	15	90	35	125	40	
	20	70	35	105	45	
	25	50	35	85	50	
	30	30	50	80	75	
	35	10	70	80	120	
При спокойной работе (учреждения, вузы и т п)	10	120	30	150	40	35
	15	110	35	145	55	
	20	85	45	135	75	
	25	55	70	125	110	
	30	35	90	125	140	
	35	10	115	125	180	
При легкой физической работе	10	130	30	160	45	40
	15	105	45	150	80	
	20	80	60	140	105	
	25	50	80	130	150	
	30	30	100	130	180	
	35	10	120	130	200	
При работе средней тяжести	10	140	45	185	70	55
	15	115	65	180	110	
	20	90	85	175	140	
	25	60	110	170	185	
	30	35	135	170	230	
	35	10	160	170	280	
При тяжелой физической работе	10	170	80	250	135	70
	15	140	110	250	185	
	20	110	140	250	240	
	25	80	170	250	300	
	30	45	205	250	360	
	35	10	240	250	420	
Детей в возрасте до 12 лет	–	35	15	50	23	18

IBIK

Приложение 5

Степень защиты корпусов электрооборудования по норме IEC 70-1 (EN 60529)

Первая цифра	Характеристика защиты	Описание
0	Без защиты	Открытая конструкция, никакой защиты от пыли, никакой защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям
1	Защита от крупных предметов	Защита от проникновения в конструкцию крупных предметов диаметром более 50 мм. Частичная защита от случайного касания токоведущих частей человеком (защита от касания ладонью)
2	Защита от предметов среднего размера	Защита конструкции от проникновения внутрь предметов диаметром более 12 мм. Защита от прикосновения пальцами к токоведущим частям
3	Защита от мелких предметов	Конструкция ие допускает проникновения внутрь предметов, диаметром более 2,5 мм. Защита персонала от случайного касания токоведущих частей инструментом или пальцами
4	Защита от песка	В конструкцию не могут попасть предметы диаметром более 1 мм. Конструкция защищает от прикосновения к токоведущим частям пальцами или инструментом
5	Защита от накопления пыли	Пыль может проникать в корпус в незначительном количестве, не препятствующем нормальной работе оборудования. Полная защита от прикосновения к токоведущим частям оборудования
6	Полная защита от пыли	Никакая пыль не может проникать внутрь конструкции
Вторая цифра	**Характеристика защиты**	**Описание**
0	Без защиты	Нет защиты от брызг воды
1	Защита от капель, падающих вертикально	Капли воды, падающие вертикально, не могут вызывать опасных последствий для оборудования
2	Защита от капель, падающих под углом	Капли воды, падающие на оборудование под углом 15°, не вызывают опасных последствий
3	Защита от брызг воды	Изделие защищено от брызг воды, попадающих в конструкцию под углом до 60°
4	Защита от брызг воды с любых ваправлений	Конструкция защищена от брызг воды, которые могут быть направлеиы на изделие с любого направления
5	Защита от струй воды	Струи воды, например, из шланга, не причииняют вреда размещенному в корпусе оборудованию
6	Защита от залива воды	Залив оборудования водой, например, на палубе корабля, не приводит к повреждению оборудования
7	Защита от погружения	Корпус может быть полиостью погружен в воду, что не приводит к повреждению размещеиного в корпусе оборудования
8	Защита от погружения в воду под давлением	Конструкция выдерживает без последствий погружение в воду на определенную глубину (защита от воды под давлением, причем величина давления указывается специально)

Примечание. Стандартом МЭК 70-1 (IEC 70-1) предусмотрено условное обозначение защиты корпуса изделия по двум параметрам: от попадания механических частиц и проникновения влаги. Порядок обозначение степени защиты – за обозначением IP следуют две цифры, первая из которых показывает уровень защиты от попадания твердых частиц, а вторая цифра – проникновения влаги.

Приложение 6

Обозначения условные графические технологического оборудования (ДСТУ Б.А.2.4-8-95)

Таблица П.6.1. Графические обозначения элементов общего применения

№	Обозначение	Наименование
1		Фильтр
2		Подогреватель
3		Охладитель
4		Охладитель и подогреватель
5	Т	Теплоутилизатор
6		Осушитель
7		Увлажнитель воздуха
8		Конденсатоотводник (конденсационный горшок)
9		Отборное устройство* для установки контрольно-измерительного прибора

* Обозначение показано на трубопроводе

IBIK

Таблица П.6.2 Графические обозначения элементов систем отопления, вентиляции и кондиционирования

№	Условное обозначение		Наименование
	на видах сверху и на планах	на видах спереди или сбоку, на разрезах и схемах	
1			Воздуховод
2			Воздуховод (при упрощенном графическом изображении двумя линиями): а) круглого сечения*** б) прямоугольного сечения
3			Отверстие (решетка) для забора воздуха**
4			Отверстие (решетка) для выпуска воздуха**
5			Воздухораспределитель**
6			Местная вытяжка** (отсос, укрытие)
7			Дефлектор**
8			Зонт**
9			Заслонка (клапан) вентиляционная**
10			Шибер**
11			Клапан обратный вентиляционный**
12			Клапан огнезадерживающий вентиляционный**
13			Лючок для замера параметров воздуха и/или чистки воздуховодов**

Окончание **таблицы П.6.2.**

№	Условное обозначение		Наименование
	на видах сверху и на планах	на видах спереди или сбоку, на разрезах и схемах	
14			Узел прохода вентиляционной шахты**
15			Камера вентиляционная приточная (кондиционер)**
16			Глушитель шума**
17			Грязевик

* В обозначении на видах, разрезах и схемах указывают графически действительное количество труб.

** Условное графическое обозначение применяют только на схемах.

*** Для воздуховодов круглого сечения диаметром до 500 мм включительно допускается на чертежах систем осевую линию не указывать.

Таблица П.6.3. Графические обозначения направления потока жидкости, воздуха, линии механической связи, регулирования, элементов привода

№	Обозначение	Наименование
1		Направление потока жидкости
2		Направление потока воздуха
3		Линия механической связи
4		Регулирование
5		Привод: а) ручной б) электромагнитный в) электромашинный г) мембранный д) поплавковый

IBIK

Таблица П.6.4. Графические обозначения баков, насосов, вентиляторов

№	Обозначение	Наименование
1		Бак: а) открытый под атмосферным давлением б) закрытый с давлением выше атмосферного в) закрытый с давлением ниже атмосферного
2		Форсунки
3		Насос ручной
4		Насос центробежный
5		Насос струйный (эжектор, ижектор, элеватор)
6		Вентилятор: а) радиальный б) осевой

Таблица П.6.5. Графические обозначения трубопроводной арматуры

№	Обозначение	Наименование
1		Клапан (вентиль) запорный: а) проходной б) угловой
2		Клапан (вентиль) трехходовой
3		Клапан (вентиль) регулирующий: а) проходной б) угловой
4		Клапан обратный: а) проходной б) угловой

Окончание **таблицы П.6.5.**

№	Обозначение	Наименование
5		Клапан предохранительный: а) проходной б) угловой
6		Клапан дроссельный
7		Клапан редукционный**
8		Задвижка
9		Затвор поворотный
10		Кран: а) проходной б) угловой
11		Кран трехходовой

* Движение рабочей среды через клапан должно быть направлено от белого треугольника к черному

** Вершина треугольника должна быть направлена в сторону повышенного давления.

IBIK

Приложение 7

Буквенные обозначения

Таблица П.7.1. Обозначения буквенные измеряемых величин и функциональных признаков приборов в схемах автоматизации (ГОСТ 21.404-85)

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
A	+	-	Сигнализация	-	-
B	+	-	-	-	-
C	+	-	-	Автоматическое регулирование, управление	-
D	Плотность	Разность, перепад	-	-	-
E	Электрич. величина	-	+	-	-
F	Расход	Соотношение, доля, дробь	-	-	-
G	Размер, положение, перемещение	-	+	-	-
H	Ручное воздействие	-	-	-	Верхний предел
I	+	-	Показание	-	-
J	+	Автоматическое переключение, обегание	-	-	-
K	Время, временная программа	-	-	+	-
L	Уровень	-	-	-	Нижний предел
M	Влажность	-	-	-	-
N	+	-	-	-	-
O	+	-	-	-	-
P	Давление, вакуум	-	-	-	-
Q	Состав, концентрация и т.п.	Интегрирование, суммирование по времени	-	+	-
R	Радиоактивиость	-	Регистрация	-	-
S	Скорость, частота	-	-	Включение, переключение, блокировка	-
T	Температура	-	-	+	-
U	Несколько разнородных величин	-	-	-	-
V	Вязкость	-	+	-	-
W	Масса	-	-	-	-
X	Нерекомендуемая буква	-	-	-	-
Y	+	-	-	+	-
Z	+	-	-	+	-

Примечание. Буквенные обозначения, отмеченные знаком «+», являются резервными, а отмеченные знаком «–» – не используются.

Таблица П.7.2. Обозначения буквенные элементов и устройств в электрических схемах (ГОСТ 2.710-81)

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Двух- и трехбуквенный код	Виды элементов
A	Устройство	*AA*	Регулятор тока
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические	*BL* *BP*	Фотоэлемент Датчик давления
C	Конденсатор		
D	Интегральные микросхемы	*DA* *DD*	Интегральная схема аналоговая Интегральная схема цифровая, логический элемент
E	Элементы разные	*EL*	Лампа осветительная
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	*FU*	Предохранитель плавкий
H	Устройства индикационные и сигнальные	*HL* *HLG* *HLR*	Прибор световой сигнализации Лампа сигнальная с зеленой линзой Лампа сигнальная с красной линзой
K	Реле, контакторы, пускатели	*KK* *KM* *KT*	Реле электротепловое Контактор, магнитный пускатель Реле времени
L	Катушки, индуктивности, дроссели	*LR*	Реактор
M	Электродвигатели	*MM*	Главный двигатель
P	Приборы, измерительные устройства	*PA* *PV*	Амперметр Вольтметр
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (электроснабжения, питания оборудования и т. д.)	*QF*	Выключатель автоматический
R	Резисторы	*RK* *RU*	Терморезистор Варистор
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации	*SA* *SB*	Выключатель или переключатель Выключатель кнопочный
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	*TA* *TV*	Трансформатор тока Трансформатор напряжения
U	Преобразователи электрических величин в электрические, устройства связи (кроме трансформаторов)	*UF* *UG*	Преобразователь частоты Блок питания
V	Приборы электровакуумные, полупроводниковые	*VD* *VT* *VS*	Диод, стабилитрон Транзистор Тиристор
X	Соединения контактные	*XT*	Соединения разборные (клеммник)
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	*YA*	Электромагнит

IBIK

Приложение 8

Обозначения условные графические электрооборудования и электропроводок (ГОСТ 2.754-72)

Обозначение	Наименование обозначения
	Линии проводки:
	общее изображение
	заземление и зануление
	напряжение меньше 25 В
	открытая прокладка одиночного проводника
	прокладка в лотке
	прокладка в коробе
	Прокладка в трубе:
	общее изображение
	открыто
xxxx	с указанием места заложения
	гибкая проводка (в металлорукаве, гибкий ввод)
	Электрооборудование и устройства:
	ответвительная коробка
	вводная коробка
	щит одностороннего обслуживания
	магнитный пускатель
	автоматический выключатель
	лампа накаливания
	люминисцентная лампа
	однополюсный и двухполюсный выключатели
	штепсельные розетки для открытой и скрытой проводок
	общее обозначение электрического устройства
	электрическое устройство с электродвигателем

Приложение 9

Допустимый длительный ток для проводов, шнуров и кабелей

Таблица П.9.1. Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырех одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
0,5	11	–	–	–	–	–
0,75	15	–	–	–	–	–
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	–	–	–
185	510	–	–	–	–	–
240	605	–	–	–	–	–
300	695	–	–	–	–	–
400	830	–	–	–	–	–

Таблица П.9.2. Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм²	Ток, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных			трехжильных
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	–	–	–	–

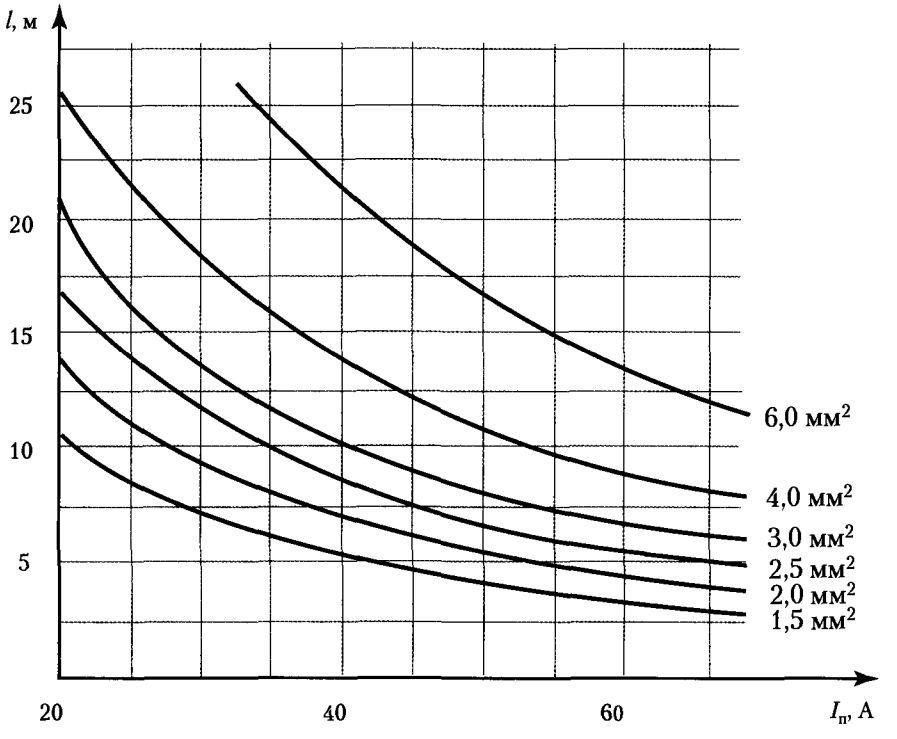
IBIK

Таблица П.9.3. Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одно-жильных	много-жильных	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	–	До 4	1,0	–
	2	5–6	0,85	–
	3–9	7–9	0,75	–
	10–11	10–11	0,7	–
	12–14	12–14	0,65	–
	15–18	15–18	0,6	–
Однослойно	2–4	2–4	–	0,67
	5	5	–	0,6

Приложение 10

Определение сечения провода электропитания кондиционера в зависимости от пускового тока ($I_п$) и длины магистрали (l)



Приложение 11

Технические характеристики проводов и кабелей

Марка, ГОСТ	Конструкция	Рабочее напряжение, В	Сечение, мм	Темп-ра окруж. среды, °С	Внешний диаметр, мм	Удельная масса, кг/км	Кол-во жил	Область применения
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Установочный провод								
ПВ-1 ГОСТ 6323-79	1. Токопроводящая жила – медная. 2. Изоляция – ПВХ, разноцветная, атмосферостойкая, стойкая к воздействию синусоидальных вибраций, акустических шумов, к влаге, плесневым грибам, легким механическим воздействиям, стойкая к растрескиванию при t=70°С, не распространяет горения.	450/750	0,5	–50…+40	2,0	8,0	1	Для неподвижного монтажа вторичных цепей, прокладки в трубах, пустотных каналах несгораемых строительных конструкций и монтажа силовых и осветительных сетей в машинах и станках внутри помещений. Предельный радиус изгиба – 10 диаметров. Срок службы проводов – не менее 15 лет.
			0,75		2,2	10,4		
			1,0		2,3	13,2		
			1,5		2,6	18,0		
			2,5		3,0	27,8		
			4,0		3,7	43,5		
			6,4		4,2	61,0		
			10		5,4	105,6		
			16		6,9	169,3		
			25		8,6	266,7		
			35		9,8	360,6		
			50		11,5	490,1		
			70		13,3	692,0		
			95		15,6	957,0		
ПВ-3 ГОСТ 632379 (одножильный)		450/750	0,5	–50…+40	2,1	18,6	1	Для гибкого монтажа вторичных цепей, гибкого монтажа при скрытой и открытой прокладке в машинах и станках внутри помещений. Предельный радиус изгиба – 5 диаметров. Срок службы проводов – не менее 15 лет.
			0,75		2,3	11,5		
			1,0		2,6	14,0		
			1,5		3,0	19,5		
			2,5		3,5	30,4		
			4,0		4,2	46,37		
			6,4		4,8	71,9		
			10		6,0	118,6		
			16		7,8	174,6		
			25		10,1	164,0		
			35		11,1	370,6		
			50		13,0	546,9		
			70		15,4	710,9		
			95		18,2	875,7		

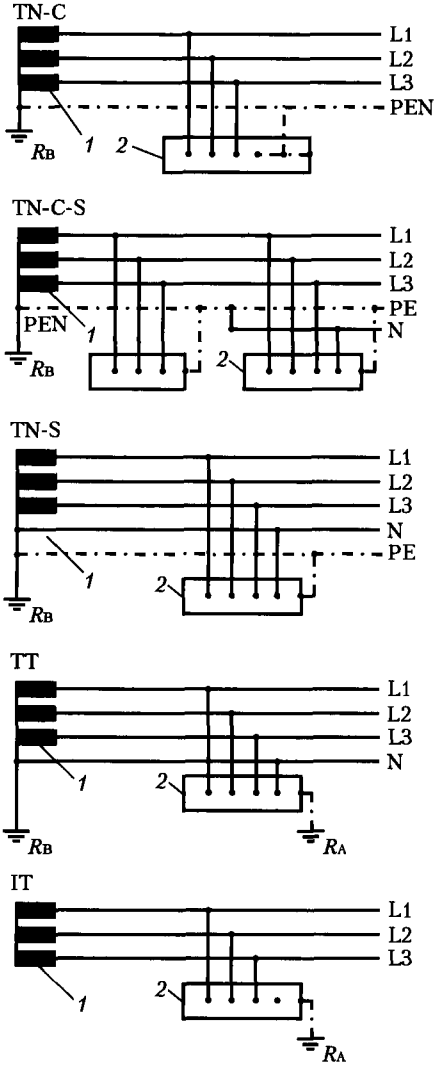
Окончание приложения 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ППВ ГОСТ 6323-79	1 Токопроводящая жила – медная, жилы уложены параллельно 2 Изоляция – ПВХ, разноцветная, атмосферостойкая, стойкая к воздействию температуры, к влаге, плесневым грибам, растрескиванию, к легким механическим воздействиям, не распространяет горения	380	21,5	–50 +40	2,8x6,6	39,8	2,3	Для скрытой прокладки под штукатуркой, монтажа силовых и осветительных цепей в машинах и станках при открытой неподвижной прокладке Предельный радиус изгиба – 10 диаметров Срок службы проводов – не менее 15 лет
			2x2,5		3,2x7,4	59,9		
			3x1,5		2,8x10,4	60,0		
			3x2,5		3,2x11,7	90,1		
Монтажный привод								
МГШВ ТУ 16 605 437-82	1 Токопроводящая жила – медная, гибкая, луженая, обмотанная электроизоляционным шелком или пленкой 2 Изоляция – ПВХ, разноцветная	380/500	0,12–1,5	–50 +70	1,3–3,0	2,3–19,8	1	Для внутриприборного и межприборного монтажа приборов и аппаратов, соединения электронной и электрической аппаратуры
Кабель контрольный								
КВВГ ГОСТ 1508-78Е	1 Токопроводящая жила – медная 2 Изоляция – ПВХ 3 Оболочка – ПВХ	660	1,0	–50 +50	8,0–24,8	99,6–1058	4–61	Для прокладки в пожароопасных помещениях, каналах, туннелях, в условиях агрессивных сред Предельный радиус изгиба – 7 диаметров Срок службы проводов – не менее 12 лет
			1,5		9,2–27,0	138–1400	4–61	
			2,5		10,2–24,7	188–1303	4–37	
			4,0		11,8–17,6	271–661	4–10	
			6,0		13,0–20,0	366–865	4–10	
Кабель силовой								
ВВГ ГОСТ 16442-80	1 Токопроводящая жила – медная 2 Изоляция – ПВХ 3 Оболочка – ПВХ	600–1000	2,5–240	–30 +50	9,1–55,6	104–9205	2	Для передачи и распределения электрической энергии в стационарных установках • прокладывается в помещениях (туннелях, каналах, полуэтажах, производственных коллекторных помещениях) при отсутствии опасности механических повреждений в эксплуатации, также и в пожароопасных помещениях • прокладывается в земле (траншеях) с низкой коррозионной активностью
							3	
							3+1	
							4	

IBIK

Приложение 12

Системы заземления потребителей переменного тока



R_A - сопротивление заземляющего устройства открытой проводящей части;
R_B - сопротивление заземляющего устройства источника питания;
1 - источник питания;
2 - потребитель.

Буквенное обозначение типов систем заземления:

Первая буква - характер заземления источника питания;
T - непосредственное присоединение одной точки токоведущей части к земле;
I - все токоведущие части изолированы от земли или одна точка заземлена через сопротивление.

Вторая буква - характер заземления открытых проводящих частей электроустановки;
T - непосредственная связь открытых проводящих частей с землей;
N - непосредственная связь открытых проводящих частей с точкой заземления источников питания (в системах переменного тока обычно заземляется нейтраль).

Третья буква - устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводников;
C - функции нулевого рабочего (N) и нулевого защитного проводников (PE) объединены в одном проводнике (PEN);
S - функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников обеспечиваются раздельными проводниками (соответственно N и PE).

IBIK

Приложение 13

Образец протокола измерения сопротивления изоляции

Заказчик_____
Объект_____

Штамп
организации

ПРОТОКОЛ

Проверка изоляции_____
Рабочее напряжение_____Изоляция, измеренная мегомметром_____Заводской №_____

№ п/п	Название оборудования или кабелей, проводов	Сечение и марка	Изоляция, МОм						Вывод
			А-О	В-О	С-О	АВ	ВС	СА	

Вывод_____
_____

Испытания проводили_____
(подпись) (фамилия, инициалы) (должность)

Руководитель работ_____ М. П.

Литература

1. *Андре Анго.* Математика для электро- и радиоинженеров. Изд-во «Наука», М., 1964, 772 с., ил.
2. Политехнический словарь. Гл. ред. И. И. Артоболевский, М., «Советская энциклопедия», 1977.
3. *Корн. Г, Корн. Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М., 1968, 720 с., ил.
4. Современные системы вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учебное пособие] / Г. В. Нимич, В. А.Михайлов, Е. С. Бондарь. – К.: ТОВ «Видавничий будинок "Аванпост-Прим"» 2003.– с. 630: ил. – Библиогр.: 625-627 с.
5. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие /А. С. Клюев, А. Т. Лебедев, С. А. Клюев, А. Г. Товарнов; Под ред. А. С. Клюева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 386 с.: ил.
6. *Свистунов В. М., Пушняков Н. К.* Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2001. – 423 с.: ил.
7. *Келим Ю. М.* Типовые элементы систем автоматического управления. Учебное пособие для студентов учреждений профессионального образования. – М.; ФОРУМ: ИНТРА-М, 2002. – 384 с.: ил.
8. *Сотников А. Г.* Автоматизация систем кондиционирования воздуха и вентиляции. – Л., «Машиностроение», 1984. – 235 с.,: ил.
9. *Нефелов С. В. Давыдов Ю. С.* Техника автоматического регулирования в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат,1984. – 328 с.: ил.
10. *Клюев А. С., Минаев П. А.* Наладка систем контроля и автоматического регулирования: Учебник для техникумов. – Л., Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1980. – 208 с.: ил.
11. *Барласов Б. З., Ильин В. И.* Наладка приборов и систем автоматизации: Учеб. для сред. проф.-техн. училищ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.: ил.
12. *Калабеков Б. А., Мамзелев И. А.* Основы автоматики и вычислительной техники: Учебник для техникумов связи. – М.: Связь, 1980. – 296 с.: ил.

13. *Камнев В. Н.* Чтение схем и чертежей электроустановок: Практ. пособие для ПТУ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. 1990. – 144 с.: ил.

14. *Цейлин Л. С.* Электропривод, электрооборудование и основы управления: Учебник для учащихся электромеханич. техн. – М.: Высш. шк. 1985. – 192 с.: ил.

15. *Жидецкий В. Ц., Джигирей В. С., Мельников А. В.* Основы охраны труда. Учебник. – Изд. 2-е, дополненное. – Львов: Афиша, 2000. – 351 с.

16. *Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В.* Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. – 200 с.

17. *Бондар Ю. С.* Передові технології в керуванні кондиціонерами // Холод, м+т. – 2004. – № 4.– с. 38–39.

18. Автоматика и автоматизация систем теплогазоснабжения и вентиляции. // Калмаков А. А., Кувшинов Ю. Я., Романова С. С., Щелкунов С. А. М., Стройиздат, 1986.

19. *Липа А. И.* Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха. Одесса: ОГАХ. Издательство ОГЦНТЭИ, 2002.– 225 с., ил.

20. Справочное пособие АВОК «Влажный воздух». – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004 – 46 с.

21. *Егоров Е.В.* О промышленных сетях – без формул и диаграмм //Автоматизация в промышленности – 2003. – № 3.

22. Автоматизация настройки систем управления /В. Я. Ротач, А. С. Клюев и др.; Под ред. В. Я. Ротача. М., Энергоатомиздат, 1984, 272 с., ил.

23. *Кокорин О. Я.* Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит, 2003.

24. *Кокорин О. Я., Комисаров В. В., Сафронов А. В.* Энергосберегающие режимы приготовления приточного воздуха в комфортных системах кондиционирования // Холодильная техника – 2004 – № 10 – с. 28–32.

25. *Кокорин О. Я.* Особенности проектирования систем кондиционирования воздуха по новым строительным нормативам // Холодильная техника – 2004 – № 9 – с. 34–38.

26. *Кокорин О. Я., Смирнова И. Н.* Энергосберегающее холодоснабжение местноцентральной СКВ в торговом комплексе // Холодильная техника – 2004 – № 3 – с. 14–18.

27. Системи ізотермічного й адіабатичного зволожування повітря // М+Т, монтаж + технологія – 2003 – № 3 с. 52–53.

28. Промывная камера как звено системы регулирования установок кондиционирования воздуха // А. В. Степанов, И. В. Зингерман. – В кн.: Кондиционирование воздуха промышленных и общественных зданий. Ташкент, ГИПРОНИИполиграф, 1970, с. 230–235.

IBIK

Оглавление

Раздел 1

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха как объекты управления

1.1. Классификация систем вентиляции и кондиционирования воздуха ... 9
1.2. Основные свойства влажного воздуха ... 14
1.3. Расчет воздухообмена вентиляционных сетей ... 20
1.4. *d-h* диаграмма влажного воздуха ... 21
1.4.1. Построение процессов на *d-h* диаграммах ... 21
1.4.2. Тепло- и влагообмен в оросительных камерах ... 28
1.5. Основные компоновочные схемы СКВ ... 30
1.5.1. Обобщенная структурная схема СКВ ... 30
1.5.2. Термодинамическая модель СКВ ... 33
1.5.3. Качественное регулирование СКВ ... 37
1.5.3.1. Автоматизация прямоточных СКВ ... 37
1.5.3.2. Автоматизация СКВ рециркуляцией воздуха ... 43
1.5.3.3. Автоматизация СКВ рекуперацией тепла ... 47
1.5.3.4. Автоматизация однозональных сплит-систем ... 50
1.5.4. Количественное регулирование СКВ ... 54
1.5.5. Регулирование СКВ по оптимальному режиму ... 57
1.5.6. Управляющие функции систем автоматизации СКВ ... 58
1.5.6.1. Последовательность пуска ... 58
1.5.6.2. Последовательность останова ... 59
1.5.6.3. Резервирующие и дополняющие функции ... 59
1.5.7. Защитные функции систем автоматизации СКВ ... 60
1.6. Требования, предъявляемые к системам автоматизации СКВ ... 60
1.6.1. Общие требования ... 60
1.6.2. Требования, учитывающие специфику СКВ ... 61
1.6.3. Требования, определяемые конкретными объектами ... 64

Раздел 2

Основные положения теории автоматического управления

2.1. Основные понятия и определения ... 65
2.2. Классификация систем автоматического управления ... 68
2.3. Показатели качества работы систем автоматического регулирования ... 73
2.4. Методы анализа систем автоматического регулирования ... 79
2.5. Характеристики типовых динамических звеньев ... 81
2.6. Типовые законы регулирования и их реализация ... 85

2.6.1. Пропорциональные регуляторы ... 85
2.6.2. Интегральные регуляторы ... 89
2.6.3. Пропорционально-интегральные регуляторы ... 90
2.6.4. Пропорционально-дифференциальные регуляторы .. 93
2.6.5. Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы ... 94
2.6.6. Автоматическое регулирование на основе нечеткой логики ... 95
2.7. Функциональные устройства СКВ как объекты регулирования ... 101
2.7.1. Обслуживаемые помещения ... 101
2.7.2. Теплообменные аппараты ... 104
2.7.3. Контактные тепло- массообменные аппараты ... 110
2.7.4. Смесительные камеры ... 117
2.7.5. Вентиляционные сети ... 118
2.7.6. Датчики и регулирующие органы ... 120

Раздел 3
Технические средства систем автоматизации СКВ

3.1. Измерительные преобразователи ... 121
3.1.1. Классификация измерительных преобразователей .. 121
3.1.2. Измерительные преобразователи температуры ... 123
3.1.2.1. Манометрические термометры ... 123
3.1.2.2. Термометры сопротивлений ... 127
3.1.2.3. Термоэлектрические термометры ... 132
3.1.3. Измерительные преобразователи влажности ... 134
3.1.4. Измерительные преобразователи давления, расхода, уровня и газового состава среды ... 136
3.2. Элементная база систем автоматизации ... 143
3.2.1. Электромеханические коммутационные элементы ... 143
3.2.2. Автоматические коммутационные элементы ... 145
3.2.3. Элементная база аналоговых систем регулирования .. 152
3.2.3.1. Операционные усилители ... 152
3.2.3.2. Тиристоры и устройства управления на их основе ... 154
3.2.4. Оптроны ... 159
3.2.5. Индикаторные устройства систем автоматики ... 160
3.3. Регулирующие устройства ... 162
3.3.1. Регуляторы прямого действия ... 162
3.3.2. Позиционные регуляторы ... 163
3.3.3. Импульсные регуляторы ... 167
3.3.4. Управляющие контроллеры ... 170
3.4. Электродвигатели ... 176
3.4.1. Классификация электрических машин ... 176
3.4.2. Устройство асинхронных электрических машин ... 177
3.4.3. Однофазные асинхронные электрические машины с пусковой обмоткой ... 179
3.4.4. Конденсаторные электродвигатели ... 180
3.4.5. Синхронные электрические машины ... 181
3.4.6. Электрические машины постоянного тока ... 182
3.5. Электрические приводы ... 185
3.5.1. Общие положения теории электропривода ... 185

IBIK

3.5.2. Управление асинхронными электродвигателями 191
3.5.2.1. Механические и скоростные характеристики асинхронных электродвигателей 191
3.5.2.2. Регулирование скорости вращения асинхронных электродвигателями 192
3.5.3. Управление электродвигателями постоянного тока ... 200
3.6. Регулирующие элементы СКВ 204
3.6.1. Воздушные клапаны 204
3.6.2. Водяные клапаны 205
3.6.3. Электрические приводы клапанов 211

Раздел 4
Техническая документация систем автоматизации
4.1. Состав технической документации 215
4.2. Схемы функциональные 217
4.3. Схемы принципиальные электрические 222
4.4. Схемы соединений и подключения внешних проводов 226
4.4.1. Монтажные чертежи и схемы соединений щитов и пультов 226
4.4.2. Схемы подключения внешних проводок 229
4.5. Эксплуатационная документация 233

Раздел 5
Монтаж оборудования систем автоматизации СКВ
5.1. Основные этапы работ 237
5.2. Монтаж датчиков, приборов и регуляторов прямого действия 239
5.2.1. Общие требования к монтажу датчиков 239
5.2.2. Монтаж датчиков состояния наружного воздуха 240
5.2.3. Монтаж датчиков в воздуховодах 241
5.2.4. Монтаж датчиков в обслуживаемых помещениях ... 242
5.2.5. Монтаж датчиков в трубопроводах 243
5.2.6. Монтаж регуляторов прямого действия 244
5.3. Монтаж электрощитов и пультов управления 247
5.4. Монтаж регулирующих органов и исполнительных механизмов 252
5.5. Монтаж электрических проводок 254
5.5.1. Способы монтажа электрических проводок 254
5.5.2. Выбор типа и сечения проводов 257
5.5.3. Общие правила выполнения электропроводок 262

Раздел 6
Наладка систем автоматизации СКВ
6.1. Подготовительная работа 267
6.1.1. Порядок выполнения работ по наладке систем автоматизации 267
6.1.2. Производственная база для проведения наладочных работ 269
6.1.3. Приборы и оборудование для проведения пусконаладочных работ 270
6.1.3.1. Измерители сопротивления изоляции 270
6.1.3.2. Образцовые приборы 273

IBIK

6.1.3.3. Контрольные приборы ... 274
6.1.3.4. Калибраторы и имитаторы ... 278
6.2. Наладочные работы первой стадии ... 280
6.2.1. Анализ проектной документации ... 280
6.2.2. Предмонтажная проверка приборов и средств автоматизации ... 281
6.3. Наладочные работы второй стадии ... 284
6.3.1. Проверка правильности выполнения монтажных работ ... 284
6.3.2. Проверка отдельных элементов и подсистем ... 285
6.3.3. Наладка устройств контроля температуры ... 287
6.3.4. Настройка устройств сигнализации и защиты ... 291
6.3.5. Проверка систем автоматизации при апробировании технологического оборудования ... 293
6.3.6. Наладка вентиляционных сетей ... 294
6.3.6.1. Испытание вентиляторов ... 294
6.3.6.2. Испытание и регулировка воздухораспределительных сетей ... 297
6.4. Наладочные работы третьей стадии ... 301
6.4.1. Определение и установка настроек систем автоматизации ... 301
6.4.2. Испытание систем автоматизации ... 302
6.5. Настройка замкнутых систем автоматического регулирования ... 304
6.5.1. Настройка регуляторов по динамическим характеристикам объекта ... 304
6.5.2. Настройка регуляторов без снятия динамических характеристик объекта ... 310
6.5.3. Настройка регуляторов прямого действия ... 311
6.5.4. Настройка многоконтурных систем регулирования ... 313
6.5.5. Рекомендации по настройке позиционных и импульсных регуляторов ... 316
6.6. Техника безопасности при выполнении наладочных работ ... 320
6.6.1. Организационные и технические мероприятия ... 320
6.6.2. Обеспечение безопасности при работе с электроустановками ... 322
6.6.2.1. Общие положения ... 322
6.6.2.2. Техника безопасности при выполнении специальных работ ... 325
6.6.3. Обеспечение безопасности при работе с электроустановками на высоте ... 327

Раздел 7
Автоматизация бытовых и полупромышленных кондиционеров

7.1. Автоматизация однозональных кондиционеров ... 329
7.1.1. Автоматизация однозональных кондиционеров с позиционным управлением компрессора ... 329
7.1.1.1. Типовые схемные решения ... 329
7.1.1.2. Алгоритмы работы ... 331
7.1.2. Автоматизация однозональных кондиционеров с регулируемой производительностью ... 342

IBIK

7.1.2.1. Типовые схемные решения ... 342
7.1.2.2. Алгоритмы работы ... 344
7.1.2.3. Диагностика неисправностей ... 348
7.2. Автоматизация многозональных кондиционеров ... 351
7.2.1. Типовые схемные решения ... 351
7.2.2. Алгоритмы работы ... 354
7.2.3. Обмен информацией ... 367
7.2.4. Диагностика неисправностей ... 375
7.3. Автоматизация кондиционеров с утилизацией тепла ... 378
7.3.1. Типовые схемные решения ... 378
7.3.2. Алгоритмы работы ... 382
7.3.3. Обмен информацией ... 391
7.4. Автоматизация кондиционеров с наращиваемой производительностью ... 392
7.4.1. Типовые схемные решения ... 392
7.4.2. Алгоритмы работы ... 396
7.4.3. Обмен информацией ... 405

Раздел 8
Жестко программируемые контроллеры для систем вентиляции и кондиционирования

8.1. Измеритель-регулятор микропроцессорный ТРМ-33, ОВЕН, Россия ... 409
8.1.1. Назначение и технические характеристики ... 409
8.1.2. Работа регулятора ТРМ-33 в системах вентиляции ... 411
8.1.3. Режимы работы регулятора ТРМ-33 ... 415
8.2. Регулятор с программными картами ECL Control, Danfoss, Германия ... 416
8.2.1. Назначение ... 416
8.2.2. Варианты стандартных программ ... 418
8.2.3. Выбор вида дисплея ... 421
8.2.4. Настройка ПИ-регулятора ... 422
8.3. Контроллеры регулирующие для систем вентиляции ТАС 2000, t.a.c., Швеция ... 424
8.3.1. Назначение и технические характеристики ... 424
8.3.2. Основные функции управления ... 427
8.3.3. Дополнительные функции ... 432
8.4. Контроллеры регулирующие для вентиляции и кондиционирования воздуха, «Раут-автоматик», Украина ... 434
8.4.1. Контроллер регулирующий «АЭРОКЛИМ 3Н-пв» ... 434
8.4.1.1. Назначение и технические характеристики ... 434
8.4.1.2. Устройство контроллера ... 434
8.4.1.3. Основные функции и режимы работы ... 436
8.4.1.4. Модификации ... 438
8.4.2. Контроллер регулирующий «КАДЕТ-3Н» ... 440
8.4.2.1. Назначение и технические характеристики ... 440
8.4.2.2. Основные функции ... 441
8.4.3. Контроллер регулирующий «КЛИМАВЕН 3» ... 443
8.4.3.1. Назначение и технические характеристики ... 443
8.4.3.2. Основные функции ... 443
8.4.3.3. Модификации ... 445

IBIK

8.5. Контроллеры для фэнкойлов, Honewell, Швеция ... 446
8.5.1. Назначение и технические характеристики ... 446
8.5.2. Режимы работы ... 447

Раздел 9
Свободно программируемые контроллеры для систем вентиляции и кондиционирования
9.1. Контроллеры TAC Xenta, t.a.c., Швеция ... 449
9.1.1. Назначение и технические характеристики ... 449
9.1.2. Панель управления Xenta OP ... 453
9.1.3. Программирование контроллеров TAC Xenta ... 454
9.1.4. Режимы работы ... 458
9.1.5. Настройка ПИД-регулятора ... 460
9.2. Контроллеры серии MicroNet, Satchwell Control Systems, Англия ... 461
9.2.1. Назначение и технические характеристики ... 461
9.2.2. Программирование контроллеров серии MicroNet ... 463
9.2.3. Системы управления микроклиматом с контроллерами серии MicroNet ... 467
9.3. Комплекс КОНТАР КМ800, ОАО «Московский завод тепловой автоматики», Россия ... 472
9.3.1. Назначение и технические характеристики ... 472
9.3.2. Функциональная схема контроллера МС8 ... 475
9.3.3. Программирование контроллера МС8 ... 477
9.3.4. Пульт управления контроллера МС8 ... 478

Раздел 10
Комплексная автоматизация и диспетчеризация административных и жилых зданий
10.1. Общие положения ... 483
10.1.1. Контроллеры и сети ... 483
10.1.2. Сетевая технология LON Works ... 487
10.2. Локальные системы централизованного управления микроклиматом ... 488
10.2.1. Система управления многозональными кондиционерами KX, MHI, Япония ... 488
10.2.2. Система управления многозональными кондиционерами VRV, Daikin, Япония ... 494
10.2.2.1. Система Intelligent Touch Controller ... 494
10.2.2.2. Система Hi-VRV ... 495
10.2.2.3. Интеграция системы Hi-VRV в системы высокого уровня ... 496
10.3. Системы диспетчеризации и автоматического управления инженерным оборудованием административных и жилых зданий ... 498
10.3.1. SCADA-системы ... 498
10.3.2. Система диспетчеризации TAC Vista, t.a.c., Швеция ... 500
10.3.3. Система диспетчеризации MicroNet, Satchwell, Англия ... 504

10.3.4. Система диспетчеризации «Менеджер инженерных систем», «Раут-автоматик», Украина ... 512
10.3.4.1. Назначение ... 512
10.3.4.2. Блок отопления ... 513
10.3.4.3. Блок холодоснабжения ... 514
10.3.4.4. Блок электроснабжения ... 516
10.3.4.5. Блок электроосвещения ... 516
10.3.5. Система диспетчеризации «КОНТАР-SCADA», ОАО «Московский завод тепловой автоматики», Россия ... 518
10.4. Интеллектуальные АСУ жилыми зданиями (технология «Умный дом») ... 521
10.4.1. Назначение ... 521
10.4.2. Общие функции ... 522
10.4.3. Структура системы ... 523

Приложения

Приложение 1. Перечень основных нормативных документов по системам автоматизации СКВ, действующих в Украине ... 527
Приложение 2. Расчетные параметры наружного воздуха ... 529
Приложение 3. Основные физические характеристики воздуха при давлении 101 кПа ... 531
Приложение 4. Тепло- и влаговыделения одного человека ... 532
Приложение 5. Степень защиты корпусов электрооборудования по нормам IEC 70-1 (EN 60529) ... 533
Приложение 6. Обозначения условные графические технологического оборудования ... 534
Приложение 7. Буквенные обозначения ... 539
Приложение 8. Обозначения условные графические электрооборудования и электропроводок ... 541
Приложение 9. Допустимый длительный ток для проводов, шнуров и кабелей ... 542
Приложение 10. Определение сечения провода электропитания кондиционера в зависимости от пускового тока ($I_п$) и длины магистрали (l) ... 543
Приложение 11. Технические характеристики проводов и кабелей ... 544
Приложение 12. Системы заземления потребителей переменного тока ... 546
Приложение 13. Образец протокола измерения сопротивления изоляции ... 547

Литература ... 548

BOOKS.PROEKTANT.ORG

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков и технических специалистов

IBIK

Учебный центр внедрения климатических технологий

Лицензия Министерства просвещения и науки Украины АА № 234875

В компании «ИВИК» (Украина, Киев) действует учебный центр по курсовой подготовке, переподготовке и повышению квалификации рабочих по профессиям:

- **монтажник систем вентиляции, кондиционирования воздуха, пневмотранспорта и аспирации (код специальности 7233.2 по государственному классификатору ДК 003-95);**
- **слесарь по ремонту и обслуживанию систем вентиляции и кондиционирования (код 7233.2);**
- **наладчик приборов, аппаратуры и систем автоматического контроля, регулирования и управлеиия (наладчик КИП и автоматики) (код 7241.1);**
- **монтажник оборудования холодильных устаиовок (код 7233.2);**
- **оператор теплового пункта (код 8162.2);**
- **оператор котельной (код 8162.2).**

Срок обучения – от 1 до 3,5 месяцев (в зависимости от уровня подготовки слушателей). Слушателям выдается набор учебно-методической и информационно-справочной литературы.

По результатам государственного выпускного экзамена (с участием инспектора Министерства просвещения и науки Украины) слушатель получает:

- свидетельство государственного образца о присвоении рабочей профессии;
- приложение к свидетельству с указанием присвоенного разряда (от 2 до 4);
- удостоверение о проверке знаний по охране труда в избранной профессии.

Учебный центр регулярно проводит семинары по современному климатическому оборудованию для проектировщиков, монтажников, менеджеров и ремонтников.

Тел.: +380 044 468-84-28
+380 044 272-61-89
Факс: +380 044 468-87-89
E-mail: lv@teaching.ivik.com
www.ivik.ua

ООО «ИВИК»
тел.: (044) 272-40-35, 272-61-89,
факс: 272-47-27
04053, Киев, ул. Кудрявская, 23
www.ivik.ua
admin@ivik.com

ИВИК-Крым
(0652) 248-148, 248-149
95011, г. Симферополь, ул. Гоголя, 15
root@ivik.crimea.ua
www.ivik.crimea.ua

ИВИК-Днепр
(0562) 370-44-65, 32-37-31
49038, г. Днепропетровск, пр. К. Маркса, 107
ivik@ivikd.dp.ua
www.ivikd.dp.ua

ИВИК-Сич
(0612) 128-471, 128-472
69006, г. Запорожье, пр. Ленина, 234
ivik@reis.zp.ua

ИВИК-Донбасс
(062) 345-56-80
83050, г. Донецк, пер. Орешкова, 18А
ivikdnc@skif.net

ИВИК-Юг
(0482) 37-37-01
65091, г. Одесса, ул. Комитетская, 8/10
ivik@eurocom.od.ua

ИВИК-Харьков
(057) 715-45-48, 715-45-68
61052, г. Харьков, ул. К. Маркса, 38-ж
ivik-kharkov@utel.net.ua
www.ivik.kharkov.ua

Н58 Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха: [Учеб. пособие] / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич. Под общ. ред. Е. С. Бондаря – К.: ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим» 2005. – 560 с.: ил. – Библиогр.: с. 548–549.

ISBN 966-8571-15-0

В учебном пособии рассмотрены системы вентиляции и кондиционирования воздуха как объекты автоматического регулирования, элементная база, методы проектирования, монтажа и наладки

Предназначено для специалистов и студентов учебных заведений соответствующего профиля

ББК 38.762

Ю. С. Бондар
А. С. Гордієнко
В. О. Михайлов
Г. В. Німич

АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА КОНДИЦІЮВАННЯ ПОВІТРЯ

Група підготовки видання:

Технічний редактор
Т. В. Попова

Художній редактор
О. М. Василенко

Коректор
Л. В. Щегельська

Компьютерна верстка
Т. В. Попова

Обкладинка та титульний лист
ТОВ «Нова хвиля»

Підписано до друку 24.10.2003. Формат 70×100 $^{1}/_{16}$.
Умовн. друк. арк. 50,31. Обл.– вид. арк. 39,92.
Наклад 1000 прим. Зам. ГН 199/11.

ТОВ «Видавничий будинок «Аванпост-Прим».
Адреса:
01024, м. Київ-24, вул. Пилипа Орлика, 15.
Тел. (044) 239-14-65.
e-mail: info@avan.com.ua
Свідоцтво Держкомітету телебачення та радіомовлення України
серія ДК № 1480 від 26.08. 2003 року.

ISBN 966-8571-15-0

9 789668 571152

IBIK

$$I = \int_0^{\infty} [y(\tau)]^2 d\tau \to \min.$$