

М. Вакар, ООО «Далва Консалтинг»

КОМПЛЕКСНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Сжатый воздух (СЖВ) сегодня является вторым по важности источником энергии после электричества для очень многих промышленных предприятий. СЖВ начинает свой путь в компрессоре, охлаждается, проходит стадию очистки и осушки, по сети доставляется до точек потребления, где и совершает полезную работу. На каж-

дом этапе производства СЖВ затрачиваются материальные и энергетические ресурсы, в результате его стоимость возрастает.

При применении этого источника энергии в металлургическом производстве необходимо обеспечивать стабильность ряда параметров: давления, объема, температуры, точки росы. В

случае когда стабильность данных параметров не обеспечивается, показатели бесперебойности, надежности, долговечности и эффективности работы пневмоисполнительных механизмов значительно снижаются.

Поскольку пневмоисполнительные механизмы сложно исключить из всего комплекса производства, их нестабильная работа влияет на эффективность всего процесса производства в целом.

По оценкам многих крупных предприятий, лишь 60% произведенного СЖВ поступает основным потребителям. Остальные 40% производимого СЖВ, а значит и потраченной для этого электроэнергии, теряются из-за следующих факторов:

- утечек в воздухопроводе, изношенных пневмопроводах;
- несанкционированно открытых дренажных кранов: чаще всего это отрезок воздухопровода, через который вместе с отводимой водомасляной эмульсией в атмосферу поступает драгоценный сжатый воздух;
- прочих источников утечек сжатого воздуха.

В конечном итоге эти непроизводительные потери удорожают само производство.

Таблица 1. Требования к качеству воздуха

Применение	Классы качества воздуха		
	Частицы	Влага	Остаточное содержание масла
Обычный сжатый воздух	4	4	5
Транспорт гранулированных материалов	3	4	3
Транспорт порошкообразных веществ	2	3	1
Транспорт пищи и напитков	2	3	1
Прессы	4	4	5
Упаковочные машины	4	3	3
Металлорежущие станки	4	3	5
Большие пневмодвигатели	4	4/1	5
Малые пневмодвигатели	3	3/1	3
Ручной пневмоинструмент	4	5/4	5/4
Дрели	4	5/2	5
Пистолеты-распылители	3	3/2	3
Пневмоцилиндр	3	3	5
Строительная промышленность	4	5	5
Добывающая промышленность	4	5	5
Пленочная индустрия	1	1	1



В качестве примера можно привести следующий расчет. Через отверстие диаметром в 1 мм при давлении 6 бар в атмосферу поступает 65 л/мин СжВ, при диаметре отверстия 10 мм в атмосферу поступает 6,5 м³/мин (390 м³/час) СжВ. На производство этого объема потребляется ориентировочно 37 кВт·ч. С учетом того, что на заводе длина воздухопровода может измеряться километрами, можно только догадываться, сколько электроэнергии тратится впустую.

Сжатый воздух, при халатном отношении к его использованию, из источника энергии может превратиться для потребителей в источник проблем. Это регулярный ремонт воздухопровода, частый выход из строя пневмоисполнительных механизмов, прогрев (в зимний период) замерзшего воздухопровода, а следовательно, прямое выделение капельного конденсата в огромных количествах внутри воздухопровода. Перечисленные затруднения приводят к тому, что на основную стоимость производства накладываются дополнительные затраты, которых можно было бы избежать.

Модернизация компрессорных станций, комплексов подготовки СжВ — единственное верное и необходимое решение вопроса снижения затрат на применение СжВ на производстве. Срок окупаемости комплекса подготовки СжВ сравнительно невысок: от 1 до 3 лет в зависимости от исполнения инженерного решения.

Применение современных центробежных компрессоров с системой плавного регулирования производительности обеспечивает потребление электроэнергии в соответствии с реальным расходом СжВ. Грамотно рассчитанный

и спроектированный комплекс подготовки СжВ позволяет использовать произведенный СжВ на 100%. При этом обеспечиваются стабильные параметры, что продлевает жизненный цикл пневмоисполнительных механизмов. В целом оптимально рассчитанное решение вопроса подготовки СжВ и его реализация могут сэкономить до 70% затрат на его производство!

Подобные решения уже не первый год применяются на многих металлургических и алюминиевых производствах. Их эффективность можно определить косвенным путем, а именно по частоте ремонта пневмоисполнительных механизмов, сроку их работы и смете затрат.

Компания Donaldson Ultrafilter AG (российское представительство — фирма «Далва консалтинг») отлично зарекомендовала себя в металлургической промышленности на таких предприятиях, как SAPA (Швеция), Elkem Aluminium, Elkem Mangan (Норвегия), Huta Aluminium «Konin», Austria Aluminium (Германия), Alfer Aluminium (Германия), Thyssen Krupp Stahl GmbH (Германия), Выксунский металлургический завод (Россия), Николаевский глиноземный завод (Украина), ИрКАЗ (Россия), Пикалевский Глинозем (Россия), ВСМПО (Россия). Это далеко не полный пере-

чень заводов, на которых были найдены индивидуальные эффективные решения по подготовке СжВ.

На первой стадии проектирования пневмосистемы предприятия рассчитывается необходимое максимальное давление и общий расход СжВ. Решение задач второго этапа связано с определением целесообразности объединения потребителей в одну или несколько линий в зависимости от необходимого давления и качества воздуха, которое обеспечивается системой фильтрации и осушки.

Нередко различные потребители сжатого воздуха требуют различного давления. Например, для пресса нужно 12 бар, для краскопульта и распылителя — 6 бар и т.д. Объединение их в одну линию с необходимым верхним пределом давления крайне неэкономично, поскольку стоимость выработки высокобарного воздуха обычно высока. Каждый избыточный 1 бар давления увеличивает удельные энергозатраты на 6—8%.

РАЗДЕЛЯЙ И ЭКОНОМЬ

Каким может быть оптимальное решение? Возможны два варианта. Если потребители СжВ с требованиями к давлению, отличающимися от требований к

Таблица 2. Классы качества сжатого воздуха

Класс	Размер частиц, мкм	Концентрация, мг/м ³	Содержание масла, мг/м ³	Точка росы, °С
1	0,1	0,1	0,01	-70
2	1	1	0,1	-40
3	5	5	1	-20
4	40	10	5	3
5	—	—	25	7
6	—	—	—	10

остальному оборудованию, немногочисленны, можно провести децентрализацию пневмосистемы, включив в ее состав компрессоры стандарта «Work place». В других случаях прибегают к построению пневмосистемы из двух или более линий. Для таких случаев в теории и практике компрессоростроения есть два правила. Первое: можно объединять в одну линию потоки СжВ, отличающиеся по давлению не более чем на 1 бар. Второе: если поток более низкого качества (здесь имеется в виду и давление, и степень очистки СжВ) составляет более 15% от общего потока, пневмолинии следует разделить, в остальных случаях разделение линий не всегда оправдано экономически. Подчеркнем, что, говоря о «правиле 15%», мы учитываем не только давление, но и качество воздуха. Может случиться так, что потребители воздуха с примерно одинаковым давлением совершенно несовместимы по своим требованиям к размеру частиц и остаточному содержанию масла, температуре точки росы и т.д. Учитываемые на практике требования к качеству воздуха для некоторых видов оборудования и технологий представлены в табл. 1. В качестве критериев качества сжатого воздуха использованы данные Pneugor 6611 и DIN ISO 8571, представленные в табл. 2.

Было бы неэкономичным создавать общую пневмолинию в расчете на самое высокое качество воздуха. Часто именно по этой причине и производят СжВ различной степени очистки по отдельности, и разделение происходит на основе «правил 15%».

КАПЛИ ВОДЫ

При сжатии компрессор вместе с воздухом всасывает все примеси: пыль, влагу, пары масла, химикатов и т.д. Загрязнения, которые были распределены в 10 м³, концентрируются в 1 м³ сжатого воздуха. В нем они присутствуют даже несмотря на фильтры, встраиваемые на входе компрессора, то есть на всасывании. Поэтому в пневмосистеме необходимы средства очистки, такие как циклонные сепараторы, конденсатоотводчики, рефрижераторные и адсорбционные осушители, различные фильтры. Наиболее серьезную проблему представляет влажность, поскольку в воде растворяются практически все примеси, содержащиеся в воздухе. Получившаяся в результате этого раствора агрессивная смесь вызывает коррозию в компрессоре и трубопроводах, а окисляющиеся частицы и продукты коррозии переносятся к оборудованию, потребляющему СжВ, вызывая его преждевременный износ.

Как правило, влага в самом компрессоре не конденсируется благодаря повышению температуры воздуха в процессе сжатия. Производители компрессоров учитывают это явление и проектируют машины для рабочих температур около 80 °С.

Влага в СжВ — это капли жидкости и пар. Отделение капельной влаги происходит в циклонном сепараторе, установленном на выходе компрессора. СжВ с капельками воды попадает в циклон, где он вовлекается во вращательное движение с высокой скоростью. Под воздействием центробежных сил капельки жидкости оседают на стенках сепаратора и стекают в коллектор, оборудуемый конденсатоотводчиком. При проектировании рекомендуется расположить циклонный сепаратор с требуемой пропускной способностью так, чтобы он был доступен для обслуживания.

Появление конденсата связано и с утечками воздуха из компрессора, ресивера, осушителя и фильтров. Для слива конденсата применяют различные устройства: ручные, поплавковые, таймерные и электронные. Основным преимуществом электронных систем является встроенная система измерения уровня жидкости в приемной камере, благодаря которой они не допускают ни малейшей потери СжВ, открывая клапан только для слива жидкости. Низкая стоимость делает наиболее популярными поплавковые и таймерные устройства.

Конденсатоотводчики обязательно комбинируются с концевыми охладителями, фильтрами, осушителями, а также устанавливаются в местах возможного выпадения конденсата.

СБОР И ОБРАБОТКА КОНДЕНСАТА

Основная масса компрессоров работает со смазкой и охлаждением маслом, что неизбежно приводит к загрязнению им конденсата. Экологические нормы постоянно ужесточаются, поэтому все компрессорные фирмы предлагают водно-масляные сепараторы для обработки конденсата перед сбросом его в канализацию. В их работу заложены три принципа: флотация, абсорбция и мембранная фильтрация. В простых и дешевых системах конденсат сбрасывается во флотационную камеру, где отделяется крупнокапельное масло, далее протекает сквозь волокнистый материал, поглощающий частички масляной эмульсии, и окончательно очищается в угольной секции. Естественно, такая система требует периодической смены пакетов-картриджей с волокнистым материалом и активированным уг-

лем. В более дорогих системах после флотации окончательная очистка производится высоконапорной микрофильтрацией через пористую керамическую мембрану. Серия ultraaqua auto-clean® фирмы Donaldson Ultrafilter с самоочищающейся мембраной предназначена для компрессорных станций от 90 кВт до 3 МВт.

ОСУШКА ВОЗДУХА

При сжатии в компрессоре воздух сильно нагревается, поэтому во вспомогательное оборудование включают охладители и доохладители. Собственно осушка начинается после циклонного сепаратора, где влага, содержащаяся в сжатом воздухе в виде пара, не могла быть удалена механическим путем.

ОСУШКА С ОХЛАЖДЕНИЕМ

Главная цель процесса осушки с охлаждением — понизить температуру СжВ до уровня конденсации находящейся в нем в виде пара жидкости. Температура, при которой начинает конденсироваться содержащийся в сжатом воздухе водяной пар, называется «точкой росы».

Рефрижераторные осушители, как правило, полностью собраны и укомплектованы изготовителем. Существуют рефрижераторные осушители различных размеров, отличающиеся мощностью, объемным расходом, температурой точки конденсации влаги. Диапазон производительности по объемному расходу таких осушителей (например, фирмы Donaldson Ultrafilter) лежит в пределах от 10 до 25000 м³/час и более. Очевидно, что с увеличением объемного расхода увеличивается потребность и в мощности встроенной холодильной машины. Основные параметры, учитываемые при выборе рефрижераторного осушителя, таковы: объемный расход воздуха, давление на входе, температура на входе, температура на выходе, точка росы под давлением, температура окружающей среды/хладагента, потребляемая мощность, перепад давления.

Считается, что использование рефрижераторных осушителей экономически выгодно в 90% случаев. Эксплуатационные расходы и затраты энергии при этом способе осушки ниже, чем при использовании других процессов осушения СжВ.

Однако применение осушителей, основанных на принципе охлаждения, имеет свои ограничения. При отрицательных температурах (если температура окружающей среды ниже температуры замерзания воды) для надеж-

ной защиты трубопроводов и клапанов от замерзания необходимо использовать адсорбционный осушитель. При этом и том же объемном расходе воздуха осушитель потребляет меньше энергии с ростом рабочего давления и при повышении точки росы. Больше энергии потребляется с ростом температуры сжатого воздуха на входе и с ростом температуры хладагента. Для определения необходимой точки росы полезно учитывать минимальную температуру окружающей среды, в которой будет находиться линия сжатого воздуха. Если температура точки росы всего на несколько градусов ниже минимальной температуры окружающего воздуха, то образование конденсата в оборудовании исключено. Выбор слишком низкой точки росы ведет к повышенным затратам и не всегда оправдан экономически.

При проектировании пневмосистем с рефрижераторными осушителями следует иметь в виду, что высокая температура в компрессорной станции может быть причиной снижения их производительности по сравнению с заявленной изготовителем.

АДСОРБЦИЯ

В отличие от рефрижераторных осушителей воздух при адсорбционной осушке не охлаждается. Влага удерживается на поверхности гранул осушающего вещества — адсорбента. Сам процесс адсорбции не требует затрат энергии, она необходима только для восстановления (регенерации) адсорбента, то есть для удаления осажденной на его поверхности влаги. Так как для процесса регенерации необходимо время, адсорбционный осушитель состоит из двух сосудов: в одном воздух осушается, а в другом адсорбент регенерируется.

Для восстановления адсорбента на практике используются два способа: холодная и горячая регенерация.

При холодной регенерации часть потока сжатого осушенного воздуха направляется в сосуд с адсорбентом, где он поглощает и выносит влагу. Этот воздух — отработанный, и в систему он больше не возвращается. Поэтому при проектировании пневмосистемы осушитель учитывают в качестве дополнительного потребителя сжатого воздуха. Чередующиеся циклы регенерации длятся от 3 до 10 минут.

Конструкция осушителей с холодной регенерацией надежна и проста, и они могут быть спроектированы для достижения более низких (до -80°C) значений точки росы, чем осушители, использующие для восстановления ад-

сорбента горячий способ. Однако они нуждаются в большом объеме СжВ, что приводит к увеличению эксплуатационных расходов. К сказанному можно добавить, что потери СжВ на регенерацию адсорбента — величина достаточно постоянная, но ее доля в общем объеме потребляемой энергии может существенно меняться. Обычно на регенерацию адсорбента расходуется около 15% от номинальной производительности осушителя с холодной регенерацией. При оптимальной загрузке компрессора (например, $1000\text{ м}^3/\text{час}$) потери составят те же 15% от всей потребляемой энергии. Если же общая потребность в СжВ снизилась вдвое-втрое, то доля потерь составит уже 30—45%. Поэтому целесообразно выключать осушитель (точнее, остановить смену циклов) при остановках компрессора или при его работе в режиме холостого хода. Практически все модели осушителей Donaldson Ultrafilter снабжены такой функцией. Именно для того, чтобы свести фактический расход сжатого воздуха к оптимальным значениям, осушитель необходим блок управления.

При горячей регенерации для осушки адсорбента используется горячий воздух. Адсорбционные осушители с горячей регенерацией, как правило, имеют самостоятельную систему продувки адсорбента — специально для того, чтобы исключить потребление СжВ от компрессора. При этом процессе, в зависимости от типа адсорбента, необходима температура от 150 до 300°C .

Если в осушителях с холодной регенерацией используется алюмогель или так называемая активированная глина, в «горячих» осушителях применяют силикаты, силикагель или двуокись кремния. Адсорбционная емкость, то есть способность поглощать влагу, резко падает с увеличением температуры. Например, при одном и том же расходе СжВ размер осушителя, рассчитанного на входную температуру 45°C , окажется в 2 раза большим (и такой осушитель будет в 2 раза дороже), чем для температуры в 35°C ! В этом случае выгоднее поставить дополнительный охладитель после компрессора. Силикаты более чувствительны к температуре входящего воздуха. Верхний предел использования осушителей с горячей регенерацией составляет 40 — 45°C . Адсорбент может выдержать от 2000 до 4000 циклов регенерации. Промежутки циклами между автоматическими циклами регенерации составляет от 4 до 8 часов. На способность адсорбента поглощать влагу влияют: окисление, вызывающее утрату влагопоглощающих свойств; уменьшение поверх-

ности гранул адсорбента; загрязнение масляными частицами.

Эксплуатация адсорбционных осушителей с горячей регенерацией более экономична, и при больших расходах СжВ (начиная с 300 — $1000\text{ м}^3/\text{мин}$) дополнительные инвестиции на более дорогое оборудование окупаются за сроки менее 1,5 лет.

При выборе адсорбционного осушителя учитывают его эксплуатационные параметры: точку росы под давлением, максимальную температуру сжатого воздуха на входе, максимальный объемный расход сжатого воздуха и минимальное рабочее давление.

Чем ниже необходимая точка росы под давлением, тем больше энергии требуется для ее достижения. Эта энергия в основном определяет стоимость осушки. Для большинства технологических процессов и оборудования более чем достаточно точки росы -25°C . Более того, вполне приемлема температура и на 2 — 3 градуса выше. Но осушка при такой температуре обычно применяется в том случае, если речь идет о компрессоре «все в одном». Если же говорить о протяженных пневмопроводах — неотъемлемой составляющей компрессорных цехов, то для них предпочтительнее более низкие значения точки росы. Иначе резко возрастает вероятность коррозии в пневмопроводах и оборудовании.

О важности роли температуры СжВ на входе дают представление такие цифры: возрастание температуры с 35 до 45°C , то есть всего на 10°C , приводит к увеличению влаги в сжатом воздухе на 70%.

Максимальный объемный расход (иначе говоря, пропускная способность) влияет на уровень давления. Следствием выбора слишком маленького осушителя являются потери давления при больших потоках СжВ. В отношении рабочего давления существует такая зависимость: при меньшем давлении необходим больший осушитель, и наоборот. Речь в этом случае идет об одном и том же количестве СжВ.

Donaldson Ultrafilter имеет в своей программе несколько серий осушителей с различной конфигурацией цикла горячей регенерации. Большое многообразие моделей призвано обеспечить максимально экономичное решение для любых конкретных условий. Для безмасляных компрессоров (турбо и «сухих винтов») применяется модель с регенерацией от тепла компрессии, то есть работающая от «бесплатного» тепла. Некоторые модели гарантированно обеспечивают точку росы -40°C даже в условиях тропического климата.

Существуют две разновидности блоков управления: таймерные и контроллеры точки росы. Таймерные блоки включают осушитель только тогда, когда компрессор работает с нагрузкой. Периодичность циклов регенерации фиксированная. Контроллеры точки росы регулируют работу осушителя на основе оценки качества сжатого воздуха на выходе, а конкретнее — точки росы. Такие контроллеры совершеннее таймерных, и ими практически стандартно комплектуются осушители Donaldson Ultrafilter большого размера, но на маленьких моделях их пока применяют редко по причине высокой стоимости.

ФИЛЬТРАЦИЯ

Фильтры и сепараторы, применяемые в технологии очистки сжатого воздуха, могут классифицироваться по различным параметрам:

- назначение (всасывающий фильтр, промежуточный, стерильный и т.д.);
- способ фильтрации (пористый фильтр, мембранный и т.д.);
- фильтрующий материал (тканевый фильтр, бумажный, волоконный, спеченные фильтры из частиц металла, керамики, пластика);
- качество (тонкость) фильтрации в зависимости от применяемого фильтроэлемента.

Например, в классификации фирмы Donaldson Ultrafilter имеются следующие фильтры.

■ PE — фильтроэлемент для очистки от твердых пылевых частиц сжатого воздуха. Материал — пластик, удерживающая способность для частиц размером более 5 или 25 мкм — 100%.

■ SB — фильтроэлемент для грубой очистки. Материал — спеченная бронза, регенерируемый, удерживающая способность для частиц более 5 или 25 мкм — 100%.

■ FF — фильтроэлемент для тонкой очистки сжатого воздуха. Материал — микрофибра, задерживающая 99,999% частиц размером 0,01 мкм. Остаточное содержание масла после фильтрации — 0,1 мг/м³ (0,1 промиле).

■ MF — фильтроэлемент для тонкой очистки. Материал — микрофибра, задерживающая 99,99998% частиц размером 0,01 мкм. Остаточное содержание масла составляет 0,03 мг/м³.

■ SMF — фильтроэлемент для тонкой очистки. Материал — микрофибра, которая задерживает 99,99999% частиц размером 0,01 мкм, остаточное содержание масла — 0,01 мг/м³.

■ АК — фильтроэлемент для устранения запахов. Материал — активированный уголь. Остаточное содержание масла менее 0,003 мг/м³.

Корпуса фильтров, в зависимости от требуемой производительности (до 40000 м³/час) и рабочего давления, изготавливаются из алюминия, углеродистой или нержавеющей стали. Все они оборудованы индикатором загрязненности фильтроэлемента — дифманометром, а также механическим или электронным конденсатоотводчиком. Модификация superplus® оборудована дифманометром-экономайзером. Это не сложное, но эффективное устройство на основании записанных в него данных о мощности компрессоров, стоимости электроэнергии и сменных фильтроэлементов показывает экономически оптимальный срок замены элемента. Алгоритм несложен: сравнивается стоимость дополнительной энергии, потраченной компрессором на преодоление сопротивления фильтра, со стоимостью нового фильтрующего элемента.

Строго говоря, из СжВ можно удалить все включения. Вопрос в другом: всегда ли стоит это делать? При проектировании системы фильтрации СжВ следует руководствоваться правилом: очищать столько, сколько нужно, но не более того. Тщательная фильтрация воздуха резко удорожает эксплуатационные расходы. Например, дорогостоящие

фильтры очень тонкой очистки быстро засоряются загрязняющими компонентами атмосферного воздуха, в результате чего резко падает давление в системе. Кроме того, если при проектировании системы необходимо предусмотреть только фильтры тонкой очистки, результат будет таким же. Поэтому следует перед тонкой фильтрацией очищать сжатый воздух от более крупных включений.

О том, в какой последовательности лучше располагать оборудование для очистки воздуха, об устройстве компрессорной станции и пневмолиниях, о ресиверах и других компонентах пневмосистем будет рассказано в следующем номере журнала.

В итоге с уверенностью можно сказать следующее: рассматривая СжВ в производстве как энергоноситель, нельзя не учитывать вопросы, связанные с его подготовкой. Лишь решая эти вопросы в комплексе, можно добиться значительного снижения (в некоторых случаях на 70%) затрат на производство СжВ, обеспечить полноценное, грамотное его потребление, что в свою очередь позволяет сократить производственные затраты.

**ВОЗДУХ весит мало,
но решение
должно быть
взвешенным!**

ALUP
Kompressoren

ultrafilter
international

ELLIOTT

ENGELHARD

J.P. SAUER & SOHN
MASCHINENBAU GMBH

DALVA



www.dalva.ru
e-mail: dalva@dalva.ru
(095) 937-7107