

**МИНИСТЕРСТВО СТАНКОСТРОИТЕЛЬНОЙ  
И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ОТРАСЛЕВЫЕ РУКОВОДЯЩИЕ МАТЕРИАЛЫ**

**ОЧИСТКА СЖАТОГО ВОЗДУХА  
ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
И ПРИВОДОВ СТАНКОВ, ПРЕССОВ,  
ЛИТЕЙНЫХ И ДРУГИХ МАШИН**

**БИНМАН  
МОСКВА 1989**

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	3
Загрязнения сжатого воздуха и их воздействие на пневматические приводы и системы . . . . .	5
Выбор степени очистки сжатого воздуха . . . . .	11
Способы очистки сжатого воздуха . . . . .	16
Конструкция, принцип действия и технические характеристики устройств для очистки воздуха . . . . .	23
Выбор устройств для очистки воздуха и схемы их применения . . . . .	44
Монтаж и эксплуатация очистных устройств и воздухопроводов . . . . .	56
Контроль чистоты сжатого воздуха . . . . .	60
Литература . . . . .	70

МИНИСТЕРСТВО СТАНКОСТРОИТЕЛЬНОЙ  
И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ГИДРОПРИВОДОВ И ГИДРОАВТОМАТИКИ  
(ВНИИгидропривод)

---

УДК 62-85+62-525]:621.54

ОЧИСТКА СЖАТОГО ВОЗДУХА  
ДЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
И ПРИВОДОВ СТАНКОВ, ПРЕССОВ,  
ЛИТЕЙНЫХ И ДРУГИХ МАШИН

(Отраслевой руководящий материал)

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИИ  
ПО МАШИНОСТРОЕНИЮ

МОСКВА 1969

## ВВЕДЕНИЕ

В руководящем материале рассматриваются вопросы очистки сжатого воздуха, используемого для пневматических устройств и систем управления станков, прессов, литейных и других машин. Приводятся краткие сведения о загрязнении сжатого воздуха и рекомендации по выбору степени очистки для различных пневматических систем, способам и устройствам очистки. Даются также рекомендации по размещению, монтажу и эксплуатации очистных устройств, а также контролю чистоты сжатого воздуха.

Руководящий материал предназначен для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией пневматических устройств и систем управления.

Материал разработан институтом ВНИИгидропривод (Харьков, 59, ул. Шатилова дача, 4).

Исполнители работы:

*А. И. КУДРЯВЦЕВ, А. П. ПЯТИДВЕРНЫЙ  
и Н. Д. ШАБАЛТАС.*

**BOOKS.PROEKTANT.ORG**

**БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ  
КОПИЙ КНИГ**

**для проектировщиков  
и технических специалистов**

Широкое применение в станкостроении получили: пневматические приводы для механизации и автоматизации зажима изделий, их загрузки, выгрузки, транспортирования и переключения механизмов управления, для прессования деталей и других операций;

пневматические системы управления, работающие на разных энергетических уровнях с использованием логических элементов и унифицированных узлов на базе мембранной и струйной техники.

В настоящее время наиболее актуальной задачей является дальнейшее повышение надежности и долговечности пневматических приводов и пневматических систем управления.

Одно из основных средств достижения этого — качественная подготовка сжатого воздуха, включающая очистку его от загрязнений. Однако из-за отсутствия соответствующих стандартов и рекомендаций выбор оптимальной степени очистки сжатого воздуха и соответствующих очистных устройств для конкретных систем и условий эксплуатации представляет большие трудности.

Ошибки, допущенные при этом, приводят к преждевременному выходу из строя пневматических устройств и систем управления.

В то же время опыт эксплуатации показывает, что качественная очистка сжатого воздуха на промышленных предприятиях дает значительный технико-экономический эффект, достигаемый за счет сокращения аварий и более надежной и долговременной работы пневматических устройств и систем управления.

В руководящем материале обобщены отечественные и зарубежные данные исследований по эксплуатации пневматических очистных устройств, приведены сведения о влиянии загрязнений сжатого воздуха, даны рекомендации по выбору степени его очистки для различных пневматических устройств, описаны способы достижения необходимой чистоты воздуха, в том числе выбор очистных устройств, их размещение, основные правила монтажа и эксплуатации.

## ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ПРИВОДЫ И СИСТЕМЫ

Основные источники и компоненты загрязнений сжатого воздуха, используемого в производственных процессах различных отраслей промышленности, показаны в табл. 1. Компоненты загрязнений можно разделить на три группы: твердые загрязнения, влагу (вода и компрессорное масло в жидкой и паровой фазе, растворы кислот и щелочей), газообразные загрязнения.

Наибольшую часть загрязнений составляют вода и твердые примеси.

**Вода.** Вода попадает в пневматическую сеть вместе с атмосферным воздухом, засасываемым компрессором. Атмосферный воздух содержит пары воды, количество которых (влажность или абсолютная влажность воздуха) зависит от температуры и относительной влажности воздуха.

Относительная влажность  $\varphi$  (отношение действительного влагосодержания  $d$  воздуха к максимально возможному влагосодержанию  $d_n$  при тех же значениях температуры и давления) выражается десятичной дробью или процентами и достигает наибольшего значения, равного 1 (100%), когда  $d = d_n$ , т. е. когда воздух насыщен водяными парами до предела.

Способность сжатого воздуха удерживать пары воды уменьшается с понижением температуры и с повышением давления. При этом его относительная влажность возрастает, а после достижения состояния насыщения ( $\varphi = 1$ ) происходит конденсация избыточного количества паров и появляется вода в жидком состоянии (конденсат). Температура, при которой это происходит, называется точкой росы  $T_p$ . При более высокой температуре (и том же давлении) конденсации водяных паров не происходит. Поэтому точка росы сжатого воздуха часто указывается как мера степени его очистки от воды в парообразном состоянии.

Для практического определения количества воды, конденсируемой в пневматической сети благодаря сжатию атмосферного воздуха в компрессоре с последующим охлаждением по мере прохождения к потребителям, можно пользоваться диаграммами

Основные источники и компоненты загрязнений сжатого воздуха

Источники загрязнений	Компоненты загрязнений										
	вода	масло	металлические частицы и продукты износа	продукты эрозии почвы и производственная пыль	ржавчина	окалина	частицы резины, синтетических и волокнистых материалов	краски и лаки	смоли и нагар	притирочные составы и абразивы	кислоты и щелочи
Атмосферный воздух	×××			×××			×				×
Компрессоры		×××	×					×	×		
Воздухопроводы: стальные из антикоррозионных материалов (медных и алюминиевых сплавов, нержавеющей стали и др.) резиновые					×××	×××		×			×
Места соединений воздухопроводов пневмооборудования			×	×	×	×	×	×			
Пневмооборудование		×	×		×		×			×	
Устройства для очистки воздуха: с адсорбентом с бумажными, войлочными и синтетическими фильтрующими элементами с керамическими и металло-керамическими фильтрующими элементами							×			×	

Условные обозначения:  
 × — незначительное загрязнение;  
 ×× — среднее загрязнение;  
 ××× — значительное загрязнение.

(рис. 1 и 2) [4]. На диаграммах графически представлена зависимость влагосодержания насыщенного воздуха ( $\varphi=1$ ) от давления и температуры.

Пример. Температура всасываемого атмосферного воздуха  $20^{\circ}\text{C}$  при влажности  $\varphi=80\%$ ; после сжатия и охлаждения температура воздуха достигла  $30^{\circ}\text{C}$ , а абсолютное давление  $7 \text{ кгс/см}^2$ . Требуется определить количество воды  $d$ , сконденсированной в пневматической сети после компрессора.

Для решения задачи воспользуемся диаграммой, приведенной на рис. 2. Влагосодержание  $d_{\text{ан}}$  насыщенного атмосферного воздуха при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  и атмосферном давлении  $1 \text{ кгс/см}^2$  составляет  $15 \text{ г/кг}$ .

При  $\varphi=80\%$  влагосодержание  $d_a = d_{\text{ан}} \cdot 0,8 = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ г/кг}$ .

Влагосодержание  $d_c$  насыщенного сжатого воздуха при давлении  $7 \text{ кгс/см}^2$  и температуре  $30^{\circ}\text{C}$  составляет всего  $4 \text{ г/кг}$ . Избыток влаги  $d$  сконденсируется

$$d = d_a - d_c = 12 - 4 = 8 \text{ г/кг} = 9,6 \text{ г/м}^3.$$

По диаграммам (см. рис. 1 и 2) можно определить количество содержащейся в воздухе воды в парообразном состоянии в  $\text{г/кг}$ . Для определения количества воды в  $1 \text{ м}^3$  необходимо найденную величину умножить на плотность воздуха  $1,205 \text{ кг/м}^3$  или воспользоваться данными табл. 2 [6].

Таблица 2

Абсолютная влажность воздуха в  $\text{г/м}^3$  в зависимости от температуры для  $\varphi = 1$  при давлении  $760 \text{ мм. рт. ст.}$

t, °C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	4,85	5,19	5,56	5,95	6,36	6,79	7,26	7,75	8,27	8,82
10	9,40	10,01	10,66	11,34	12,06	12,82	13,63	14,47	15,36	16,30
20	17,30	18,33	19,42	20,57	21,77	23,04	24,37	25,76	27,22	28,75
30	30,36	32,05	33,81	35,65	37,58	39,60	41,72	43,93	46,23	48,64
40	51,15	53,76	56,49	59,35	62,34	65,45	68,68	72,05	75,57	79,23
50	83,02	86,96	91,07	95,35	99,80	104,40	109,20	114,20	119,30	124,70
60	130,20	136,00	142,00	148,20	154,60	161,30	168,20	175,30	182,70	190,30
70	198,20	206,40	214,80	223,60	232,60	242,00	251,60	261,50	271,80	282,40
80	293,30	304,70	316,40	328,40	340,80	353,60	366,80	380,40	394,30	408,70
90	423,50	438,80	454,50	470,60	487,30	504,50	522,20	543,30	559,00	588,10
100	597,70	618,00	638,90	660,20	682,10	704,70	727,80	751,40	775,70	800,00

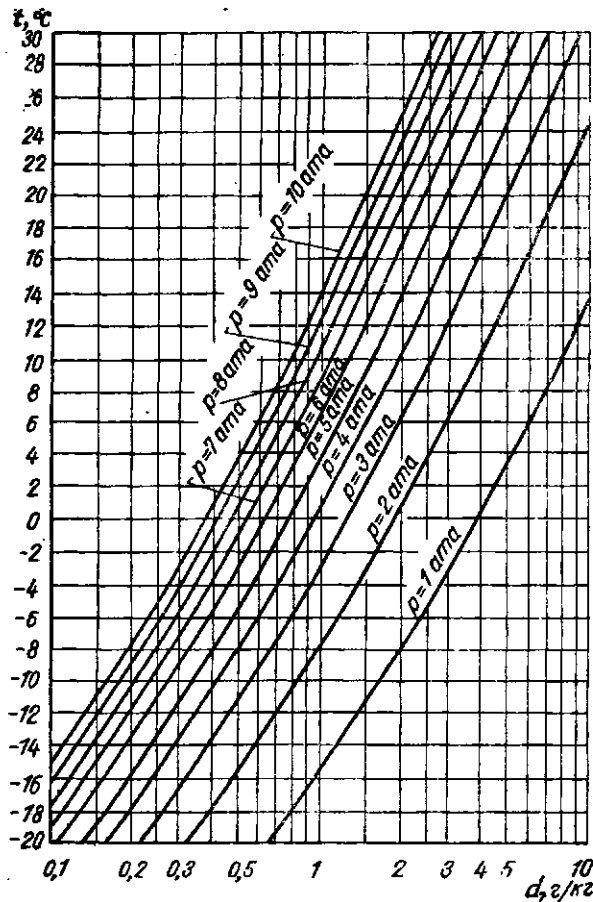


Рис. 1. Диаграмма  $t-d$  зависимости влагосодержания от температуры и давления воздуха (при  $\varphi=100\%$ )

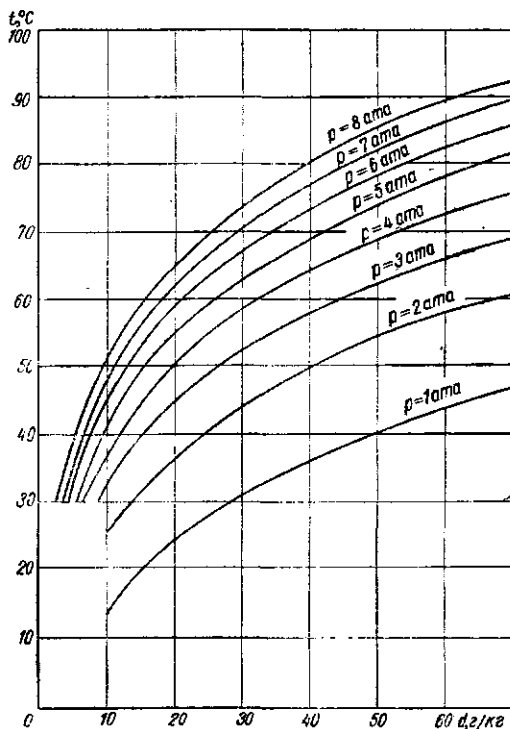


Рис. 2. Диаграмма  $t-d$  зависимости влагосодержания от температуры и давления воздуха (при  $\varphi=100\%$ )



**Масло.** При работе поршневых компрессоров масло, проникая между поршневыми кольцами и стенками цилиндра, неизбежно попадает в рабочую полость компрессора, в которой воздух перемещается с большой скоростью, еще и нагревается. Все это приводит к тому, что часть масла, представляющего собой пленку, попадает в подаваемый компрессором воздух. В случае износа поршневых колец, особенно маслосъемных поршневых колец, количество масла, попадающего в рабочую полость, постоянно увеличивается. Аналогичное явление происходит при работе совершенно нового неприработанного компрессора, однако в этом случае положение улучшается после приработки, так как зазоры в результате некоторого совместного износа деталей уменьшаются.

**Твердые загрязнения,** содержащиеся в сжатом воздухе, можно разделить на три вида: примеси металлического происхождения — стружка, окалина, продукты коррозии, частицы изнашиваемых деталей; неорганические примеси — песок, производственная пыль, притирочные составы и абразивы; органические примеси — органическая пыль, частицы резины и волокнистые материалы, краски, лаки, смолы, нагар, графит, сажа.

Виды атмосферных загрязнений	Диаметр частиц, мк												
	0,001	0,01	0,1	0,2	0,4	0,6	4	10	40	60	80	100	1000
Дым	■												
Пар	■												
Пыль			■										
Туман							■						
Промышленная пыль								■					
Дождь												■	
Способы обнаружения (измерения)	Электронный микроскоп			Микроскоп				Невооруженный глаз					

Рис. 3. Гранулометрический состав загрязнений атмосферного воздуха

Основное количество металлических примесей появляется в пневматических системах в результате износа подвижных деталей, а ржавчина — в результате воздействия влаги, кислот и щелочей на материалы пневматических устройств и линий. Окалина, стружка, притирочные составы и абразивы попадают в систему при нарушении технологии изготовления и монтажа пневматических устройств.

Примеси органического происхождения также в основном являются продуктами износа уплотнений, истирания шлангов, материала фильтрующих элементов.

Неорганические примеси попадают в пневматическую систему вместе с засасываемым атмосферным воздухом. В зависимости от окружающих условий и качества обслуживания компрессорных установок размеры этих частиц могут составлять от долей микрона до нескольких миллиметров при концентрации от 1 до 120 мг на 1 м<sup>3</sup> воздуха. Твердость частиц различна и может достигать 7—9 единиц по десятичной шкале.

О размерах загрязняющих частиц атмосферного воздуха дает представление схема, приведенная на рис. 3 [1].

**Газообразные загрязнения.** К газообразным загрязнениям можно отнести озон и двуокись серы SO<sub>2</sub>, которая выделяется при плавильных и литейных процессах и засасывается в компрессор вместе с воздухом. При соединении со сконденсировавшейся водой в пневматической системе она образует разбавленную серную кислоту H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и сернистый ангидрид H<sub>2</sub>S.

**Воздействие загрязнений.** Загрязнения, попавшие в сжатый воздух, оказывают физическое и химическое воздействие на пневматические системы и устройства.

Физическое воздействие загрязнений состоит в закупорке отверстий и сопел влагой, льдом и механическими частицами; в смывании смазки; в повреждении рабочих поверхностей клапанных пар, мембран, золотников; в износе и заклинивании трущихся деталей и т. д.

Износ трущихся поверхностей происходит как под влиянием абразивных сред, так и из-за недостаточной смазки. Абразивные среды образуются при смешении водно-масляной эмульсии с механическими частицами. Интенсивность износа пневматического оборудования тем выше, чем выше твердость и больше размеры механических частиц. Износ неподвижных деталей может происходить, кроме того, и вследствие эрозии, возникающей при высокой скорости потока загрязненного сжатого воздуха.

При наличии масла возможность закупоривания щелей и отверстий механическими частицами еще больше увеличивается. Образующиеся при полимеризации масла смолы весьма опасны для систем автоматического управления и контроля, особенно при малых размерах проходных сечений. При определенных условиях пары масла в соединении с воздухом образуют взрывоопасную смесь. Вместе с пылью масло образует губчатую смесь, способную к самовозгоранию.

Наличие в пневматических линиях большого количества воды приводит к уменьшению проходных сечений трубопроводов, а в ряде случаев и к гидравлическим ударам. Влага и механические частицы не позволяют получить качественную окраску изделий методом распыления.

В условиях отрицательной температуры окружающей среды даже незначительное содержание влаги в жидком состоянии приводит к защемлению золотников, закупорке отверстий и другим неисправностям.

Результатом химического воздействия загрязнений является коррозия металлических и разрушение резиновых деталей растворами кислот, щелочей и других химически активных компонентов.

Содержание в сжатом воздухе озона может привести к разрушению резиновых уплотнений, мембран и покрытий.

## **ВЫБОР СТЕПЕНИ ОЧИСТКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА**

Для повышения долговечности и надежности пневматических систем управления идеальным является полное удаление загрязнений сжатого воздуха. Однако присутствие определенного количества загрязнений в целом ряде устройств практически не сказывается на их работоспособности, поэтому полная очистка сжатого воздуха, связанная с значительными затратами энергии и труда, в большинстве случаев экономически нецелесообразна.

Требования к очистке воздуха зависят от конструктивного исполнения и материала элементов пневматических систем управления и механизмов, от точности, величины зазоров и размеров отверстий, от требований надежности и долговечности систем и от эксплуатационных условий. Степень необходимой очистки воздуха обычно определяется экспериментальным путем.

На основании отечественного и зарубежного опыта эксплуатации пневматических систем управления пневматические устройства общепромышленного применения в зависимости от чувствительности к загрязнениям можно разделить на следующие группы.

I. Коммуникации пневматических систем, емкости, оборудование силовых приводов мембранного типа и сильфонные устройства, имеющие надежное антикоррозийное покрытие, в которых трущиеся поверхности непосредственно с воздухом не соприкасаются.

II. Пневматическое оборудование для систем механизации и автоматизации производственных процессов (пневмоцилиндры и пневмомоторы, пневмоинструмент, распределительная и контрольно-регулирующая аппаратура и другие устройства с проходными и дроссельными отверстиями, имеющими минимальный размер поперечного сечения не менее 0,8 мм).

III. Пневматическое оборудование для систем механизации и автоматизации производственных процессов с повышенными требованиями к надежности, точные дроссельные и демпфирующие устройства, аппаратура с прецизионными парами и условным проходом 0,5—2 мм, устройства струйной техники с минимальной шириной каналов более 0,8 мм.

IV, а. Пневматические системы управления с повышенными требованиями к надежности для станков, прессов, автоматических линий и другого оборудования, построенные на элементах струйной и релейной техники.

б. Пневматические приборы и средства автоматизации, на которые распространяются требования ГОСТ 11882—66.

Степень очистки сжатого воздуха для пневматического оборудования в зависимости от степени расширения и температурных условий

Температура, °C		Пневматическое оборудование												
сжатого воздуха в магистрали $T_M$	окружающей среды $T_C$	Степень расширения воздуха в пневматическом устройстве, не более	Температура сжатого воздуха на входе в пневматическое устройство (приблизительно)	Точка росы, до которой необходимо осушить воздух $T_p$ , °C	I группа		II группа		III группа		IV группа			
					степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений	степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений	степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений	степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
40	40	2	$T_M$	20	X	X	XX	XX	XXX					
			$T_C$	20	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
		6	$T_M$	5	X	X	XX	XX	XXX					
			$T_C$	5	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
	20	2	$T_M$	15	X	X	XX	XX	XXX					
			$T_C$	0	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
		6	$T_M$	5	X	X	XX	XX	XXX					
			$T_C$	-15	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX		
	0	2	$T_M$	-5	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX					
			$T_C$	-20	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX		
		6	$T_M$	-5	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX					
			$T_C$	-35	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX		
20	40	2	$T_M$	0	X	X	XX	XX	XXX					
			$T_C$	20	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
		6	$T_M$	-15	XX	XX	XXX	XXX	XXXX					
			$T_C$	5	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
	20	2	$T_M$	0	X	X	XX	XX	XXX					
			$T_C$	0	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
		6	$T_M$	-15	XX	XX	XXX	XXX	XXXX					
			$T_C$	-15	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX		
	0	2	$T_M$	-5	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX					
			$T_C$	-20	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX		
		6	$T_M$	-15	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX					
			$T_C$	-35	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX		
5	40	2	$T_M$	-15	XX	XX	XXX	XXX	XXX					
			$T_C$	20	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX		
	6	$T_M$	-30	XX	XX	XXX	XXX	XXXX						
		$T_C$	5	X	X	XX	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX			
20	2	$T_M$	-15	XX	XX	XXX	XX	XXXX						
		$T_C$	0	X	X	XX	XX	XXXX	XXX	XXXX	XXXX			

Температура, °C		Пневматическое оборудование										
сжато-го воздуха в магистралах $T_M$	окружающей среды $T_c$	Степень расширения воздуха в пневматическом устройстве, не более	Температура сжатого воздуха на входе в пневматическое устройство (приблизительно)	Точка росы, до которой необходимо осушить воздух $T_p$ , °C	I группа		II группа		III группа		IV группа	
					степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений	степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений	степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений	степень очистки от влаги	степень очистки от механических загрязнений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5	20	6	$T_M$	-30	XXX	XX	XXXX	XX	XXXX			
			$T_c$	-15	XX	XX	XXX	XXX	XXXX			
	0	2	$T_M$	-15	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX			
			$T_c$	-20	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX			
	6	$T_M$	-30	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX				
		$T_c$	-35	XXXX	X	XXXX	XX	XXXX				

Обозначения степеней очистки воздуха:

от механических загрязнений

- X — грубая очистка (тонкость фильтрации 80—100 мк);
- XX — нормальная очистка (тонкость фильтрации 20—50 мк);
- XXX — тонкая очистка (тонкость фильтрации 5—15 мк);
- XXXX — особо тонкая очистка (тонкость фильтрации менее 5 мк) и очистка по ГОСТ 11882—56;

от влаги

- X — грубая очистка (концентрация влаги в жидком состоянии не более 4 г/м<sup>3</sup>);
- XX — нормальная очистка (концентрация влаги в жидком состоянии 0,4—0,6 г/м<sup>3</sup>);
- XXX — тонкая очистка (концентрация влаги в жидком состоянии 0,04—0,1 г/м<sup>3</sup>);
- XXXX — особо тонкая очистка (влаги в жидком состоянии не допускается; концентрация паровообразной влаги должна соответствовать точке росы  $T_p$ , указанной в графе 5).

В табл. 3 даны ориентировочные рекомендации по определению степени очистки сжатого воздуха для указанных выше групп устройств исходя из температуры окружающей среды, температуры сжатого воздуха в магистрали и на входе в пневматическое устройство и степени расширения сжатого воздуха.

Важно также определить точку росы воздуха, до которой следует его осушить. Точка росы сжатого воздуха должна быть такой, чтобы при заданном рабочем давлении во всем рабочем диапазоне температуры не произошло конденсации влаги для пневматических устройств IV группы и образования льда для I, II и III групп устройств по табл. 3. При этом необходимо учитывать значительное понижение температуры при расширении сжатого воздуха. Например, при адиабатном расширении от 6,4 до 1 кгс/см<sup>2</sup> температура сжатого воздуха понижается на 120°C. Так как практически процессы расширения протекают по политропе, столь резкого снижения температуры не происходит, однако при приведенном в примере изменении давления температура может упасть до -20°C [4].

В графе 5 табл. 3 приведены приближенные значения точки росы  $T_p$  (до которой необходимо осушить воздух), найденные исходя из температуры  $T_m$  в магистральном трубопроводе и температуры  $T_c$  окружающей среды следующим образом.

1. Сжатый воздух поступает к потребителю с температурой, близкой к  $T_m$ :

степень расширения воздуха не более 2:

$$\begin{array}{ll} T_p = T_m - 20^\circ & \text{при } T_c > T_m - 20^\circ; \\ T_p = T_c - 5^\circ & \text{при } T_c \leq T_m - 20^\circ; \end{array}$$

степень расширения воздуха около 6:

$$\begin{array}{ll} T_p = T_m - 35^\circ & \text{при } T_c > T_m - 35^\circ \\ T_p = T_c - 5^\circ & \text{при } T_c \leq T_m - 35^\circ. \end{array}$$

2. Сжатый воздух поступает к потребителю с температурой, близкой к  $T_c$ :

степень расширения воздуха не более 2:

$$T_p = T_c - 20^\circ;$$

степень расширения воздуха не более 6:

$$T_p = T_c - 35^\circ.$$

Следует отметить, что рекомендации в табл. 3 даны для условий непрерывного расширения сжатого воздуха и естественного теплообмена между пневматическим устройством и окружающей средой. При наличии теплоизоляции требования к очистке воз-

духа необходимо повысить, чтобы свести к минимуму возможность конденсации паров влаги при  $T_p < 0$  для I—III групп устройств. Если интенсивное расширение сжатого воздуха происходит не постоянно, а периодически, то в зависимости от продолжительности рабочих периодов и промежутков между ними, а также от температуры окружающей среды итоговая температура рабочих поверхностей пневматического устройства может быть выше нуля, и образования льда не произойдет. В этом случае возможны менее жесткие требования к очистке воздуха от влаги.

## СПОСОБЫ ОЧИСТКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Способы и средства очистки воздуха определяются в зависимости от вида и количества загрязнений, а также от требований к степени очистки воздуха, предъявляемых пневматическими устройствами.

**Очистка от твердых загрязнений.** Очистка сжатого воздуха от твердых примесей осуществляется путем пропускания его через пористую перегородку (процесс фильтрации) или с применением силовых полей (в основном инерционного и гравитационного).

В настоящее время в конструкциях очистителей обычно используется комбинированный способ очистки воздуха, включающий фильтрацию и применение силовых полей. Как правило, на первой ступени крупные частицы отделяются силами инерции и гравитации, а на второй ступени воздух пропускается через фильтрующий элемент, эффективность которого определяется размерами пор.

Фильтрующие материалы, применяемые для очистки сжатого воздуха, по способу удержания загрязняющих примесей можно разделить на два вида: поверхностные (частицы удерживаются поверхностью фильтрующего материала) и объемные (частицы удерживаются не только на поверхности, но и в толще фильтрующего материала).

К поверхностным фильтрам относятся всевозможные сетки, ткани, бумага; к объемным — картон, металлокерамика, керамика, войлок и т. д., а также пакеты, состоящие из нескольких слоев поверхностных материалов, например сетки или бумаги.

Для предварительной очистки сжатого воздуха от механических примесей рекомендуется применять металлические сетки квадратного переплетения из латуни или фосфористой бронзы (ГОСТ 6613—53) с тонкостью фильтрации от 85 мк и выше. Тонкость фильтрации сетки определяется размером ячеек в свету, образуемых при переплетении проволок.

Наибольшее распространение в очистных устройствах для сжатого воздуха получили металлокерамические фильтры. Обычно металлокерамические фильтрующие элементы небольших размеров и веса изготавливают методом спекания свободно засыпанного порошка, а крупных размеров и большого веса — методом прес-

сования и спекания. Для воздушных фильтров в основном применяются порошки из оловянистой бронзы или фосфористой меди с зёрнами шарообразной формы.

Тонкость фильтрации зависит от размера и фракционного состава сферического порошка. Номинальная тонкость фильтрации металлокерамических фильтров может достигать 2 мк. Металлокерамические фильтрам свойственны достаточно высокая прочность и пластичность, они хорошо сопротивляются резким колебаниям температур, не засоряют воздух материалами фильтра, хорошо регенерируются, не сложны в изготовлении. Металлокерамику можно паять, склеивать, сваривать, обрабатывать нерабочие поверхности на металлорежущих станках. Фильтры из металлокерамики можно изготовлять практически любой формы. Металлокерамические фильтры могут применяться для любого диапазона рабочих температур пневматического привода.

Наиболее близки к металлокерамическим фильтрам керамические фильтры, однако они обладают меньшей механической прочностью, плохим сопротивлением резким колебаниям температур и поэтому получили меньшее распространение.

Керамические фильтры изготовляют из шамотной массы. Тонкость фильтрации зависит от тонкости помола шамота. Тонкость фильтрации керамических фильтров, применяемых для очистки сжатого воздуха, составляет 10—30 мк. Пропускная способность керамических фильтров после загрязнения может быть частично восстановлена путем прокаливания их при температуре 700—800°C (во избежание растрескивания керамики нагрев и охлаждение должны быть медленными) или промывки в 20%-ном растворе щелочи [3].

Широкое распространение для очистки сжатого воздуха получили волокнистые прессованные материалы — фетр и войлок, которые имеют тонкость фильтрации 15—20 мк, а также подобные им по структуре материалы, изготовленные из стеклянных волокон и волокон синтетического происхождения; тонкость фильтрации таких материалов 1—2 мк. Волокнистые материалы органического происхождения применяются при температурах не выше 125°C.

Фильтры Петрянова из волокнистых материалов задерживают частички размерами до 0,2 мк.

Для очистки сжатого воздуха применяют также фильтрующую бумагу. Для увеличения поверхности фильтрации бумагу гофрируют, а для придания прочности во влажном состоянии пропитывают феноловой смолой или бакелитовым лаком. Тонкость фильтрации, обеспечиваемая бумажными фильтрами, достигает 2 мк.

**Очистка от влаги в жидком состоянии.** Очистка при помощи инерционных сил осуществляется закручиванием потока воздуха, когда он движется по нисходящей спирали или когда резко изменяется направление потока. Под действием возникающих при этом сил инерции капли влаги выходят из зоны потока и силой тяжести отводятся в резервуар для сбора конденсата.



Качество очистки влаги под действием центробежных сил зависит от скорости потока воздуха и размера капель, поэтому центробежные влагоотделители эффективны в определенном диапазоне расходов. Этот способ очистки позволяет отделять капли воды величиной не менее 10 мк.

К достоинствам влагоотделителей инерционного типа относятся: постоянство степени очистки и гидравлического сопротивления, практически неограниченный срок службы и низкие эксплуатационные расходы. Влагоотделители центробежного типа улавливают до 90% конденсированной влаги при работе в номинальном диапазоне расходов.

*Очистка при помощи гравитационных сил.* В очистных устройствах гравитационного типа, которые представляют собой удлиненную емкость, расположенную вдоль потока воздуха, для отделения капель влаги (и крупных твердых частиц) используется сила тяжести. Под ее действием частицы, перемещаясь через очиститель, должны выйти из потока воздуха, что возможно лишь при невысоких скоростях воздуха (до 0,2 м/сек) и больших габаритных размерах очистителя.

Скорость сжатого воздуха  $v_v$ , при которой будут осаждаться частицы в гравитационных очистителях, можно определить по следующей формуле

$$v_v = \frac{d^2 g \rho_{\text{ч}}}{18\mu} \text{ м/сек},$$

где  $d$  — диаметр частицы, которая условно принимается сферической формы, м;

$g$  — ускорение силы тяжести, равное 9,8 м/сек<sup>2</sup>;

$\rho_{\text{ч}}$  — плотность частицы загрязнения, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  — коэффициент абсолютной вязкости воздуха, кгс·сек/м<sup>2</sup>.

При выборе размера гравитационного очистителя скорость воздуха, проходящего через него, рекомендуют принимать в 1,5—2 раза меньше расчетной для обеспечения надежного осаждения частиц заданного размера.

Процессы осаждения под действием силы тяжести происходят в ресиверах и емкостях. Устройства гравитационного типа, как правило, применяются для предварительной очистки воздуха на магистралях сжатого воздуха. При рациональной конструкции они могут отделять 90—95% сконденсировавшейся влаги и часть паров за счет расширения воздуха и конденсации.

*Очистка при помощи электростатических полей.* Принцип работы электростатического очистителя заключается в ионизации воздуха при прохождении его через поле высокого напряжения постоянного тока (обычно 30—70 кВ). Электростатический очиститель состоит из двух электродов: положительного с большой поверхностью и симметрично расположенного к нему отрицательного. Обтекая электроды, воздух ионизируется, при этом образуются положительные и отрицательные ионы. Положительные

ионы остаются у отрицательного электрода, а отрицательные, заряжая капельки жидкости, собираются вместе с ними на поверхности положительного заряда и отводятся из очистителя.

**Очистка с использованием смачивающей способности.** Получили распространение конструкции очистителей, в которых отделение жидкой влаги происходит за счет ее смачивающей способности при соприкосновении с контактной поверхностью фильтрующей среды. В простейшем случае контактной поверхностью может служить перегородка на пути движения воздуха. Воздух, насыщенный капельной влагой, ударяясь о перегородку, оставляет на ней капельки влаги, которые собираются в большие капли и под действием сил тяжести отводятся вниз. В других случаях воздух пропускают через фильтрующую среду, имеющую большую поверхность контакта с потоком очищаемого воздуха. Частицы жидкости смачивают поверхность фильтрующей среды, укрупняются и стекают в резервуар.

В качестве контактной (фильтрующей) среды применяется фетр, войлок, бумага и картон, стекловолокно, металлическая стружка и др.

Эффективность влагоотделителей контактного типа понижается с увеличением расхода воздуха, так как вместе со скоростью увеличивается захват и вынос влаги. Употребление термина «фильтрующий» в данном случае отличается от классического понимания, которое подразумевает улавливание частиц, превышающих размеры пор, и имеет условный характер.

Эффективность влагоотделителей фильтрующего типа достигает 90—95%.

**Очистка от паров влаги.** Очистка воздуха от паров влаги практически может происходить тремя способами: конденсацией, абсорбцией и адсорбцией.

**Конденсация.** При охлаждении воздух становится насыщенным, и часть влаги, равная разности между действительным содержанием ее в воздухе и содержанием, соответствующим насыщению воздуха при данной температуре, выпадает в виде жидкости. В основном этот способ применяется на компрессорных станциях, где конденсация достигается понижением температуры в конечных охладителях, а последующее удаление влаги осуществляется во влагомаслоотделителях.

В современных конструкциях охладителей температура на 5—10°C ниже точки росы сжатого воздуха.

Для обеспечения более эффективного охлаждения сжатого воздуха применяются фреоновые холодильники. Охлаждение в них получается за счет испарения фреона. Этот тип охладителя может обеспечить понижение точки росы проходящего через него сжатого воздуха до 2°C. Расход электроэнергии в этих осушителях 0,11 квт на 1 м<sup>3</sup>/мин при рабочем давлении 7 кгс/см<sup>2</sup>, что составляет примерно 2% от мощности, потребляемой компрессором.

**Абсорбция.** Метод состоит в пропускании сжатого воздуха через вещества, способные поглощать влагу всем объемом. Большинство абсорбентов химически взаимодействует с водяным паром, некоторые при этом меняют свою консистенцию, разжижаются.

В табл. 4 приводится перечень некоторых абсорбентов, применяемых для обезвоживания воздуха [12].

Таблица 4

Абсорбенты для обезвоживания воздуха

Тип абсорбента	Остаточное содержание воды, мг/л	Точка росы, °С
Медный купорос безводный $\text{CuSO}_4$	2,8	-8,1
Хлористый кальций гранулированный $\text{CaCl}_2$	1,5	-13,9
Хлористый цинк в прутках $\text{ZnCl}_2$	0,98	-22
Хлорнокислый барий безводный $\text{Ba}(\text{ClO}_4)_2$	0,82	-23,2
Едкий натр в прутках $\text{NaOH}$	0,80	-24,4
Хлористый кальций безводный $\text{CaCl}_2$	0,32	-33,6
Гидрат хлористого магния $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	0,031	-58
Едкий кали в прутках $\text{KOH}$	0,014	-65
Гипс безводный $\text{CaSO}_4$	0,005	-74,5
Известь негашеная $\text{CaO}$	0,003	-77,5
Хлористый магний безводный $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$	0,002	-87,5
Серная кислота (95%-ный раствор $\text{H}_2\text{SO}_4$ )	0,002	-87,5
Оксид бария $\text{BaO}$	0,00065	-91,5

Жидкие абсорбенты впрыскивают в поток газа или газ пропускают через заполненные колонки, в которых абсорбирующая жидкость движется навстречу потоку газа. Часть твердых абсорбентов (безводный сульфат кальция, перхлорат магния) не изменяет своего агрегатного состояния, другие (хлорид кальция, гидраты окисей щелочей) разжижаются. В связи с тем, что некоторые абсорбенты вообще не восстанавливаются и не пригодны для повторного использования, а для восстановления остальных требуется специальная технология, промышленное применение абсорбентов для сушки сжатого воздуха ограничено.

**Абсорбция.** Более широкое распространение для очистки сжатого воздуха в промышленности получил метод адсорбции, так

как применяемые для осушки воздуха вещества не вступают в химическую реакцию с влагой и после насыщения легко восстанавливают адсорбирующие свойства при нагревании до температуры 150—250°С.

Явление адсорбции обусловлено наличием силового поля у атомов или молекул адсорбента, находящихся на поверхности. В зависимости от интенсивности силового поля на поверхности адсорбента влага улавливается мономолекулярным слоем вещества, имеющего большую эффективную площадь поверхности. Например, поверхность капилляров 1 кг силикагеля достигает 400 000 м<sup>2</sup>. Наиболее широкое распространение получили следующие адсорбенты: силикагель, активированная окись алюминия, активированный уголь и молекулярная решетка. Адсорбционная способность силикагеля, изготовленного по ГОСТ 3956—54, зависит от влажности и температуры очищаемого воздуха. Силикагель наиболее эффективен при относительной влажности сжатого воздуха 70—100% и температуре не выше 35°С. При помощи силикагеля можно получить воздух с точкой росы до —60°С.

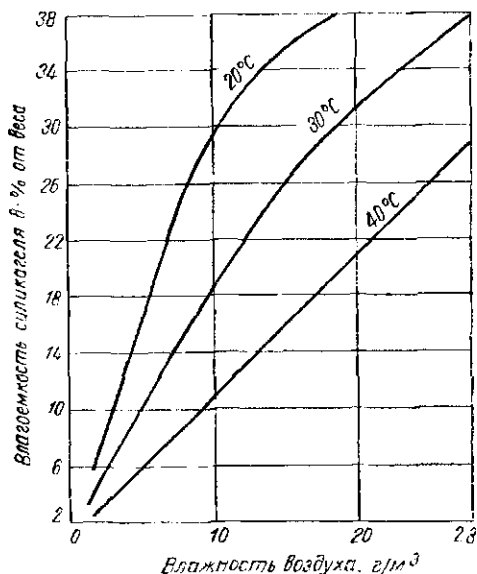


Рис. 4. Влагоемкость силикагеля в зависимости от влажности и температуры

На рис. 4 показан график зависимости адсорбционной способности силикагеля от температуры окружающего воздуха. Как видно из графика, при повышении температуры от 20 до 40°С и при абсолютной влажности воздуха 10 г/м<sup>3</sup> адсорбционная способность силикагеля уменьшается в 2,7 раза.

Несколько более высокой адсорбционной способностью обладает активированная окись алюминия (алюмогель). Этот поглотитель характеризуется меньшим пылеобразованием, а мягкая пыль окиси алюминия в меньшей степени, чем острая стекловидная пыль силикагеля, вызывает абразивный износ трущихся поверхностей деталей пневматических устройств. Следует отметить также, что удельный вес активированной окиси алюминия в 1,2 раза больше, чем силикагеля. А так как адсорбционная способность зависит от веса обезвоживающего вещества, осушители с применением активированной окиси алюминия имеют меньшие размеры.

В последнее время в зарубежной практике нашло применение обезвоживающее вещество *wire cloth*, что в дословном переводе означает «молекулярная решетка». Это вещество представляет собой кристаллы кремниекислой натриевой или кальцинированной окиси алюминия. По сравнению с силикагелем и активированной окисью алюминия молекулярная решетка обладает более высокой адсорбционной способностью в более широком диапазоне температур (выше 40°C), сохраняет эффективность при относительной влажности воздуха ниже 70%, а также обладает способностью поглощать пары масла.

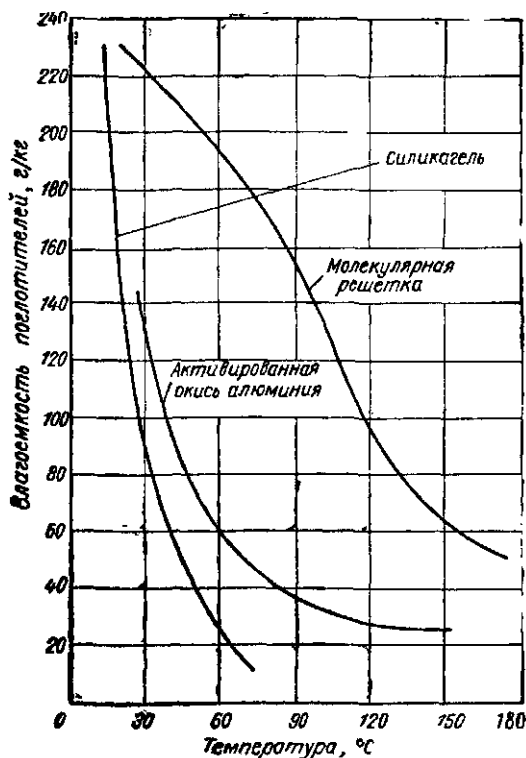


Рис. 5. Влагоемкость поглотителей в зависимости от температуры

Подогрев сжатого воздуха осуществляют путем применения специальных подогревающих установок, расположенных перед потребителем, или путем изоляции и прокладки трубопроводов рядом с паропроводами. Теплоизоляция магистральных трубопроводов применяется также для перенесения зоны конденсации влаги к утепленным водоотделителям, что позволяет исключить образование льда в трубопроводах. Следует отметить, что подогрев сжатого воздуха сокращает его расход, что особенно важно в случае крупных потребителей.

На рис. 5 представлены для сравнения кривые адсорбционной способности в зависимости от температуры воздуха для силикагеля, активированной окиси алюминия и молекулярной решетки.

**Подогрев сжатого воздуха.** Одним из способов предотвращения конденсации водяных паров в пневматических устройствах является подогрев сжатого воздуха с предварительным удалением ранее сконденсированной влаги.

Хотя подогрев не уменьшает влагосодержания воздуха, но он приводит к понижению относительной влажности. Например, повышение температуры воздуха от 20 до 30°C вызывает понижение его относительной влажности от 100 до 54%.

## КОНСТРУКЦИЯ, ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

В соответствии с назначением и способом очистки очистные устройства можно разделить на следующие основные группы: фильтры — для очистки от твердых загрязнений; влагоотделители — для очистки от воды и масла в жидком состоянии; фильтры-влагоотделители — для очистки от твердых загрязнений и воды и масла в жидком состоянии; осушители — для очистки от паров воды и масла.

Фильтры применяются в тех случаях, когда нужно предотвратить попадание твердых частиц в пневматические устройства, а очистка от влаги не требуется, так как она была произведена в достаточной степени другими устройствами. Например, при сушке с помощью адсорбции осушенный воздух не требует последующей очистки от влаги, но содержит частицы адсорбента.

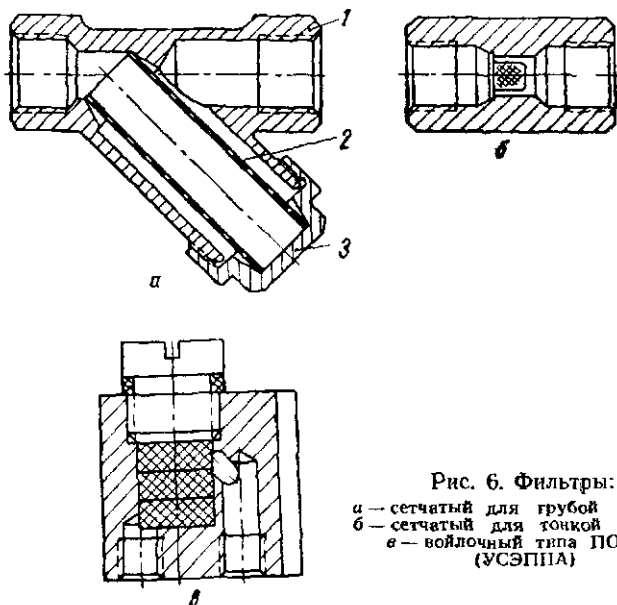


Рис. 6. Фильтры:  
а — сетчатый для грубой очистки;  
б — сетчатый для тонкой очистки;  
в — войлочный типа ПДФ. 2  
(УСЭПИА)

На рис. 6, а изображен фильтр, предназначенный для устройств, требующих высокой надежности. Фильтр монтируется на трубопроводах, чаще всего непосредственно перед входными отверстиями пневматических устройств.

Фильтр состоит из корпуса 1, сетки 2 и гайки 3. Сжатый воздух подводится слева и на пути к выходному отверстию проходит через сетку. Демонтаж сетки производится путем отвинчивания гайки 3.

Конструкция фильтра аналогичного назначения представлена на рис. 6, б. Этот фильтр несколько компактнее предыдущего, однако для очистки фильтрующей сетки необходим его демонтаж.

Фильтр типа ПОФ.2 (рис. 6, в) входит в универсальную систему элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) и применяется для тонкой очистки воздуха перед устройствами, склонными к засорению.

Фильтр состоит из корпуса, в котором помещено несколько сменных войлочных дисков, сжатых при помощи пробки. При соединительная резьба М6×0,75.

Фильтры изготавливаются Усть-Каменогорским заводом приборов.

*Влагоотделители.* Наибольшее распространение получили влагоотделители центробежного действия. На рис. 7, а представлена

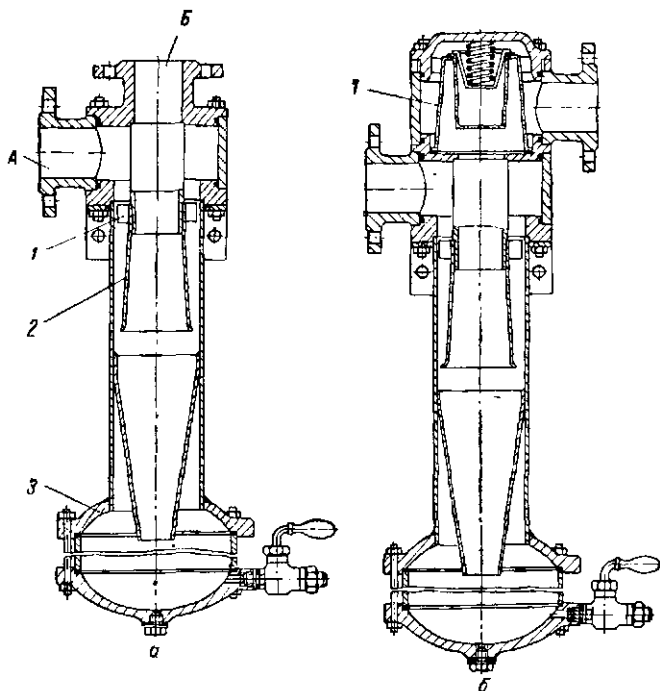


Рис. 7. Фильтры-влагоотделители типа П-В:

а — без фильтрующего элемента; б — с фильтрующим элементом

конструкция центробежного влагоотделителя типа П-В, разработанная ВНИИгидроприводом. Влагоотделитель предназначен для установки на магистральных трубопроводах, а также трубопроводах, питающих группы потребителей или один потребитель с расходом воздуха, соответствующим технической характеристике влагоотделителя.

Несмотря на отсутствие фильтрующего элемента, устройство эффективно отделяет также и твердые загрязнения благодаря интенсивному и соответствующим образом организованному силовому полю. Воздух подводится к отверстию *A* и, направляясь вниз, попадает на крыльчатку *1*, которая сообщает ему движение по нисходящей спирали. В результате возникающих при этом центробежных сил частицы воды и других загрязнений выходят из зоны потока и по стенке корпуса отводятся в резервуар *3*. Воздух меняет направление и выходит через патрубок *2* к выходному отверстию *B*. При обтекании отогнутой кромки в нижней части патрубка *2* поток срывает пленку влаги, перемещающуюся по наружной поверхности патрубка, и предотвращает попадание пленки к выходу *B*.

Технические данные влагоотделителей типа П-В (без фильтрующего элемента) приведены в табл. 5 (см. порядковые номера 1—6). Полнота влагоотделения и величина потери давления гарантируется в указанном диапазоне расходов.

Фильтры-влагоотделители типа П-В в настоящее время серийно не изготавливаются. Рабочие чертежи, предназначенные для их серийного выпуска, находятся во ВНИИгидроприводе.

*Фильтры-влагоотделители.* На рис. 7, б изображен фильтр-влагоотделитель типа П-В, отличающийся от уже описанного влагоотделителя типа П-В наличием фильтрующего элемента *1* и, вследствие этого, более высокой потерей давления (см. табл. 5, порядковые номера 7—12). Фильтрующий элемент обеспечивает гарантированную степень очистки от твердых загрязнений.

Для выбора необходимого типоразмера фильтров-влагоотделителей типа П-В в зависимости от расхода и давления сжатого воздуха можно пользоваться диаграммой, показанной на рис. 8.

На вертикальной оси диаграммы отложено манометрическое давление в  $\text{кгс/см}^2$ , на горизонтальной — расход воздуха через фильтр-влагоотделитель в  $\text{м}^3/\text{мин}$ , приведенный к условиям всасывания. На диаграмме для каждого  $D_y$  показаны диапазоны расходов (максимум—минимум), для которых эффективны фильтры-влагоотделители. Для выбора требуемого типоразмера фильтра-влагоотделителя необходимо найти точку, соответствующую заданным расходу и давлению. В случае, если точка лежит в областях, где диапазоны расходов перекрываются несколькими типоразмерами, предпочтение следует отдать тому типоразмеру, для которого точка расположена ближе к середине или к верхнему пределу диапазона расходов.

*Пример.* Выбрать необходимый типоразмер фильтра-влагоотделителя типа П-В при расходе воздуха (приведенном к условиям всасывания)  $Q=14 \text{ м}^3/\text{мин}$  и избыточном давлении  $6 \text{ кгс/см}^2$ .

Точка, соответствующая заданным давлению и расходу (см. пересечение пунктирных линий на диаграмме), находится в месте перекрывания диапазонов расходов для типоразмеров



## Техническая характеристика магистральных и групповых фильтров-влажнителей типа П-В

№ п/п	Тип	Условный проход, мм	Присоединительные размеры	Диапазон расходов*, м³/мин	Номинальное рабочее давление, кгс/см²	Тонкость фильтрации, мк	Полнота влаготделения, %	Потери давления, кгс/см²	Емкость резервуара, л	Габаритные размеры, мм			Вес, кг
										длина	ширина	высота	
1	П-В 32/1,0	32	К 1 1/4" ГОСТ 6111-52	2,0-6,3		—			4,0	310	188	750	9,500
2	П-В 40/1,0	40	К 1 1/2" ГОСТ 6111-52	3,2-10		—				310	188	750	9,350
3	П-В 50/1,0	50	Dy=50 фланцевое	5,0-16		—		0,15	6,3	380	280	870	31,500
4	П-В 63/1,0	63	Dy=63 фланцевое	8,0-25		—	380			280	870	33,500	
5	П-В 80/1,0	80	Dy=80 фланцевое	1,6-4,0		—	425			340	1300	55,000	
6	П-В 100/1,0	100	Dy=100 фланцевое	20-63	10	—	425			340	1300	56,000	
7	П-В $\frac{32-80}{1,0}$	32	К 1 1/4" ГОСТ 6111-52	2,0-6,3					4,0	310	188	850	12,600
8	П-В $\frac{40-80}{1,0}$	40	К 1 1/2" ГОСТ 6111-52	3,2-10						310	188	850	12,450
9	П-В $\frac{50-80}{1,0}$	50	Dy=50 фланцевое	5,0-16						380	280	970	40,500
10	П-В $\frac{63-80}{1,0}$	63	Dy=63 фланцевое	8,0-25		80		0,2	6,3	380	280	970	41,500
11	П-В $\frac{80-80}{1,0}$	80	Dy=80 фланцевое	16-40						425	340	1440	78,000
12	П-В $\frac{100-80}{1,0}$	100	Dy=100 фланцевое	20-63					10	425	340	1440	80,000

\* За единицу измерения количества воздуха принят 1 м³ воздуха при температуре 20°C и нормальном атмосферном давлении 760 мм рт. ст. Величина наибольших расходов принята при скорости течения сжатого (при давлении 6,3 кгс/см²) воздуха 17-18 м/сек в трубопроводе с внутренним диаметром, равным Dy фильтра-влажнителя.

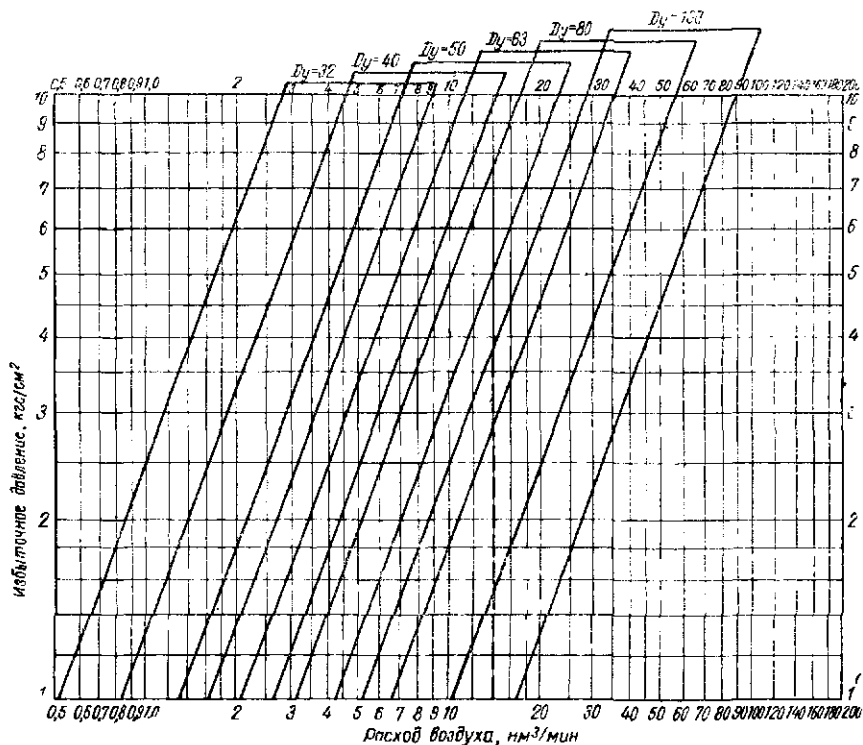


Рис. 8. Диаграмма для выбора типоразмера фильтра-влажнотделителя типа П-В

с  $D_y = 50; 63; 80$  мм и соответствует области наибольших расходов для  $D_y = 50$  мм, средних — для  $D_y = 63$  мм и наименьших — для  $D_y = 80$  мм. Следовательно, в данном случае следует применять фильтр-влажнотделитель с  $D_y = 50$  или 63 мм, а если в дальнейшем предполагается увеличение расхода воздуха, то с  $D_y = 63$  мм.

По аналогичному принципу работают и центробежные фильтры-влажнотделители, предназначенные для окончательной очистки сжатого воздуха и устанавливаемые непосредственно перед потребителями.

При  $D_y \leq 16$  мм общепризнанной для этих устройств является компоновка (рис. 9, а), при которой корпус 1, имеющий соединительные отверстия, располагается в верхней части устройства. К корпусу крепится фильтрующий элемент 3, который можно демонтировать без отсоединения трубопроводов после снятия резервуара 5. Удаление из резервуара собранного конденсата осуществляется при помощи расположенного в его нижней части крана 6. Круговое движение потока создается при помощи устройства, которое представляет собой крыльчатку 2, а иногда тангенциальный или спиральный входные каналы. Ниже фильтрующего элемента расположен отражатель 4, предназначенный для создания в ниж-

ней части резервуара спокойной зоны и предотвращающий захват потоком воздуха скопившихся на дне загрязнений.

Конструкция, представленная на рис. 9, б, применяется для условных проходов от 20 до 40 мм. От предыдущей она отличается применением отражателей 1 и 2 и металлического резервуара, снабженного прозрачной вставкой 3. Отражатель 1 способствует

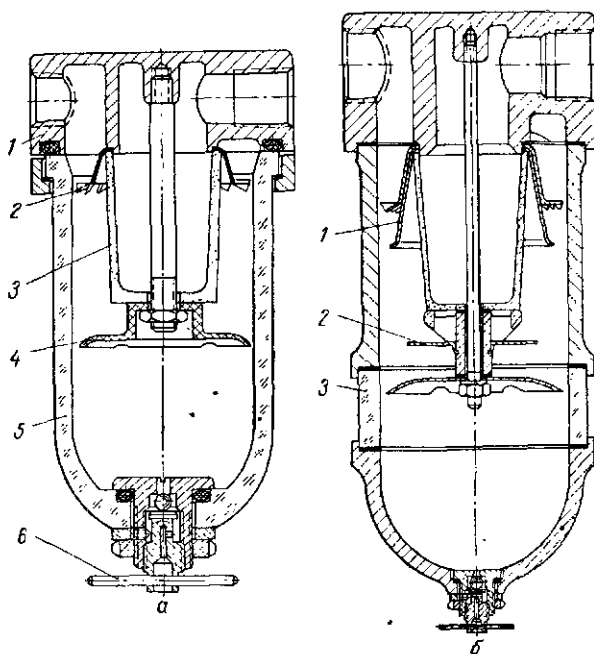


Рис. 9. Фильтры-влажнители типа В41:

а — с условными проходами от 8 до 16 мм; б — с условными проходами от 20 до 40 мм

созданию необходимой скорости потока в зоне отделения и срыву пленки влаги, отражатель 2 — экранированию фильтрующего элемента от захватываемых потоком загрязнений, главным образом жидких.

Фильтры-влажнители, изображенные на рис. 9, представляют собой широкий ряд устройств, выпускаемых или осваиваемых Московским заводом пневмоаппаратов. Завод освоил серийный выпуск фильтров-влажнителей с тонкостью фильтрации 40 мк, с ручным отводом конденсата типа В41-1 (условные проходы 12; 16; 25; 40 мм) и с автоматическим отводом конденсата типа В41-3 (условные проходы 12; 16; 25 мм).

Технические данные фильтров-влажнителей приведены в табл. 6, а диаграмма для выбора типоразмера в зависимости от расхода и давления сжатого воздуха — на рис. 10.

Техническая характеристика индивидуальных фильтров-влагодделителей типа В41

Тип	Условный проход $D_y$ , мм	Присоединительные размеры	Диапазон расходов*, м <sup>3</sup> /мин	Номинальное рабочее давление, кгс/см <sup>2</sup>	Тонкость фильтрации, мкс	Полнота влагодделения, %	Потери давления, кгс/см <sup>2</sup>	Емкость резервуара, л	Габаритные размеры, мм			Вес, кг	Способ отвода конденсата
									длина	ширина	высота		
В41-12	8	К 1/4" ГОСТ 6111-52	0,065—0,32	6,3	40		0,15	0,100	86	86	185	0,780	Ручной
БВ41-12								0,250	86	86	255	1,4	
В41-52								0,100	86	86	185	1,270	
ИВ41-12								0,100	86	86	185	0,780	
ИВ41-52								0,100	86	86	185	1,270	
В41-13**	12	К 3/8" ГОСТ 6111-52	0,16—0,8	6,3	40		0,20	0,250	86	86	255	1,800	
БВ41-13**								0,250	86	86	255	1,800	
В41-53								0,100	86	86	185	1,270	
ИВ41-13								0,100	86	86	185	0,780	
ИВ41-53								0,100	86	86	185	1,270	
В41-14**	16	К 1/2" ГОСТ 6111-52	0,25—1,25	6,3	40		0,25	0,250	86	86	255	1,800	Ручной
БВ41-14**								0,250	86	86	255	1,800	
В41-54								0,100	86	86	185	0,940	
ИВ41-14								0,100	86	86	185	0,940	
ИВ41-54								0,100	86	86	185	1,270	
ДВ41-15	20	К 3/4" ГОСТ 6111-52	0,55—2,0	10			0,25	0,400	120	120	290	4,200	
ДВ41-16**	25	К 1" ГОСТ 6111-52	0,9—3,2				0,30					4,150	
ДВ41-17	32	К 1 1/4" ГОСТ 6111-52	1,4—5,0				0,30	1,0	165	165	400	8,300	
ДВ41-18**	40	К 1 1/2" ГОСТ 6111-52	2,2—8,0				0,35					8,250	
В41-32	8	К 1/4" ГОСТ 6111-52	0,065—0,32				0,10		86	86	235	2,2	
В41-33**	10	К 3/8" ГОСТ 6111-52	0,16—0,8	6,3			0,12						Автоматический
В41-34**	16	К 1/2" ГОСТ 6111-52	0,25—1,25		40		0,15		105	86	240	1,8	

Продолжение

Тип	Условный проход $D_y$ , мм	Присоединительные размеры	Диапазон расходов, м <sup>3</sup> /мин	Номинальное рас- сечение дав- ления, кгс/см <sup>2</sup>	Тонкость фильтрации, мк	Плотность вла- гоотделения, %	Потеря дав- ления, кгс/см <sup>2</sup>	Емкость ре- зервуара, л	Габаритные размеры, мм			Вес, кг	Способ отво- да конденсата			
									длина	ширина	высота					
B41-35	20	K 3/4" ГОСТ 6111-52	0,32—1,6	6,3	40	85	0,15		105	86	240	1,8	Автоматический			
B41-36**	25	K 1" ГОСТ 6111-52	0,5—2,5													
B41-42	8	K 1/4" ГОСТ 6111-52	0,065— 0,32				0,1		3,43							
B41-43	10	K 3/8" ГОСТ 6111-52	0,16—0,8													
B41-44	16	K 1/2" ГОСТ 6111-52	0,25— 1,25				0,15			3,38						
B41-46	25	K 1" ГОСТ 6111-52	0,9—3,2													
B41-48	40	K 1 1/2" ГОСТ 6111-52	2,2—8,0				0,25				120			120	475	5,35
					165	160	495	9,1								

\* За единицу измерения количества воздуха принята 1 м<sup>3</sup> воздуха при температуре 293°K (20°C) и нормальном атмосферном давлении 760 мм рт. ст. Величина наибольших расходов принята при скорости течения сжатого (при давлении 4 кгс/см<sup>2</sup>) воздуха 20—23 м/сек в трубопроводе с внутренним диаметром, равным  $D_y$  фильтра-влагоотделителя.

\*\* Серийно выпускается МЗПА (Московским заводом пневмоаппаратов).

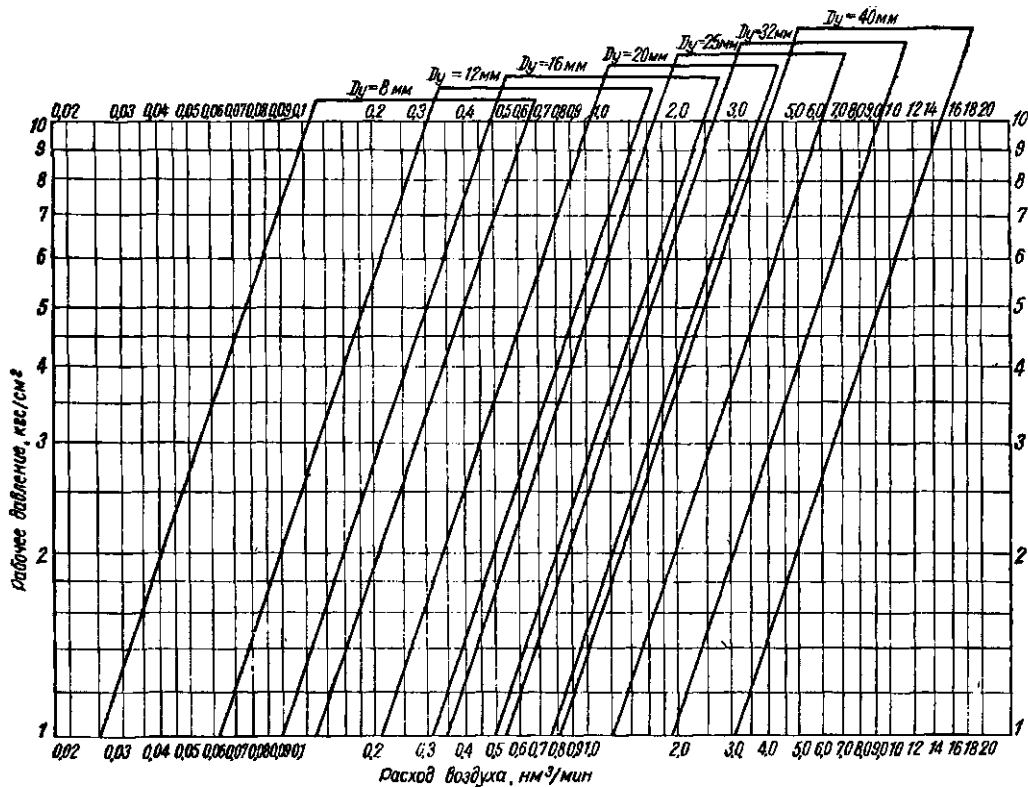


Рис. 10. Диаграмма для выбора типоразмера фильтра-влажнителя типа В41

Для более тщательной очистки сжатого воздуха рекомендуется применять фильтры-влажнители контактного (фильтрующего) действия. Конструкция такого устройства большого проходного сечения представлена на рис. 11, а. Сжатый воздух, подводимый к патрубку 1, проходит через полые керамические стержни 2. В результате контакта с поверхностью извилистых пор керамических

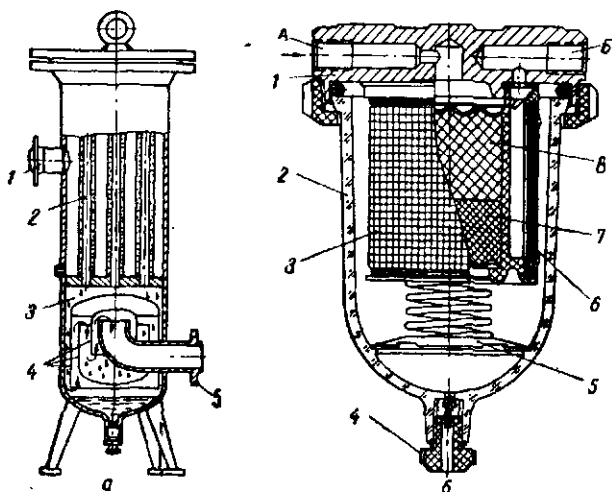


Рис. 11. Фильтры-влажнители контактного типа:  
 а — с керамическим фильтрующим элементом; б — с фильтрующим элементом из волокнистых материалов (МН 2732—61)

стержней частицы масляного и водяного тумана укрупняются в капли и стекают по внутренней поверхности стержней в камеру 3. Чтобы попасть из камеры 3 к выходному патрубку 5, поток воздуха, проходя систему перегородок 4, несколько раз резко меняет направления на противоположные, и в результате возникающих при этом инерционных сил капли влаги отделяются от потока и попадают в резервуар.

На рис. 11, б изображен фильтр-влажнитель контактного (фильтрующего) действия, выпускаемый по МН 2732—61 московским заводом «Калибр». Фильтр-влажнитель состоит из корпуса 1, прозрачного стакана 2 и сменного фильтрующего патрона 3. Сжатый воздух, подаваемый к отверстию А, последовательно проходит слой 8 грубого стекловолокна и слой 7 ультратонкого волокна.

При выходе из патрона воздух делает резкий поворот, в результате чего жидкие загрязнения стекают из патрона, под действием инерционных сил выходят из потока и попадают под отражатель 5. Двигаясь к выходному отверстию Б, воздух проходит через несколько слоев 6 специальной фильтрующей ткани Петрянова, обес-

печивающей очень тонкую окончательную очистку сжатого воздуха. Накапливающиеся в резервуаре загрязнения удаляются при помощи дренажного устройства 4.

#### Техническая характеристика фильтра-влажготделителя МН 2732—61

Размер присоединительных резьб, дюймы . . . . .	K 1/8
Наибольший расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин . . . . .	0,12
Допускаемое давление на входе, кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	3—6
Степень очистки воздуха (не менее), % . . . . .	99,95
Тонкость фильтрации, мк . . . . .	0,2
Падение давления в фильтре при давлении на входе 3 кгс/см <sup>2</sup> (не более), кгс/см <sup>2</sup> . . . . .	0,2
Габаритные размеры, мм:	
диаметр . . . . .	100
высота . . . . .	146
Вес, кг . . . . .	0,4

Фильтрующий патрон после загрязнения не восстанавливается, а по истечении 3000 час заменяется новым.

**Осушители.** Простейшее устройство для осушки сжатого воздуха представляет собой наполненную адсорбентом емкость, через которую проходит поток воздуха. Так как по мере насыщения адсорбент теряет способность поглощать влагу, его необходимо периодически заменять или подвергать регенерации (восстановлению). Конструкции данного типа весьма сложны для обслуживания, так как при замене или регенерации адсорбента практически невозможно предохранить его от поглощения влаги из окружающего воздуха. Вследствие этого такие конструкции устройств рекомендуют только для лабораторных условий или одноразового использования при малых расходах воздуха.

Более совершенными являются конструкции устройств патронного типа. Адсорбент в этом случае содержится в патроне, монтируемом в резервуаре осушителя. После насыщения адсорбента патрон вынимается для регенерации, а вместо него монтируют другой, заранее подготовленный для работы. Новые и прошедшие регенерацию патроны с адсорбентом должны храниться в воздухо-непроницаемых емкостях. Наиболее удобны в эксплуатации патроны с автоматическими клапанами, которые герметизируют адсорбент в нерабочем состоянии.

Количество адсорбента или патронов с адсорбентом, необходимых для осушки воздуха в системе, определяется расходом и влажностью воздуха, требуемой степенью осушки и влагоемкостью адсорбента.



Влагоемкость\* силикагеля для различных условий работы в среде влажного воздуха может быть определена по кривым статического равновесного состояния силикагеля, изображенным на рис. 12 [7].

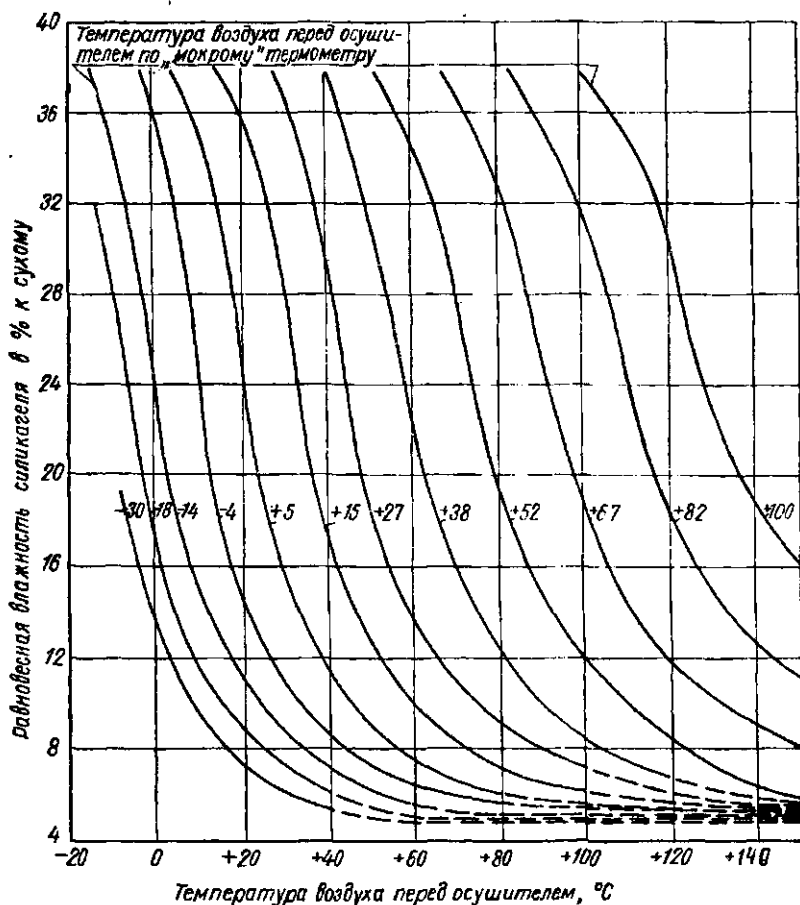


Рис. 12. Кривые статического равновесного состояния силикагеля

Если силикагель используется в потоке воздуха, то расчетная влагоемкость принимается намного меньше, чем при статических условиях. При скорости движения воздуха в 10—15 раз меньшей, чем в трубопроводах, влагоемкость должна быть на 30—40% меньше, чем статическая. При регенерации под избыточным

\* Под влагоемкостью понимается количество влаги в процентном отношении к весу сухого силикагеля, которое он может поглотить при данной температуре воздуха.

давлением 4—6 ати влажность силикагеля, равная 6%, не может быть устранена. Например, для получения относительной влажности осушенного воздуха 2—3% (точка росы от —30 до —40°C) статическое равновесие системы силикагель — воздух наступает при насыщении силикагеля до 25% от его собственного сухого веса, а в потоке воздуха — до 15%. Если учесть 6% нерегенерируемой влаги, то расчетная влагоемкость составит 9% от его собственного сухого веса.

Осушители большой пропускной способности представляют собой, как правило, автоматизированные установки, состоящие из устройств предварительной очистки воздуха, адсорберов, подогревателя (для установки с горячей регенерацией), переключающего устройства и аппаратуры автоматического цикла работы.

На рис. 13 изображены принципиальные схемы осушителей, наиболее часто встречающихся в отечественной и зарубежной промышленности.

В первом случае (рис. 13, а) регенерация адсорбента осуществляется путем пропускания горячего воздуха (горячая регенерация), во втором (рис. 13, б) для восстановления используется часть осушенного воздуха (холодная регенерация). На рис. 13, в показана схема установки, обеспечивающей необходимую точку росы за счет смешения осушенного и неосушенного воздуха.

Для горячей регенерации с нагревом воздуха до 150—180°C используется 10—15% общего расхода воздуха; для холодной регенерации 20—25% общего расхода воздуха. Окончание процесса регенерации и предельное насыщение адсорбента определяется по изменению цвета индикатора (например, силикагеля, обработанного 10%-ным раствором хлористого кобальта). Повышение температуры воздуха на выходе из адсорбера при горячей регенерации до 100—110°C также свидетельствует об окончании процесса.

Как видно по положению распределителей 4, 6, 7 и 8, показанных на схеме (рис. 13, а), очистка воздуха осуществляется в адсорбере 9, а адсорбер 3 работает в режиме регенерации. В это время электроподогреватель 10 отключен, а электроподогреватель 2 обеспечивает нагрев воздуха до температуры 150—180°C. За счет высокой влагоемкости нагретого воздуха отбирается влага, поглощенная адсорбентом. Пройдя распределители 4 и 6, часть воздуха выходит в атмосферу через дроссель 11, при помощи которого регулируется расход воздуха, осуществляющего восстановление адсорбента. В схему включены также влагоотделители 1 и 5.

Продолжительность цикла определяется временем насыщения адсорбера, работающего в режиме очистки. Приблизительно половина времени цикла уходит на регенерацию, остальное время расходуется на охлаждение адсорбента до рабочей температуры, которая не должна превышать 20—25°C, так как при более высокой температуре поглощающая способность адсорбента заметно снижается.

После насыщения адсорбер 9 переводится в режим регенерации, а адсорбер 3 — в режим очистки переключением распределителей 4, 6, 7, 8 и включением электроподогревателя 10.

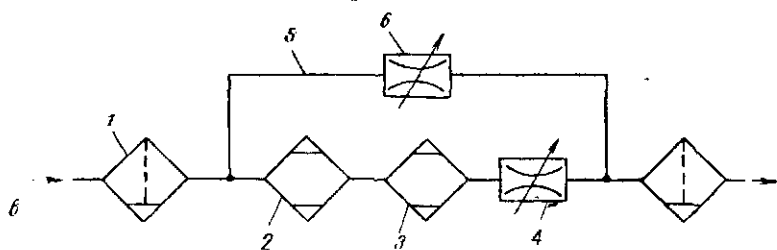
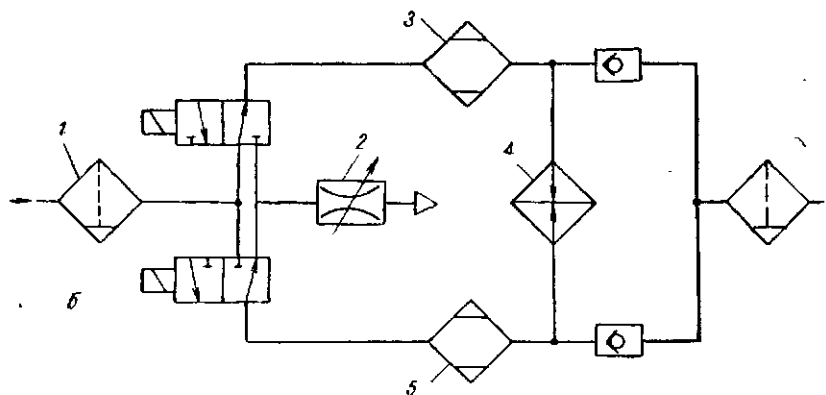
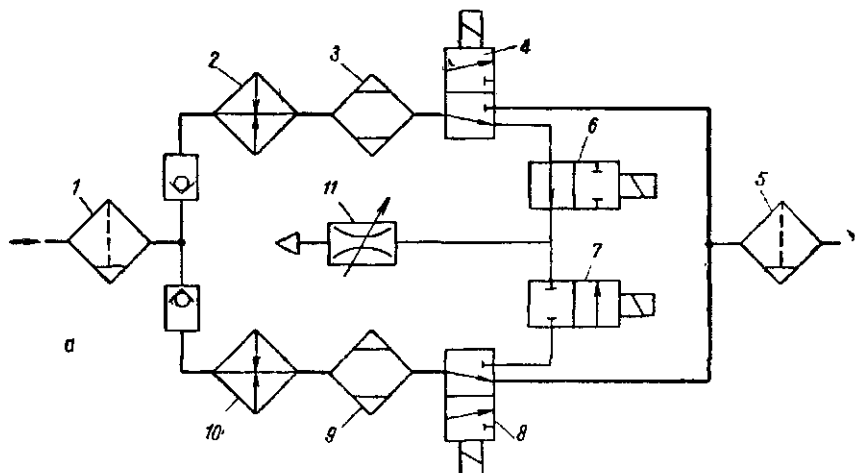


Рис. 13. Схемы очистных устройств с адсорберами:

а — с горячей регенерацией; б — с холодной регенерацией; в — со смешанным осушенным и неосушенным воздухом

Применяются также установки с прямым подогревом адсорбента, когда нагревательный элемент помещается непосредственно в нем, что позволяет упростить установку и снизить ее стоимость. Однако при таком способе подогрева сложно обеспечить равномерное распределение тепла от нагревательного элемента и предохранить адсорбент от интенсивного разрушения. Этот способ применяется при небольших количествах адсорбента и небольших мощностях подогрева.

Курганский завод химического машиностроения выпускает автоматические установки для осушки воздуха типа УОВ.

Установка состоит из концевого холодильника, ресивера, маслоотделителя, электровоздухоподогревателя, двух адсорберов. Переключение режимов работы адсорберов происходит автоматически при помощи устройств электропневмоавтоматики. Техническая характеристика установок приведена в табл. 7.

Таблица 7

Техническая характеристика автоматических установок типа УОВ

Наименование параметров	Единица измерения	УОВ-10	УОВ-20	УОВ-30
Пропускная способность	м <sup>3</sup> /мин	10	20	30
Степень осушки (точка росы)	°С		-40	
Количество адсорбента (поглотителя)	кг	160	350	500
Количество воздуха для регенерации	м <sup>3</sup> /мин	2	4	6
Количество воды для охлаждения	м <sup>3</sup> /час	4	7,5	11
Потребляемая мощность	квт	12—15	24—30	38—46
Род тока		Переменный, 380 в, 50 гц		
Давление воздуха на входе в установку	кгс/см <sup>2</sup>		8	
Температура воздуха:	°С			
на входе в башню, не более			30	
на выходе из башни, не более			20	
Габаритные размеры	мм	2150×3240× ×840	2700×3710× ×1050	2840× ×4340× ×1250

На рис. 13, б изображена схема осушки воздуха, где для регенерации адсорбера 5 используется часть воздуха, осушенного в адсорбере 3. Для регулирования расхода воздуха применяется дроссель 2. Эта схема может использоваться и для горячей регенерации путем включения электроподогревателя 4. При холодной регенерации электроподогреватель выключен. В схеме имеется влагоотделитель 1.

На практике обычно не требуется очень высокая степень осушки воздуха, поэтому целесообразно применять схему, приведенную на рис. 13, в. Через адсорбер 3, обеспечивающий высокую степень осушки воздуха, проходит лишь его часть. Другая часть воздуха проходит, минуя адсорбер, по трубопроводу 5 и затем смешивается с очищенным воздухом. Фильтр-влагоотделитель 1 обеспечивает необходимую очистку от механических загрязнений и предварительную очистку от влаги; адсорбер 2 с наполнителем из активированного угля установлен для защиты адсорбера 3 от попадания масла. При помощи дросселей 4 и 6 регулируется соотношение расходов осушенного и неосушенного воздуха и тем самым влажность поступающего к потребителю воздуха. Механические загрязнения, попавшие в адсорбент, понижают его поглощающую способность; влага в жидком состоянии не только способствует повышенному насыщению адсорбента, но и вызывает термические напряжения в его зернах, что приводит к разрушению зерен и повышенному образованию пыли. Поэтому перед адсорберами необходимо устанавливать фильтры-влагоотделители для удаления твердых частиц и влаги в жидком состоянии.

При применении наполнителей из силикагеля или активированной окиси алюминия следует избегать попадания в них капель и паров масла, которое хотя и хорошо улавливается этими веществами, однако практически не удаляется из них при помощи доступных методов регенерации. Перед адсорберами с силикагелем или активированной окисью алюминия рекомендуется устанавливать очиститель с более дешевым активированным углем. После 500—800 час работы активированный уголь заменяется, так как регенерация его экономически нецелесообразна. Средний срок службы адсорбента зависит от конструкции и обслуживания осушителей. В среднем он составляет два—четыре года, а при хорошем обслуживании достигает пяти лет.

**Устройства для отвода загрязнений из пневматических систем.** Воду, масло и другие загрязнения, накапливающиеся в воздухопроводах, воздухоборниках и очистных устройствах, необходимо своевременно удалять из пневматической системы. Для этой цели служат водосборники, ручные сливные (дренажные) устройства и конденсатоотводчики с автоматическим и дистанционным приводом.

Водосборники являются по существу простейшими устройствами для отделения влаги в жидком состоянии от потока сжатого воздуха в магистральных воздухопроводах и эффективным средством

их защиты от обводнения. Они представляют собой трубу (иногда с емкостью в нижнем конце), верхним концом присоединяемую к воздухопроводу. Водосборники являются также обязательной частью влагоотделителей. В этом случае они выполняются в виде резервуара за одно целое с влагоотделителем. В обоих случаях они снабжаются дренажным устройством.

Ручные дренажные устройства целесообразны при небольших количествах конденсата, накапливающегося в водосборниках, воздухопроводниках и очистных устройствах, когда удаление его можно производить редко. В этих случаях применяются дренажные устройства в виде кранов, вентилялей (например по ГОСТ 8730—58, ГОСТ 9086—66) или в виде оригинальных компактных конструкций (рис. 14).

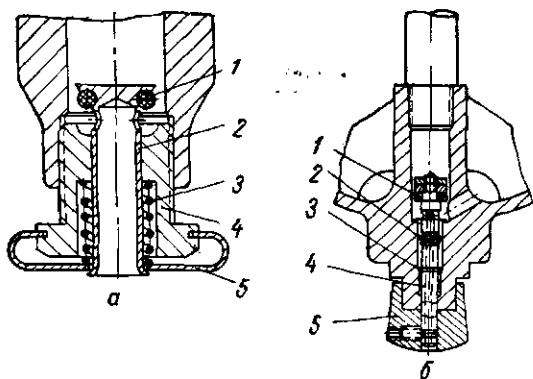


Рис. 14. Дренажные устройства клапанного типа

Более удобными и быстродействующими являются дренажные устройства клапанного типа. Дренажное устройство, изображенное на рис. 14, а, также имеет клапанное уплотнение 1 и вертикально перемещающийся шток 2, который удерживается в верхнем положении пружинным кожухом 5, входящим в наружный паз штуцера 4. Винтовая пружина 3 закрывает клапан и способствует надежной герметизации уплотнения 1 в закрытом положении.

На рис. 14, б представлена конструкция дренажного устройства, которое требует приложения усилия не только для открытия, но и для закрытия клапана. Шток 4 с клапанным уплотнением 1 связан с управляющей кнопкой 5 и удерживается в верхнем положении пружинным кольцом 3. Уплотнительное кольцо 2 предотвращает утечки вдоль штока в открытом (верхнем) положении.

При больших количествах конденсата, когда требуется частый дренаж системы, что связано со значительными затратами рабочего времени, целесообразно применять автоматические конденсатоотводчики. Они могут быть выполнены в виде отдельных

устройств, которыми оборудуются воздухоборники и водосборники, или встраиваться в резервуар влагоотделителей.

В автоматических конденсатоотводчиках запорное устройство открывается тогда, когда накапливается определенное количество конденсата, и закрывается, когда значительная часть конденсата удалена из системы. Потери воздуха при отсутствии конденсата равны утечкам через неплотности дренажного запорного устройства и могут полностью отсутствовать.

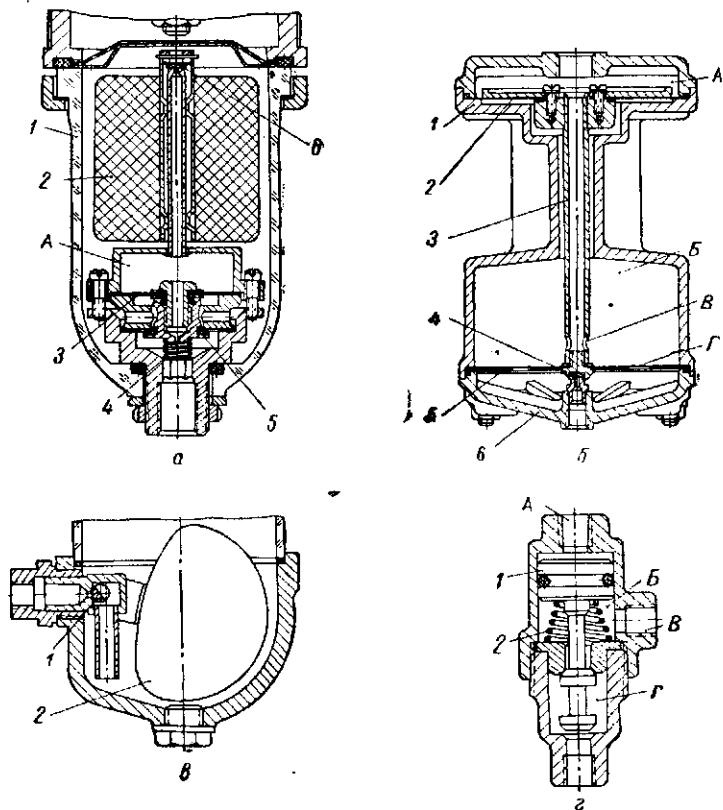


Рис. 15. Конденсатоотводчики:

*а* — поплавковый с сервоприводом; *б* — с мембранным приводом; *в* — поплавковый с штирным затвором; *г* — с дистанционным управлением

Автоматические конденсатоотводчики (рис. 15) по способу образования усилия, открывающего дренажное устройство, можно разделить на следующие группы:

выталкивающая сила вытесненного поплавком объема жидкости управляет сервоприводом запорного элемента (рис. 15, *а*);

усилие, открывающее запорный элемент, образовано весом столба жидкости (рис. 15, *б*);

выталкивающая сила вытесненного поплавком объема жидкости непосредственно действует на запорный элемент (рис. 15, в).

В качестве запорного элемента применяется клапан, цилиндрический золотник или кран (шибер).

Автоматический конденсатоотводчик типа В41-3 с сервоприводом конструкции ЭНИМСа изображен на рис. 15, а. Когда количество конденсата в резервуаре 1 недостаточно для всплытия поплавка 2, клапан 6 закрыт, полость А отсекается от давления сжатого воздуха и сообщается с атмосферой; давление, действующее на диафрагму 3 снизу, и усилие пружины 4 предотвращают выход влаги наружу, закрывая клапан 5.

Когда жидкость достигнет уровня, при котором выталкивающая сила преодолет вес поплавка 2, клапан 6 открывается, сжатый воздух проходит в полость А, запорный клапан 5 открывается под действием давления на мембрану сверху. Конденсат выходит до тех пор, пока поплавков не опустится и не закроет клапан 6.

Конденсатоотводчик надежно работает при отсутствии в конденсате крупных частиц, которые могут закупорить отверстие небольшого диаметра, перекрываемое клапаном 6.

Автоматический конденсатоотводчик, в котором усилие на запорный элемент создается весом столба жидкости, изображен на рис. 15, б. Разработано исполнение фильтров-влажнителей типа В41-4 с конденсатоотводчиком данного типа. Эта конструкция более надежна и может применяться в случае сильного загрязнения сжатого воздуха механическими частицами. Существенным недостатком конденсатоотводчика такого типа являются большие габаритные размеры. Основные его детали — корпус 1, подвешенная на мембранах 2 и 5 трубка 3, в нижней части которой вмонтирован клапан 4, перекрывающий выходное отверстие в крышке 6. Отделенная вода поступает из надмембранной полости А в трубку 3 и постепенно заполняет через отверстие В в трубке и Г в мембране полость Б в корпусе. Продолжающая поступать в устройство вода создает столб жидкости и сжимает воздух в подмембранной полости Б. Давление воздуха в этой полости, увеличиваясь, становится больше, чем давление в надмембранной полости, на величину, определяемую высотой столба конденсата.

Когда давление в полости Б становится достаточным, чтобы, воздействуя на мембрану, преодолеть вес прикрепленных к мембране деталей и силу прижатия клапана к седлу, создаваемую давлением сжатого воздуха, клапан отходит от седла и часть конденсата давлением сжатого воздуха выбрасывается наружу. При уменьшении высоты столба жидкости клапан снова закрывается.

Конструкция автоматического конденсатоотводчика поплавкового типа показана на рис. 15, в. В подобных конструкциях выталкивающая сила вытесненного поплавком 2 объема жидкости непосредственно действует на запорный элемент 1 (в данном случае шибер).



В изображенном на рис. 15, 2 конденсатоотводчике сброс конденсата производится небольшими порциями в закрытую полость *Г* с последующим отсечением полости *Б*, которая сообщается через отверстие *В* с опорожняемой емкостью. Давление управления подается в полость *А*, в результате чего поршень *1* перемещается вниз, открывая верхний клапан и закрывая нижний. Конденсат переходит в полость *Г*. При отсутствии давления в полости *А* клапан под действием пружины *2* возвращается в исходное положение, а влага из полости вытекает через отверстие.

Для удаления конденсата одновременно из нескольких емкостей, расположенных в труднодоступных местах, применяются конденсатоотводчики с дистанционным управлением.

Для установки конденсатоотводчика с дистанционным управлением требуется дополнительная линия трубопровода до оператора или дополнительные устройства (реле времени, воздухораспределителей), необходимые при автоматическом цикле работы конденсатоотводчика.

## **ВЫБОР УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА И СХЕМЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Очистка воздуха на предприятии — это комплекс мероприятий по рациональному выбору, размещению, монтажу и эксплуатации воздухопроводов и очистных устройств. Как правило, для качественной очистки сжатого воздуха необходимо применение очистных устройств на трех участках пневматической сети: на компрессорной станции, на магистральных трубопроводах и у потребителя. Ниже приводятся данные о наиболее характерных схемах использования очистных и дренажных устройств на различных участках пневматической сети.

**Удаление загрязнений на линии всасывания компрессора.** Атмосферный воздух, засасываемый компрессором, содержит значительное количество загрязнений: производственную пыль, продукты эрозии почвы, водяные пары и др. Концентрация загрязнений зависит от типа местности, места расположения компрессорной станции и погоды.

Обычно концентрация пыли в промышленных районах колеблется от 4 до 6 мг/м<sup>3</sup> [4, 11], но может достигать 50 мг/м<sup>3</sup>. Большинство твердых частиц малых размеров проходит через компрессор и загрязняет выходящий из него воздух. Более крупные частицы, обладая абразивной способностью, вызывают быстрый износ трущихся деталей. Часть загрязнений при соприкосновении с маслом откладывается на различных участках пневматической сети: в компрессоре, холодильниках, воздухоотборниках и изгибах трубопроводов; это уменьшает производительность, срок службы компрессора и повышает расход электроэнергии. Следовательно, первым звеном в комплексе мероприятий является очистка воздуха на входе в компрессор.

Применяемые для очистки воздуха на входе в компрессор устройства можно разделить на две группы: мокрые и сухие фильтры. Перед ними иногда устанавливаются устройства для предварительной очистки от крупных частиц (шахтные пылеуловители, гравитационные пылеулавливающие камеры и др.).

**Мокрые фильтры.** Для компрессоров средней и большой производительности применяют так называемые масляномокрые фильтры. При прохождении воздуха через такой фильтр частицы загрязнений остаются на липкой смачиваемой маслом поверхности фильтрующего элемента.

Фильтр представляет собой набор кассет прямоугольного типа. Кассета с обеих сторон затянута редкой, но жесткой сеткой. Пространство между сетками заполнено обрезками металлических (как правило, алюминиевых или латунных) трубок длиной 10—20 мм и диаметром 10—15 мм с толщиной стенки не более 1 мм [10]. При отсутствии трубок может применяться крупная металлическая стружка. Плотность укладки фильтрующей набивки должна быть равномерной.

Для смазки наполнителя рекомендуется применять специальное висциновое масло, имеющее большую липкость при сравнительно небольшой вязкости. Можно также применять турбинное, веретенное и трансформаторное масла.

Периодичность промывки мокрых фильтров устанавливается специальным графиком. Фильтрующую набивку промывают в 5—10%-ном растворе едкого натра (каустической соды) при температуре 70—80°C, а затем в теплой воде и оставляют сохнуть в теплом помещении один-два дня. После высушивания кассету смачивают нагретым маслом и для стекания излишков выдерживают 20—25 час, пока на поверхности набивки не останется очень тонкий слой масла.

С целью повышения эффективности и снижения потерь давления скорость прохождения воздуха через фильтр желательно принимать минимальной (0,8—0,9 м/сек).

Пропускная способность каждой кассеты мокрого фильтра размером 500×500×80 мм составляет 18 м<sup>3</sup>/мин при сопротивлении 5 мм вод. ст. для очищенного фильтра и при 8—10 мм вод. ст. для насыщенного загрязнениями. При дальнейшем повышении сопротивления требуется промывка фильтра. Мокрые фильтры задерживают частички размером 10 мк и больше.

В последнее время для больших компрессоров получили распространение самоочищающиеся фильтры, представляющие собой бесконечную цепь, на которой шарнирно закреплены шторки, состоящие из двух слоев сетки с размером ячеек 2 мм и диаметром проволоки 0,5 мм. Одновременно на пути воздуха находятся три-четыре шторки, которые перекрывают друг друга. Шторки передвигаются со скоростью 3,5 мм/мин через ванну с маслом, где происходит промывка запыленных шторок и зарядка сеток.

**Сухие фильтры.** Для компрессоров небольшой производительности (до  $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ ) [8] применяют тканевые фильтры. Они могут быть плоскими и цилиндрической формы. Пропускная способность тканевых фильтров при рекомендуемой скорости прохождения воздуха  $1\text{—}1,2 \text{ м/сек}$  составляет для плоских фильтров около  $1000 \text{ м}^3/\text{м}^2$ , а для цилиндрических  $500\text{—}600 \text{ м}^3/\text{м}^2$ . В качестве фильтрующей ткани применяются фланель, бумазая, миткаль, бязь, войлок, фетр, дешевые сукна и т. д.

Фильтрующей ткани, из которой изготавливается фильтрующий элемент, придают зигзагообразную форму или форму рукава. Такая форма значительно увеличивает полезную фильтрующую поверхность в заданном объеме и уменьшает габаритные размеры корпуса фильтра.

Тканевые фильтры имеют более высокую эффективность очистки, чем фильтры других типов. С их помощью отделяются очень мелкие частицы загрязнений (до  $3 \text{ мк}$ ).

Основным недостатком фильтров этого типа является их быстрое засорение, а автоматические устройства для очистки очень громоздки и дороги. Кроме того, они чувствительны к влаге и имеют относительно низкую прочность. Эти недостатки можно устранить при хорошем техническом обслуживании и правильном размещении (установке) фильтра.

Тканевые фильтры требуют регулярной промывки (стирки) в специальных растворах, рекомендуемых заводом-изготовителем. Желательно иметь несколько чистых фильтрующих элементов для замены засоренных.

**Удаление влаги на выходе из компрессора.** На выходной линии сжатого воздуха из последней ступени компрессора обычно устанавливают концевые холодильники и влагомаслоотделители, которые обеспечивают выполнение следующих задач:

конденсации и улавливания части паров воды и масла на месте производства сжатого воздуха, что снижает трудоемкость обслуживания и повышает экономичность эксплуатации пневматической сети, а также уменьшает опасность замерзания воздухопроводов при минусовых температурах;

понижения взрыво- и пожароопасности сжатого воздуха в воздухопроводниках и магистралях путем понижения температуры и удаления паров масла.

В ряде случаев роль концевого влагомаслоотделителя выполняет воздухоотборник.

**Концевые холодильники.** Концевой холодильник представляет собой горизонтальную емкость с током воздуха в межтрубном пространстве. Воздух охлаждается водой, циркулирующей по трубам, имеющим оребрение. Оребрение труб увеличивает поверхность соприкосновения с воздухом в  $1,5\text{—}3$  раза, чем повышается эффективность охлаждения воздуха.

Для создания поперечного тока воздуха относительно системы труб и повышения скорости его движения в межтрубном

пространстве устанавливаются поперечные перегородки сегментного типа.

На конструкции конечных холодильников разработана нормаль машиностроения МН 5271—63.

Определение количества воды, полученной в результате конденсации в конечном холодильнике, производится следующим образом.

1. При данных климатических условиях (температуре  $t_1$ , атмосферном давлении  $p_1$  и относительной влажности  $\varphi$ ) влагосодержание всасываемого воздуха  $d$  определяется по диаграмме  $t-d$  (см. рис. 1, 2). Значения  $d$  в диаграмме даны для насыщенного воздуха ( $\varphi=100\%$ ), следовательно, для любой относительной влажности его необходимо умножить на  $\varphi_{\text{п}}$ :  $d_{\text{в}} = d \varphi_{\text{п}}$ .

2. По диаграмме  $t-d$  определяется также максимально возможное влагосодержание сжатого воздуха  $d$  после охлаждения его в конечном холодильнике до температуры  $t_2$  и давления  $p_2$ .

3. Если  $d_{\text{х}} > d_{\text{в}}$ , то воздух не насыщен влагой; если  $d_{\text{х}} < d_{\text{в}}$ , то влага выпадает в количестве:

$$\Delta d = d_{\text{в}} - d_{\text{х}}$$

**Пример.** Определить количество влаги, конденсирующейся из каждого килограмма сжатого воздуха в конечном холодильнике при параметрах воздуха:

на всасывании

$$p_1 = 1 \text{ ата}; t_1 = 20^\circ\text{C}; \varphi = 0,6;$$

после сжатия и охлаждения

$$p_2 = 8 \text{ ата}; t_2 = 40^\circ\text{C}.$$

Расчет производится в следующем порядке:

1. По диаграмме  $t-d$  влагосодержание воздуха при

$$t_1 = 20^\circ\text{C} (\varphi = 100\%) d = 15,2 \text{ г/кг}; \text{ при } \varphi = 0,6;$$

$$d_{\text{в}} = 15,2 \cdot 0,6 = 9,12 \text{ г/кг}.$$

2. Влагосодержание сжатого и охлажденного воздуха по диаграмме  $t-d$   $d_{\text{х}} = 5,9 \text{ г/кг}$ .

3. Количество выпавшего конденсата

$$\Delta d = 9,12 - 5,9 = 3,22 \text{ г/кг}.$$

Следовательно, при данных условиях конденсируется

$$\frac{3,22}{9,12} \cdot 100 = 35,3\% \text{ влаги, поступающей в виде паров}.$$

В табл. 8 приведены результаты сравнительного анализа степени конденсации водяных паров в конечном холодильнике в зависимости от температуры и относительной влажности всасываемого воздуха, а также от температуры охлажденного воздуха.

Определение количества конденсированной воды в к

Наименование параметров	Единица измерения	Величина пар									
Температура наружного воздуха	°C	-20					-10				
Влажность засасываемого воздуха $d$ при $\Phi$ :	г/кг	0,324					0,68				
0,4		0,485					1,02				
0,6		0,647					1,36				
0,8											
Температура воздуха за концевым холодильником	°C	20	30	40	50	20	30	40	50	20	
Предельное влагосодержание в концевом холодильнике при $p=8 \text{ ата}$	г/кг	2,57	3,36	5,87	9,95	2,57	3,36	5,87	9,95	2,57	
Количество выпавшей воды в концевом холодильнике при $\Phi$ :	г/кг	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,4		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,6		—	—	—	—	—	—	—	—	—	
0,8		—	—	—	—	—	—	—	—	—	

ДЫ В КОНЦЕВОМ ХОЛОДИЛЬНИКЕ

на параметров

	0				10				20				30			
	1,52				3,06				5,85				10,8			
	2,28				4,58				8,75				16,2			
	3,04				6,1				11,7				21,6			
	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50
95	2,57	3,36	5,87	9,95	2,57	3,36	5,87	9,95	2,57	3,36	5,87	9,95	2,57	3,36	5,87	9,95
	—	—	—	—	0,49	—	—	—	3,28	2,49	—	—	8,23	7,44	4,93	0,95
	—	—	—	—	2,01	1,22	—	—	6,18	5,39	2,88	—	13,63	12,84	10,33	6,25
	—	—	—	—	3,53	2,74	0,23	—	9,13	8,34	5,83	1,75	19,03	18,24	15,73	11,65

Как видно из таблицы, использование концевых холодильников при отрицательной температуре всасываемого воздуха не дает эффекта. Эти холодильники эффективны при температуре всасываемого воздуха выше  $20^{\circ}\text{C}$  и температуре охлаждения воздуха ниже  $40^{\circ}\text{C}$ .

Например, при температуре всасываемого воздуха  $t=20^{\circ}\text{C}$  и  $\varphi=0,6$  конденсируется около 33%, а при  $\varphi=0,8$ —около 50% влаги. Следовательно, при высокой температуре и влажности атмосферного воздуха установка концевого холодильника как конденсатора влаги оправдывается. Во многих случаях концевой холодильник не осушает воздуха, а лишь приближает к компрессорной станции место выпадения конденсата, что необходимо учитывать при размещении устройств для удаления влаги.

Установка концевых холодильников обязательна при использовании осушающих установок с применением поглотителей (силикагеля, алюмогеля и др.), так как эффективность этих веществ при высокой температуре (выше  $40^{\circ}\text{C}$ ) резко понижается.

После концевого холодильника устанавливается влагоотделитель, служащий для уменьшения количества попадающей в воздухоборник сконденсированной влаги.

*Воздухосборники* устанавливаются на выходе из компрессорной станции и предназначены для сглаживания пульсации подачи сжатого воздуха, аккумуляирования запаса воздуха для покрытия кратковременных пиковых нагрузок, отделения влаги и масла.

Применяются как вертикальные, так и горизонтальные цилиндрические воздухоборники. Преимущественное распространение получили вертикальные воздухоборники, так как они лучше отделяют влагу и занимают меньшую площадь.

Воздухосборники рекомендуется устанавливать вне здания с северной стороны на расстоянии 12—15 м от компрессорной станции.

Следует систематически, не реже одного раза в шесть месяцев, производить внутренний осмотр и очистку воздухоборника, а также промывку раствором едкого натра (каустической соды) с последующим пропариванием и продувкой.

**Удаление загрязнений из магистральных трубопроводов.** Необходимость установки очистных устройств в магистральных трубопроводах пневматической сети вызвана тем, что, несмотря на очистку воздуха на компрессорной станции, концентрация загрязнений в магистралях возрастает по мере движения воздуха из-за конденсации паров влаги (воды и масла) и внесения самими трубопроводами и соединениями окалина, ржавчины, краски и др.

Очистные устройства в магистральных трубопроводах позволяют не только защитить их от чрезмерного загрязнения и обводнения, но и повысить эффективность очистки воздуха у потребителей. Это предохраняет групповые и индивидуальные очистные устройства потребителей от перегрузки и нарушений их нормальной работы, которые могут иметь место при больших концентрациях загрязнений).

Как правило, определяющим фактором при выборе рационального места установки, а также конструкции, размера и количества очистных устройств в магистрали является характер процесса конденсации и накопления влаги при движении воздуха в трубопроводах. Понижение температуры воздуха в воздухохраниках, на участках выхода трубопроводов из компрессорной станции, из теплых помещений (литейных, термических, термоконстантных и других цехов) и теплоизолированных мест приводит к конденсации паров влаги. Конденсат, скапливаясь в низких местах и коленах трубопроводов, уменьшает проходные сечения, а в ряде случаев создает водяные пробки и вызывает обмерзание трубопроводов.

При выборе конструкции очистных устройств в каждом конкретном случае необходимо учитывать состояние магистралей и назначение устройства. Обычно в магистральных трубопроводах предприятий устройства для сбора влаги (водосборники) устанавливают в низких местах и коленах трубопроводов; непосредственно перед магистральным влагоотделителем; если есть опасность попадания в него воздушного потока с большим содержанием жидкой влаги, то на прямых участках магистрали большой протяженности (чтобы не допустить обводнения трубопроводов).

Устройства для улавливания влаги (влагоотделители) размещают в местах выхода трубопроводов из воздухохраника и холодильника компрессорной станции, на входе в цехи, в местах резкого понижения температуры и давления.

При удовлетворительном состоянии магистральных трубопроводов и правильной их эксплуатации установки магистральных фильтров-влагоотделителей с фильтрующими элементами практически не требуется. Для участков магистралей, которые находятся в плохом состоянии и на которых расход воздуха изменяется в большом диапазоне, устройства инерционного типа оказываются малоэффективными. В этом случае может потребоваться установка очистных устройств с фильтрующими элементами. Следует помнить, что наличие фильтрующих элементов приводит к увеличению потерь давления при прохождении воздуха и усложняет эксплуатацию магистральных очистных устройств.

Тип и количество устройств очистки, целесообразность их установки в магистральных трубопроводах, а также необходимость встройки автоматических дренажных устройств можно определить расчетным путем.

Для проведения расчетов необходимо знать давление, температуру и расход сжатого воздуха в трубопроводах, а также температуру и состояние окружающей трубопровод среды (чаще всего атмосферного воздуха).

Как правило, расчет следует производить исходя из наихудших с точки зрения количества выделения конденсата условий. Рассмотрим это на конкретном примере.



Требуется определить количество конденсата и тип очистного устройства на прямом участке магистрали протяженностью 400 м и внутренним диаметром трубопровода равным 70 мм при следующих параметрах сжатого воздуха: давление в начале участка  $p_n = 6 \text{ ата}$ ; расход воздуха  $Q = 20 \text{ м}^3/\text{мин}$ ; температура воздуха на начальном участке трубопровода  $t = 40^\circ\text{C}$ ; температура окружающей среды  $t_a = 17^\circ\text{C}$ . Трубопровод не изолирован.

Потери давления на этом участке составляют  $0,5 \text{ кгс/см}^2$ , давление в конце участка  $p_k = 5,5 \text{ ата}$ . Как показывает практика, понижение температуры на длине 400 м из-за теплообмена сжатого воздуха с окружающей средой через стенки трубопровода и падения давления составит примерно  $5\text{--}8^\circ\text{C}$ . Принимаем для расчета наихудший случай, т. е. максимальное падение температуры, тогда температура в конце участка  $t_k = 32^\circ\text{C}$ .

Влагосодержание сжатого воздуха в начале участка  $d_n$  при  $\psi_n = 100\%$  составляет  $9,5 \text{ г/кг}$ , а в конце участка  $d_k = 5,7 \text{ г/кг}$  (см. рис. 2). Таким образом, при прохождении воздуха по участку влагосодержание его изменится на величину

$$d_n - d_k = 9,5 - 5,7 = 3,8 \text{ г/кг} = 4,6 \text{ г/м}^3.$$

Количество воды  $q$ , перешедшей из парообразного в жидкое состояние, составит

$$q = Q (d_n - d_k) = 20 \cdot 4,6 = 92 \text{ г/мин} = 5,5 \text{ л/час} = 44 \text{ л в смену}.$$

Такое количество воды может быть удалено из пневматической сети магистральным влагоотделителем типа П-В 63/1,0 или П-В 80/1,0 и водосборником, установленным перед ним.

Установка только водосборника не обеспечит удаления части сконденсированной влаги, перемещающейся с воздухом, в виде не успевших осесть капель и пленки.

Емкости влагоотделителя и водосборника должны быть оборудованы автоматическим конденсатоотводчиком или ручным дренажным устройством. В последнем случае периодичность слива конденсата и размер емкости водосборника должны обеспечить своевременное удаление загрязнений из пневматической сети.

**Удаление загрязнений у потребителя.** Требуемую степень очистки сжатого воздуха для различных групп пневматических устройств и систем управления согласно рекомендациям, приведенным в табл. 3, можно обеспечить установкой соответствующих очистных устройств перед пневматической системой потребителя и перед ответственными устройствами, входящими в систему.

Очистка сжатого воздуха от загрязнений для пневматических устройств I группы обеспечивается магистральными и групповыми фильтрами-влагоотделителями типа П-В в том случае, если монтаж и эксплуатация магистралей и подводящих трубопроводов на предприятии производятся с соблюдением необходимых правил. Если в воздушном потоке, поступающем в фильтр-влагоотделитель, содержится много жидкой влаги, перед ним необходимо установить водосборник. Значительное понижение температуры на пути от магистрального фильтра-влагоотделителя, вызывающее

конденсацию паров влаги, может потребовать установки индивидуального влагоотделителя перед потребителем.

Для пневматических устройств и систем управления II группы как правило применяют двухступенчатую очистку, т. е., кроме магистрального фильтра-влагоотделителя, перед потребителем устанавливается групповой или индивидуальный фильтр-влагоотделитель типа В41-1 (см. рис. 9).

Для удаления загрязнений из сжатого воздуха для пневматических устройств и систем управления III группы рекомендуется применять две или три ступени очистки. При двухступенчатой очистке схема расположения очистных устройств аналогична схеме для устройств II группы и отличается лишь тем, что индивидуальный фильтр-влагоотделитель имеет более высокие технические данные: полноту улавливания влаги в жидком состоянии 95—99%, тонкость фильтрации 5—15 мк. Такую очистку может обеспечить фильтр-влагоотделитель контактного типа (см. рис. 11, б). В отдельных случаях степень очистки, близкую к требуемой, может обеспечить и центробежный фильтр-влагоотделитель типа В41-1, если он работает в оптимальном диапазоне расходов и имеет соответствующий фильтрующий элемент. Если имеется опасность чрезмерной загрузки загрязнениями фильтра-влагоотделителя контактного типа, что может снизить его эффективность и сократить срок службы, то перед ним следует установить фильтр-влагоотделитель типа В41-1 (трехступенчатая очистка).

Следует иметь в виду, что установка индивидуального фильтра-влагоотделителя производится в системе потребителя перед редукционным клапаном, и если редукционный клапан значительно снижает давление, то это может привести к увеличению жидкой влаги в сжатом воздухе, поступающем к потребителю. В этом случае рекомендуется устанавливать фильтр-влагоотделитель после редукционного клапана.

Наибольшую сложность представляет обеспечение очистки воздуха для пневматических устройств и систем IV группы. Рекомендуется следующий порядок установки очистных устройств с целью обеспечения требуемой чистоты сжатого воздуха: магистральный фильтр-влагоотделитель — индивидуальный фильтр-влагоотделитель, обеспечивающий полное улавливание жидкой влаги (например, фильтр-влагоотделитель контактного типа), — осушитель для удаления паров масла и влаги — фильтр тонкой очистки для удаления механических частиц.

Для сложных систем пневматической автоматики, предъявляющих высокие требования к очистке воздуха и надежности, применение автоматических установок осушки воздуха типа УОВ может обеспечить значительный технико-экономический эффект, несмотря на их высокую стоимость.

В качестве примера применения схем и монтажа очистных устройств рассмотрим часть заводской пневматической системы (рис. 16).

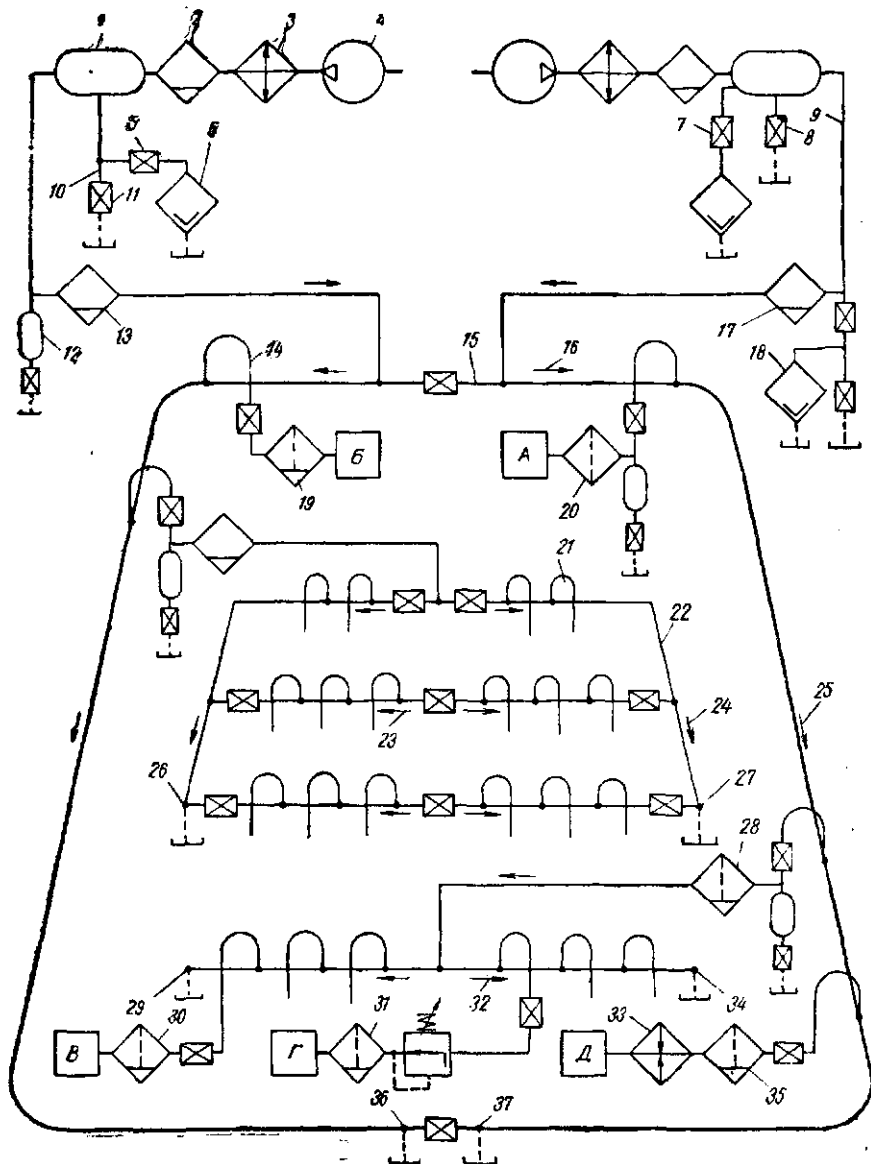


Рис. 16. Пример применения схем и монтажа очистных устройств и трубопроводов

После компрессора 4 установлен концевой холодильник 3, затем — влагомаслоотделитель 2, уменьшающий количество попадающего в ресивер 1 компрессорного масла и конденсированной в холодильнике влаги. Так как в ресиверах за счет расширения воздуха выделяется значительное количество воды, после них установлены магистральные влагоотделители 13 и 17 типа П-В, уменьшающие поступление воды в магистральный воздухопровод 15. Водосборник 12 и конденсатоотводчик 18 предохраняют влагоотделители 13 и 17 от перегрузки влагой, поэтому слив конденсата производится реже.

Если магистральный трубопровод 9 имеет большую протяженность, то при движении по нему воздуха успевает выделиться большое количество влаги и может потребоваться несколько влагоотделителей.

В подавляющем большинстве случаев у потребителей требуется дополнительная очистка от загрязнений. Исключение составляют пневматические устройства I группы (на рис. 16 обозначены буквой А), для которых достаточно установить на входе грубый фильтр 20 с тонкостью фильтрации 80—100 мк.

Для пневматических устройств II группы (на рис. 16 обозначены буквой Б) устанавливается центробежный фильтр-влагоотделитель 19 (например, типа В41), отделяющий 85—90% влаги и механические частицы размером более 20—50 мк. Для нескольких пневматических приводов или устройств, имеющих приблизительно одинаковые требования к качеству очистки воздуха установлен один (групповой) фильтр-влагоотделитель 28.

Для очистки воздуха, питающего пневматические устройства III группы (на рис. 16 обозначены буквой В), установлены последовательно два фильтра-влагоотделителя, из которых первый — уже упоминавшийся групповой фильтр-влагоотделитель 28 (очистка от влаги на 85—90%, тонкость фильтрации 20—50 мк), а второй — фильтр-влагоотделитель 30 (например, по МН 2732—61 — см. рис. 11, б), обеспечивающий окончательную очистку от влаги на 95—99% при тонкости фильтрации 5—15 мк.

Пневматическая система управления той же III группы (на рис. 16 обозначена буквой Г), работающая на низком давлении, защищена от попадания влаги, конденсируемой при большом редуцировании давления, при помощи фильтра-влагоотделителя 31, который установлен после редуциционного клапана, а не перед ним.

Для пневматической системы управления IV группы (на рис. 16 обозначена буквой Д), требующей особо тонкой очистки сжатого воздуха, можно применить адсорбер с последующей фильтрацией твердых загрязнений или подогреватель 33 с предварительным отделением сконденсированной влаги и необходимой тонкостью фильтрации, обеспечиваемых фильтром-влагоотделителем 35.

Удаление загрязнений из трубопроводов производится при помощи дренажных устройств в наиболее низких точках 26, 27, 29, 34, 36 и 37 (направление, в котором снижаются трубопроводы,

указаны стрелками 16, 23, 24, 25, 32 и др.). В местах, где требуется удаление большого количества конденсата, установлены автоматические конденсатоотводчики.

Так как конденсатоотводчики как правило чувствительны к твердым загрязнениям, вызывающим заедание подвижных частей и засорение дренажного клапана, конденсатоотводчики 6 и 18 применяются совместно с отстойниками. Отстойником служит труба 10, где оседают твердые загрязнения; отстойник периодически продувается при открытии вентиля 11. Для той же цели предназначен вентиль 8, через который удаляют отстой из ресивера, а конденсатоотводчик присоединяется выше допустимого уровня скопления отстоя и через вентиль 7 отбирает более чистый конденсат. Вентили 5 и 7 позволяют отсоединить конденсатоотводчик для ремонта или замены без ненужного расхода сжатого воздуха.

Для того, чтобы вода не попадала к пневматическим устройствам, потребляющим воздух, ответвления 14, 21 и другие присоединяются к магистральному трубопроводу сверху.

## **МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОЧИСТНЫХ УСТРОЙСТВ И ВОЗДУХОПРОВОДОВ**

Надежность защиты пневматических устройств от попадания загрязнений зависит не только от использования комплекса эффективных очистных устройств, но и от их правильного монтажа и эксплуатации. В такой же мере это относится и к воздухопроводам.

**Монтаж.** Монтаж очистных устройств и трубопроводов должен выполняться с учетом следующих основных требований.

1. В целях лучшего обеспечения потребителей сжатым воздухом магистральный трубопровод и трубопровод, питающий большую группу потребителей сжатого воздуха, рекомендуется выполнять по замкнутой схеме (см. трубопроводы 15 и 22 на рис. 16).

2. Для обеспечения возможности отключения отдельных приводов и участков магистральных и других трубопроводов с целью ремонта или обслуживания в определенных местах этих трубопроводов и на каждом ответвлении должны быть предусмотрены запорные вентили.

3. Расположение очистных устройств и трубопроводов должно обеспечивать удобный доступ к ним для монтажа и обслуживания.

4. Перед установкой трубопроводы и очистные устройства должны быть тщательно осмотрены и очищены от загрязнений.

5. Монтаж магистральных трубопроводов должен производиться с уклоном 0,003—0,005 в сторону движения воздуха.

6. Для контроля потерь давления, расходов и температуры при движении воздуха в узловых точках магистрали необходимо предусматривать возможность подсоединения манометров, дифманометров и термометров.

7. Подсоединение отводящих трубопроводов к магистральному следует производить сверху на участках, расположенных за маги-

стральными очистными устройствами (см. трубопроводы 14, 21 и другие на рис. 16).

8. Не допускается образование впадин при монтаже трубопроводов. Если впадин избежать нельзя, то в наиболее низких местах трубопроводов следует устанавливать устройства для сбора и отвода конденсата.

9. Если на трубопроводах устанавливаются тяжелые очистные устройства, то трубопроводы в местах установки необходимо монтировать на опорах (скобах, подержках и др.).

10. Устройства для очистки от влаги монтируются в вертикальном положении.

11. При монтаже очистных устройств направление движения потока сжатого воздуха должно соответствовать стрелке на корпусе или на крышке устройства.

12. Монтаж конденсатоотводчиков следует выполнять в соответствии с рекомендациями, изложенными в предыдущем разделе (см. описание части заводской пневматической системы, показанной на рис. 16).

13. Слив конденсата из очистных устройств и водосборников рекомендуется производить путем подсоединения к дренажной системе. При отсутствии дренажной системы для слива необходимо предусмотреть специальные емкости или колодцы и периодически удалять из них конденсат.

**Эксплуатация.** Для надежной работы очистных устройств необходимо строгое соблюдение правил их эксплуатации. Знание этих правил, приводимых в инструкции по эксплуатации, обязательно для персонала, занятого эксплуатацией и обслуживанием пневматических систем.

Обслуживание очистных устройств заключается в периодическом контроле и осмотре, восстановлении или замене фильтрующих элементов и т. д.

При эксплуатации необходимо обеспечивать своевременное удаление загрязнений (конденсата) из резервуаров очистных устройств, чтобы не допускать их заполнения сверх допустимого уровня и попадания отдельных загрязнений к потребителю. Слив конденсата из устройств с непрозрачным резервуаром, когда визуальный контроль уровня не предусмотрен, должен производиться периодически по графику, составленному на основании опытных данных, исходя из наибольшей возможной влажности сжатого воздуха.

В процессе эксплуатации внутренние поверхности очистителей постепенно загрязняются водомасляной эмульсией и другими примесями, в связи с чем может нарушиться работа очистителя, поэтому необходимо периодически промывать их веществами, которые не воздействуют на материал этих поверхностей. При обслуживании очистителей с прозрачными резервуарами необходимость промывки определяется визуально. Для промывки прозрачных резервуаров можно использовать теплую мыльную воду.

Чтобы уменьшить поступление загрязнений к потребителям, необходимо перед началом эксплуатации и периодически в процессе эксплуатации производить внутреннюю очистку всех трубопроводов.

Воздухопроводы диаметром до 150 мм промывают водой, а большего диаметра продувают воздухом [9]. Промывка производится со скоростью до 1—1,5 м/сек до устойчивого появления чистой воды. Затем производится продувка сжатым воздухом. Продувка ведется при рабочем давлении. Время продувки не менее 10 мин.

Продуваемый или промываемый участок отсоединяется от потребителей и соседних участков при помощи вентиля. После промывки и продувки запорные и дренажные устройства, установленные в водосборниках и отстойниках, необходимо осмотреть и очистить.

**Очистка фильтрующих элементов.** В процессе эксплуатации каналы, щели и поры фильтрующих элементов забиваются частицами загрязнений, сопротивление проходу воздуха возрастает и наступает необходимость замены фильтрующего элемента или восстановления его пропускной способности (регенерации). При определении целесообразности и выборе способа очистки фильтрующего элемента нужно проанализировать стоимость различных методов регенерации фильтрующего элемента, а также степень восстановления его пропускной способности. Очистке подвергаются, в основном, металлокерамические и керамические фильтрующие элементы, а бумажные, волокнистые, тканевые и т. п. восстанавливать, как правило, нецелесообразно.

Известны следующие основные способы восстановления фильтрующих элементов.

1. Путем пропускания сжатого воздуха в направлении, противоположном направлению движения воздуха при работе фильтра.

2. Путем пропускания химических растворителей в направлении, противоположном направлению потока воздуха при фильтрации.

3. Путем пропускания струи горячего газа. При этом происходит выгорание части загрязнений.

4. Путем ультразвуковой очистки.

Выбор способа регенерации определяется условиями работы очистного устройства и характером загрязнений. В случае металлических примесей можно применять пропускание воздуха в обратном направлении или химический способ; в случае присутствия силикатов или песка регенерацию можно производить только механическими способами. При наличии в воздухе органических примесей, очистка производится, как правило, термическим или химическим способом.

Очистка воздуха путем пропускания его в обратном направлении — наиболее простой и удобный способ, так как позволяет

обходиться без демонтажа фильтрующих элементов. При регенерации этим способом можно использовать фильтруемый воздух.

На рис. 17 приведена принципиальная схема регенерации фильтрующего элемента путем пропускания воздуха в обратном направлении. Переход от режима фильтрации на режим регенерации осуществляется при помощи вентилялей. При фильтрации вентили *A* и *B* открыты, *B* и *Г* закрыты; при регенерации вентили *A* и *B* закрыты, *B* и *Г* открыты.

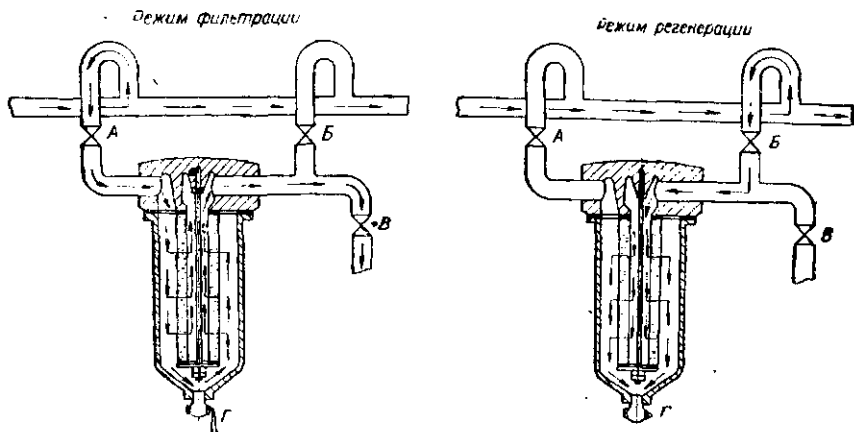


Рис. 17. Схема регенерации фильтрующего элемента пропусканием потока в обратном направлении

Недостатком этого способа является неполное восстановление пропускной способности, которая после нескольких циклов регенерации существенно уменьшается. Как видно из табл. 9 [4], пропускная способность металлокерамического фильтра после трех циклов регенерации уменьшается на 15%, а бумажного фильтра — на 50%.

Таблица 9  
Пропускная способность фильтров в зависимости от регенерации

Состояние фильтра	Пропускная способность нового и регенерированного фильтра. %	
	металлокерамического	бумажного
Новый	100	100
После 1-й регенерации	95	85
После 2-й регенерации	89	65
После 3-й регенерации	84	50



Химический способ не применим в случае изготовления фильтрующих элементов из материалов, вступающих в химическую реакцию с растворителями. При этом способе очистки используются такие растворители, как бензин, ацетон, спирт и др.

Для регенерации металлокерамических и керамических фильтров можно использовать растворы различных кислот с последующей промывкой фильтрующего элемента и нейтрализацией. Недостатком данного способа является необходимость демонтажа фильтрующего элемента. Это также относится и к термическому способу очистки, так как фильтрующие элементы приходится демонтировать и регенерировать в другом месте.

Ультразвуковая очистка заключается в том, что фильтрующие элементы погружаются в мощную жидкость, в которой возбуждаются ультразвуковые колебания. В связи с тем, что силы, действующие на частицы загрязнений, равномерно распределены по всему объему жидкости, достигается очистка самых мелких пор фильтра.

Диапазон частот, применяемых при ультразвуковой очистке, очень широк. Применяются как низкочастотные ультразвуковые колебания порядка 20 *гц*, так и высокочастотные порядка 100—300 *гц* [5].

Степень очистки при ультразвуковом методе зависит от продолжительности регенерации, расстояния до вибратора, концентрации интенсивности звука.

## КОНТРОЛЬ ЧИСТОТЫ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Периодический контроль чистоты сжатого воздуха в пневматических линиях является важным условием обеспечения надежной и долговечной работы пневматических систем управления.

Контроль чистоты воздуха позволяет получить сведения о количественном и качественном составе загрязнений в нужных участках линии с целью определения источников этих загрязнений; мест, опасных для загрязнения; выбора и оценки эффективности работы очистных устройств и места их установки.

Применяются субъективные и объективные методы контроля.

Субъективные методы просты, но из-за невысокой точности и достоверности могут быть использованы лишь для предварительной оценки чистоты сжатого воздуха. Как правило, данные о загрязнении при субъективном методе контроля получают путем анализа причин выхода из строя пневматических устройств, отбора сжатого воздуха, наблюдения за работой очистных устройств и визуального наблюдения за потоком через прозрачные трубопроводы и окна.

При объективных методах контроля используются специальные контрольные приборы и установки, которые позволяют получить следующие данные о составе загрязнений, количестве влаги

в жидком и парообразном состоянии, количестве и размере твердых загрязнений.

Чаще всего при контроле применяют отбор воздуха, выполняемый в следующей последовательности [2].

1. Производят отбор пробы загрязненного сжатого воздуха, концентрация и дисперсный состав загрязнений в которой не отличается от основного потока.

2. Обеспечивают полное улавливание механических загрязнений, содержащихся в отобранной пробе воздуха, например фильтрацией с последующим взвешиванием уловленных загрязнений.

3. Измеряют объем отобранного воздуха и приводят его параметры к нормальным условиям.

Отбор воздуха следует производить на прямом участке воздухопровода; место отбора должно отстоять от колен, сужений или расширений, вентилях, дросселей и т. п. минимум на пять диаметров воздухопровода. На пути воздуха к улавливающему фильтру не должно быть резких переходов, уступов, выемок, впадин, мешков и других местных сопротивлений.

Отбор целесообразно производить на магистральных трубопроводах до и после магистрального фильтра-влагодделителя; на внутрицеховых воздухопроводах до и после групповых фильтров-влагодделителей; на ответвлениях к потребителям до и после индивидуального (конечного) фильтра-влагодделителя.

**Определение присутствия конденсированной влаги.** Определение присутствия в воздухе воды и масел в жидком состоянии можно производить по методике, рекомендованной ГОСТ 11882—66. Сущность этого метода заключается в следующем. Струя сжатого воздуха направляется на лист чистой фильтровальной бумаги (ГОСТ 12026—66) в течение 15 мин. Расстояние от выхода воздуха до листа бумаги в зависимости от давления в сети устанавливается от 50 до 100 мм.

Появление пятен на бумаге свидетельствует о наличии капель воды или масла в сжатом воздухе.

**Определение содержания конденсированной воды.** Содержание в воздухе воды в жидком состоянии с допустимой погрешностью может быть определено при помощи эффективного фильтра-влагодделителя, задерживающего практически все загрязнения, кроме паров воды и масла. Для этой цели можно использовать фильтр-влагодделитель контактного типа по МН 2732—61 (см. рис. 11, б).

Произведя отбор мерного количества сжатого воздуха (расход через фильтр-влагодделитель не должен превышать указанного в технической характеристике) и просушив фильтр-влагодделитель до полного испарения воды из резервуара и фильтрующего патрона, можно определить содержание конденсированной воды в объеме пробы как разность веса фильтра-влагодделителя до и после просушивания, а содержание масла и твердых загрязнений

в объеме пробы — как разность веса после просушивания и до начала пробы.

Зная содержание загрязнений в объеме пробы, легко получить величину их концентрации, разделив содержание на объем пробы.

**Определение содержания паров воды.** Диаграммы, приведенные на рис. 1 и 2, применяются для приближенной оценки предельного содержания паров воды. Для определения точки росы сжатого воздуха при оценке эффективности очистителей с адсорбирующими веществами или определения пригодности сжатого воздуха для питания соответствующих пневматических устройств можно пользоваться весовым методом.

Сущность этого метода состоит в том, что мерное количество воздуха пропускают через U-образный сосуд, наполненный веществами, хорошо поглощающими пары воды. До и после отбора воздуха U-образный сосуд взвешивают и по величине привеса определяют величину влагосодержания.

Схема установки для определения влагосодержания воздуха приведена на рис. 18, а.

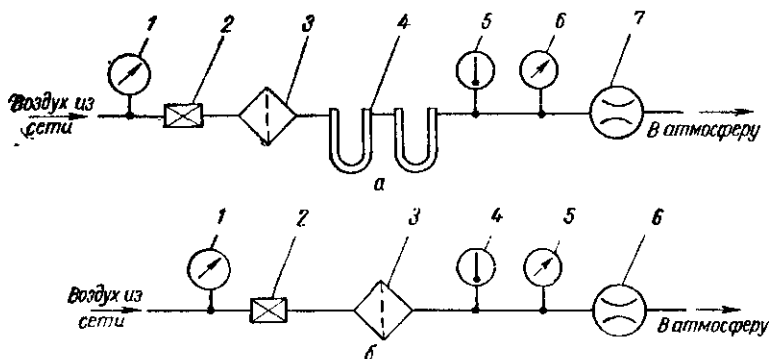


Рис. 18. Схемы установок для определения содержания загрязнений в сжатом воздухе:

а — паров воды; б — паров минеральных масел и твердых примесей

Открывая вентиль 2, пропускают воздух через фильтр 3, задерживающий механические частицы, а затем через поглотитель, помещенный в U-образную трубку 4. По ротаметру 7 при помощи вентиля 2 устанавливают определенный расход воздуха, одновременно в процессе испытаний замеряют температуру и давление воздуха перед ротаметром при помощи термометра 5 и манометра 6. Давление в сети измеряется при помощи манометра 1.

В качестве фильтра 3 рекомендуется использовать аналитические аэрозольные фильтры АФА-В-18, которые представляют собой диски, вырезанные из фильтрующего материала ФПП—15-1,7 (ТУ № 2ГУ-171—58) с опрессованными краями, вложенные в защитные кольца с выступами из бумаги и завернутые в пакетики из кальки. Фильтры АФА-В-18 и фильтродержатели к ним серийно выпускаются 7-й картонажной фабрикой (Москва).

Практически наиболее часто в качестве поглотителя применяют силикагель по ГОСТ 3956—54 с размерами зерна 1,5—2 мм.

Для выявления момента отработки наполнителя можно применять силикагель — индикатор по ГОСТ 8984—56, который изменяет окраску по мере насыщения влагой, или чередовать слои силикагеля со слоями фосфорного ангидрида, признаком полного насыщения которого является его расплавление.

Для предотвращения адсорбции влаги из окружающего воздуха после взвешивания сосуда с поглотителем его необходимо закрыть колпачками или заткнуть хорошо притертыми стеклянными пробками.

При этом способе большое значение имеет скорость пропускания воздуха через поглотитель. Так, например, при пропускании воздуха через силикагель с расходом 3 л/час (при диаметре U-образной трубки 15—20 мм) остаточная влажность при 25°C составляет 2 мг/м<sup>3</sup>. При большем расходе воздуха количество водяных паров после поглотителя будет несколько выше.

Для точного измерения рекомендуется пропускать воздух со скоростью, соответствующей расходу 1 л/час (при диаметре U-образной трубки 15—20 мм) [2]. Приближенное определение влагосодержания может производиться при расходе воздуха до 500 л/час.

Для обеспечения более полного поглощения влаги обычно ставят последовательно несколько U-образных трубок с поглотителем, и каждую из них взвешивают отдельно. При достаточно полной осушке воздуха последняя трубка не должна изменяться в весе. При увеличении веса последней трубки берут большее количество поглотительных сосудов или пропускают воздух с меньшей скоростью, причем в расчет принимают результаты тех испытаний, в которых в последнем поглотителе не было привеса или он был так мал, что им можно было пренебречь.

Влагосодержание воздуха определяется по формуле:

$$d = \frac{G - G_1}{G_{св}} \text{ мг/кг,}$$

где  $G$  — общий вес трубок после испытания, мг;

$G_1$  — общий вес снаряженных трубок до испытания, мг;

$G_{св}$  — вес пробы воздуха после осушки, кг.

Вес пробы воздуха после осушки определяется по формуле:

$$G_{св} = V \rho_n \frac{p T_n}{p_n T} \text{ кг,}$$

где  $V$  — объем пробы воздуха при давлении  $p$  и температуре  $T$ , м<sup>3</sup>;  
 $\rho_n = 1,205$  — плотность воздуха в нормальном состоянии, кгс/м<sup>3</sup>;

$p_n = 1,0332$  — нормальное абсолютное давление, кгс/см<sup>2</sup>;

$T_n = 293^\circ\text{K}$  (нормальная температура  $t = 20^\circ\text{C}$ );

$p$  — абсолютное давление воздуха при определении, кгс/см<sup>2</sup>;

$T$  — абсолютная температура воздуха при определении, °K.

Для удобства при расчетах через трубки пропускают объем воздуха  $V$ , равный  $1 \text{ м}^3$  воздуха.

Точка росы воздуха в зависимости от влагосодержания и избыточного давления определяется по табл. 10 для температур от  $-20$  до  $-60^\circ\text{C}$  и по диаграммам на рис. 1 и 2 от  $-20$  до  $+100^\circ\text{C}$ .

Таблица 10

Точка росы воздуха в зависимости от влагосодержания и избыточного давления

Температура точки росы, $^\circ\text{C}$	Избыточное давление воздуха, $\text{кес/см}^2$						
	1,4	2,5	4	5	6	7	8
	Содержание влаги, $\text{мг/кг}$						
-60	4,8	3,3	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3
-59	5,5	3,7	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5
-58	6,1	4,2	2,9	2,4	2,1	1,8	1,6
-57	7,1	4,9	3,4	2,8	2,5	2,1	1,9
-56	7,9	5,4	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1
-55	9,0	6,2	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4
-54	10,0	6,9	4,8	4,0	3,5	3,0	2,7
-53	11,1	7,6	5,3	4,4	3,8	3,3	3,0
-52	12,1	8,3	5,8	4,9	4,2	3,6	3,3
-51	13,5	9,2	6,5	5,4	4,6	4,0	3,6
-50	15,9	10,8	7,6	6,4	5,5	4,8	4,3
-49	18,5	12,7	8,9	7,4	6,4	5,6	5,0
-48	21,2	14,5	10,1	8,5	7,3	6,4	5,7
-47	23,8	16,3	11,4	9,5	8,2	7,1	6,4
-46	26,4	18,1	12,7	10,6	9,1	7,9	7,1
-45	29,1	19,9	13,9	11,6	10,0	8,7	7,8
-44	31,9	21,9	15,3	12,8	11,0	9,6	8,6
-43	37,1	25,4	17,8	14,8	12,8	11,1	10,8
-42	39,7	27,2	19,0	15,9	13,8	11,9	10,7
-41	44,9	30,8	21,5	18,0	15,5	13,4	12,0
-40	47,7	32,7	22,9	19,1	16,5	14,3	12,8
-39	52,9	36,3	25,4	21,2	18,3	15,9	14,2
-38	58,4	40,0	28,0	23,4	20,2	17,5	15,7
-37	66,1	45,4	31,7	26,5	22,8	19,8	17,8
-36	71,6	49,1	34,3	28,7	24,7	21,5	19,2
-35	79,4	54,4	38,1	31,8	27,4	23,8	21,3

Температура точки росы, °С	Избыточное давление воздуха, кгс/см <sup>2</sup>						
	1,4	2,5	4	5	6	7	8
	Содержание влаги, мг/кг						
-34	87,4	59,9	41,9	35,0	30,2	26,2	23,5
-33	98,0	67,2	47,0	39,3	33,8	29,4	26,3
-32	105,8	72,6	50,8	42,4	36,5	31,7	28,4
-31	119,0	81,6	57,1	42,7	41,1	35,7	32,0
-30	129,7	88,9	62,2	51,9	44,8	38,9	34,8
-29	142,9	98,0	68,5	57,2	49,3	42,8	38,4
-28	158,8	108,9	76,1	63,6	54,8	47,6	42,5
-27	185,2	127,0	88,8	74,2	64,0	55,5	49,7
-26	198,6	136,3	95,3	79,6	68,6	59,6	53,4
-25	211,7	145,2	101,5	84,8	73,1	63,4	56,8
-24	238,1	163,3	114,2	95,4	82,2	71,4	64,0
-23	264,5	181,4	126,9	105,9	91,4	79,3	71,0
-22	293,1	201,0	140,6	117,4	101,2	87,9	78,7
-21	319,0	218,8	153,0	127,3	110,2	95,6	85,7
-20	345,0	236,6	165,5	138,2	119,1	103,4	92,7

Для измерения влажности сжатого воздуха в отечественной и зарубежной промышленности используется ряд приборов [2, 13], краткое описание принципа действия которых приводится ниже.

**Психрометр (метод «сухого» и «мокрого» термометров).** Если в поток воздуха внести два термометра, один из которых непрерывно смачивать водой, то за счет испарения воды с поверхности этого «мокрого» термометра его температура будет ниже, чем температура «сухого». По показаниям этих двух термометров при помощи специальных психрометрических таблиц можно определить относительную влажность воздуха. Точность измерения  $\pm (1,5-2\%)$  в диапазоне от 2 до 100% относительной влажности. Психрометр представляет собой трубку, в которой помещены «сухой» и «мокрый» термометры и через которую прогоняется воздух. При нажатии кнопки измерительный стрелочный прибор показывает температуру «сухого» и «мокрого» термометров.

**Механический гигрометр.** Действие механического гигрометра основано на свойстве некоторых гигроскопических веществ сильно изменять свои размеры при изменении относительной влажности окружающей атмосферы. Такими веществами, используемыми в механических гигрометрах, служат волосы, кожа животных,

нейлон, дерево, бумага. Измеряя перемещение и удлинение таких чувствительных элементов, можно определить относительную влажность воздуха.

Механические гигрометры позволяют измерять относительную влажность: от 0 до 100%, однако следует учесть, что органические вещества с течением времени теряют свои свойства. Точность измерения составляет  $\pm 5\%$ .

*Гигрометр конденсационного типа, основанный на измерении точки росы.* При непрерывном охлаждении воздуха, содержащего водяной пар, достигается такая температура, при которой водяной пар начинает конденсироваться. Чем больше влаги содержится в воздухе при данной температуре, тем быстрее достигается точка росы. При появлении тумана или инея в воздухе его прозрачность резко уменьшается, что может быть зарегистрировано оптическими, электрическими или фотоэлектрическими методами. Охлаждение газа происходит во время адиабатического расширения этой пробы воздуха.

Приборы могут измерять влажность, соответствующую диапозону изменения точки росы от  $-63$  до  $+52^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 1,1^{\circ}\text{C}$ .

*Гигрометр, основанный на измерении точки росы при равновесии пара.* Этот прибор использует свойство хлорида лития при определенной температуре находиться в состоянии равновесия с окружающей атмосферой, т. е. при определенной температуре количество поглощаемой влаги будет равно количеству испаряемой. Эта температура может быть связана с точкой росы измеряемого воздуха.

Датчик гигрометра состоит из двух параллельных проволок, помещенных в наполненную хлоридом лития трубку. В трубке имеются отверстия для свободного доступа воздуха. К проволочкам подводится переменное напряжение, и в зависимости от количества влаги, адсорбированной хлоридом лития, по цепи потечет ток определенной величины. Ток вызывает нагрев хлорида лития, что приводит к испарению части поглощенной влаги. Испарение происходит до тех пор, пока не наступит состояние равновесия между поглощаемым и испаряемым количеством влаги. При этом, если напряжение, приложенное к датчику, не меняется, то сила тока, протекающего через хлорид лития, определяется количеством содержащейся в нем влаги, которое в свою очередь зависит от абсолютной влажности измеряемого воздуха. Диапазон измерения точки росы от  $-45$  до  $+70^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

*Измерение влажности на основе изменения температуры поглотителя при поглощении и испарении влаги.* Конденсация пара на поверхности тела приводит к нагреву этого тела. Испарение влаги с поверхности тела охлаждает его. По разности температур поверхности при этих процессах можно определить количество влаги в потоке воздуха.

Поток воздуха, влажность которого измеряется, разделяется в приборе; одна часть пропускается через регенеративную адсорбционную колонку, где воздух полностью обезвоживается. Затем оба потока направляются в камеру, где пропускаются над тонкой пластинкой поглотителя с разных ее сторон. Влага из обезвоженного потока осажается на поверхности пластинки и слегка нагревает ее. В то же время обезвоженный воздух, проходя над другой стороной пластинки, испаряет влагу, тем самым охлаждая эту сторону пластинки. Измеряя разность температур на обеих сторонах пластинки, можно определить влажность потока воздуха. Этот метод позволяет определить влажность от 0 до 0,5%.

*Электролитический гигрометр* основан на электролизе воды под действием тока. Чем больше влаги содержится в воздухе, тем большее количество электричества нужно для полного электролиза имеющегося количества воды.

Проба воздуха, влажность которого измеряется, пропускается с определенной скоростью через камеру, содержащую поглотитель (типа пятиоксида фосфора), к которому прикреплены электроды. При пропускании постоянного тока влага, адсорбированная этим поглотителем, разлагается на кислород и водород. Измерив ток и время окончания электролиза, можно определить первоначальную влажность воздуха.

*Гигрометр сопротивления.* При изменении влажности электрическое сопротивление ряда материалов резко меняется. На этом явлении основано действие гигрометров сопротивления. На тонкой пластмассовой пластинке расположены два электрода гребенчатой формы, так что зубцы одного входят между зубцами другого. Эти электроды покрыты тонкой пленкой гигроскопического материала (например, хлорида лития). Сопротивление между входами электродов определяется относительной влажностью.

Пределы измерения 5—95% относительной влажности, точность  $\pm 2\%$ .

**Определение содержания минеральных масел и твердых примесей.** Для ненасыщенного сжатого воздуха содержание примесей определяется способом отбора проб воздуха по ГОСТ 11882—66 следующим образом (принципиальная схема установки приведена на рис. 18, б). Открывая вентиль 2, подводят воздух из сети к фильтродержателю 3, в котором помещен фильтр АФА-В-18, задерживающий механические примеси и масляную аэрозоль. Расход воздуха измеряется при помощи ротаметра 6, а температура и давление воздуха перед ним — при помощи термометра 4 и манометра 5. Давление в сети контролируется манометром 1.

Перед установкой в схему фильтр просушивают в вакуумном шкафу при температуре 50—60°C в течение 20—30 мин — для удаления из него водяных паров, после чего определяют его вес с точностью 0,002 мг. При установке фильтра в схему и после пропускания через него воздуха отверстие фильтродержателя и воронки необходимо закрывать колпачками для предохранения



от попадания посторонних примесей. После пропускания через фильтр 1,5 м<sup>3</sup> воздуха в течение 2 час. фильтр просушивают при том же режиме, что и до начала испытаний. Затем определяют вес фильтра после испытания.

Отделение масляных примесей от механических загрязнений производится путем промывания фильтра бензином по ГОСТ 3134—52 в направлении движения воздуха при испытании. Затем фильтр необходимо просушить в вакуумном шкафу.

Количество минеральных масел  $G_m$  в объеме пробы воздуха определяется по формуле

$$G_m = G_1 - G_2,$$

где  $G_1$  — вес фильтра после испытания, мг;  
 $G_2$  — вес фильтра после промывания, мг.

Количество твердых примесей  $G_T$  определяется по формуле

$$G_T = G_2 - G,$$

где  $G$  — вес фильтра до испытания, мг.

Объем пробы воздуха  $V_0$ , приведенный к нормальным условиям ( $t=20^\circ\text{C}$  и  $p=760$  мм рт. ст.) определяется по формуле

$$V_n = V_0 \frac{p T_n}{p_n T} \text{ нм}^3/\text{мин},$$

где  $V_n$  — расход воздуха в нормальном состоянии, нм<sup>3</sup>/мин;  
 $V_0$  — расход воздуха при давлении  $p$  и температуре  $T$ , м<sup>3</sup>/мин;  
 $p$  — абсолютное давление воздуха при замерах, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $T$  — абсолютная температура воздуха при замерах, °К;  
 $p_n = 1,0332$  — нормальное абсолютное давление, кгс/см<sup>2</sup>;  
 $T_n = 293^\circ\text{K}$  ( $t_n = 20^\circ\text{C}$ ).

Содержание масел  $S_m$  и твердых примесей  $S_T$  в мг/м<sup>3</sup> в единице объема воздуха, приведенного к нормальным условиям, определяется по формулам:

$$S_m = \frac{G_m}{V_n}; \quad S_T = \frac{G_T}{V_n},$$

где  $G_m$  — абсолютное количество масел в объеме пробы воздуха, мг;

$G_T$  — абсолютное количество твердых примесей в объеме пробы воздуха, мг.

Определение размеров твердых загрязнений может производиться одним из следующих методов: микроскопией; воздушной сепарацией, ситовым и седиментационным анализами.

Сущность метода микроскопии заключается в осаждении механических частиц на предметное стекло с последующим определением их размера при помощи оптического микроскопа. Осаждение частиц на предметное стекло производят за счет силы тяжести; при ударе воздушного потока о стекло; методами термореципитации и электрореципитации.

Метод ситового анализа основан на просеивании механических частиц загрязнений через сита с отверстиями различных размеров. Просеивая пробы механических загрязнений через ряд сит с убывающим размером отверстий и взвешивая остатки частиц на каждом сите, получают представление о распределении частиц по размерам. Ситовой анализ можно применять для определения размеров механических загрязнений осушенного воздуха, в котором размер частиц превышает 45 мк. В тех случаях, когда в сжатом воздухе содержится влага и значительное количество мелких частиц (менее 45 мк), этот метод применять не следует.

Воздушная сепарация основана на различной скорости витания частиц разного размера. Но в случае влажного воздуха или присутствия в загрязнении механических частиц различного удельного веса, использование этого метода может вызвать большие погрешности, поэтому его применение ограничено.

Подробные сведения о порядке работы по определению размера частиц различными методами приведены в книге [2].

[BOOKS.PROEKTANT.ORG](http://BOOKS.PROEKTANT.ORG)

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОННЫХ  
КОПИЙ КНИГ

для проектировщиков  
и технических специалистов

## ЛИТЕРАТУРА

1. Белянин П. Н., Черненко Ж. С., *Авиационные фильтры и очистители гидравлических систем.* М., «Машиностроение», 1964.
2. Гордон Г. М., Пейсахов И. Л. *Контроль пылеулавливающих установок.* М., *Металлургиздат*, 1961.
3. Городецкий Ю. Г. *Автоматизация пневматических измерений размеров.* М., *Машгиз*, 1956.
4. Карабин А. И. *Сжатый воздух.* М., «Машиностроение», 1964.
5. Павловская Е. И., Шабряев Б. Ф. *Металлокерамические фильтры.* М., «Недра», 1967.
6. *Правила 28-64 измерения расхода жидкостей, газов и паров стандартными диафрагмами.* М., *Издательство стандартов*, 1964.
7. Прусенко В. С. *Элементы пневмоавтоматики для регулирования тепловых процессов.* М. — Л., *Госэнергоиздат*, 1961.
8. Раков А. А., Виноградов Ю. А. *Компрессоры.* М., «Машиностроение», 1965.
9. Тавастшерна Р. И. *Изготовление и монтаж технологических трубопроводов.* М., «Высшая школа», 1967.
10. Lamprecht N. L. *What you should know about air compressor filters.* „Hydraulics and Pneumatics”, March, 1965.
11. *Pneumatic Handbook.* First Edition. Trade and Technical Press Ltd., Morden, Surrey.
12. Podmour G. *High Pressure Dry Air.* „Compressed Air and Hydraulics”, 1958, № 273; 1959, № 274, 275.
13. Stalhuth W. E. *Moisture Measurement and Control.* „Automation”, 1964, II, № 11.

Научный редактор *П. А. Овгаров*

Редактор *Н. Л. Зилова*

Технические редакторы *Н. Д. Пятакова, Г. Г. Матюшевич*

Корректор *О. В. Чжан*

---

T-08260 Сдано в набор 12/VI—69 г. Подл. в печать 30/VII—69 г.

Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup> Печ. лист. 4,5 Уч.-изд. л. 4

Тираж 3000 экз. Изд. № 496 Зак. № 1433 Цена 48 коп. (в обложке)

---

НИИМАШ

Москва, К-45, Б. Кисельный пер., 5

---

Типография НИИМАШ, ст. Щербинка

# О П Е Ч А Т К И

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
12—13	Таблица 3, графы 11, 12 и 13	Обозначения степени очистки воздуха ХХХ и ХХХХ, указанные для $T_c$ , относятся также и к $T_m$ (см. гр. 4).	
14	Таблица 3, графа 11	Во всей графе 11 на уровнях $T_m$ и $T_c$ (см. гр. 4) должны быть знаки ХХХ	
14	Таблица 3, графы 12 и 13	В обеих графах 12 и 13 на уровнях $T_m$ и $T_c$ (см. гр. 4) должны быть знаки ХХХХ	
20	2-я снизу	<i>Абсорбция.</i>	<i>Адсорбция.</i>
21	3-я снизу	обсорбционная способ- ность	адсорбционная способ- ность
63	6-я снизу	$P_H =$	$P_H =$
63	4-я снизу	$P_H =$	$P_H =$