

Т. В. Архипов

**Автоматическое
регулирование вентиляции и
кондиционирования воздуха**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 621.3
ББК 31.352
Т11

Т11 **Т. В. Архипов**
Автоматическое регулирование вентиляции и кондиционирования воздуха / Т.
В. Архипов – М.: Книга по Требованию, 2013. – 178 с.

ISBN 978-5-458-28268-0

Библиотека по автоматике. Выпуск 26. Принципиальные технологические
схемы систем автоматического регулирования.

ISBN 978-5-458-28268-0

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

1. Кондиционеры с поверхностными нагревателями с мокрыми камерами обработки паровоздушной смеси, в которых разбрызгиваемая через форсунки подогретая или имеющая постоянную температуру, или охлажденная вода нагревает и увлажняет или увлажняет при постоянном теплосодержании, или охлаждает и осушает паровоздушную смесь, входящую в непосредственный контакт с каплями воды.

2. Кондиционеры с поверхностными нагревателями, в которых паровоздушная смесь продувается через орошаемые водой или рассолом поверхности для нагрева и увлажнения или охлаждения и осушки. В зависимости от характера процесса для орошения употребляется либо нагретая среда для нагрева и увлажнения воздуха, либо среда с постоянной температурой для увлажнения воздуха при постоянном теплосодержании, либо охлажденная среда для осушки и охлаждения. При необходимости осушать и охлаждать паровоздушную смесь при температурах, близких к нулю, или при температурах ниже нуля вместо охлажденной воды применяются холодные рассолы хлористого кальция или хлористого натрия.

3. Кондиционеры с поверхностными нагревателями, охладителями и осушителями паровоздушной смеси, в которых между омывающей и протекающей по трубам средой происходит теплообмен через металлическую стенку. В зависимости от характера процесса по трубам протекают пар, перегретая вода, охлажденная вода или рассол.

4. Кондиционеры с поверхностными нагревателями и поверхностными охладителями и осушителями паровоздушной смеси, в которых по трубам протекают пар или перегретая вода при нагреве; при охлаждении внутри них происходит непосредственное испарение хладагента, подаваемого в жидкой фазе.

5. Кондиционеры с поверхностными нагревателями и твердыми химическими поглотителями влаги из паровоздушной смеси. В числе таких адсорбентов обычно применяют силикагель SiO_2 (кремнезем) или активизированный алюминий Al_2O_3 (окись алюминия).

6. Кондиционеры с поверхностными нагревателями и жидкими химическими поглотителями влаги из паровоздушной смеси, как, например, хлористым литием LiCl .

Кроме того, по характеру раздачи приточного воздуха по помещениям все перечисленные выше кондиционеры могут быть подразделены на следующие виды:

1. Кондиционеры, раздающие паровоздушную смесь при низком давлении.

2. Кондиционеры, раздающие паровоздушную смесь при высоком давлении, чем достигается сокращение размеров сетей воздухопроводов, которые не загромождают помещений.

3. Кондиционеры с однотрубной раздачей паровоздушной смеси по обслуживаемым помещениям, при которой производится качественное регулирование путем изменения температуры воздуха.

4. Кондиционеры с двухтрубной раздачей паровоздушной смеси по обслуживаемым помещениям, при которой регулирование температуры подаваемого воздуха производится путем изменения в смеси соотношения частей, забираемых из одной или другой трубы.

Ниже приводится таблица классификации кондиционеров по схеме обработки паровоздушной смеси и роду процесса, обеспечивающего охлаждение и осушку воздуха. В таблице приведены также данные об областях применения тех или иных схем обработки воздуха для промышленных, общественных и жилых зданий.

Наша промышленность в настоящее время серийно выпускает типовые секции центральных кондиционеров с камерами промывки, в которых разбрызгивается через форсунки либо нагретая, либо с постоянной температурой, либо охлажденная вода. Поэтому настоящая книга в основном посвящена автоматизации кондиционеров с камерами орошения. Однако приводимые схемы автоматического регулирования с успехом могут быть применены для кондиционеров со слоем смачиваемых колец. Для кондиционеров с поверхностными воздухоохладителями и кондиционеров с химическими поглотителями влаги описываемые схемы автоматического регулирования должны быть соответственно приспособлены.

Имеющиеся технические средства автоматизации обеспечивают возможность создания полностью автоматизированных установок приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха на основе приведенных ниже данных.

Методы автоматического регулирования температуры, расхода, уровня, давления и т. п. для установок вентиляции и кондиционирования воздуха ничем не отличаются от общепромышленных методов регулирования этих параметров. Что же касается метода регулирования влагосодержания в паровоздушной смеси, то заложенные в них принципы требуют пояснения.

Известно несколько способов измерения и регулирования влагосодержания в паровоздушной смеси.

При неизменном влаговыделении в кондиционируемом помещении и применении кондиционеров с камерами орошения большое распространение получил способ, обеспечивающий заданный уровень влагосодержания паровоздушной смеси путем поддержания в определенных пределах температуры по сухому термометру, устанавливаемому после камеры промывки. После камеры промывки паровоздушная смесь практически близка к насыщению, поэтому с достаточной точностью можно считать, что температура паровоздушной смеси, измеренная по сухому термометру, равна температуре, измеренной по термометру, на чувствительную часть которого надет чулок, смачиваемый водой.

При всей своей простоте этот способ имеет тот недостаток, что колебания влаговыделений в кондиционируемом помещении не могут быть восприняты датчиком (воспринимающим изменение температуры элементом) автоматического регулятора, установленным после камеры промывки. При этом способе автоматический регулятор может только поддерживать в пределах установленной «зоны регулирования» влагосодержание паровоздушной смеси, подаваемой в кондиционируемое помещение, независимо от колебаний влаговыделений в последнем. Это влечет за собой статическую ошибку между текущим значением влагосодержания паровоздушной смеси в кондиционируемом помещении и установленной ее «контрольной точкой».

Ко второму способу измерения и автоматического регулирования влагосодержания паровоздушной смеси в кондиционируемом помещении относится способ измерения температуры по влажному термометру, установленному непосредственно в кондиционируемом помещении. Этот способ может быть применен одновременно также и для измерения и автоматического регулирования

Классификация кондиционеров по схеме обработки паровоз и осушку кондициони

Характер обработки воздуха в камерах осушки и охлаждения	Физический процесс и среда, обеспечивающие охлаждение и осушку обрабатываемого воздуха	Схема	
		Прямоточные камеры кондиционирования воздуха	Камеры кондиционирования воздуха с постоянной величиной первой рециркуляции
Кондиционеры с мокрыми камерами охлаждения и осушки воздуха	Непосредственный контакт осушаемого воздуха с охлажденной водой, распыливаемой через форсунки	Применяются для комфортных и технологических целей при наличии вредных выделений и недопустимости рециркуляции	Применяются для комфортных и технологических целей при отсутствии вредных выделений
Кондиционеры со слоем смачиваемых колец, контактирующих с осушаемым и охлаждаемым воздухом	Непосредственный контакт осушаемого воздуха с поверхностью колец, смачиваемых охлажденной водой (или рассолом)	Применяются только для технологических целей при наличии вредных выделений и недопустимости рециркуляции	Применяются только для технологических целей при отсутствии вредных выделений
Кондиционеры с поверхностными воздухоохладителями для осушки воздуха	Теплообмен между воздухом и водой или воздухом и рассолом через металлическую стенку	Применяются для комфортных и технологических целей при температуре поверхности стенki охладителя выше 0° С при недопустимости рециркуляции	Применяются для комфортных и технологических целей при температуре поверхности стенki охладителя выше 0° С и отсутствии вредных выделений
Кондиционеры с воздухоохладителями непосредственного испарения для осушки воздуха	Теплообмен между воздухом и испаряющимся хладагентом через металлическую стенку	Применяются в индивидуальных кондиционерах. В центральных кондиционерах применяются для технологических целей при температуре поверхности стенki выше 0° С	Применяются в индивидуальных кондиционерах. В центральных кондиционерах применяются для технологических целей при температуре поверхности стенki выше 0° С
Кондиционеры с твердыми химическими поглотителями влаги	Поглощение влаги твердым адсорбентом—силикагелем SiO_2 или активизированным алюминием Al_2O_3 при контакте с воздухом	Применяются для технологических целей с силикагелевым адсорбентом SiO_2 при недопустимости рециркуляции	Применяются для технологических целей с силикагелевым адсорбентом SiO_2 при отсутствии вредных выделений
Кондиционеры с жидкими химическими поглотителями влаги	Поглощение влаги жидким адсорбентом—хлористым литием LiCl при контакте с воздухом	Применяются для технологических целей при недопустимости рециркуляции	Применяются для технологических целей при отсутствии вредных выделений

душной смеси и роду процесса, обеспечивающего охлаждение руемого воздуха

обработки паровоздушной смеси.

Камеры кондиционирования воздуха с переменной величиной первой рециркуляции	Камеры кондиционирования воздуха с постоянной величиной первой и второй рециркуляции	Камеры кондиционирования воздуха с переменной величиной первой и второй рециркуляции
Применяются для комфортных и технологических целей при отсутствии вредных выделений	Применяются для комфортных и технологических целей при отсутствии или постоянных влаговыведениях	Применяются для комфортных и технологических целей при отсутствии влаговыведений
Применяются для технологических целей при отсутствии вредных выделений	Применяются для технологических целей при отсутствии или постоянных влаговыведениях	Применяются для технологических целей при отсутствии влаговыведений
Применяются для комфортных и технологических целей при температуре поверхности стенки охладителя выше 0° С и отсутствии вредных выделений	Применяются для комфортных и технологических целей при температуре поверхности стенки охладителя выше 0° С при отсутствии или постоянных влаговыведениях	Применяются для комфортных и технологических целей при температуре поверхности стенки охладителя выше 0° С при отсутствии влаговыведений
Применяются в индивидуальных кондиционерах. В центральных кондиционерах применяются для технологических целей при температуре поверхности стенки выше 0° С при отсутствии вредных выделений	Применяются в индивидуальных кондиционерах. В центральных кондиционерах применяются для технологических целей при температуре поверхности стенки охладителя выше 0° С при постоянных влаговыведениях	Применяются в индивидуальных кондиционерах. В центральных кондиционерах применяются для технологических целей при температуре поверхности стенки охладителя выше 0° С при отсутствии влаговыведений
Применяются для технологических целей с силикагелевым адсорбентом SiO ₂ при отсутствии вредных выделений	Применяются для технологических целей с силикагелевым адсорбентом SiO ₂ при постоянных влаговыведениях	Применяются для технологических целей с силикагелевым адсорбентом SiO ₂ при отсутствии влаговыведений
Применяются для технологических целей при отсутствии вредных выделений.	Случаи применения для комфортных и технологических целей неизвестны	Случаи применения для комфортных и технологических целей неизвестны

ния теплосодержания паровоздушной смеси как при постоянном, так и при переменном влаговыделении в кондиционируемом помещении. Наличие статической ошибки между текущим значением влагосодержания паровоздушной смеси в кондиционируемом помещении и ее «контрольной точкой» в этом случае зависит только от динамической характеристики системы автоматического регулятора.

Общеизвестно, что атмосферный воздух, а следовательно, и воздух кондиционируемых помещений представляют собой смесь воздуха (в основном состоящую из азота, кислорода, аргона и углекислоты) и находящихся в нем перегретых или насыщенных паров воды. Количество водяных паров, насыщающих воздух при данных температуре и давлении, есть величина постоянная. Влагоемкость воздуха (количество водяных паров, насыщающих воздух) при данной температуре и переменном давлении в килограммах на килограмм сухого воздуха определяется из следующего уравнения:

$$d_n = \frac{R_v h_n}{R_n (h - h_n)} \text{ [кг/кг сух. возд.]}, \quad (\text{В-1})$$

где d_n — количество водяного пара, насыщающего 1 кг сухого воздуха при данных температуре и давлении, кг;

R_v — газовая постоянная для воздуха:

$$R_v = \frac{PU}{T} = \frac{10\,333 \cdot 0,7733}{273} = 29,27 \text{ [кг} \cdot \text{м/град К]};$$

R_n — газовая постоянная для водяного пара:

$$R_n = \frac{PU_n}{T} = \frac{10\,333 \cdot 1,675}{373} = 47,06 \text{ [кг} \cdot \text{м/град К]};$$

h_n — упругость водяного пара при данной температуре, мм рт. ст.;

h — атмосферное давление, мм рт. ст.

Количество тепла, содержащееся в смеси воздуха и водяного пара, отнесенное к единице веса сухого воздуха (ккал/кг сух. возд.), с достаточной для практики точностью в пределах температур от -30 до $+150^\circ\text{C}$ и

давлений от 0,5 до 800 мм рт. ст. может быть определено на основании следующего уравнения:

$$I = c_v t_v + (595 + c_n t_v) d \text{ [ккал/кг сух. возд.]}, \quad (\text{В-2})$$

где I — теплосодержание паровоздушной смеси, ккал/кг сух. возд.;

C_v — удельная теплоемкость сухого воздуха, ккал/кг·град;

t_v — температура паровоздушной смеси по сухому термометру, °С;

595 — скрытая теплота испарения 1 кг воды при 0°С, ккал/кг;

c_n — удельная теплоемкость водяного пара, ккал/кг·град;

d — количество водяного пара, содержащегося в 1 кг сухого воздуха, кг.

В свою очередь второй член уравнения (В-1), характеризующий теплосодержание собственно водяного пара, содержащегося в паровоздушной смеси, можно определить на основании следующего уравнения:

$$(595 + c_n t_v) d = qd + 595d + c_n (t_v - t_{т.р.}) d \text{ [ккал]}, \quad (\text{В-3})$$

где q — количество тепла, содержащегося в 1 кг воды до превращения ее в пар, при температуре, соответствующей температуре „точки росы“ для данной паровоздушной смеси, ккал/кг;

$t_{т.р.}$ — температура „точки росы“, т. е. такая температура, при которой находящийся в данной паровоздушной смеси водяной пар начинает конденсироваться. Таким образом, температура „точки росы“ является температурой насыщения, соответствующей существующему давлению пара.

В уравнении (В-3) второй член правой части характеризует так называемое скрытое тепло, идущее на образование пара из воды, содержащейся в паровоздушной смеси.

Влажный термометр представляет собой обычный термометр, на воспринимающую часть которого надет батиновый чулок, смачиваемый за счет капиллярности волокон ткани из установленного в непосредственной близости сосуда, температура воды в котором примерно

равна температуре окружающей среду паровоздушной смеси.

Таким образом, если поставить в одной точке паровоздушной смеси два термометра — сухой и влажный, то за счет компенсации тепла, идущего на скрытую теплоту парообразования, отнимаемого у воспринимающей части влажного термометра, влажный термометр будет показывать температуру ниже, чем установленный рядом с ним сухой термометр. Отнимаемое от воспринимающей части влажного термометра тепло характеризуется вторым членом правой части уравнения (В-3). Чем суше воздух, окружающий влажный термометр, тем большей будет разность между показаниями сухого и влажного термометров. При большей влажности окружающего воздуха разность в показаниях сухого и влажного термометров будет меньшей, а при насыщении воздуха влагой показания сухого и влажного термометров будут одинаковы. По разности показаний сухого и влажного термометров можно определить количество водяных паров, содержащихся в данной паровоздушной смеси, на основании следующей эмпирической формулы:

$$h_{п.с} = h_{п.в} - c(t_{сух} - t_{вл})h \text{ [мм рт. ст.]}; \quad (В-4)$$

где $h_{п.с}$ — упругость водяного пара, содержащегося в паровоздушной смеси при температуре по сухому термометру, мм рт. ст.;

$h_{п.в}$ — упругость водяного пара при температуре по влажному термометру, мм рт. ст.;

h — барометрическое давление, мм рт. ст.;

c — постоянная величина, равная: при скоростях движения воздуха до 0,5 м/сек — 0,000795; при скоростях движения воздуха свыше 1,5 м/сек — 0,000662.

Относительная влажность паровоздушной смеси определяется по формуле

$$\varphi = \frac{h_{п}}{h_{н}}. \quad (В-5)$$

$h_{п}$ и $h_{н}$ — парциальное давление перегретого и насыщенного пара, мм рт. ст.

К недостаткам описанного способа регулирования влагосодержания паровоздушной смеси относятся: воз-

возможность использования его только при температуре выше нуля и необходимость специального устройства, обеспечивающего смачивание чулка, надетого на воспринимающий элемент, при условии поддержания абсолютной чистоты чулка.

Третий способ измерения и регулирования относительной влажности паровоздушной смеси (в определенных ограниченных пределах) заключается в применении в качестве воспринимающего элемента гигроскопического материала, изменяющего свои физические свойства в зависимости от влагосодержания. Влагосодержание гигроскопического материала зависит как от его свойств, так и от относительной влажности и температуры паровоздушной смеси, которая окружает этот материал. Некоторые гигроскопические материалы изменяют свою длину или объем при изменении относительной влажности паровоздушной смеси. Это их свойство используется в воспринимающих элементах, предназначенных для измерения и регулирования относительной влажности паровоздушной смеси.

К недостаткам этого способа нужно отнести то, что гигрометры, основанные на принципе изменения длины гигроскопических материалов, с течением времени дают нестабильные значения удлинений при воздействии на гигрочувствительный элемент одной и той же относительной влажности окружающей паровоздушной смеси.

К четвертому способу измерения и регулирования относительной влажности паровоздушной смеси относится метод, основанный на изменении степени нагрева током некоторых материалов при изменении относительной влажности среды, окружающей воспринимающий элемент. Основным недостатком этого способа является еще недостаточный опыт проверки его в эксплуатационных условиях.

На основании приведенных соображений в описываемых ниже схемах автоматического регулирования вентиляции и кондиционирования воздуха рассмотрены только те случаи, которые основаны на технических средствах автоматики, проверенных в эксплуатации или давших при опробовании хорошие результаты.

Рекомендуемые в приведенных ниже схемах автоматические регуляторы можно классифицировать (в соответствии с принятой ИАТ АН СССР терминологией) по

динамическим характеристикам и по роду среды, передающей командный импульс.

По динамическим характеристикам регуляторы делятся на следующие виды:

1. Регуляторы со статической динамической характеристикой (иначе: регуляторы пропорциональные), при применении которых можно осуществить так называемое пропорциональное регулирование во всех его видах, т. е. регулирование с жесткой обратной связью и регулирование зависимое или с автокоррекцией. Действие этих регуляторов описывается уравнением

$$\mu = k \Delta \varphi, \quad (\text{В-6})$$

где μ — регулирующие воздействие, % хода исполнительного механизма;

k — коэффициент передачи регулятора,
 $\frac{\% \text{ хода исполнительного механизма}}{\text{град}};$

$\Delta \varphi$ — отклонение регулируемой величины от заданного значения ($\varphi - \varphi_0$), °С.

2. Регуляторы с астатической динамической характеристикой (регуляторы интегральные), при применении которых можно осуществить интегральное регулирование. Действие этих регуляторов описывается уравнением

$$\mu = \frac{k}{T_n} \int \Delta \varphi dt, \quad (\text{В-7})$$

где T_n — постоянная интегрирования, сек;

t — время, сек.

3. Регуляторы с изодромной динамической характеристикой (регуляторы пропорционально-интегральные), при применении которых можно осуществить пропорционально-астатическое регулирование. Действие их описывается уравнением

$$\mu = k \left(\Delta \varphi + \frac{1}{T_n} \int \Delta \varphi dt \right). \quad (\text{В-8})$$

4. Регуляторы с двухпозиционной динамической характеристикой (регуляторы релейные). Эти регуляторы описываются уравнениями:

а) при $(\Delta \varphi)'$ больше 0

$$\mu = \mu_m \text{Sng}(\Delta \varphi - \epsilon); \quad (\text{В-9})$$