## Подготовка сжатого воздуха

Качественная и рациональная подготовка сжатого воздуха является залогом эффективной работы пневмосистемы.

Подготовка сжатого воздуха является залогом эффективной работы пневмосистемы и производится для достижения следующих целей:

- очистки воздуха от загрязнений,
- обеспечения заданного уровня давления,
- придания воздуху смазывающих свойств путем распыления в нем масла (при необходимости).

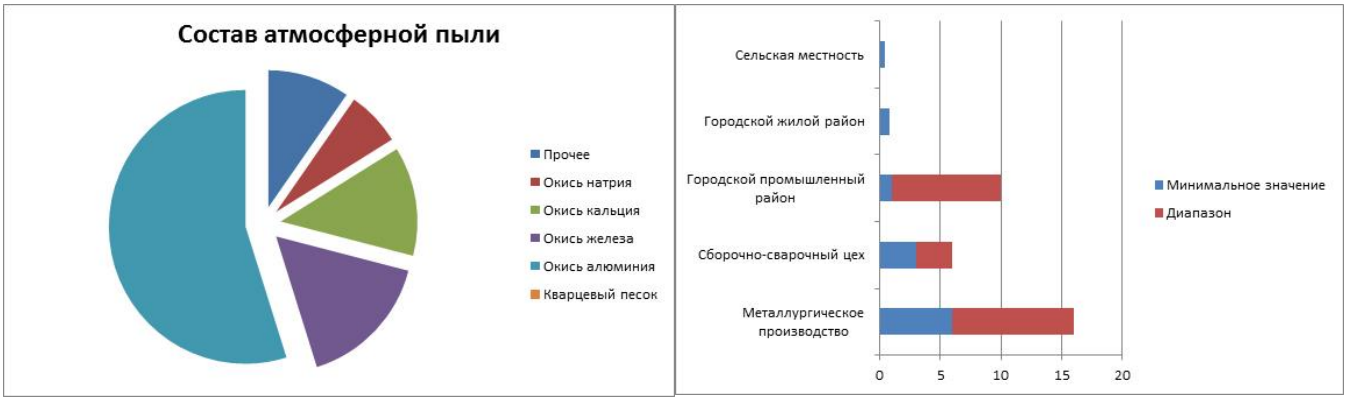
Первым и важнейшим этапом подготовки воздуха является очистка его от загрязнений. Присутствующие в сжатом воздухе загрязнения способны сократить срок службы пневмооборудования в 3 ~ 7 раз. До 80% отказов пневматических систем происходят по причине повышенной загрязненности воздуха. Таким образом, надлежащее качество воздуха является определяющим фактором надежности и долговечности пневматической системы.

### 1. Источники и состав загрязнений сжатого воздуха

Прежде чем попасть к потребителю для выполнения поставленной задачи, воздух проходит следующий путь:
Атмосфера ⇒ Компрессор ⇒ Пневмомагистраль ⇒ Потребитель

***Загрязнения атмосферного воздуха***

Загрязнение воздуха происходит на каждом из указанных этапов. Рассмотрим этот процесс более детально. Один кубический метр естественного атмосферного воздуха содержит около 140 миллионов твердых частиц, более половины которых имеют размер свыше 1 мкм. Атмосферная пыль в основном состоит из кварцевого песка и окиси алюминия (рис. 1)




Концентрация пыли в атмосфере существенно зависит от окружающих условий (рис. 2). В сельской местности, где воздух наименее загрязнен, она составляет от 0,05 до 0,15 мг/м , а в городском промышленном районе от 1 до 10 мг/м . Дисперсный состав пыли также зависит от условий. В «сельском» воздухе 90% частиц имеют размер менее 5 мкм. В воздухе промышленного района преобладают крупные частицы: до 80% частиц имеют размер более 60 мкм.

Таким образом, воздух, попадающий в компрессор, уже содержит загрязнения в виде твердых частиц. Кроме этого, в составе воздуха содержится некоторое количество водяного пара, который при сжатии конденсируется, образуя загрязнения в жидкой фазе. Возможно также присутствие в воздухе газообразных загрязнений - продуктов сгорания топлива (например, диоксида серы), паров кислот, щелочей и т.п.

***Загрязнения воздуха при сжатии***

Сжатие воздуха сопровождается двумя видами загрязнений - водой (в жидком состоянии) и маслом. Выпадение водяного конденсата - физическое явление, характерное для процесса сжатия воздуха. Загрязнение воздуха маслом существенно зависит конструкции, качества и состояния компрессора. Оценим уровень водяных и масляных загрязнений, обусловленных процессом сжатия воздуха.

***Влажность воздуха***

Наряду с азотом, кислородом, аргоном и другими компонентами, в составе воздуха может содержаться водяной пар. Смесь сухого воздуха и водяного пара называется влажным воздухом. Атмосферный воздух всегда содержит некоторое количество влаги. Количественно оно выражается в виде абсолютной влажности воздуха, которая равна массе водяного пара в единице объема воздуха и имеет размерность «мг/м » или «г/м ». Количество влаги в воздухе не может превышать определенного значения, зависящего от температуры (рис. 3).

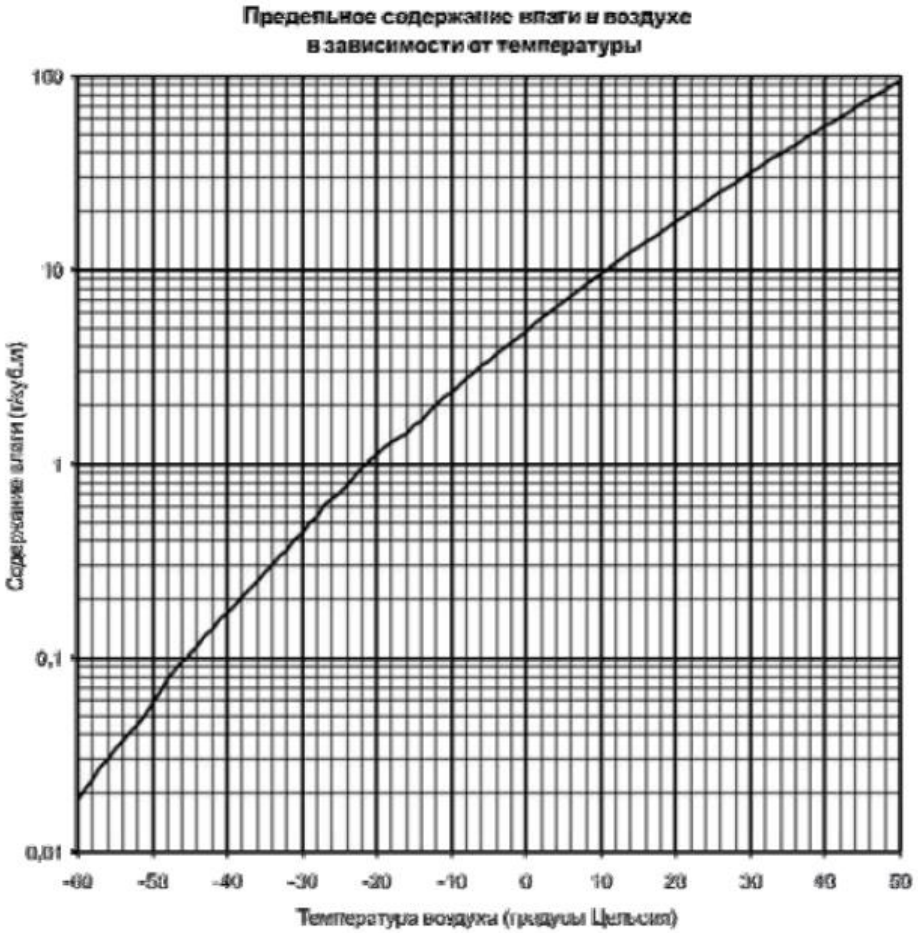



Рис.3

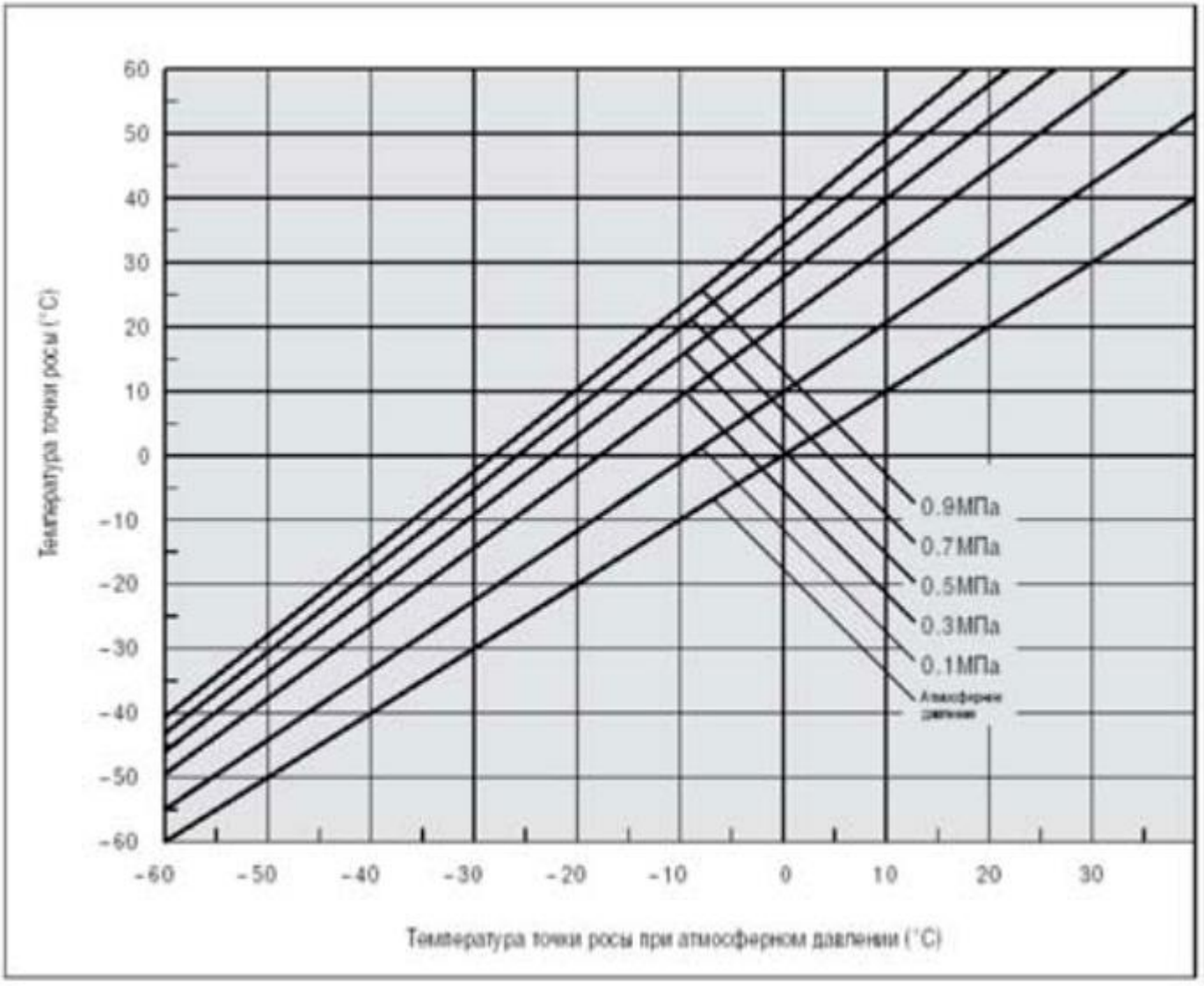
Воздух, содержащий максимальное количество влаги, называется насыщенным. Степень насыщенности воздуха влагой характеризуется относительной влажностью воздуха: **φ=d/dн**, где **d** - абсолютная влажность воздуха, **dн** - абсолютная влажность насыщенного воздуха при той же температуре. Таким образом, для сухого воздуха = 0, а для насыщенного = 100%.

Пример расчета относительной влажности воздуха

Температура воздуха равна 40 °С, фактическое содержание влаги в воздухе равно 25 г/м . Какова относительная влажность воздуха? По графику (рис. 1) находим, что содержание влаги в насыщенном воздухе при 40 °С составляет 55 г/м . Таким образом, = 25/55 х 100% = 45%. Если содержание влаги в воздухе d остается неизменным, а температура повышается, то относительная влажность падает, т.к. величина d с ростом температуры увеличивается. При снижении температуры величина d падает, в результате чего относительная влажность возрастает. Когда достигает уровня 100%, воздух становится насыщенным. Температура, при которой это происходит, называется точкой росы. Дальнейшее снижение температуры сопровождается появлением тумана или росы, т.е. выпадением конденсата (отсюда и название температуры, характеризующей начало этого процесса). Точка росы не только показывает, при какой температуре начинается выпадение конденсата, но и однозначно отражает степень содержания влаги в воздухе (см.рис. 3). Точка росы повышается с ростом давления воздуха. Это необходимо

учитывать при рассмотрении технических характеристик осушителей воздуха. Так, в некоторых случаях точка росы осушенного воздуха приводится при атмосферном давлении, а в некоторых при рабочем давлении. График, приведенный на рис.4, позволяет перевести точку росы, взятую при атмосферном давлении, в точку росы для сжатого воздуха. Данные о содержании влаги в воздухе для широкого диапазона температур и давлений приведены на рис. 5.

**Зависимость точки росы воздуха от давления**




**Максимальное содержание водяного пара в 1 кг воздуха в зависимости от температуры и давления**

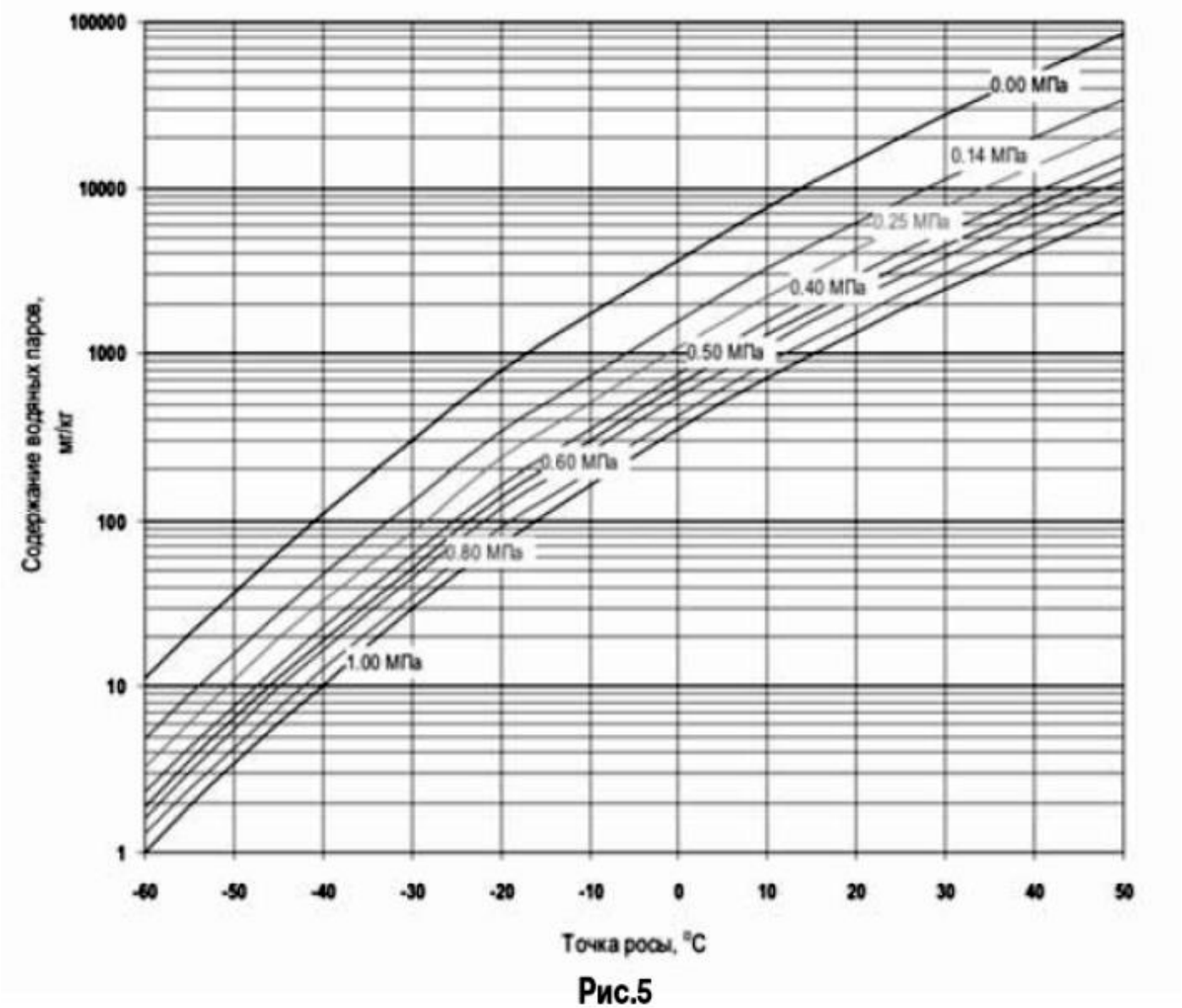



**Рис.5**

**Пример расчета количества конденсата, выпадающего при сжатии воздуха**

Компрессор, имеющий производительность 1,8 Норм.м /мин, сжимает воздух до 8 бар. Температура воздуха на входе в компрессор составляет 20 °С, относительная влажность равна 70%. Попадая в ресивер, сжатый воздух охлаждается до 25 °С. Сколько воды выпадает в виде конденсата в течение часа? Учитывая, что 1 норм.м воздуха имеет массу 1,205 кг, масса воздуха, сжимаемого в течение часа:

$$1{,}205 \times 1{,}8 \times 60 = 130 \text{ кг}$$

Из графика (рис. 5) находим, что содержание влаги в 1 кг насыщенного воздуха при атмосферном давлении и температуре 20 °С составляет 15 г. При относительной влажности 70% содержание влаги в 1 кг воздуха равно:

$$15 \times 0{,}7 = 10{,}5 \text{ г.}$$

Содержание влаги в 1 кг воздуха, сжатого до 8 бар и охлажденного до 25 °С (относительная влажность 100%), согласно рис. 5, составляет 2,4 г. Отсюда следует, что «лишняя» влага выпадает в виде конденсата. Количество конденсата, выпадающего из 1 кг сжатого воздуха:

$$10{,}5 - 2{,}4 = 8{,}1 \text{ г}$$

Количество конденсата, выпадающего в течение часа:

8,1 x 130 = 1053 г

***Содержание масла в воздухе***

Промышленные компрессоры, как правило, относятся к масляному типу. Некоторая часть масла смешивается с воздухом, проходящим через компрессор. На выходе современного винтового компрессора концентрация масла в воздухе составляет 3 ~ 5 мг/м , а в поршневых компрессорах она может достигать 50 мг/м . При этом масло присутствует в воздухе не только в жидком, но и в парообразном состоянии. Напомним, что при сжатии воздух нагревается до температуры выше 100 °С, что и вызывает интенсивное испарение масла. Предельное содержание паров компрессорного масла в сжатом воздухе зависит от температуры. Например, при 80 °С оно составляет 60 ~ 100 мг/кг. Таким образом, в неохлажденном воздухе содержание испаренного масла может быть соизмеримо с содержанием масла в жидкой фазе. Аналогично воде, масло переходит из паровой фазы в жидкую по мере охлаждения воздуха. Как показано в рассмотренном выше примере, при сжатии воздуха выпадает значительное количество конденсата, которое зависит от содержания влаги в атмосферном воздухе, давления и температуры сжатого воздуха. При смешении водяного конденсата с маслом образуется водомасляная эмульсия, которая по мере укрупнения капель частично оседает на стенках трубопровода, а частично (в виде мелких капель) продолжает двигаться вместе со сжатым воздухом.

***Загрязнения воздуха в пневмомагистрали***

Конденсат, присутствующий в сжатом воздухе, вызывает коррозию трубопроводов. Образующиеся при этом частицы ржавчины, а также частицы окалины, имеющейся на стенках труб, увлекаются воздушным потоком.
Таким образом, в магистрали к уже имеющимся загрязнениям воздуха добавляются твердые частицы, большая часть которых (77%) имеет размер свыше 60 мкм. Содержание ржавчины и окалины в сжатом воздухе существенно зависит от качества трубопроводов. Так, при хорошем состоянии магистрали концентрация частиц не превышает 4 мг/м . В старых, сильно загрязненных магистралях концентрация частиц ржавчины и окалины может достигать 25 мг/м.

***Состояние воздуха, приходящего к потребителю***

С учетом вышеизложенного, можно представить примерный состав загрязнений сжатого воздуха, отводимого от магистрали к потребителю:

- максимальный размер твердых частиц: 60 мкм и более
- содержание твердых частиц: 5 ~ 25 мг/м
- содержание воды: до 10000 мг/м
- содержание масла: 3 ~ 50 мг/м
- химические загрязнения H SO и др.

Смесь этих загрязнений оказывает следующие виды вредных воздействий на пневмооборудование:

- физическое - (закупорка каналов, сопел и дроссельных элементов, смывание смазки, заклинивание подвижных элементов, абразивный износ, разрушение покрытий)
- химическое - (коррозия металлических деталей, разрушение резиновых уплотнений и красок)
- электролитическое - (разрушение контактирующих деталей, выполненных из разных материалов)

Во многих технологических процессах загрязнения воздуха могут привести к снижению качества выпускаемой продукции. Выхлоп загрязненного воздуха создает антисанитарные условия в производственных помещениях. Напомним, что до 80 процентов отказов пневматических систем происходят по причинам, связанным с загрязненностью воздуха.

## 2. Требования к качеству сжатого воздуха

Качество сжатого воздуха должно соответствовать решаемой задаче. Например, воздух, применяемый для пневмоинструмента в машиностроении, не требует столь тщательной очистки, как воздух, используемый в производстве медикаментов. Поэтому принято классифицировать сжатый воздух по степени его загрязненности. Для количественной оценки степени загрязненности воздуха используются следующие показатели:

- максимальный размер твердых частиц,
- массовое содержание твердых частиц в единице объема воздуха,
- массовое содержание воды (в жидком состоянии) в единице объема воздуха,
- массовое содержание масла в единице объема воздуха,
- точка росы, т.е. содержание воды в парообразном состоянии.

Классификация воздуха по степени загрязненности регламентируется ГОСТ 17433-80 «Сжатый воздух. Классы загрязненности» и стандартом ISO 8573- 1:2001(E) «Compressed air Part 1: Contaminants and purity classes». Рассмотрим каждый из этих стандартов отдельно.

Примечание: данный раздел следует рассматривать как комментарий к действующим стандартам, имеющий целью ознакомление с ними. Представленная здесь информация не претендует на исчерпывающую полноту и не заменяет оригинал.

### Классификация по ГОСТ 17433-80

Стандартом предусмотрены 15 классов загрязненности воздуха от 0 до 14 (таблица 1).

| Класс загрязненности | Размер твердотельных загрязнений, мкм, не более | Содержание посторонних примесей, мг/м³ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Твердые частицы | Вода (в жидком состоянии) | Масла (в жидком состоянии) |
| 0 | 0,5 | 0,001 | Не допускаются | |
| 1 | 5 | 1 | Не допускаются | |
| 2 | 5 | 1 | 500 | Не допускаются |
| 3 | 10 | 2 | Не допускаются | |
| 4 | 10 | 2 | 800 | 16 |
| 5 | 25 | 2 | Не допускаются | |
| 6 | 25 | 2 | 800 | 16 |
| 7 | 40 | 4 | Не допускаются | |
| 8 | 40 | 4 | 800 | 16 |
| 9 | 80 | 4 | Не допускаются | |
| 10 | 80 | 4 | 800 | 16 |
| 11 | Не регламентируется | 12,5 | Не допускаются | |
| 12 | | 12,5 | 3200 | 25 |
| 13 | | 25 | Не допускаются | |
| 14 | | 25 | 10000 | 100 |

**Таблица 1**

Класс 0 соответствует минимальной загрязненности. Остальные классы объединены в пары (1-2, 3-4, и т.д.). Требования по размеру и содержанию твердых частиц одинаковы для обоих классов, входящих в каждую пару. Однако требования по содержанию влаги (как в жидком, так и в парообразном состоянии) и масла существенно отличаются.

Для нечетных классов (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13) наличие воды и масла в жидком состоянии не допускается. Имеется также ограничение на содержание влаги в парообразном состоянии: точка росы для всех нечетных классов должна быть ниже минимальной рабочей температуры не менее чем на 10 °С. Более того, для классов 0 и 1 точка росы не должна быть выше -10 °С. Точка росы относится к воздуху, находящемуся под давлением.

Для четных классов (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14) допускается наличие воды и масла в жидком состоянии (см.таблицу), а точка росы не регламентируется.

Содержание масла в парообразном состоянии стандартом не регламентируется.

Содержание посторонних примесей указано в таблице для воздуха, приведенного к нормальным условиям: 1.013 бар и 20 °С.

Пример обозначения: **Воздух кл. 7 ГОСТ 17433-80**

## Классификация по стандарту ISO 8573-1

Стандарт предусматривает раздельную классификацию по каждому из трех показателей: размеру или содержанию твердых частиц, содержанию влаги и содержанию масла. Для первого показателя имеются 8 классов (таблица 2), для второго - 10 (таблица 3), для третьего - 5 (таблица 4).

**Таблица 2. Классификация по размеру или содержанию твердых частиц**

| Класс | Максимальное число частиц в 1 м³. Размер частиц d, мм | | | | Размер частиц, мкм | Содержание, мг/м³ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,10 | 0,10 ≤ d ≤ 5 | 0,5≤ d ≤ 1.0 | 1 ≤ d ≤ 5 | | |
| 0 | Меньше, чем по классу 1 - регламентируется поставщиком или пользователем оборудования | | | | - | |
| 1 | - | 100 | 1 | 0 | | |
| 2 | - | 100 000 | 1 000 | 10 | | |
| 3 | - | - | 10 000 | 500 | | |
| 4 | - | - | - | 1 000 | | |
| 5 | - | - | - | 20 000 | | |
| 6 | - | | | | 5 | |
| 7 | - | | | | 40 | 10 |

**Таблица 3. Классификация по содержанию влаги**

| Класс | Точка росы сжатого воздуха, °С |
|---|---|
| 0 | Ниже, чем по классу 1 - регламентируется поставщиком или пользователем оборудования |
| 1 | -70 |
| 2 | -40 |
| 3 | -20 |
| 4 | +3 |
| 5 | +7 |
| 6 | +10 |
| Содержание воды Cw (в жидком состоянии), г/м³ | |
| 7 | Cw ≤ 0.5 |
| 8 | 0.5 ≤ Cw ≤ 5 |
| 9 | 5 ≤ Cw ≤ 10 |

**Таблица 4. Классификация по содержанию масла**

| Класс | Общее содержание масла (в аэрозольном, жидком и парообразном состоянии), мг/м³ |
|---|---|
| 0 | Ниже, чем по классу 1 - регламентируется поставщиком или пользователем оборудования |
| 1 | 0,01 |
| 2 | 0,1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 5 |

Содержание посторонних примесей указано в таблицах для воздуха, приведенного к нормальным условиям: 1.013 бар и 20 °С.

Пример обозначения: **Класс чистоты сжатого воздуха ISO 8573-1 2.6.3**

Это следует понимать так:

- класс по твердым частицам, т.е. в 1 м содержится не более 100000 частиц с размером от 0,1 до 0,5 мкм, не более 1000 частиц с размером от 0,5 до 1,0 мкм и не более 10 частиц с размером от 1,0 до 5,0 мкм
- класс по влаге 6 , т.е. воздух, находящийся под давлением, имеет точку росы не выше +10 °С
- класс по маслу 3, т.е. в 1 м воздуха содержится не более 1 мг масла, причем это количество включает масло в виде аэрозоля, жидкости и пара.

Рациональный подход к подготовке воздуха заключается в соответствии качества воздуха требованиям решаемой задачи. Кажущаяся экономия на подготовке воздуха приводит к негативным результатам, т.к. учащаются сбои, отказы, простои на ремонт оборудования. С другой стороны, чрезмерная очистка воздуха не дает такого эффекта, который оправдал бы затраты на дополнительное оборудование подготовки воздуха.

В таблице перечислен ряд задач, решаемых с помощью пневматики, и указаны требуемые классы загрязненности воздуха.

| Задача | Класс загрязненности по ГОСТ 17433-80 |
|---|---|
| Пневмоинструмент | 7 - 10 |
| Пневмодвигатели | 5 - 12 |
| Охлаждение инструмента и обрабатываемой детали | 5 - 12 |
| Пескоструйная очистка | 11, 13 |
| Распыление красок для грубых окрасочных работ | 7, 9 |
| Распыление красок для покрасочных работ высокого качества | 1, 2, 3, 5 |
| Очистки и продувка деталей при сборке | |
| - в машиностроении, металлургии, литейном и строительном производстве | 5 - 12 |
| - в приборостроении, медицине, холодильный установках | 0 - 2 |
| - в электронике | 0 |
| Пневмоцилиндры, пневмораспределители, контрольно-регулирующая аппаратура | 5 - 10 |
| Изготовление и упаковка медикаментов и пищевых продуктов | 0, 1, 2 |

| | |
|---|---|
| Очистка сосудов для пищевых продуктов и лекарств, электронной аппаратуры и медицинского инструмента | 0 |
| Воздушная смазка подшипников и направляющих станков и приборов | 0, 1, 2, 3 |
| Подача воздуха для дыхания | 0 |
| Пневмотранспорт и перемещение напитков, продуктов питания, лекарственных препаратов | 0 |
| Пневматический измерительный инструмент | 0 |

Если сравнить эти требования с уровнем загрязненности воздуха в пневмомагистрали (см. выше), то становится совершенно очевидной необходимость подготовки воздуха для всех задач пневматики.

**Рекомендации по формированию схем подготовки воздуха**

1. Воздух, выходящий из компрессора, должен охлаждаться. Это может происходить естественным путем или с помощью специальных охладителей. Только после этого имеет смысл пропускать воздух через магистральный фильтр. В противном случае значительная часть воды и масла, находящаяся в парообразном состоянии, беспрепятственно пройдет через фильтр, а при дальнейшем охлаждении воздуха конденсируется в магистрали, образуя загрязнения.
2. Водоотделитель следует использовать совместно с магистральным фильтром, устанавливая водоотделитель после фильтра. Это обеспечивает максимальную эффективность очистки: твердые частицы, масло и основная часть воды задерживаются фильтром, а остатки воды задерживаются водоотделителем. Необходимо также иметь в виду, что даже после полной очистки воздуха от воды конденсат может появиться вновь, если температура воздуха продолжает падать. Поэтому водоотделитель следует устанавливать в той точке пневмомагистрали, где воздух имеет минимальную температуру.
3. Если все потребители воздуха, подключенные к пневмомагистрали, имеют одинаковые требования к его качеству, целесообразно производить централизованную подготовку воздуха. В этом случае необходимый уровень качества воздуха и маслораспыление обеспечиваются в магистрали, в то время как местная подготовка воздуха ограничивается стандартной фильтрацией и регулированием давления.
4. Если потребители имеют различные требования к качеству воздуха, магистральная подготовка обеспечивает только общий базовый уровень качества. Основная подготовка воздуха выполняется после отвода от магистрали в соответствии с требованиями конкретного потребителя. В этом случае определяющей является местная подготовка воздуха.
5. При выборе оборудования следует учитывать, для какой подготовки воздуха оно предназначено - магистральной (централизованной) или местной.

К устройствам магистральной подготовки воздуха предъявляются специальные требования:

- высокие расходные характеристики,
- минимальные потери давления,
- работоспособность в условиях повышенной загрязненности воздуха.

В свою очередь, устройства местной подготовки воздуха отвечают следующим требованиям:

- компактность размещения,
- возможность объединения в блоки в самых различных комбинациях и наличие соответствующих монтажных принадлежностей,
- простой доступ к каждому элементу для технического обслуживания.

Ввиду различий в требованиях оборудование для магистральной подготовки воздуха конструктивно отличается от аналогичного оборудования для местной подготовки. Так, магистральный фильтр, как правило, имеет площадь фильтрующего элемента, в 10 раз большую, чем фильтр, применяемый для местной подготовки воздуха при том же уровне расхода. Ёмкость резервуара для сбора конденсата у этих фильтров отличается в 5 - 6 раз. Кроме этого, в

магистральных фильтрах не применяется инерционная очистка воздуха, используемая в фильтрах местной подготовки.

Таким образом, несмотря на сходство функций, пневмоэлементы для магистральной и местной подготовки воздуха не всегда являются взаимозаменяемыми. Это, однако, не исключает возможности использования магистрального оборудования для местной подготовки воздуха, особенно при высоких расходах и сильной загрязненности воздуха, отводимого от магистрали.