

# Пневмотехника

Основы, советы и рекомендации



# Известны ли Вам, ваши затраты на сжатый воздух?

Если Вам нужен точный ответ на этот вопрос, мы поможем провести анализ потребления сжатого воздуха (ADA).

Более подробную информацию Вы найдете в главах 11 – 13 или в нашем проспекте «Анализ и консультации».



Дополнительную информацию и вспомогательные средства для правильного планирования Вашего производства сжатого воздуха Вы найдете в Интернете на сайте:

[www.kaeser.de](http://www.kaeser.de)

> услуги

> консультации и анализ



# Содержание

- 04** 1. Что такое сжатый воздух?
- 06** 2. Экономичная подготовка сжатого воздуха
- 08** 3. Почему необходимо осушение сжатого воздуха?
- 10** 4. Правильный отвод конденсата
- 12** 5. Надежная и экономичная обработка конденсата
- 14** 6. Эффективное управление компрессорами
- 16** 7. Управление посредством регулирования диапазона давления:  
оптимальное согласование компрессоров в зависимости от потребления
- 18** 8. Экономия энергии благодаря системе рекуперации тепла
- 20** 9. Предотвращение потерь электроэнергии (1):  
планирование новой пневмосети
- 22** 10. Предотвращение потерь электроэнергии (2):  
реконструкция пневмосети
- 24** 11. Правильное планирование компрессорной станции (1):  
анализ потребления сжатого воздуха (ADA)
- 26** 12. Правильное планирование компрессорной станции (2):  
разработка наиболее экономичной концепции
- 28** 13. Правильное планирование компрессорной станции (3):  
анализ потребления сжатого воздуха – исследование фактической ситуации
- 30** 14. Правильное планирование компрессорной станции (4):  
эффективное охлаждение компрессорных станций: воздушное охлаждение
- 32** 15. Правильная эксплуатация пневмосистемы:  
надежность и оптимизация затрат на долгосрочной основе

Отношение к сжатому воздуху ничем не отличается от остальных сфер жизни: часто проблемы скрыты в мелочах, которые поначалу выглядят не заслуживающими внимания пустяками, как в

# 1. Что такое сжатый воздух?

положительном, так и в отрицательном смысле. Кроме того, при более пристальном рассмотрении некоторые вещи оказываются совсем не такими, как на первый взгляд. Так например, при невыгодных условиях сжатый воздух будет стоить дороже, и наоборот, правильно подобранные условия могут стать залогом экономичности. Возможно поэтому наши советы окажутся для Вас более полезными, чем рекомендации Вашего консультанта по инвестициям. В первой главе речь идет об объяснении четырех понятий пневмотехники, и на что следует обратить особое внимание в этой связи.



Номинальная мощность двигателя

производительности осуществляется следующим образом: сначала на входе установки измеряют температуру, атмосферное давление и влажность воздуха. Далее следует измерение максимального рабочего давления, температуры сжатого воздуха и объема воздуха на выходе компрессорной установки. В заключение, измеренный на выходе объем  $V_2$ , с помощью уравнения состояния идеального газа (см. график 1) пересчитывают на условия всасывания. В результате данного расчета получают производительность компрессорной установки. Ее не следует путать с производительностью компрессорного блока.

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{T_2 \times P_1}$$

**Примечание:** Производительность блока определяется только стандартами DIN 1945 и ISO 1217. Это относится также и к ранее существующему стандарту CAGI-Pneurop PN 2 CPTC 1.

## 2. Отдаваемая мощность двигателя

Под отдаваемой мощностью двигателя понимают механическую мощность, отдаваемую на вал компрессора. Оптимальное значение отдаваемой мощности, при котором без перегрузки двигателя достигается оптимальный КПД и коэффициент мощности  $\cos \phi$ , находится в пределах номинальной мощности двигателя. Оно указывается на фирменной табличке электродвигателя.

**Внимание!** При значительном отклонении отдаваемой мощности от номинальной мощности двигателя, компрессор работает не экономично и подвержен повышенному износу.

## 3. Удельная мощность

Удельной мощностью компрессора называют отношение между потребляемой электрической мощностью и количеством воздуха на выходе при соответствующем рабочем давлении. Потребляемой электрической мощностью является сумма потребляемых мощностей всех приводных механизмов компрессора, например, главного двигателя, двигателя вентилятора, двигателя масляного насоса, системы подогрева и т.д.. При расчете экономичности, удельная мощность относится ко всей компрессорной установке и мак-

симальному рабочему давлению. При этом значение общей электрической потребляемой мощности при максимальном давлении делится на значение производительности установки при максимальном давлении.

## 4. Потребляемая электрическая мощность

Потребляемая электрическая мощность – мощность, потребляемая от электросети приводным двигателем компрессора при определенной механической нагрузке на валу двигателя (отдаваемая мощность двигателя). Она превышает отдаваемую мощность двигателя на величину потерь двигателя. К потерям двигателя относятся как электрические, так и механические потери, вызванные работой механических узлов и системы воздушного охлаждения. Идеальная потребляемая электрическая мощность в номинальной точке «Р» рассчитывается по формуле:

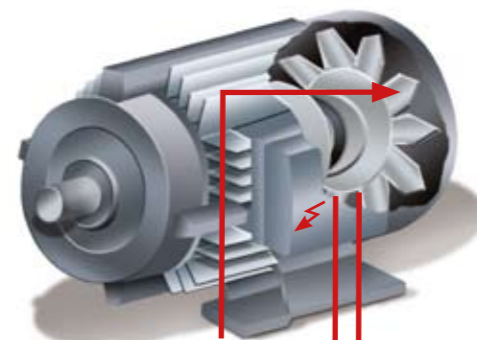
$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

$U_n$ ,  $I_n$  и  $\cos \phi_n$  указаны на фирменной табличке электродвигателя.

## 5. ЕРАСТ – новая формула с низким энергопотреблением

Предпринятые в США попытки снизить энергопотребление асинхронных трехфазных двигателей привели к принятию в 1997 году «Акта об энергетической политике» (Energy Policy Act, сокр. ЕРАСТ). Начиная с 1998 года, фирма KAESER поставляет на Европейский рынок винтовые компрессоры с двигателями, отвечающими строгим требованиям данного стандарта. «ЕРАСТ – двигатели» отличаются существенными преимуществами:

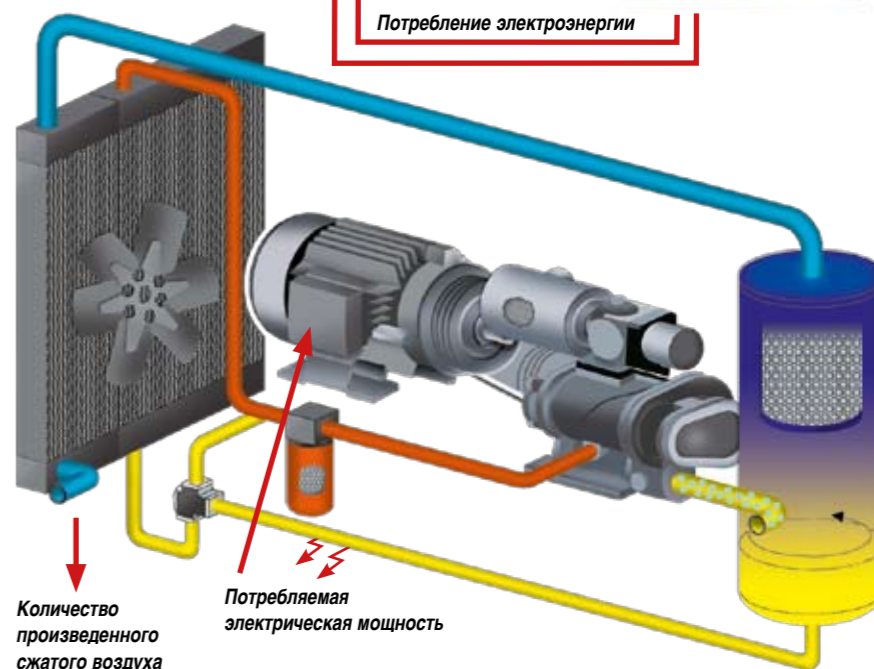
**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН



Внутренние потери двигателя учтены в КПД



Потребление электроэнергии



Количество произведенного сжатого воздуха

Потребляемая электрическая мощность

### а) Низкая рабочая температура

Внутренние потери маленьких двигателей, возникающие вследствие нагрева и трения, могут составлять до 20 % от потребляемой мощности, а у двигателей 160 кВт и более 4–5%. Двигатели ЕРАСТ греются значительно меньше, что позволяет снизить тепловые потери. Например, в обычном двигателе при нормальной нагрузке повышение рабочей температуры составляет примерно 80 К при температурном резерве 20 К по сравнению с классом изоляции F, увеличение температуры двигателя ЕРАСТ в тех же условиях составляет всего лишь около 65 К при температурном резерве 40 К.

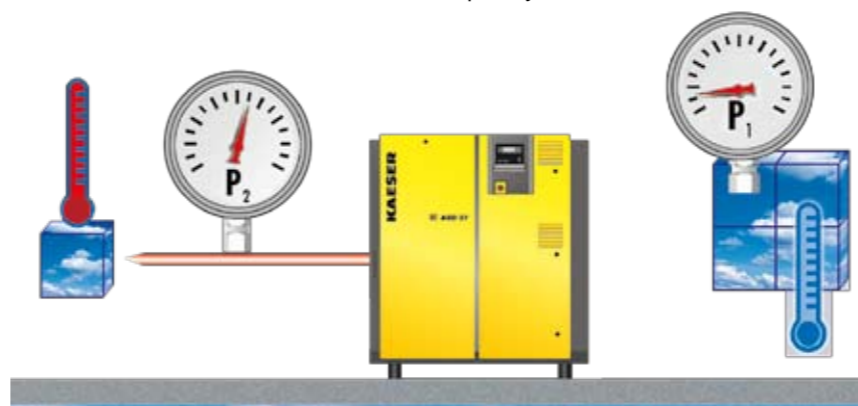
### б) Увеличение срока службы

Снижение рабочей температуры означает уменьшение температурной нагрузки на двигатель, подшипники и клеммную коробку. Это обуслови-

вает второе преимущество – более продолжительный срок службы двигателя.

### в) На 6 процентов больше сжатого воздуха с меньшими затратами энергии

Уменьшение потерь тепловой энергии является не последним фактором, ведущим к увеличению экономичности. Таким образом, благодаря точному согласованию компрессоров с двигателями, отвечающими стандарту ЕРАСТ, фирма KAESER добилась увеличения производительности установок на 6%, а улучшения удельной мощности на 5%. Это означает: высокую производительность, кратковременные включения компрессора и уменьшение энергозатрат на произведенный кубический метр сжатого воздуха.



На протяжении многих лет ведется спор между экспертами о наиболее экономичной системе подготовки сжатого воздуха. Суть их выражается в вопросе: «Какая компрессорная станция способна

## 2. Экономичная система подготовки сжатого воздуха

производить безмасляный сжатый воздух наиболее экономично?» Независимо от высказываний отдельных производителей бесспорно одно, сегодня возможно производство сжатого воздуха высшего качества без содержания масла, как с безмасляными компрессорами, так и с компрессорами масляного охлаждения или с охлаждающей жидкостью. Поэтому решающим при выборе системы должен быть фактор экономичности.

### 1. Что значит «безмасляный сжатый воздух»?

Согласно ИСО стандарта 8573-1 сжатый воздух считается безмасляным, если содержание масла (включая масляные пары) составляет менее 0,01 мг/м³. Это примерно четыре сотых от того, что содержится в атмосферном воздухе. Данное количество настолько мало, что его невозможно определить. Как быть с качеством воздуха, который всасывается компрессорами?

Разумеется, качество в значительной степени зависит от окружающих условий. Даже в зонах нормального загрязнения содержание в

воздухе углеводородов, образующихся вследствие промышленных выбросов и транспорта, может составлять 4 – 14 мг/м³. В промышленных зонах, где масла используются в процессе производства, смазки или охлаждения, содержание одного только минерального масла может превышать 10 мг/м³. Сюда же следует добавить другие загрязнения: диоксид серы, сажу, частицы металлов и пыли.

### 2. Почему необходима подготовка воздуха?

Каждый компрессор, независимо от конструкции, работает как гигантский пылесос, т. е. всасывает загрязненный воздух, сжимает его и при отсутствии подготовки передает непосредственно в пневмосеть.

#### а) Качество сжатого воздуха «безмасляных компрессоров»

В особенности это относится к компрессорам с безмасляным сжатием. Из-за загрязнений, перечисленных в пункте 1, компрессор, оборудованный одним 3-х микронным пылездерживающим фильтром, не может производить сжатый воздух без содержания масла. Безмасляные компрессоры не имеют других компонентов подготовки воздуха, кроме упомянутого пылездерживающего фильтра.

#### б) Качество сжатого воздуха, производимого компрессором масляного охлаждения

В компрессорах, охлаждаемых компрессорным маслом и охлаждающей

жидкостью, агрессивные вещества нейтрализуются охлаждающей жидкостью (маслом), а твердые частицы вымываются. При данном способе сжатия подготовка воздуха также необходима, несмотря на более высокую степень чистоты получаемого сжатого воздуха. Независимо от способов сжатия (безмасляный или масляный) невозможно достичь качества сжатого воздуха без содержания масла согласно ISO 8573-1.

### в) Основы осушения сжатого воздуха

Основу любой системы подготовки составляет достижение необходимой степени осушения сжатого воздуха в соответствии с областью его применения. В большинстве случаев холодоосушение является наиболее экономичным решением (см. главу «Почему необходимо осушение сжатого воздуха?», стр. 9).

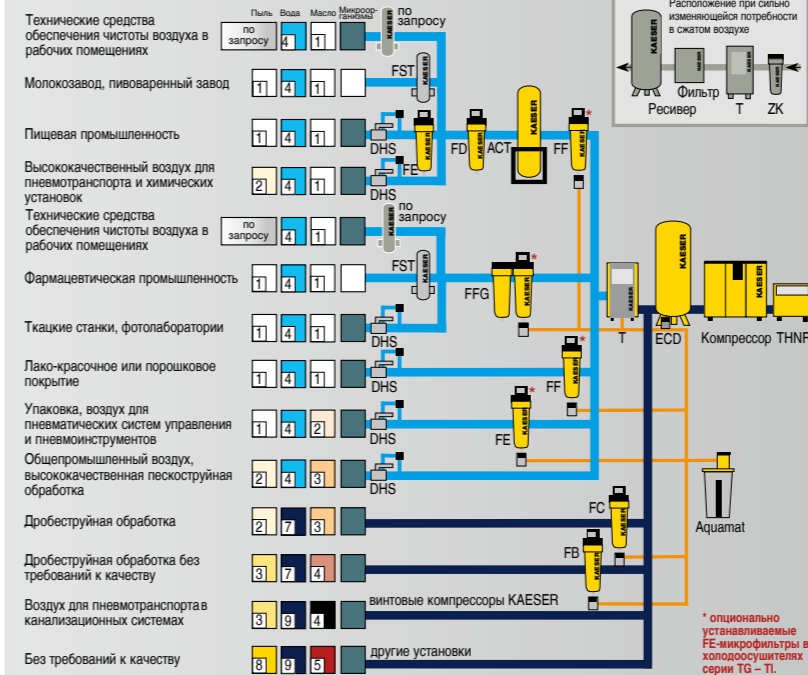
### 3. Правильный выбор компрессорной системы

Основным критерием при выборе компрессорных систем, как масляных, так и безмасляных, должно быть не качество воздуха, достигаемое той или иной компрессорной системой, а ее экономичность. Этот показатель определяется, прежде всего, энергозатратами и стоимостью сервисного обслуживания, причем доля этих затрат может составлять до 90% стоимости сжатого воздуха. Львиная доля 75 – 85% приходится на энергозатраты. Так, в диапазоне низкого давления от 500 мбар (а) до

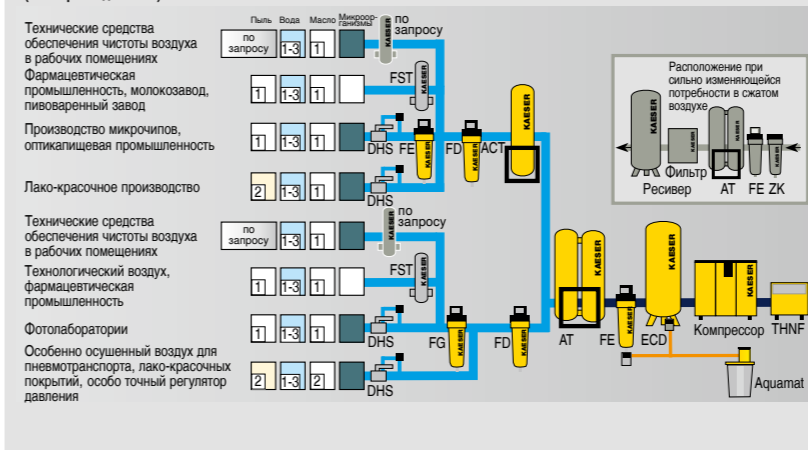
### Выберите в зависимости от назначения/применения необходимую степень очистки:

Подготовка сжатого воздуха с помощью холодоосушителя (точка росы + 3 °C)

Примеры применения: выбор степени подготовки согласно ISO 8573-1<sup>1</sup>



Для незащищенных от мороза сетей сжатого воздуха: подготовка сжатого воздуха с помощью адсорбционного осушителя (точка росы до -70 °C)



### Пояснения:

- THNF = Тканый воздушный фильтр для очистки пылесодержащего и сильно загрязненного всасываемого воздуха
- ZK = Циклонный сепаратор для отделения конденсата
- ECD = ECO-DRAIN электронно-управляемое устройство отвода конденсата
- FB = Предварительный фильтр
- FC = Предварительный фильтр
- FD = Фильтр дополнительной очистки (продукты истирания)
- FE = Микрофильтр для отделения паров масла и частиц твердых веществ
- FF = Микрофильтр для отделения масляных аэрозолей и частиц твердых веществ
- FG = Угольный фильтр для поглощения паров масла
- FFG = Комбинация: Микрофильтр – Угольный фильтр
- T = Холодоосушитель для осушения сжатого воздуха, точка росы до +3 °C
- AT = Адсорбционный осушитель для осушения сжатого воздуха, точка росы до -70 °C
- ACT = Адсорбер на активированном угле для поглощения паров масла
- FST = Стерилизационный фильтр для сжатого воздуха без микроорганизмов
- Aquamat = Система обработки конденсата
- DHS = Система поддержания давления

Инеродные вещества в сжатом воздухе:

1	Пыль –
2	Вода/Конденсат –
3	Масло –
4	Микроорганизмы –

### Степени фильтрации:

Класс ISO 8573-1	Твердые вещества/Пыль <sup>1</sup>		Влажность <sup>2</sup>	Общее содержание масла <sup>2</sup>
	макс. величина частиц мкм	макс. плотность частиц (х-остаточная влага, г/м³)		
0	Например, для технических средств обеспечения чистоты воздуха в рабочих помещениях			
1	0,1	0,1	≤ -70	≤ 0,01
2	1	1	≤ -40	≤ 0,1
3	5	5	≤ -20	≤ 1
4	15	8	≤ +3	≤ 5
5	40	10	≤ +7	-
6	-	-	≤ +10	-
7	-	-	x ≤ 0,5	-
8	-	-	0,5 < x ≤ 5	-
9	-	-	5 < x ≤ 10	-

<sup>1</sup> Согласно ISO 8573-1: 1991  
<sup>2</sup> Согласно ISO 8573-1: 2001, т. к. определенные в нем предельные значения для класса 1 относятся к особо чистым и стерильным помещениям

Збар (а) энергетически выгодными являются безмасляные системы компримирования, например, роторные воздухоудовки (до 2 бар (а)). В диапазоне от 4 бар (а) до 16 бар (а), наоборот, винтовые компрессоры, охлаждаемые компрессорным маслом и охлаждающей жидкостью, превосходят по экономичности так называемые «безмасляные». Уже от 5 бар (а) для обеспечения рационального соотношения между потребляемой мощностью и производительностью «безмасляные» компрессоры должны иметь две ступени сжатия. Большое количество требуемых радиаторов, высокие обороты, чрезмерные затраты на автоматизированные системы управления, водяное охлаждение и высокая стоимость приобретения ставят под сомнение экономическую целесообразность применения систем базмасляного сжатия в данном диапазоне давлений. Кроме того, сжатый воздух,

поступающий из «безмасляного» компрессора является агрессивным вследствие всасывания примесей серы и выпадения конденсата: уровень рН-значения составляет 3-6.

### 4. Система подготовки воздуха фирмы KAESER

КПД современных винтовых компрессоров, охлаждаемых компрессорным маслом и охлаждающей жидкостью, примерно на 10% выше, чем у компрессоров безмасляного сжатия. Разработанная фирмой KAESER система очистки воздуха для винтовых компрессоров масляного охлаждения позволяет дополнительно сэкономить до 30% затрат при производстве сжатого воздуха без содержания частиц масла. Таким образом, остаточное содержание паров масла находится ниже 0,003 мг/м³, что с большим запасом отвечает нормам ISO. Система оснащена всеми необходимыми компонентами

для производства сжатого воздуха требуемого качества. В зависимости от области применения используются адсорбционные осушители или холодоосушители (см. главу «Почему необходимо осушение сжатого воздуха?», стр. 9) и различные комбинации фильтров. Такая подготовка позволяет надежно и экономично производить сжатый воздух, отвечающий по качеству всем нормам ISO – начиная с сухого, технического сжатого воздуха без содержания масла и заканчивая стерильным сжатым воздухом.

### 5. Схема подготовки сжатого воздуха

Для удобства пользователей вышеприведенная схема приводится во всех брошюрах по винтовым компрессорам фирмы KAESER. В зависимости от сферы применения можно быстро подобрать необходимую комбинацию компонентов.

Проблема висит в воздухе – причем в самом прямом смысле слова: при охлаждении атмосферного воздуха, как это происходит после сжатия в компрессоре, конденсируется водяной пар.



## 3. Почему необходимо осушение сжатого воздуха?

Так, компрессор мощностью 30 кВт и производительностью 5 м³/мин при давлении 7,5 бар в обычных условиях за одну рабочую смену «производит» около 20 литров воды. Во избежание повреждения оборудования и сбоев в работе вода должна отводиться из пневмосистемы. Поэтому осушение сжатого воздуха является важной составляющей при его подготовке в соответствии с последующим применением. В данной главе Вы найдете интересные сведения по экономичному и экологически безопасному осушению сжатого воздуха.

### 1. Практический пример

Если винтовой компрессор жидкостного охлаждения при 20 °С и атмосферном давлении всасывает 10 м³ воздуха в минуту при 60% относительной влажности, то этот воздух содержит около 100 г водяных паров. При сжатии воздуха с коэффициентом 1:10 до абсолютного давления 10 бар, получается 1 рабочий кубометр. При температуре 80 °С после сжатия воздух может вобрать 290 г воды на кубометр. Но поскольку в воздухе содержится только около 100 г воды, то при относительной влажности примерно 35%, он будет достаточно сухим, и конденсат не образуется. В доохладителе компрессора температура сжатого воздуха опускается с 80 до 30 °С. Здесь один кубометр воздуха может вобрать только около 30 г воды, в результате чего возникает избыток воды примерно 70 г/мин, который конденсируется и выделяется из воздуха. За 8-ми часовой рабочий день образуется около 35 литров конденсата. Если сжатый воздух проходит через холодоосушитель,

в день выделяется еще 6 литров. В таких осушителях сжатый воздух сначала охлаждается до +3 °С, а затем нагревается до окружающей температуры. В результате возникает примерно 20%-ая ненасыщенность, и следовательно, улучшается качество сжатого воздуха, который становится более сухим.

### 2. Причина влажности воздуха

Окружающий нас воздух имеет определенную влажность, то есть в нем всегда содержится некоторое количество воды. Влажность зависит от температуры. Так, например, воздух, насыщенный на 100% водяными парами, при +25 °С содержит почти 23 г воды на кубометр.

### 3. Образование конденсата

Конденсат образуется при уменьшении объема воздуха при одновременном снижении температуры. В этом случае снижается способность воздуха поглощать воду. Именно это происходит в компрессорном блоке и в доохладителе компрессора.

### 4. Важные термины – краткое объяснение

**а) Абсолютная влажность воздуха**  
Под абсолютной влажностью воздуха понимается содержание водяного пара в воздухе, указываемое на г/м³.

### б) Относительная влажность воздуха ( $F_{отн.}$ )

Относительная влажность воздуха

показывает степень насыщения, т. е. отношение фактического содержания водяных паров в единице объема воздуха к максимально возможному насыщению воздуха ( $100\% F_{отн.}$ ) водяными парами при данной температуре. Она изменяется в зависимости от температуры: теплый воздух может вобрать больше влаги, чем холодный.

### в) Атмосферная точка росы

Атмосферная точка росы представляет собой температуру, при которой воздух при атмосферном давлении (в условиях окружающей среды) достигает 100%-ой степени насыщения влагой ( $F_{отн.}$ ).

Приведем несколько примеров:

Точка росы °С	Макс. содержание воды, г/м³
+40	50,7
+30	30,1
+20	17,1
+10	9,4
0	4,9
-10	2,2
-20	0,9
-25	0,5

### г) Точка росы под давлением

Точка росы под давлением представляет собой температуру, при которой сжатый воздух при данном абсолютном давлении достигает точки насыщения влагой ( $100\% F_{отн.}$ ). В приведенном выше примере это означает: воздух, находящийся под давлением 10 бар (а), в точке росы +3 °С имеет абсолютную влажность 6 г на кубометр рабочего объема.

Пояснение: при снижении давления кубометра воздуха, указанного в приведенном примере, с 10 бар (а) до атмосферного, его объем возрастает в десять раз. Количество водяного пара (6 г) останется неизменным, но распределится на десятикратный объем. При этом в каждом кубометре разреженного воздуха теперь будет содержаться только 0,6 г пара. Это соответствует атмосферной точке росы -24 °С.

### 5. Экономичное и экологически безопасное осушение сжатого воздуха

#### а) Холодоосушители или осушители адсорбционного типа?

Новые экологические требования в отношении хладагентов не влияют на то, что адсорбционные осушители не могут являться альтернативой осушителям холодильного типа ни по экономичности, ни по экологической безопасности. Последним требуется только 3% энергии, необходимой компрессору для производства сжатого воздуха, а адсорбционным осушителям – от 10 до 25% или более. Поэтому в большинстве случаев должны применяться холодоосушители.

Использование адсорбционных осушителей целесообразно только в том случае, если требуется получить сухой сжатый воздух с точкой росы до -20, -40 или -70 °С.

#### б) Какой хладагент использовать?

В новых холодоосушителях запрещено использовать хладагенты R 12 и R 22, содержащие фторхлоруглеродороды. В таблице (внизу) указаны существующие хладагенты и

их влияние на окружающую среду. До 2000 года большинство производителей холодоосушителей использовали хладагент R22 с частичным содержанием галогена. Его потенциал разрушения озонового слоя по сравнению с R12 составлял всего лишь 5%, а 12%-ый потенциал парникового эффекта был значительно ниже. Сегодня производители используют в основном хладагент R-134a (ГФУ), рекомендуемый законодателями в качестве замены R 12 и альтернативы R 22, в силу его безопасности для озонового слоя атмосферы. Преимущество R134 состоит в возможности переоборудования без особых затрат старых установок, работавших на R12, для использования нового хладагента.

В настоящее время помимо R134a используются и другие ГФУ хладагенты R 404A и R 407C, также обладающие 0% потенциалом разрушения озонового слоя. Эти хладагенты относятся к так называемым заменителям («Blends»), смеси различных хладагентов, которые имеют разность температур фазового перехода («Glides») при испарении или конденсации, и поэтому отличаются по сравнению с R 134a более высоким потенциалом глобального потепления (см. таблицу). Вследствие этого R 407C используют только в особых случаях. Хладагент R 404A, благодаря небольшой разнице температур фазового перехода, применяется для больших объемных потоков, начиная с 24 м³/мин.



Наименование хладагента	Состав (формула)	Потенциал разрушения озонового слоя (англ.: ODP = ozone depletion potential) [R 12 = 100%]	Потенциал глобального потепления (англ.: GWP = global warming potential) [R 12 = 100%]	Разность температур фазового перехода («Glides») при испарении/конденсации [K]
ГФУ хладагент R 22	CHClF <sub>2</sub>	5%	12%	0
ГФУ R 134A	CH <sub>2</sub> F-CF <sub>3</sub>	0%	8%	0
Хладагенты и «Blends» R 404A	R 143a/125/134a	0%	26%	0,7
R 407C	R 32/125/134a	0%	11%	7,4

Конденсат является неизбежным побочным продуктом производства сжатого воздуха. О его возникновении мы рассказали в главе «Почему необходимо осушение сжатого воздуха?» (стр. 8).

## 4. Правильный отвод конденсата

Согласно этому, компрессор мощностью 30 кВт и производительностью 5 м³/мин в обычных условиях эксплуатации производит около 20 литров конденсата за смену. Во избежание сбоев и коррозии конденсат должен отводиться из пневмосистемы. В этой главе Вы узнаете, как правильно отводить конденсат при одновременном снижении затрат.

### 1. Отвод конденсата

В определенных местах каждой пневмосистемы образуется конденсат, содержащий различные примеси (рис. вверху). Поэтому обязательно необходим надежный отвод конденсата. Он в значительной мере влияет на качество сжатого воздуха, эксплуатационную надежность и экономичность компрессорной установки.

#### а) Сбор и отвод конденсата

За сбор и отвод конденсата в первую очередь отвечают механические компоненты пневмосистемы. На их долю приходится от 70 до 80% общего количества конденсата – при условии, что компрессоры оснащены дополнительным охлаждением.

#### Циклонный сепаратор:

Речь идет о механическом сепараторе, отделяющим конденсат от воздуха под действием центробежной силы (рис. внизу справа). Для оптимальной работы он должен устанавливаться рядом с компрессором.

#### Промежуточный охладитель:

У двухступенчатых компрессоров с промежуточными охладителями конденсат образуется также в сепараторе промежуточного охладителя.

#### Ресивер:

Помимо своей основной функции в качестве накопителя сжатого воздуха, ресивер отделяет конденсат от воздуха под действием силы тяжести. При достаточном объеме (производительность компрессора/мин : 3 = размер ресивера в м³), он столь же эффективен, как и циклонный сепаратор. Однако в

отличие от последнего может устанавливаться на общем трубопроводе компрессорной станции, если поток воздуха входит снизу и выходит сверху. Кроме того, в ресивере сжатый воздух охлаждается за счет большой поверхности отдачи тепла, что в свою очередь, улучшает отделение конденсата.

#### Водоотводчик в нагнетательном трубопроводе:

Во избежание хаотичного потока конденсата нагнетательный трубопровод следует выполнять так, чтобы все ответвления находились

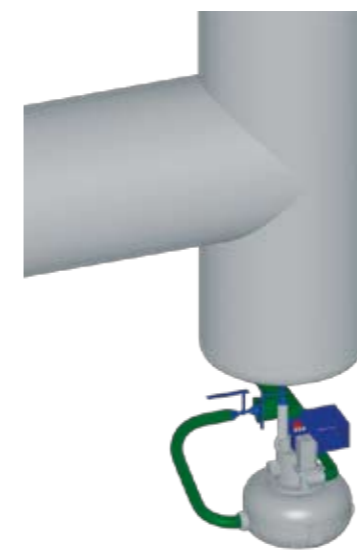


Рис. 1: Устройство отвода конденсата и сборника воды

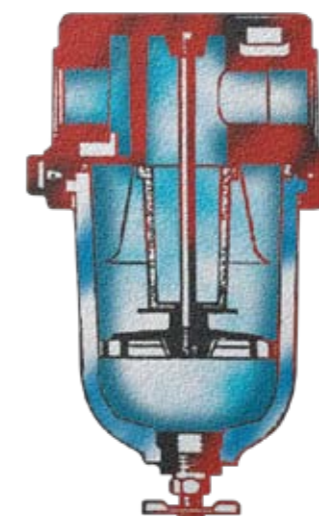


Рис. 2: Поплавковый конденсатоотводчик



Рис. 3: «ECO DRAIN» с шаровым краном

сверху или сбоку. Отведение определенного количества конденсата вниз через водоотводчики позволяет удалить конденсат из магистральной линии. При скорости воздушного потока от 2 до 3 м/с и правильной компоновке водоотводчик позволяет столь же эффективно отделять конденсат, возникающий в пневмосистеме, как и ресивер (рис. 1).

сепараторах, установленных непосредственно перед потребителями сжатого воздуха, образуется большое количество конденсата. В этом случае потребность в их техобслуживании очень велика.

### 2. Распространенные системы отвода конденсата

В настоящее время применяются в основном три системы:

следовательно, к увеличению расхода электроэнергии.

#### в) Конденсатоотводчик с уровнем регулятором («ECO DRAIN», рис. 3)

Сегодня большинство конденсатоотводчиков оснащаются так называемым «интеллектуальным» уровнем регулятором. Их преимущество состоит в замене поплавка, часто выходящего из строя, электронным датчиком. Это озна-

#### б) Осушитель сжатого воздуха

Помимо перечисленных возможностей в области осушения воздуха используются и другие устройства для сбора и отвода конденсата.

#### Холодоосушитель:

При осушении сжатого воздуха, вызванного охлаждением, в холодоосушителе происходит обильное выделение конденсата.

#### Адсорбционный осушитель:

Благодаря значительному охлаждению в пневмосети конденсат образуется уже на фильтре предварительной очистки адсорбционного осушителя. Непосредственно внутри адсорбционного осушителя вода присутствует в виде пара, что обусловлено парциальным давлением.

#### в) Децентрализованный сепаратор

При отсутствии централизованной системы осушения воздуха в

#### а) Поплавковый конденсатоотводчик (рис. 2)

Поплавковый конденсатоотводчик относится к самым старым системам отвода. Он пришел на смену абсолютно неэкономичному и ненадежному ручному отводу. Вместе с тем, поплавковые системы отвода конденсата требуют очень интенсивного техобслуживания и нередко выходят из строя из-за содержащихся в сжатом воздухе примесей.

#### б) Электромагнитный клапан

Электромагнитные клапаны с таймером хотя и более надежны в эксплуатации, чем поплавковые конденсатоотводчики, но требуют постоянной проверки на наличие загрязнений. Кроме того, неправильная настройка времени срабатывания клапана приводит к потере давления, а

что в отличие от отводчиков поплавкового типа здесь исключаются неисправности вследствие загрязнений или механического износа. Кроме того, точный расчет и согласованное время открытия клапана позволяют избежать потери давления (в сравнении с поплавковым отводчиком). Другие преимущества – это автоматическая самодиагностика и возможность передачи сигнала на центральный пульт управления.

#### г) Правильная установка

Между системой сепарации и конденсатоотводчиком необходимо устанавливать короткую трубу с шаровым краном (рис. 3).

Это позволит обеспечить бесперебойную работу пневмоустановки при проведении техобслуживаний отводчика.

При производстве сжатого воздуха неизбежно образуется значительное количество конденсата (см. также главы 3 и 4). Термин «конденсат» возможно вызовет предположение, что речь идет только о конденсации

## 5. Надежная и экономичная обработка конденсата

водяного пара. Однако осторожно! Любой компрессор работает как гигантский пылесос. Всасывая загрязненный окружающий воздух, он концентрирует все содержащиеся в нем примеси, которые впоследствии переходят в конденсат, выпадающий из неподготовленного сжатого воздуха.

### 1. Для чего необходима обработка конденсата?

Потребители сжатого воздуха, отводящие не обработанный конденсат в канализацию, рискуют заплатить внушительные штрафы. Причина: конденсат, образующийся при производстве сжатого воздуха, представляет собой смесь разнообразных вредных веществ. Вследствие загрязнения окружающей среды помимо частиц пыли он содержит углеводороды, диоксид серы, медь, свинец, железо и многие другие вещества. В Германии утилизация конденсата, образующегося в пневмоустановках, регулируется Законом о водном балансе. Данный закон предписывает обязательную обработку воды, содержащую вредные вещества, в соответствии с «общеизвестными техническими правилами» (§ 7а

Закона о водном балансе). Это касается всех видов конденсата, содержащегося в сжатом воздухе, в том числе производимого безмасляными компрессорами. Законом установлены предельные величины для всех вредных веществ и показателя рН. В различных отраслях и федеральных землях они определяются по-разному. Так, например, максимально допустимое содержание углеводов составляет 20 мг/л; для отводимого конденсата показатель рН составляет 6 – 9.

### 2. Состав конденсата

#### а) Дисперсия

Выпадающий из сжатого воздуха конденсат может иметь различный состав. Дисперсия, как правило, образуется в винтовых компрессорах жидкостного охлаждения, использующих синтетические охлаждающие жидкости типа «Sigma Fluid S460». У такого конденсата, как правило, значение рН составляет 6 – 9. Таким образом, он может рассматриваться как рН-нейтральный. В таком конденсате загрязнения, образованные из атмосферного воздуха,

*Каждый компрессор всасывает из окружающего воздуха водяные пары и примеси. Возникающий при этом конденсат должен очищаться от примесей масла и других вредных веществ (на рис. номер 2), прежде чем его можно будет слить в канализацию как очищенную воду (на рис. под номером 3)*

осаждаются в легко отделяемой масляной пленке на поверхности воды.

#### б) Эмульсия

Эмульсия представляет собой жидкость молочного цвета, которая и через несколько дней не разделяется на составляющие (рис. 1, справа). Такой вид конденсата нередко встречается в поршневых, винтовых и многосекторных компрессорах, работающих на обычных маслах. У них вредные вещества входят в состав масла. Из-за сильного и стойкого смешивания масла и воды, а также содержащихся в них примесей, например, пыли и тяжелых металлов, они не разделяются под действием силы тяжести. Если в маслах присутствуют сложные эфиры, конденсат может быть агрессивным, и его необходимо нейтрализовать. Очистка такого конденсата возможна только с применением деэмульсионных установок.

### в) Конденсат, образующийся в безмасляных компрессорах

Вследствие возрастающего загрязнения окружающей среды конденсат, образующийся в безмасляных системах, содержит значительное количество частиц масла. Кроме того, он часто отличается высоким содержанием диоксида серы, тяжелых металлов и/или других твердых частиц. Это означает: такой конденсат, как правило, агрессивный и имеет показатель рН 3 – 6. Подобный конденсат нельзя сливать в канализационную систему без предварительной подготовки, несмотря на то, что многие придерживаются другого мнения.

### 3. Утилизация с привлечением сторонних организаций

Разумеется, существует возможность сбора и утилизации конденсата на специализированном предприятии. Однако, в данном случае стоимость утилизации, в зависимости от состояния конденсата, может колебаться от 40 до 150 €/м³. Поэтому с учетом образующегося количества конденсата обработка в производственных условиях должна быть рентабельной. Ее преимущество состоит в том, что от первоначального количества остается примерно 0,25% конденсата, подлежащего утилизации в соответствии с природоохранными требованиями.

### 4. Технология очистки

#### а) Дисперсия

Для очистки такого вида конденсата в большинстве случаев достаточно

**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН



*Сепараторы, основанные на использовании силы тяжести, надежно и экономично обрабатывают конденсат*

второго типа используют порошковое расщепляющее средство. Оно связывает частицы масла, образуя хорошо фильтрующиеся хлопья. Фильтры с определенным размером пор надежно удерживают такие хлопья. Очищенную таким образом воду можно сливать в канализацию.

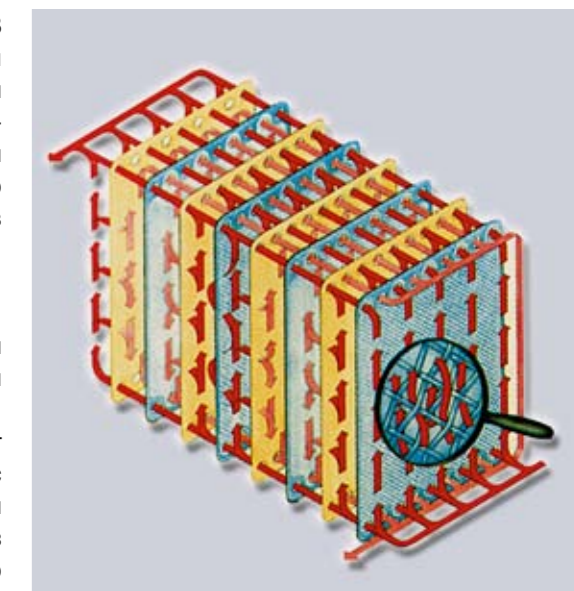
### в) Конденсат, образующийся в безмасляных компрессорах

Конденсат, образующийся в безмасляных компрессорах, должен обрабатываться методом химического разделения. К нему относится нейтрализация рН путем добавки базовых веществ, а также связывание тяжелых металлов с последующей их утилизацией в качестве опасных отходов. Данный метод значительно дороже всех остальных. Кроме того, разрешение на сброс опасных отходов должно включать в себя не только возможное содержание масла в конденсате, но и наличие концентрированных вредных веществ, всасываемых компрессором из окружающего воздуха. Последние могут значительно загрязнять конденсат.

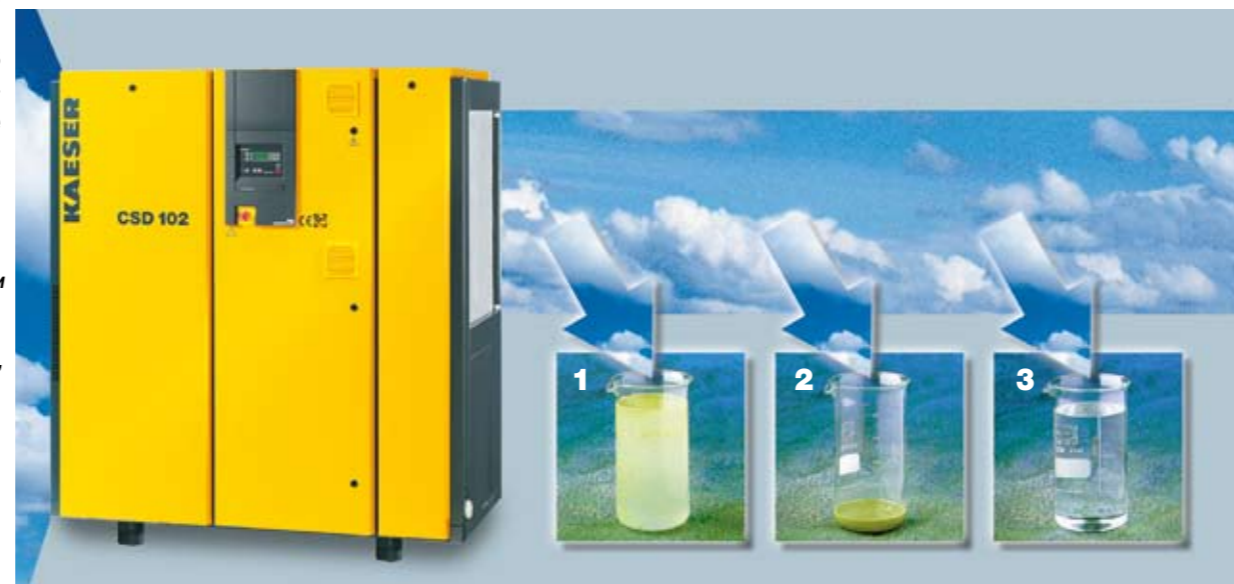
трехкамерной установки, состоящей из двух камер предварительной очистки и камеры с угольным фильтром. Сам процесс сепарации происходит под действием силы тяжести. Масляная пленка, всплывающая на поверхности жидкости в сепарационной камере установки, отводится в сборный резервуар и утилизируется как отработанное масло. После этого остатки воды фильтруются в два этапа и могут отводиться в канализационную систему. По сравнению с комплексной утилизацией на специализированном предприятии, сепарация под действием силы тяжести позволяет сэкономить до 95% затрат. В настоящее время предлагаются установки мощностью, рассчитанной на производительность компрессора – 105 м³/мин. Разумеется, что при большей мощности можно подключить несколько аппаратов параллельно.

#### б) Эмульсия

На сегодняшний день для очистки стабильных эмульсий в основном используют два типа установок. Мембранные системы работают по принципу ультрафильтрации с помощью так называемой технологии Cross-Flow. При этом через мембраны проходит предварительно очищенный конденсат. Часть жидкости проникает через мембрану и выходит из установки в виде очищенной воды, которую можно сливать в канализацию. Установки



*Для сепарации стабильных эмульсий конденсата используются мембранные системы*





Несмотря на все преимущества, сжатый воздух является относительно дорогим энергоносителем. Поэтому необходимо следовать девизу: минимизировать расходы везде, где это воз-



**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН

## 6. Эффективное управление компрессорами

можно. Основной причиной увеличения затрат в большинстве случаев является неправильное согласование производительности компрессора с изменяющейся потребностью в сжатом воздухе. Таким образом, нередко компрессоры работают только с 50% загрузкой. Многие потребители даже не осознают этого, поскольку их компрессоры оснащены счетчиками рабочих часов, которые не учитывают часы работы с полной нагрузкой. Действенную помощь могут оказать правильно настроенные системы управления: путем увеличения загрузки компрессоров до 90% и более, они способны сэкономить 20% электроэнергии, а в некоторых случаях значительно больше.

### 1. Внутреннее управление

#### а) Регулирование нагрузки и холостого хода

В большинстве компрессоров в качестве приводных агрегатов используются трехфазные асинхронные двигатели. С увеличением

мощности снижается допустимая частота включений таких двигателей. Она не соответствует требуемой частоте включений, необходимой для включения и выключения компрессоров с малой разностью давлений в соответствии с действительным потреблением сжатого воздуха. В результате такого переключения обеспечивается разгрузка узлов компрессора, находящихся под давлением. Двигатель же некоторое время продолжает работать. Затрачиваемую на работу двигателя энергию следует рассматривать как потери. У подключенных таким образом компрессоров потребление электроэнергии во время холостого хода составляет 20% от полной мощности.

#### б) Частотное преобразование

Компрессоры с регулировкой оборотов с помощью частотного преобразователя не имеют постоянного КПД в диапазоне регулирования. Так, например, в диапазоне регулирования от 30 до 100% КПД двигателя мощностью 90 кВт уменьшается с 94 до 86%. Сюда же следует добавить потери на частотном преобразователе и нелинейное изменение мощности компрессоров.

Неправильное использование систем частотного преобразования может незаметно для пользователя сделать их «пожирателями энергии». Поэтому частотное преобразование не является универсальным средством, когда речь идет о наиболее энергосберегающем режиме работы компрессора.

### 2. Классификация потребности в сжатом воздухе

Как правило, компрессоры классифицируются следующим образом: установка базовой нагрузки, средней нагрузки, пиковой нагрузки или резервная установка.

#### а) Потребность в воздухе при базовой нагрузке

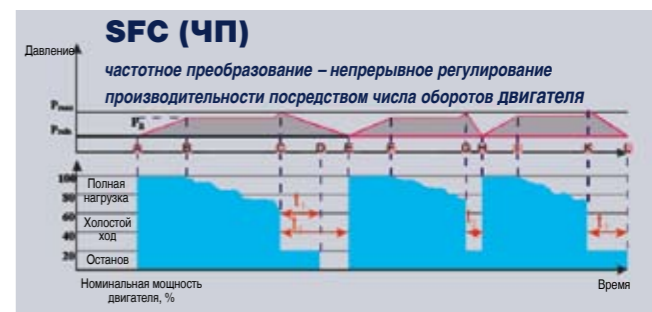
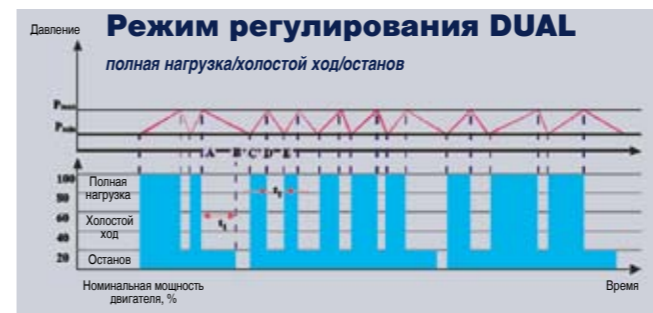
Под потребностью воздуха при базовой нагрузке понимается количество потребляемого предприятием воздуха.

#### б) Потребность в воздухе при пиковой нагрузке

Потребность воздуха при пиковой нагрузке – это количество воздуха, необходимое в определенные часы пикового потребления. Оно может отличаться в зависимости от потребностей пользователя. Для того, чтобы компрессоры могли работать с максимальной отдачей, они должны оснащаться различными системами управления. Данные системы управления должны обеспечивать работу компрессора, а следовательно и надежное снабжение сжатым воздухом, даже в случае выхода из строя центральной системы управления.

### 3. Центральная система управления

Центральная система управления – это система, координирующая работу компрессоров внутри компрессорной станции и управляющая в зависимости от потребности в воздухе включением или выключением отдельных установок.



Внутренний блок управления компрессором «KAESER Sigma Control» оснащен четырьмя режимами управления

#### а) Разделение установок

Разделение установок представляет собой распределение компрессоров одинаковой или различной производительности с одинаковым или разным типом управления в зависимости от потребности предприятия (базовой и пиковой нагрузках) в сжатом воздухе.

#### б) Задачи центральной системы управления

Координация работы компрессоров является сложной и комплексной задачей. Современные системы управления должны не только обеспечивать включение компрессоров различных моделей и типоразмеров в нужный момент времени. Помимо этого они должны контролировать техническое состояние установок, уравнивать время работы компрессоров, регистрировать сбои в целях снижения затрат на обслуживание компрессорной станции и повышения эксплуатационной надежности.

#### в) Правильное распределение по ступеням

Важным условием эффективности работы (экономии энергии) центральной системы управления является правильное распределение компрессоров по ступеням. При этом сумма производительностей установок пиковой нагрузки должна быть больше, чем у последующей вклю-

чаемой установки базовой нагрузки. Если для пиковых нагрузок используется компрессор с регулируемым числом оборотов, диапазон регулирования должен быть соответственно больше производительности последующего включаемого компрессора. В противном случае невозможно гарантировать экономичное снабжение сжатым воздухом.

#### г) Надежная передача данных

Еще одним важным условием безупречной и эффективной работы центральной системы управления является надежная передача данных. Для этого необходимо обеспечить передачу сигнала не только внутри отдельных компрессорных установок, но и между компрессорами и центральной системой

управления. Кроме того, необходим контроль прохождения сигнала для своевременного определения неисправностей, например, обрыв соединительного кабеля.

Обычные способы передачи данных:

1. беспотенциальные контакты
2. аналоговый сигнал 4 – 20 мА
3. RS 232, RS 485 или Profibus DP

Для организации современных сетей передачи данных используются полевые шины Profibus. Они позволяют высокоскоростную передачу данных больших объемов на большие расстояния (рисунок внизу). Поэтому нет необходимости установки центральной системы управления непосредственно в помещении компрессорной станции.

Profibus обеспечивает высокоскоростную передачу данных между компрессорной станцией и центральной системой управления



Как правило в состав компрессорной станции входят компрессоры одного или нескольких типоразмеров. Для координации работы этих отдельных машин необходима центральная система управления. Раньше решение такой



## 7. Управление посредством регулирования диапазона давления: оптимальное согласование производительности компрессоров в зависимости от потребления

задачи было относительно несложным: прежде всего, речь шла о попеременном использовании компрессоров одинакового типоразмера для базовой нагрузки в целях обеспечения равного времени загрузки установок. Сегодня задача усложнилась: необходимо оптимально адаптировать производство сжатого воздуха к потребностям пользователя при одновременном достижении максимальной энергетической эффективности. Как правило, применяются две различные системы централизованного управления: каскадное управление и управление диапазона давления.

### 1. Каскадное регулирование

Классическим методом управления группой компрессоров является каскадное регулирование. При этом каждому из компрессоров присваиваются нижняя и верхняя точки переключения. При необходимости управления несколькими компрессорами образуется ступенчатая или каскадная система регулирования. При маленькой потребности в сжатом воздухе включается только

один компрессор, и, таким образом, давление колеблется в верхнем диапазоне между минимальным ( $p_{\text{мин}}$ ) и максимальным значением ( $p_{\text{макс}}$ ), при большой потребности в сжатом воздухе и включении нескольких компрессоров давление падает (рис. 1). Вследствие этого возникает относительно невыгодная ситуация: при незначительном потреблении воздуха в системе создается максимальное давление, увеличивающее потери энергии за счет утечек, при большом потреблении воздуха давление, наоборот, падает, а количество сжатого воздуха в системе уменьшается.

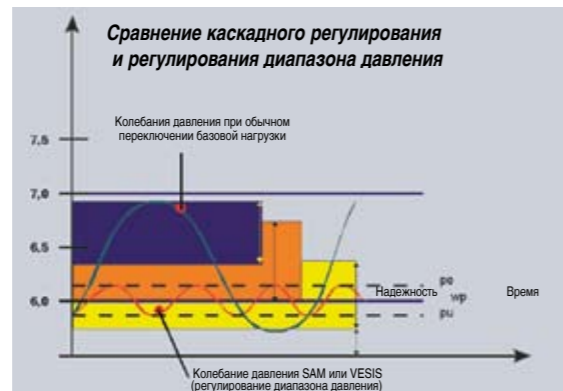


Рис. 1: Колебания и экономия давления при каскадном регулировании (переключение базовой нагрузки) и управление посредством регулирования диапазона давления (SAM или VESIS)

### а) Каскадное регулирование с мембранным переключателем давления

При каскадном регулировании с помощью манометрического выключателя или контактного манометра, для каждого отдельного

компрессора, как правило, должна устанавливаться минимальная разница давления переключения в размере 0,5 бара, а интервал между отдельными точками переключения должен составлять не менее 0,3 бара. При управлении четырьмя компрессорами, то есть рекомендованном для системы управления данного типа максимальном количестве, минимальная разница давления переключения обычно составляет 1,4 бара.

### б) Каскадное регулирование с электронным переключателем давления

Применение электронных датчиков давления позволяет уменьшить разность давления переключения между максимальным и минимальным давлением до 0,2 бара и, кроме того, уменьшить интервалы между точками переключения. В оптимальном случае можно достичь разность

давления переключения 0,7 бар. Как уже было сказано, при каскадном регулировании не рекомендуется подключение более четырех компрессоров. В противном случае существует опасность значительных потерь энергии и утечек ввиду большого диапазона давления.

### 2. Управление посредством регулирования диапазона давления

Без сомнения, более современным

способом координации работы нескольких компрессоров, особенно ввиду уже перечисленных повышенных требований к эффективности, является регулирование диапазона давления. Данный метод позволяет координировать работу любого количества компрессоров с помощью диапазона давления (рис. 1). Обязательным условием в данном случае является использование микропроцессорной системы управления или, что еще лучше, промышленного компьютера с операционной системой. Управление посредством регулирования диапазона давления, в свою очередь, может осуществляться различными способами.

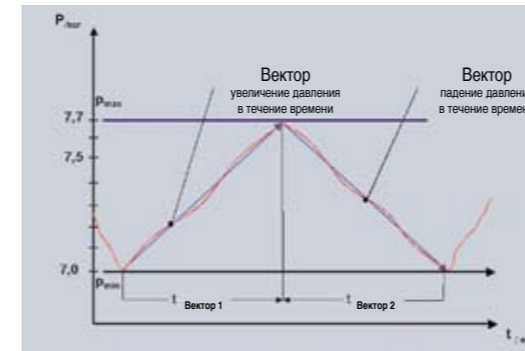


Рис. 2: Векторное управление компрессорами

### а) Векторное регулирование

Векторное регулирование позволяет определять увеличение и снижение давления между заданным минимальным и максимальным давлением и рассчитать текущий расход воздуха. Управление компрессорами осуществляется, так сказать, «задним числом», на основании потребления в прошлом (рис. 2). В пневмосистемах с непостоянным потреблением воздуха это может привести к появлению вибраций в трубопроводной сети и необходимости принятия мер по их снижению. Особенно важным в данном случае является слаженное взаимодействие компрессоров. Как правило, при такой технологии управления разность давления переключения не должна быть менее 0,5 бар, поскольку измерение производится в диапазоне между минимальным и максимальным давлением.

### б) Управление посредством регулирования диапазона давления с распознаванием тенденции

Регулирование диапазона давления с распознаванием тенденции более эффективно, чем векторное регулирование, поскольку разность давления переключения всего лишь 0,2 бара. На сегодняшний день это наименьшая возможная разность давления переключения. Распознавание тенденции основано не на определении непосредственного роста или падения давления за определенный период времени. В данном случае система управления контролирует потребление в пневмосистеме после включения компрессора и принимает соответствующие решения относительно последующих переключений (рис. 3). Распознавание тенденции с точностью от 0,01 до 0,03 бара, а следовательно, постоянное поступление текущей информации, позволяет системе управления при минимальной разности давления переключения оптимально координировать работу пневмосистем даже при сильных колебаниях потребления. Поэтому современные системы управления позволяют согласовать эксплуатацию до 16-ти компрессоров так, что диапазон давления может быть сужен до 0,2 бара. Для экстренных ситуаций в диапазоне давлений предусмотрен так называемый аварийный диапазон, благодаря которому гарантируется надежное снабжение сжатым воздухом. Такие системы управления вносят ощутимый вклад в экономию электроэнергии в пневмосистемах. Так как, снижение давления на 0,1 бар позволяет экономить 1% электрической энергии.

### в) Система управления в соответствии с пиковой нагрузкой

Регулирование диапазона давления

**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН



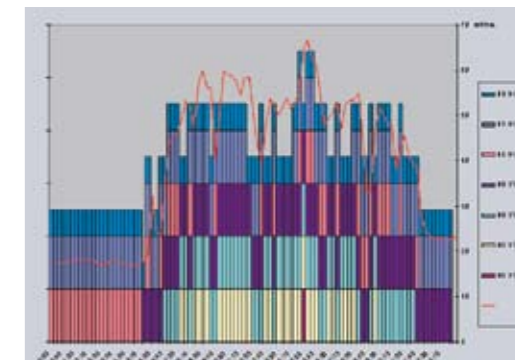
Рис. 3: Регулирование диапазона давления с распознаванием тенденции (вверху)

с распознаванием тенденции основывается на разделении компрессоров на группы в соответствии с их производительностью. Поэтому такие системы способны не только обеспечить

равномерную загрузку компрессоров, но и подключать нужный по производительности компрессор в нужный момент времени (рис. 4). Важным условием для этого является правильное разделение на группы. Под разделением на группы понимают распределение компрессоров одинаковой или различной производительности в зависимости от потребления воздуха при базовой или пиковой нагрузке (см. главу «Эффективное управление компрессорами»).

Такой наиболее экономичный метод управления компрессорами требует обмена и обработки данных больших объемов. Предлагаемая фирмой KAESER система управления «SIGMA AIR MANAGER» (SAM), выполненная на базе промышленного компьютера, рассчитана на обработку информации больших объемов. Помимо высокоэффективного управления возможно подключение промышленных компьютеров к центральной АСУП и благодаря встроенному интернет-серверу отображение информации в виде HTML-страниц. Благодаря этому возможна визуализация информации о текущем состоянии компрессоров, их загрузке, эффективности работы компрессорной станции в целом, а также своевременного анализа и принятия соответствующих оперативных решений (описание «SIGMA AIR MANAGER» находится на стр. 27).

Рис. 4: Улучшение загрузки компрессоров путем оптимизированного разделения и эффективной координации



В условиях постоянного роста цен на энергоносители, экономное использование энергетических ресурсов становится не только экологической, но также и экономической необходимостью.



## 8. Экономия энергии благодаря системе рекуперации тепла

Производители компрессоров предлагают для этого разнообразные возможности, например, рекуперацию тепла, образующегося при работе винтовых компрессоров.

### 1. Компрессоры излучают в первую очередь тепло

Даже если это покажется совершенно невероятным: практически 100% энергии, потребляемой компрессором, преобразуется в тепло. При сжатии в компрессоре воздух накапливает потенциальную энергию. Эта энергия может быть использована при понижении давления до атмосферного, охлаждении или нагреве от окружающей среды.

### 2. До 94 процентов полезной энергии

Большая часть потребляемой энергии и используемой в качестве тепла, а именно 72% приходится на охлаждающее средство компрессоров масляного или жидкостного охлаждения, 13% находится в сжатом воздухе, до 9% тепла излучается электродвигателем. В винтовых компрессорах в изолированном кожухе масляного или жидкостного охлаждения путем целенаправленного охлаждения или рекуперации тепловой энергии можно компенсировать потери энергии на электродвигателе. В общей сложности до 94% электроэнергии, потребляемой компрессором, может быть

использовано в качестве рекуперированной тепловой энергии. Как видно из рисунка на странице 19, только 2% тепла теряется за счет теплового излучение и 4% остается в сжатом воздухе.

### 3. Возможности рекуперации тепла

Пользователи, заинтересованные в еще более экономичном использовании сжатого воздуха, могут выбрать различные варианты рекуперации тепла:

#### а) Воздушное отопление

Наиболее простая возможность рекуперации тепла винтовых компрессоров воздушного, масляного и жидкостного охлаждения – непосредственное использование нагретого

охлаждающего воздуха. При этом теплый воздух направляется по воздушным каналам для отопления помещений (рис. 1). Разумеется, теплый воздух может использоваться и для других целей, например, сушки, в качестве тепловой завесы (на воротах) или предварительного прогрева печей. Если тепло не требуется, поток отходящего воздуха направляется наружу через заслонку или жалюзи, открываемые вручную или автоматически. Управление жалюзи с помощью термостата позволяет точно дозировать теплый воздух для поддержания постоянной температуры. Такой вариант позволяет использовать до 94% потребляемой электрической мощности винтового компрессора. Это оправдывает себя даже при исполь-

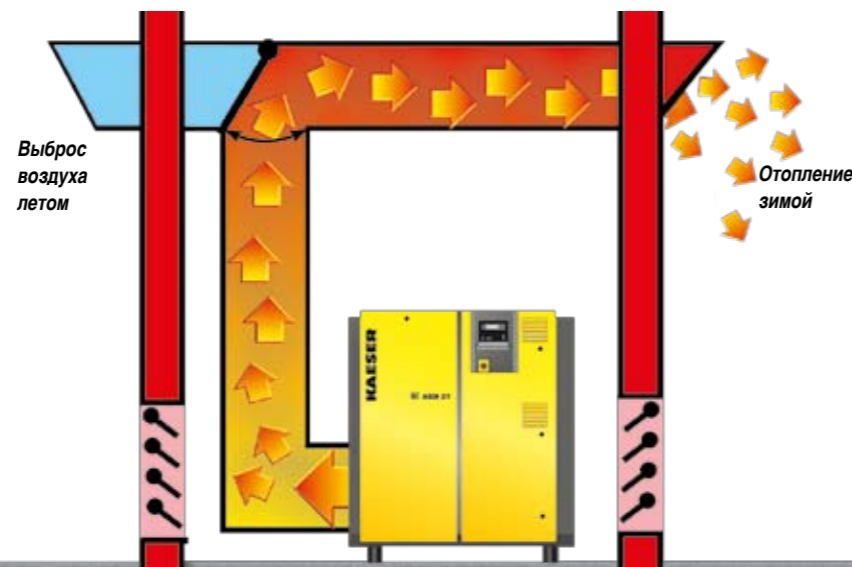


Рис. 1: Система рекуперации тепла, используемая для нагрева воздуха, с вытяжным каналом и встроенной заслонкой

**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН

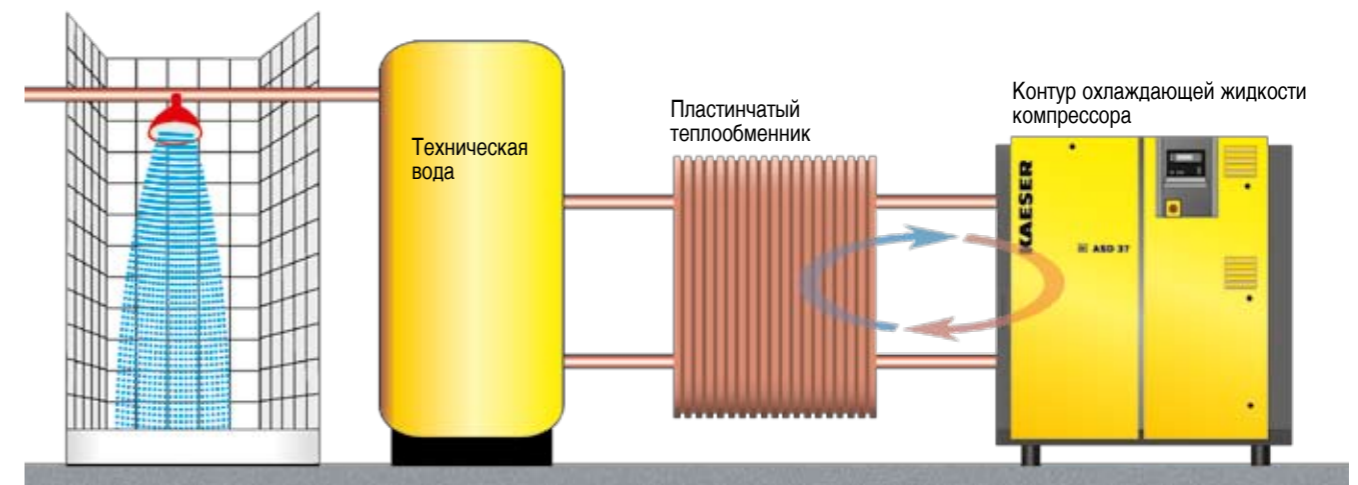


Рис. 2: Установка рекуперации тепла для производства горячей воды – пластинчатый теплообменник нагревает воду до +70 °С

зовании маленьких компрессоров, например, компрессор, мощностью 18,5 кВт излучает достаточно тепловой энергии для отопления одного коттеджа.

### б) Водяное отопление

Одним из способов нагрева воды для различных нужд является подключение теплообменника (рис. 2) к контуру циркуляции охлаждающей жидкости винтового компрессора (не зависит от вида охлаждения). В данном случае могут применяться как пластинчатые, так

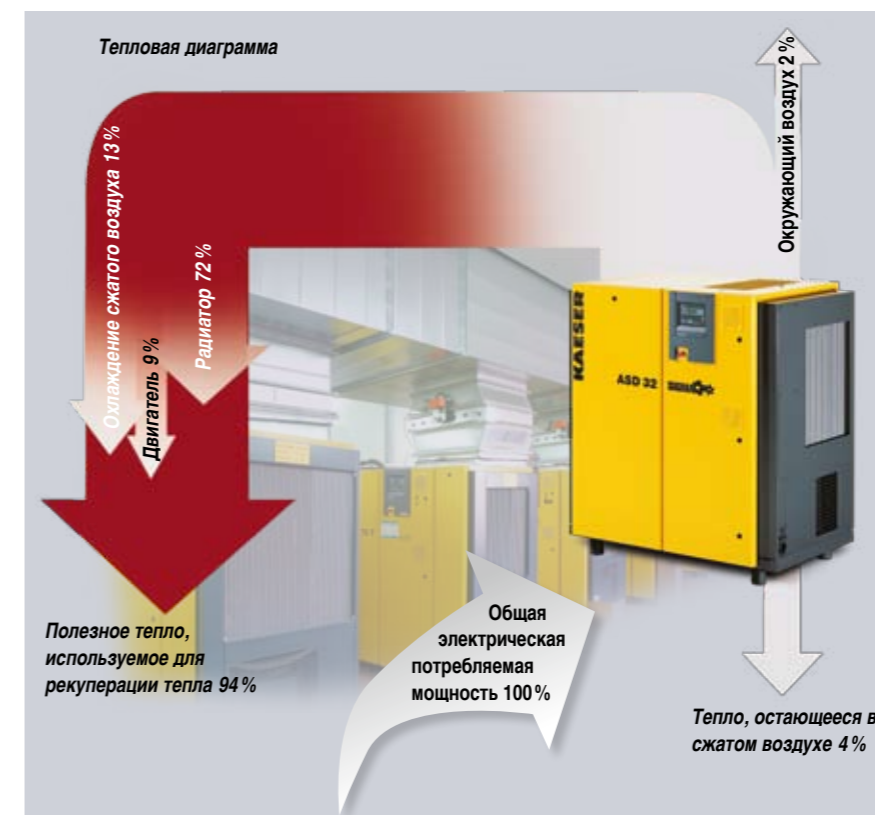
и безопасные теплообменники, в зависимости от дальнейшего использования горячей воды – для отопления, для душевых, для производственно-технических процессов. При использовании подобных теплообменников достигается температура не более 70 °С. По опыту, для компрессорных установок мощностью привода от 18,5 кВт дополнительные расходы, затраченные на такую систему рекуперации тепла, окупаются в течение двух лет. Однако условием этого является правильное планирование.

### 4. Соблюдение техники безопасности

Как правило, основная система охлаждения компрессора не должна одновременно использоваться в качестве системы рекуперации тепла. Причина: возможный отказ системы рекуперации тепла может привести к сбоям в системе охлаждения компрессора и, соответственно, производства сжатого воздуха. Поэтому для рекуперации тепла рекомендуется всегда встраивать в компрессорную установку дополнительный теплообменник. То есть в случае неисправности автоматически обеспечивается надежная работа компрессора: если тепло не отводится через теплообменник системы рекуперации тепла, компрессор переключается на внутреннюю систему воздушного или водяного охлаждения. Это позволяет обеспечить дальнейшее производство сжатого воздуха.

### 5. Выводы

Рекуперация тепла – это заслуживающая внимания возможность повышения экономичности пневмоустановки при одновременном снижении воздействия на окружающую среду. Необходимые затраты при этом относительно малы. Размер инвестиций зависит от местных условий предприятия, цели применения и выбранного метода рекуперации тепла.



Несмотря на широкое применение в различных сферах, сжатый воздух не является дешевым энергоносителем. Его использование оправдано при максимальной согласованности производства, подготовки и распределения



## 9. Предотвращение потерь электроэнергии (1)

### планирование новой пневмосети

сжатого воздуха. Для этого, помимо правильного проектирования и исполнения самой компрессорной станции, необходимо правильное определение размеров и монтаж пневмосети.

#### 1. Экономичное производство сжатого воздуха

С учетом всех затрат на электроэнергию, охлаждающее средство, техобслуживание и амортизацию компрессора, стоимость кубометра сжатого воздуха, в зависимости от типоразмера, нагрузки, технического состояния и модели компрессора будет составлять примерно 0,5 – 2,5 центов. Поэтому многие предприятия придают большое значение экономичному производству сжатого воздуха. В этом также кроется причина популярности винтовых компрессоров масляного и жидкостного охлаждения: такие машины позволяют сэкономить до 20% затрат на производство сжатого воздуха, в сравнении с применявшимися ранее системами.

#### 2. Подготовка воздуха влияет на состояние пневмосети

К сожалению, подготовке сжатого воздуха уделяется недостаточное внимание. Только при хорошей системе подготовки возможно снижение затрат на техобслуживание потребителей сжатого воздуха и трубопроводной сети.

#### а) Снижение затрат на техобслуживание благодаря холодоосушителям

Примерно в 80% случаев применения для подготовки сжатого воздуха достаточно использования холодоосушителя. Таким образом, в большинстве случаев можно отказаться от использования фильтров в трубопроводах, приводящих к потерям давления, а дополнительные затраты на электроэнергию, потребляемую при производстве соответствующего количества сжатого воздуха, составляют всего около 3%. Кроме того, экономия затрат на техобслуживание и ремонт потребителей сжатого воздуха и трубопроводов в десять раз превысит средства, затраченные на установку холодоосушителя.

#### б) Компактные комбинированные установки

Для малых предприятий или децентрализованного снабжения можно приобрести компактные комбинированные установки, состоящие из винтового компрессора, холодоосушителя и ресивера (рис. справа) или винтового компрессора и осушителя вертикальной конструкции.

#### 3. Планирование и монтаж пневмосети

Предварительно необходимо определить схему снабжения сжатым воздухом: централизованно или децентрализованно. Для малых и средних предприятий в большинстве случаев целесообразно централизо-

ванное снабжение, так как при этом не возникают проблемы, характерные для централизованных пневмосетей большой протяженности, то есть высокие затраты на монтаж, опасность замерзания недостаточно хорошо изолированных трубопроводов, расположенных на улице, и существенное падение давления, обусловленное длиной линий.

#### а) Правильное определение размеров сети

Определение размеров сети всегда начинается с расчетов. За основу берется максимальное падение давления на 1 бар на участке между компрессором и потребителями сжатого воздуха, с учетом разности давления переключения компрессора и обычной стандартной подготовки сжатого воздуха (холодоосушителем).

В частности учитываются следующие потери давления (рис. справа):



Основной трубопровод	①	0,03 бар
Распределительный трубопровод	②	0,03 бар
Ответвления	③	0,04 бар
Осушитель	④	0,20 бар
Шланги, фильтры и др. технолог-ие узлы	⑤	0,50 бар
<b>Всего макс.</b>		<b>0,80 бар</b>

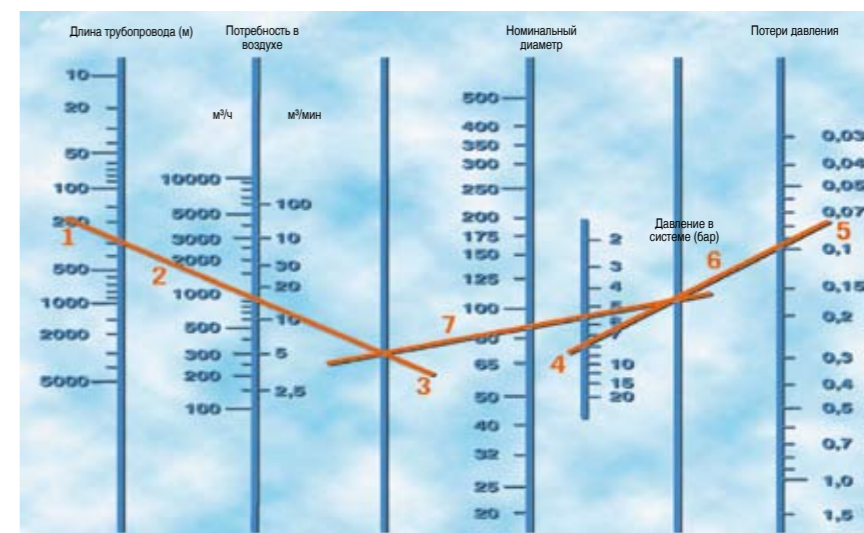
Данный перечень показывает, насколько важно рассчитать потери давления на отдельных отрезках сети. При этом также необходимо учесть наличие фитингов и запорных устройств. Поэтому недостаточно включить в расчетную формулу или таблицу количество погонных метров труб. Следует определить влияние отдельных компонентов трубопровода на основные аэродинамические характеристики. Обычно в начале проектирования нет общего представления в отношении используемых фитингов и запорных устройств. Поэтому влияние отдельных компонентов трубопровода на основные аэродинамические характеристики рассчитывается путем умножения количества погонных метров труб на коэффициент 1,6. Диаметр трубопровода можно определить с помощью стандартных расчетных диаграмм (рис. справа внизу).

#### б) Прокладка трубопровода с учетом экономии энергии

В целях экономии энергии система трубопроводов должна прокладываться насколько возможно без изгибов. Например, вертикальные

опоры здания можно обойти, располагая трубу по прямой линии, рядом с препятствием. Резкие и прямые углы, приводящие к значительной потере давления, также легко избежать, используя колена большого размера. Вместо все еще часто встречающихся водозапорных устройств следует использовать шаровые краны или полнопроходные клапаны с заслонкой. В современных компрессорных станциях, на участках возможного образования конденсата, подключение подводящих и отводящих ответвлений к основной магистрали следует проводить сверху или сбоку. Основной трубопровод должен иметь небольшой уклон. В самой нижней точке трубопровода необходимо предусмотреть возможность сброса конденсата. На сухом участке трубы могут быть проложены горизонтально, а ответвления отходить непосредственно вниз.

#### в) Из какого материала должны быть выполнены трубопроводы? Относительно свойств материала



сложно дать определенные рекомендации. В связи с высокой термической нагрузкой в компрессорах необходимо использовать только металлические трубопроводы. Кроме того, принятие решения не может основываться исключительно на закупочной стоимости: цены на оцинкованные, медные или пластиковые трубы приблизительно одинаковы с учетом затрат на материалы и монтаж. Цены на трубы из высококачественной стали примерно на 20% выше. Однако в настоящее время и здесь более эффективные технологии обработки позволяют добиться снижения цен.

Многие производители предоставляют таблицы с указанием оптимальных условий для каждого типа материала трубопровода. Перед принятием окончательного решения необходимо разрабатывать технические условия на применяемые трубопроводы исходя из производственных мощностей и рекомендаций, указанных в таблицах. Только в этом случае можно принять единственно правильное решение.

#### г) Важно: правильный метод соединения

Соединение элементов трубопроводов может производиться сваркой, склеиванием или с помощью фланцевых соединений и склеивания. Таким образом, подобные соединения максимально защищены от утечек.

Год за годом на многих предприятиях буквально выбрасываются тысячи евро. Причина: устаревшая трубопроводная сеть или ее неправильное обслуживание значительно повышает энергетические потреб-

## 10. Предотвращение потерь электроэнергии (2)

реконструкция существующей пневмосети

ности пневмосети. Для устранения этих недостатков, необходим комплексный подход. Ниже приведены рекомендации по правильной реконструкции трубопроводных сетей.

### 1. Основное условие: сухой сжатый воздух

При планировании новой пневмосети можно заранее избежать многих ошибок и, тем самым, предотвратить возникновение последующих проблем. Санация существующей сети зачастую связана с некоторыми трудностями. Она может стать практически безнадежным делом, если в пневмосеть продолжает поступать влажный сжатый воздух. Поэтому перед началом санации необходимо в любом случае установить осушитель.

### 2. Как избавиться от слишком большого падения давления в сети?

Если и после установки правильно рассчитанной системы подготовки воздуха не устраняется падение давления в пневмосети, причиной могут быть отложения в трубах. Они возникают вследствие загрязнений, попадаемых в трубу вместе со сжатым воздухом и сокращают проходимость до минимума.

#### а) Замена или продувка

Если в результате засорения обра-

зовались отложения, в большинстве случаев поможет только замена соответствующих труб. Однако часто проходимость труб можно улучшить путем продувки с последующей просушкой, если засорение не привело к значительному сужению.

#### б) Установка дополнительных труб

Прекрасная возможность обхода засорившихся тупиковых линий – прокладка параллельного трубопровода, соединенного с тупиковой линией. При сильном засорении кольцевых линий рекомендуется прокладка второго кольца (рис. 1). При правильном определении размера такой двойной тупиковой или кольцевой системы помимо основного эффекта – ощутимого снижения потери давления – возникает дополнительное преимущество, выражающееся в повышении надежности распределения сжатого воздуха в целом. Дальнейшая возможность санации кольцевых линий состоит в расши-



Рис. 1: Санация трубопровода пневмосети путем прокладки второй кольцевой линии трубопровода.

рению системы путем подключения дополнительных перемычек (рис. 2).

### 3. Выявление и устранение утечек

Разумеется, что мероприятия по санированию приведут к оптимальному результату только при устранении всех утечек в пневмосети.

#### а) Определение общего объема утечки

Перед тем, как начать поиск отдельных негерметичных мест в трубопроводной системе необходимо определить общий объем утечек. Это можно осуществить сравнительно простым методом с помощью компрессора: сначала необходимо отключить все потребители воздуха, после чего измеряется время включения компрессора в течение определенного промежутка времени (рис. 3).

На основании данных измерения объем утечек рассчитывается по следующей формуле:

$$VL = \frac{VK \times \sum t_x}{T}$$

Пояснение:

VL = объем утечек (м³/мин)

VK = объемный поток компрессора (м³/мин)

$\sum x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$   
время работы компрессора под нагрузкой (мин)

T = общее время (мин)



Рис. 2: Увеличение мощности линии путем установки промежуточных машин

#### б) Определение утечек на потребителях

Для выявления утечек на децентрализованных потребителях сжатого воздуха, необходимо подключить весь пневмоинструмент, машины и оборудование и измерить суммарный объем утечек (рис. 4). После этого необходимо закрыть запорные краны, установленные перед потребителями, и измерить утечки в сети (рис. 5).

Разность между общими утечками и утечками в сети будет равна потерям на потребителях сжатого воздуха, арматуре и фитингах.

#### 4. Где возникает большинство утечек?

Исходя из опыта, около 70% утечек обнаруживается на последних метрах, то есть в конечных точках забора воздуха пневмосети. Такие утечки можно определить с помощью мыльного раствора или специального спрея. Многочисленные крупные утечки на магистральных трубопроводах обычно возникают в тех случаях, если ранее влажную сеть, в которой в качестве уплотнения

использовалась набивка из пакли, подается сжатый воздух и пакля со временем высыхает. Для точной локализации утечек в основной сети рекомендуется использовать ультразвуковой прибор. Когда, наконец, все утечки обнаружены и устранены, а сечение трубопроводов приведено в соответствие с текущей потребностью в сжатом воздухе, старая сеть (снова) становится экономичной системой распределения сжатого воздуха.

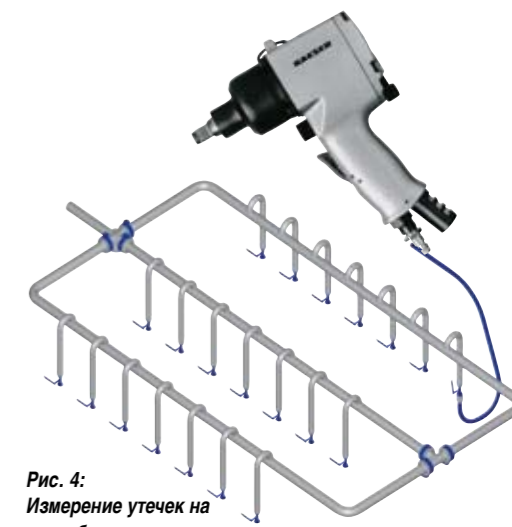


Рис. 4: Измерение утечек на потребителях сжатого воздуха

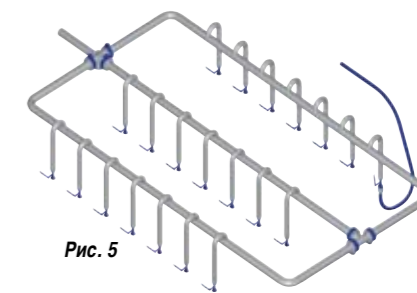


Рис. 5

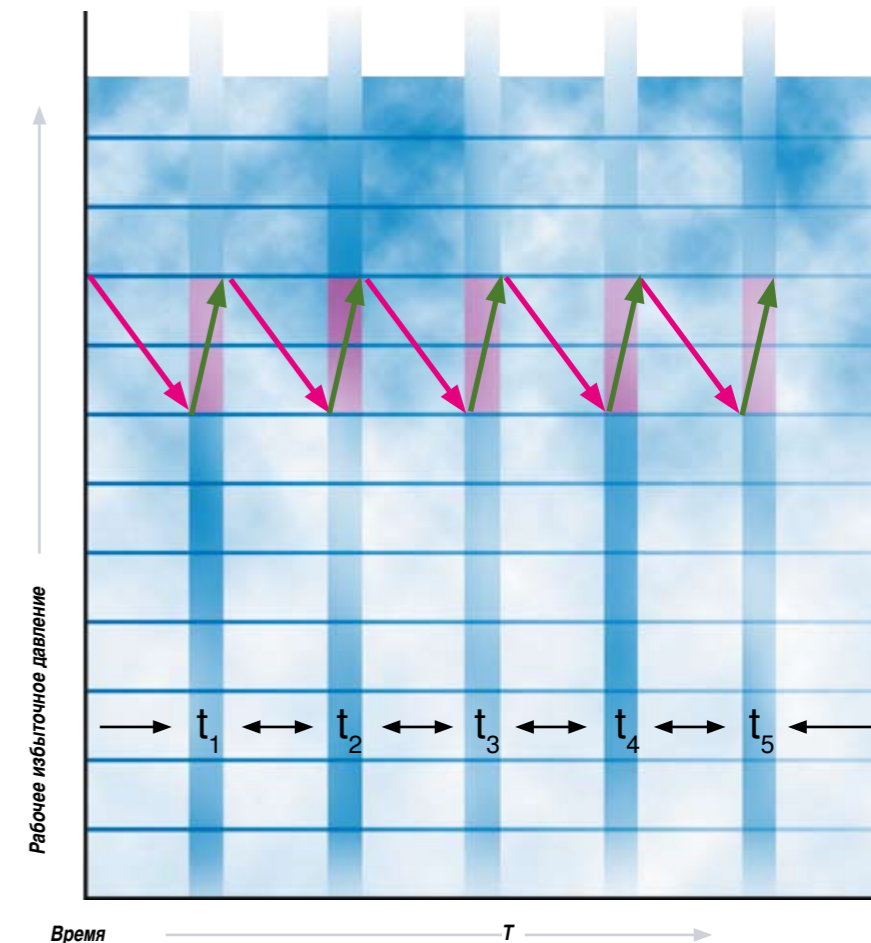


Рис. 3: Определение утечек путем измерения времени работы компрессора при выключенных потребителях сжатого воздуха

Большинство современных компрессорных станций представляют собой комплексные системы. Их экономичная эксплуатация возможна только в том случае, если это учтено при планировании но-

# 11. Правильное планирование компрессорных станции (1) анализ потребления сжатого воздуха (ADA)

вых или расширении и модернизации существующих систем. Фирма KAESER предлагает для этого комплексный пакет услуг. Данная услуга сочетает в себе с одной стороны многолетний практический опыт по изготовлению компонентов для производства сжатого воздуха, а с другой стороны консультации и техническое сопровождение, основанные на современных возможностях информационных технологий.

означает, что она должна включать правильно подобранные по типоразмеру компрессоры, оборудование по подготовке и трубопроводы, иметь максимально эффективную систему

потребности в сжатом воздухе, планирование (рис. 1), поставку, обучение и сервисное обслуживание. Решающим при этом является качество консультирования

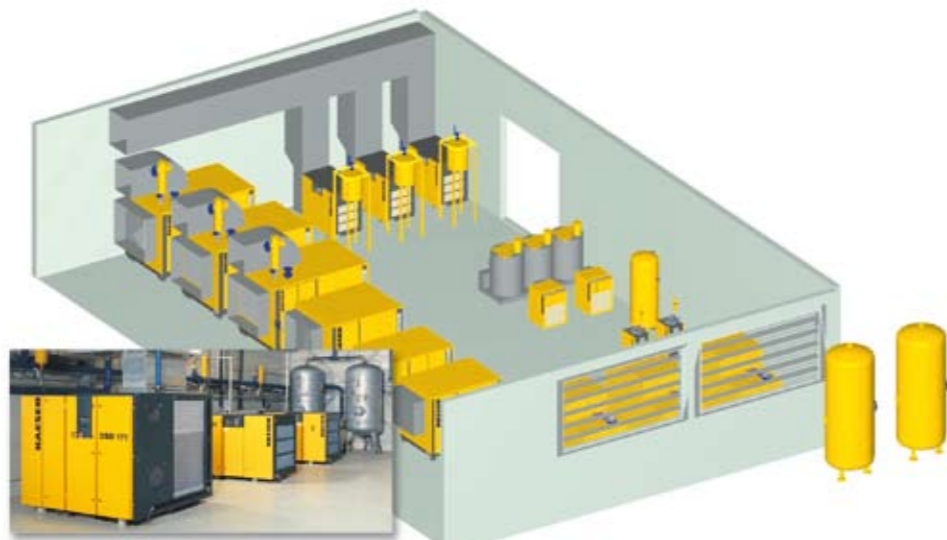
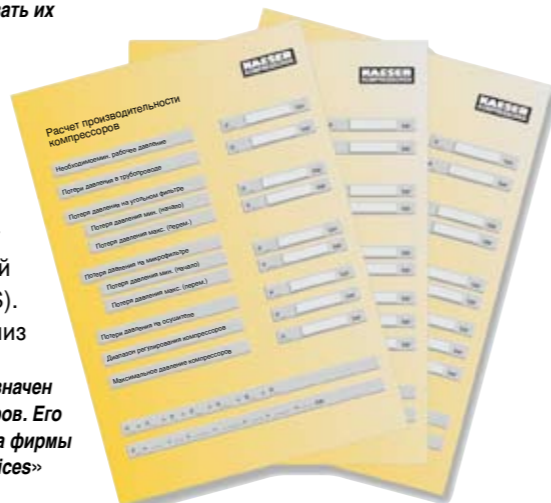


Рис. 1: Современные трехмерные системы автоматического проектирования позволяют планировать компрессорные станции до мельчайших деталей и точно адаптировать их к потребностям пользователя.

ботки конденсата, а также не исключать возможности использования рекуперации тепла. Всем этим требованиям отвечает «KAESER энергосберегающий системный сервис» (KESS). Она включает в себя анализ

Рис. 2: Специальный формуляр предназначен для правильного определения параметров. Его можно скачать непосредственно с сайта фирмы KAESER [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com) (раздел «Services» ссылка «Beratung»/«Analyse»).



Сферы применения сжатого воздуха сегодня охватывают все отрасли от производства автомобилей до цементных заводов. Поэтому важным условием эффективного использования сжатого воздуха в самых разнообразных отраслях применения является надежное оборудование для его производства и подготовки. Оно должно экономично производить требуемый объем соответствующего качества.

## 1. Советы по экономичности

Пневмосистема, отвечающая данным требованиям, должна точно соответствовать области применения, условиям эксплуатации и сохранения окружающей среды. Это

номии затрат находится в области энергопотребления и технического обслуживания, а не приобретения.

## 2. Анализ потребности в сжатом воздухе

Исходной точкой системного сервиса KESS является анализ существующей и будущей потребностей в сжатом воздухе. Данный анализ, проводимый фирмой KAESER, сокращенно именуемый ADA (анализ загрузки компрессорной станции), должен производиться индивидуально с учетом следующих составляющих:

### а) Планирование новой системы снабжения сжатым воздухом

При планировании новой компрессорной станции будущий пользователь заполняет специ-

альный формуляр технического задания (рис. 2).

Эти данные позволяют вместе с опытными специалистами фирмы KAESER определить предполагаемый расход сжатого воздуха и необходимое для этого оборудование. Вопросы охватывают все важные аспекты для экономического и экологически безопасного снабжения сжатым воздухом.

### б) Расширение и модернизация

В отличие от нового планирования, в случае расширения, достаточно исходных данных в соответствии с необходимостью. Фирма KAESER предоставляет пользователю приборы для измерения, с помощью которых можно точно определить потребности в сжатом

Рис. 4: на рисунке показана удельная потребляемая мощность старой (верхняя кривая) и новой установок (нижняя кривая), определенная с помощью ADA

**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН

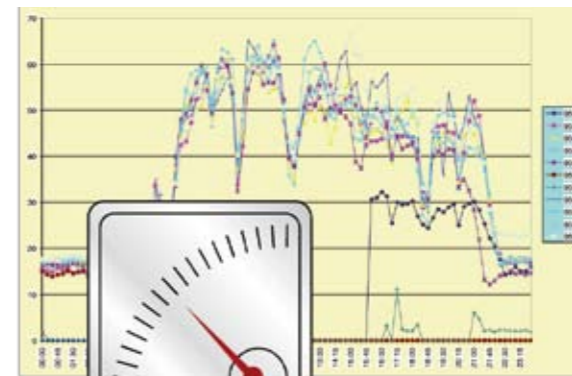
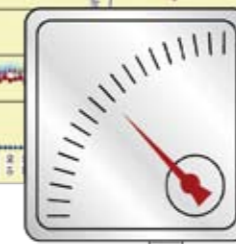


Рис. 3: Различные методы измерения и измерительные приборы позволяют определить потребление сжатого воздуха, производимого существующими установками, а также минимальное и максимальное давление. На основании результатов измерений можно оптимально рассчитать параметры компрессорной станции.



ность загрузки компрессоров, актуальность запрограммированных настроек центральной системы управления и размер утечек. Анализ загрузки компрессорной станции должен применяться и при замене старых компрессоров на новые. Это дает возможность изменения неправильно определенных параметров производительности, улучшения работы компрессоров в диапазоне частичной нагрузки и планирования соответствующей центральной системы управления (рис.4).

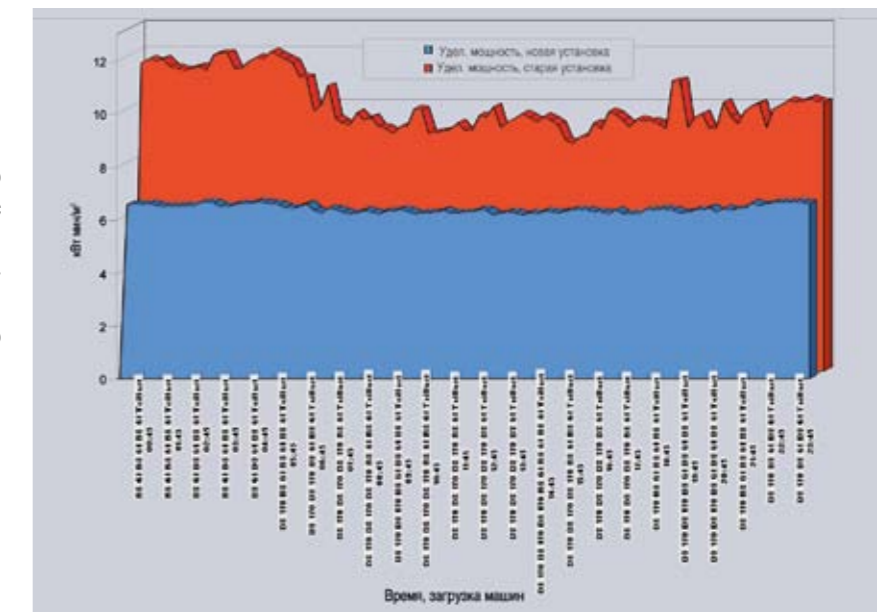
### г) Изменение условий применения сжатого воздуха

При изменении условий применения сжатого воздуха также необходимо привлечение консультанта. Во многих случаях слаженная работа оборудования (для подготовки сжатого воздуха) или согласование давления могут привести к значительному снижению затрат.

воздухе в разное время и на различных производственных участках. При этом очень важно определить не только средние, но максимальные и минимальные значения (рис. 3).

### в) Проверка эффективности существующей станции

Даже на уже существующих станциях рекомендуется путем компьютерного анализа время от времени контролировать правиль-



Безответственная растрата средств или беспощадная экономия? Производство сжатого воздуха может быть и тем, и другим. Волшебное изречение: «оптимизация системы». С его помощью европейское предприятие среднего уровня может

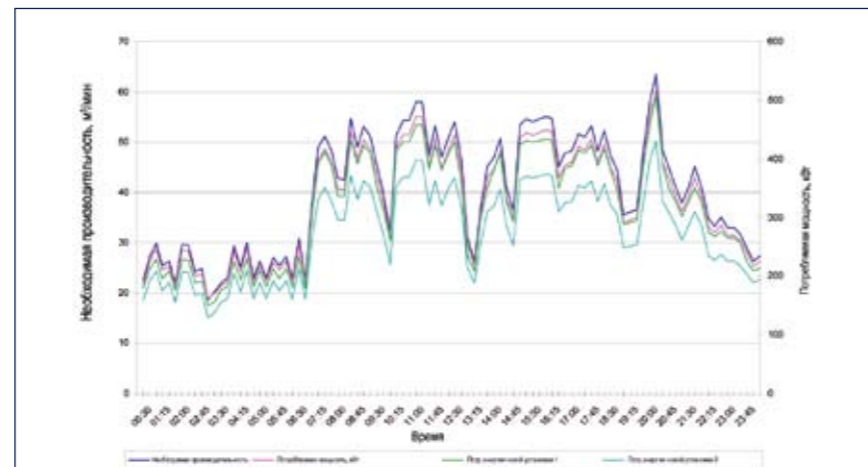


## 12. Правильное планирование компрессорной станции (2) разработка наиболее экономичной концепции

экономить более 30% затрат на сжатый воздух. Основная доля затрат, примерно 70-80%, приходится на потребление электроэнергии. Маловероятно, что электроэнергия станет дешевле, скорее наоборот дороже. Поэтому поиск наиболее эффективной концепции производства сжатого воздуха становится все более важным для пользователя.

Энергосберегающий системный сервис KAESER (KES) наряду с другими компонентами включает компьютерную систему расчета и оптимизации. С ее помощью можно быстро определить наиболее подходящий вариант снабжения сжатым воздухом для конкретного предприятия. Основой расчетов при планировании новых станций служит формуляр, заполняемый совместно со специалистом-консультантом по сжатому воздуху. В формуляре отражается предполагаемое потребление сжатого воздуха и его возможные колебания. Для существующих компрессорных

Рис. 1: Сравнение энергопотребления существующей компрессорной станции с новыми вариантами установок в течение рабочего дня в зависимости от потребности сжатого воздуха



станций основой расчета является анализ потребления сжатого воздуха (ADA), отражающий потребление сжатого воздуха в течение рабочего дня.

**1. Расчет с помощью компьютера**  
Для оптимизации станции в ПК вводятся технические данные установленных компрессоров и возможных новых вариантов. KES рассчитывает оптимальный вариант и возможности экономии затрат. При этом рассчитывается не только точное потребление электроэнергии при определенной потребности в сжатом воздухе с учетом всех потерь. Кроме того, существует возможность составления точной картины изменения удельной мощности компрессорной станции в течение всего времени работы (рис. 1). Это позволяет заранее выявить и устранить возможные «слабые места» в диапазоне частичных нагрузок. Общий результат позволяет сделать точный вывод в отношении возможного снижения затрат и амортизации.

### 2. Главное – правильное комбинирование

В большинстве случаев наиболее правильным решением является точно согласованная конфигурация компрессоров разной мощности. Как правило, она включает большие компрессоры базовой нагрузки и резервные машины, комбинируемые с малыми установками пиковых нагрузок. Задачей центральной системы управления является достижение максимально низкого баланса удельной потребляемой мощности. Для этого она должна автоматически выбирать наиболее выгодную комбинацию компрессоров (макс. 16 единиц) базовой и пиковой нагрузок в диапазоне колебания давления 0,2 бара. Данному требованию отвечают интеллектуальные системы управления фирмы KAESER «Vesit» и «Sigma Air Manager». Эти системы позволяют осуществлять подключение к центральному пульту управления с последующей передачей данных.

### 3. Оптимизация помещения

При планировании новых или модернизации существующих компрессорных станции необходимо оптимально использовать помещения. Современные системы планирования, используемые

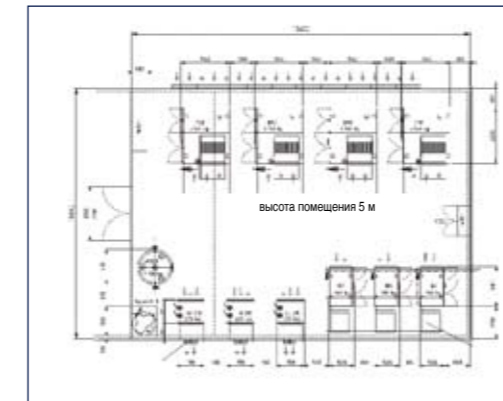


Рис. 2 а: Схематичное изображение компрессорной станции автозавода

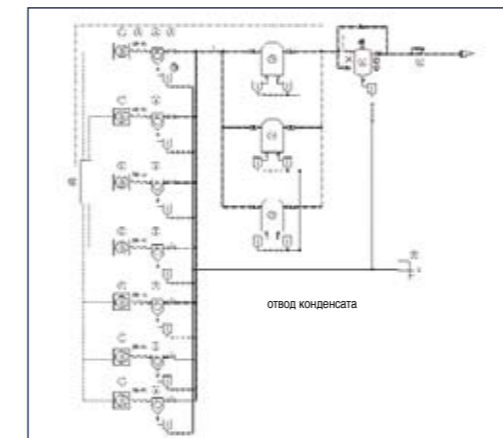


Рис. 2 б: технологическая схема той же компрессорной станции

фирмой KAESER, оказывают в этом неоспоримую поддержку.

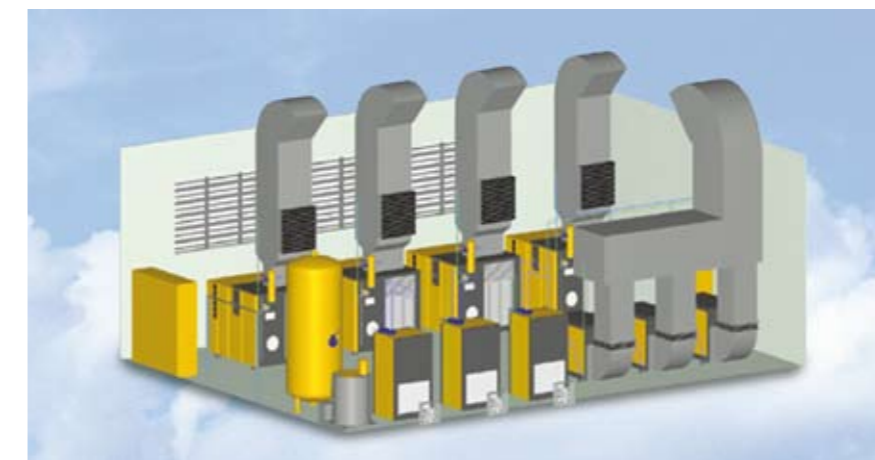


Рис. 2 в: Созданное на компьютере трехмерное изображение позволяет уже на этапе планирования создать виртуальную проекцию будущей станции

**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН

Они касаются не только общих чертежей и технологических схем, но также и созданных на компьютере трехмерных изображений и анимации процесса планирования. Так, например, даже в небольших помещениях возможно использование

воздушного охлаждения. Это позволяет сэкономить примерно 30-40% затрат по сравнению с более дорогим водяным охлаждением. Еще одним преимуществом является возможность выявления и исключения возможных недостатков и источников сбоев уже в процессе планирования и, таким образом, оптимизации всех технических аспектов создания станции (рис. 2 а-с).

### 4. Оптимизация производства и контроллинг

Для обеспечения экономичного снабжения сжатым воздухом необходимо не только оптимальное соотношение затрат и получаемой выгоды, но и «прозрачность», требующаяся для эффективного контроллинга. Основой для этого является блок управления компрессором «SIGMA CONTROL», промышленный компьютер с пятью запрограммированными режимами управления и



Рис. 3: «Sigma Air Manager» позволяет оптимизировать взаимодействие всех компонентов, повысить работоспособность и эффективность контроллинга системы снабжения сжатого воздуха

сеть. На вышестоящем уровне устанавливается уже упомянутый промышленный компьютер типа «SIGMA AIR MANAGER» (рис. 3). Наряду с управлением и мониторингом станции, ориентированного на потребности в сжатом воздухе, его задачей является сбор и передача данных в локальную сеть (Ethernet). Для этого можно использовать интернет или программу «SIGMA CONTROL CENTER». Благодаря программе визуализации «SIGMA AIR CONTROL», устанавливаемой на «SIGMA AIR MANAGER», возможно отображение на экране монитора основных данных о состоянии компрессоров станции. Таким образом, можно быстро определить величину рабочего давления, насколько надежно работает станция, имеются ли сообщения о необходимости техобслуживания или наличия сбоев. При этом можно выбрать один из уровней подробности информации. Так, например, можно графически отобразить данные о потреблении электроэнергии, потребности в сжатом воздухе, уровне давления и сроках проведения технического обслуживания. Благодаря этим современным инструментам контроллинга компрессорные станции производят соответствующий объем сжатого воздуха требуемого качества при оптимальных затратах.

Немногие современные компрессорные станции и системы снабжения сжатого воздуха могут похвастаться оптимизированной структурой затрат. Во всех остальных случаях настоятельно рекомендуется



# 13. Правильное планирование компрессорной станции (3) анализ потребления сжатого воздуха – исследование фактической ситуации

оптимизация системы. Основанием для этого является подробный анализ загрузки компрессорной станции, который мы в общих чертах представили в главе 11 «Правильное планирование компрессорной станции (1)» на странице 24. Здесь приводится подробное описание определения состояния станции.

ного потребления сжатого воздуха, специфичных требований к давлению и качеству воздуха.

### б) Области применения сжатого воздуха

Поскольку сжатый воздух может использоваться в самых разнообразных целях, необходимы подробные сведения о вероятной сфере применения. Необходимо сообщить о том, будет ли использоваться сжатый воздух, например, в системах управления, при нанесении покрытий, для вращающихся инструментов, в целях очистки, в качестве технологического воздуха и т.д..

### в) Установленные компрессоры

Кроме моделей и типоразмера компрессоров необходимо указать их технические данные, рабочее давление, производительность, потребляемую мощность, тип охлаждения и при необходимости – использование рекуперации тепла.

### г) Подготовка сжатого воздуха

В отношении подготовки сжатого воздуха важно знать, будет ли она осуществляться централизованно и/или децентрализованно, а также требуемые классы качества. Разумеется, необходимо также указать технические характеристики компонентов. Для общего представления потребуется эскиз технологической схемы (рис. 2).

### д) Управление установкой и мониторинг

Поскольку рядом с характеристиками отдельных компрессоров на экономичность станции влияет сложность их работы, не следует забывать об

Рис. 2: Технологическая схема производства и подготовки сжатого воздуха (эскиз)



Общий план с указанием отдельных участков сети

Сжатый воздух:  
красный = 3" труба  
синий = 2" труба  
зеленый = линия под полом  
коричневый = ¼ труба

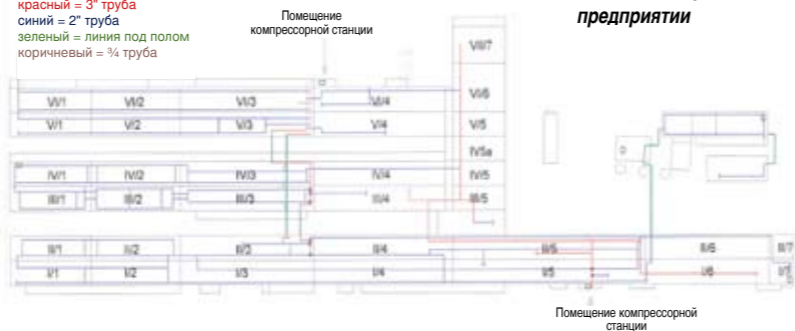


Рис. 1: Общий план основного трубопровода сжатого воздуха на предприятии

Основным условием для анализа и последующей успешной оптимизации является доверительное сотрудничество между пользователем и консультантом по вопросам сжатого воздуха. В частности, для пользователя это означает своевременное предоставление всей необходимой информации.

### 1. Информация, предоставляемая заказчиком

#### а) Схематичное изображение

Для более наглядного представления заказчик должен предоставить схематично изображенный план предприятия (рис. 1). С указанием основного трубопровода, соединительных линий и точек разбора сжатого воздуха, производимого компрессорной станцией. Кроме того, необходимы данные о размерах и материале, из которого изготовлена трубопроводная сеть, точках основ-

описании технологии управления и мониторинга.

### 2. Переговоры пользователь/консультант по вопросам сжатого воздуха

При наличии перечисленной информации консультант в предварительной беседе знакомится с представленной документацией и обсуждает проблемы, связанные со снабжением сжатым воздухом. К ним могут относиться слишком низкий уровень или колебания давления, несоответствие классу качества, недостаточная загрузка компрессоров или проблемы с охлаждением.

### 3. Осмотр системы сжатого воздуха

Наибольшее количество информации, как правило, дает осмотр пневмостанции. При этом рекомендуется начать осмотр с критических зон, т.е. там где ожидается сильное падение давления (рис. 3) или недостаточное качество воздуха. Практика показывает, что в основном проблемы возникают в конечных точках забора



Рис. 3: Падение давления в пневмосети

воздуха. Поэтому рекомендуется поступить следующим образом:

#### а) Соединительные шланги, редукторы давления, водоотделители

В частности, утечки часто возникают в местах шланговых соединений с потребителями воздуха. Поэтому их следует проверять на герметичность и наличие повреждений. При наличии редукторов давления необходимо проверить их настройки (давление на входе и выходе) под нагрузкой (рис. 4). Установленные перед редукторами давления водоотделители

**KAESER**  
КОМПРЕССОРЕН



Рис. 4: «Пожиратель энергии» – децентрализованный редуктор давления с водоотделителем

также следует контролировать на наличие жидкостей и загрязнений. То же самое относится к отходящим вертикально вниз ответвлениям (рис. 5).

#### б) Запорные устройства

На эффективность системы в значительной степени влияет состояние соединительных трубопроводов, отходящих от основной сети. К уязвимым местам относятся и запорные устройства. Поэтому необходимо проверить, установлены в системе, например, обеспечивающие полное прохождение потока шаровые краны и запорные клапаны или затрудняющая прохождение потока водозаборная арматура и угловые вентили.

#### в) Основная трубопроводная сеть

В основной трубопроводной сети в первую очередь необходимо определить «узкие места», источники падения давления.

#### г) Система подготовки сжатого воздуха

При этом главными критериями проверки являются достигаемая точка росы (степень осушения) и соответствующая разница давления. В зависимости от области применения могут потребоваться и другие проверки качества.

#### д) Компрессорная станция

Разумеется, что и сама компрессорная станция может иметь значительные недостатки. В частности, необходимо проверить расположение машин, систему вентиляции, охлаждение и прокладку трубопроводов. Кроме того, необходимо определить общую разность давления переключения компрес-

соров, размер ресивера и точку измерения, из которой осуществляется управление компрессором.

#### е) Определение точек измерения

После осмотра консультант совместно с пользователем определяет точки измерения для проведения анализа потребления. Минимальным требованием является измерение давления до и после подготовки сжатого воздуха, а также на выходе пневмосети.

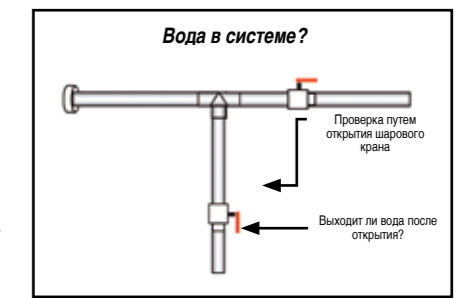


Рис. 5: Вода в системе? (проверка)

### 4. Измерение давления и потребления воздуха (ADA)

При измерении давления и расхода воздуха с помощью современных электронных приборов анализируется работа компрессорной станции в течение не менее 10 дней. Анализатор регистрирует все необходимые параметры и передает их на компьютер, который отображает диаграмму потребления. С ее помощью легко определить падение и колебание давления, изменение потребления воздуха, холостой ход, время нагрузки и остановка компрессора, а также производительность каждого отдельного компрессора при соответствующем потреблении сжатого воздуха. Для получения полной картины, при проведении измерений следует определить места утечек. Выполнение описано в главе 10 (стр. 22), для этого необходимо отключить отдельные участки сети на выходные.



Почти 100 % потребляемой компрессором электроэнергии преобразуется в тепло. Даже сравнительно небольшая компрессорная установка мощностью 18,5 кВт способна своей тепловой энергией отопить



## 14. Правильное планирование компрессорной станции (4)

**эффективное охлаждение компрессорной станции: воздушное охлаждение**

небольшой коттедж. Поэтому для бесперебойной работы компрессорной станции необходимо обязательно обеспечить эффективное охлаждение.

Тепло, излучаемое компрессорами, может быть использовано в целях экономии энергии. С помощью соответствующих систем рекуперации тепла можно использовать до 94 % от затраченной энергии, заметно снизив затраты на производство сжатого воздуха (см. также главу 8 "Экономия энергии за счет системы рекуперации тепла", стр. 18). Тем не менее, пневмоустановки с системой рекуперации тепла должны быть оборудованы системой охлаждения, позволяющей также сэкономить значительные средства. Так, например, затраты на воздушное охлаждение могут быть на 30 % ниже, чем при водяном охлаждении. Поэтому сегодня, где это возможно, отдается предпочтение воздушному охлаждению.

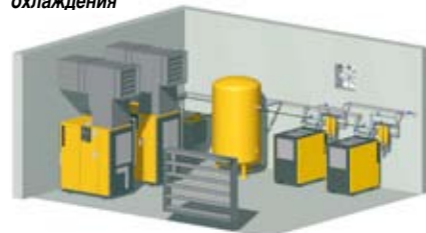
### 1. Место установки компрессоров

#### 1.1 Главные козыри – чистота и прохлада

В правилах по профилактике несчастных случаев VBG 16 («13.4 Компрессоры», § 12, раздел 1) написано: «Компрессоры должны устанавливаться таким образом, чтобы к ним был обеспечен хороший доступ и необходимое охлаждение». Исполнительные инструкции указывают на то, что температура

окружающего воздуха для установок с воздушным и масляным охлаждением не должна превышать +40 °С. Кроме того, § 15 содержит следующее указание: «... в зоне всасывания компрессора запрещается нахождение опасных примесей.» Данные инструкции

*Компрессорная станция с вытяжным каналом – наиболее эффективный вариант воздушного охлаждения*



являются всего лишь минимальными требованиями. Их цель – максимальное снижение опасности возникновения несчастных случаев. Вместе с тем, для экономичной работы компрессоров и снижения потребности в техобслуживании требуется гораздо больше.

### 1.2. Помещение компрессорной станции – не кладовка

Помещение компрессорной станции – не кладовка. Т.е. в нем не должно находиться постороннее оборудование, пыль и грязь, пол должен быть износостойким. В идеале – возможность проведения влажной уборки. В сильно запыленных и загрязненных условиях не разрешается всасывание как охлаждающего воздуха, так и воздуха для сжатия без предварительной интенсивной очистки

от пыли, частиц сажи и т.д.. Даже в нормальных условиях эксплуатации воздух, всасываемый компрессором для сжатия или для охлаждения, должен проходить через встроенный фильтр.

### 1.3 Поддержание температурного режима

Значительное влияние на надежность работы компрессора и потребности в техническом обслуживании оказывают температурные условия: воздух, всасываемый для сжатия и охлаждения, не должен быть слишком холодным (менее +3 °С) или слишком горячим (более +40 °С)\*. Это следует учесть при планировании и строительстве. Так, например, летом южная, а иногда и западная сторона здания сильно нагрета от солнца. Порой, даже в умеренной климатической зоне воздух может достигать +40 °С или даже +45 °С. Поэтому входные проемы для воздуха не рекомендуется размещать на стороне, где возможно попадание сильных прямых солнечных лучей. Размер проемов зависит от производительности компрессора и типа вентиляции.

### 2. Вентиляция компрессорного помещения

Независимо от типа охлаждения компрессоров (водяного или воздушного) необходимо обеспечить требуемую вентиляцию компрессор-

\* Температурные пределы указаны для климатических условий Центральной Европы и компрессорных станций серийной комплектации

ного помещения. В любом случае необходимо отводить тепло, излучаемое компрессорной установкой и электрическим двигателем. Вместе это составляет примерно 10 % мощности привода компрессора.

### 3. Различные типы вентиляции

#### 3.1 Естественная вентиляция (рис. 1)

Охлаждающий воздух всасывается и нагревается компрессором, поднимается вверх и под действием избыточного давления отводится из помещения через расположенный сверху вытяжной проем. Такой тип вентиляции рекомендуется использовать только в исключительных случаях и для компрессоров мощностью менее 5,5 кВт, поскольку солнечные лучи или ветер, направленные на проем, могут привести к сбою естественной вентиляции.

#### 3.2 Искусственная вентиляция

Этот часто применяемый метод использует направленный поток охлаждающего воздуха. Во избежание снижения температуры ниже +3 °С (в холодное время года) необходимо установить термостат. Слишком низкие температуры могут привести к нарушению работоспособности компрессоров, ухудшению отвода и обработки конденсата. Регулирование с помощью термостата необходимо, поскольку при искусственной вентиляции в помещении компрессорной станции происходит определенное снижение давления, препятствующее возврату нагретого воздуха в помещение. Существует две возможности искусственной вентиляции:

#### 3.2.1 Вентиляция с внешним вентилятором

Установленный в вытяжном проеме компрессорного помещения и регулируемый термостатом внешний вентилятор (рис. 2) вытягивает теплый воздух. При таком варианте вентиляции важно, чтобы входной проем (на рисунке внизу справа) не был слишком маленьким. В противном случае может возникнуть слишком большое разрежение,

сопровожаемое повышенным шумом, вызванное большой скоростью воздушного потока. Кроме того, это ухудшило бы охлаждение станции. Вентиляция должна быть организована таким образом, чтобы повышение температуры за счет тепла, излучаемого компрессором, не превышало 7К. Иначе это может привести к чрезмерно высокой температуре в помещении и сбою в работе компрессоров. Следует также обратить внимание на следующее: внешние вентиляторы создают дополнительные энергозатраты.

#### 3.2.2 Вентиляция с вытяжным каналом (рис. 3)

Конструкции современных винтовых компрессоров идеально подходят для создания вентиляции с помощью вытяжного канала. Воздух поступает в компрессор через приточный проем, теплый отработанный воздух выходит из него через канал, который ведет непосредственно из помещения компрессорной станции. Основным преимуществом этого метода является то, что поток охлаждающего воздуха может сильно нагреться, а именно до 20К. При этом сокращается необходимый объем охлаждающего воздуха. Обычно для отвода отработанного воздуха вполне достаточно серийно устанавливаемого вентилятора в компрессоре. Т.е. в отличие от вентиляции с внешним вентилятором отсутствует дополнительное потребление энергии. Это возможно только в том случае, когда не превышает избыточная напорная мощность вентилятора. Кроме того, в вытяжном канале должны быть установлены жалюзи, управляемые термостатом (рис. 4), чтобы в зимний период избежать переохлаждения компрессорного помещения. Если в компрессорном помещении установлен осушитель, это также необходимо учесть. Воздушные потоки компрессора и осушителя не должны мешать друг другу. Кроме того, при температуре выше + 25 С рекомендуется увеличить объем поступающего охлаждающего

**KAESER**  
**КОМПРЕССОРЕН**

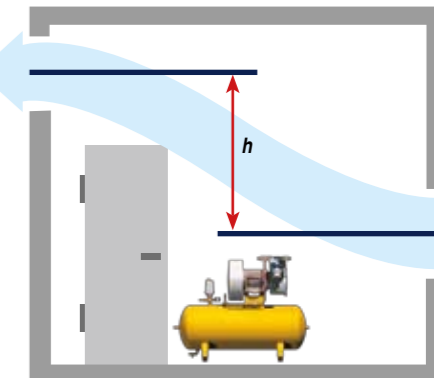


Рис. 1: Компрессорное помещение с естественной вентиляцией – для установок мощностью менее 5,5 кВт

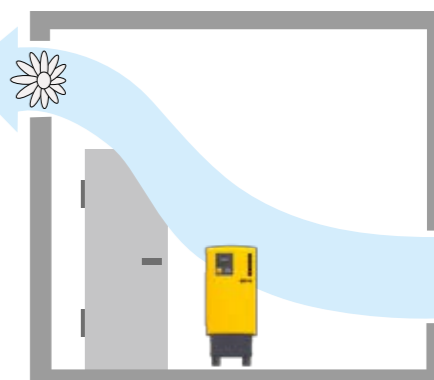


Рис. 2: Искусственная вентиляция с использованием внешнего вентилятора – для установок от 5,5 до 11 кВт

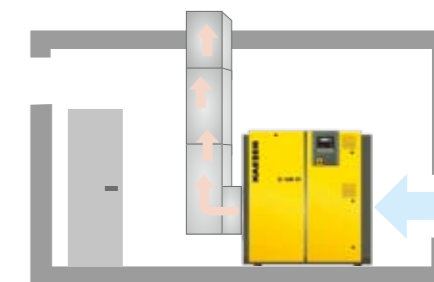


Рис. 3: Искусственная вентиляция с использованием вытяжного канала – для установок от 11 кВт



Рис. 4: Выравнивание температуры посредством жалюзи, управляемых термостатом

воздуха посредством дополнительного вентилятора, управляемого термостатом.

На страницах 20–31 мы рассказали о том, что следует учитывать при прокладке новых и санации существующих пневмосетей, а также о том, как должно выполняться планирование эффективной компрессорной станции. Вместе с тем, планиро-

# 15. Правильная эксплуатация пневмосистем

надежность и оптимизация затрат на долгосрочной основе

вание и исполнение с учетом энергозатрат и издержек – еще только полдела. Тот, кто хочет обеспечить долгосрочную экономичность производства сжатого воздуха, должен также позаботиться и об эффективной эксплуатации пневмосистемы.

Стремление добиться максимальной эффективности производства сжатого воздуха обеспечивает пользователю три преимущества: повышение надежности снабжения, ощутимое снижение стоимости сжатого воздуха и энергопотребления. Высокий потенциал эффективности: согласно проведенному Евросоюзом исследованию EC «SAVE II» в 2000 г. общее энергопотребление воздушных компрессоров составило 80 миллиардов кВт ч; как минимум 30 процентов из них можно было бы сэкономить.

## 1. Что такое оптимальная экономичность?

Экономичность пневмосистемы отражается в структуре затрат. Наилучший показатель будет зависеть от предприятия и производственного процесса. Решающее значение играют время работы компрессора, уровень давления и другие производственные параметры. Здесь приведен пример оптимизированной системы с компрессорной станцией воздушного охлаждения – срок

службы 5 лет, стоимость электроэнергии 8 центов/кВт.ч, процентная ставка 7%, избыточное давление 7 бар, качество сжатого воздуха согласно ISO 8573-1: остаточное

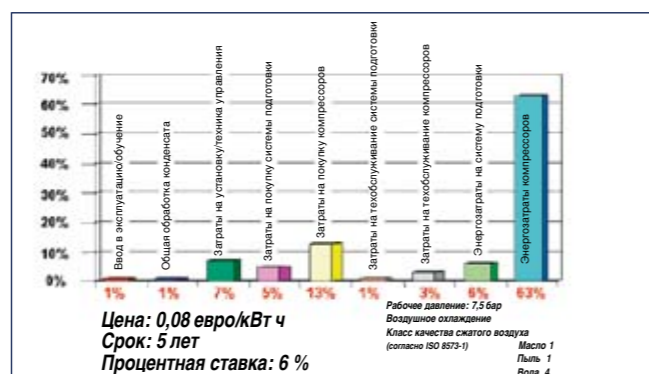


Рис. 1: Структура затрат оптимизированной системы сжатого воздуха

масло класса 1, остаточная пыль класса 1, остаточная вода класса 4 (рис. 1). Пример показывает: даже в оптимальных условиях львиную долю общих расходов на производство сжатого воздуха (около 70%) составляют затраты на электроэнергию.

2. Поддержание экономичности Тот, кто заинтересован в надежном экономичном снабжении сжатым воздухом, должен учесть ряд важных факторов:

2.1 Профилактическое техническое обслуживание Современные внутренние блоки управления компрессорами типа «Sigma Control» и системы управления производством сжатого воздуха типа «Sigma Air Manager»,

созданные на базе промышленных компьютеров, своевременно информируют о необходимости техобслуживания компонентов компрессорной станции. Благодаря этому стало возможным выполнять техническое обслуживание по мере необходимости, а также в профилактических целях. Результат: снижение затрат на техническое обслуживание, повышение экономичности систем снабжения сжатым воздухом, а следовательно, и надежности всего технологического процесса.

## 2.2 Использование соответствующих потребителей

Опасность экономить, где этого не следует делать, существует не только при производстве, но и при потреблении сжатого воздуха: например, когда приобретенное по выгодной цене производственное оборудование требует более высокого рабочего давления. Связанное с этим повышение давления или расширение пневмосистемы может далеко превосходить дополнительные затраты на приобретение машины с более низким рабочим давлением (например, 6 бар). Поэтому при приобретении производственного оборудования следует составить перечень требований, учитывающий



Рис. 2: Прибор для измерения потребления сжатого воздуха. Объемный поток определяется измерением разности давления в трубопроводе.

не только потребление электроэнергии, но и снабжение сжатым воздухом.

## 2.3 Новые производственные требования

### 2.3.1 Изменение потребления сжатого воздуха

#### а) Модернизация производства

На многих предприятиях нередко наблюдаются колебания потребления сжатого воздуха в зависимости от рабочих смен. Зачастую это практически не учитывается, и после модернизации производства в одной смене компрессоры практически не загружены, а в другой смене возникает настолько большая потребность в воздухе, что расходуются все резервные запасы. Поэтому подача сжатого воздуха должна постоянно подстраиваться под производственные изменения.

#### б) Расширение производства

В данном случае нужно согласовать не только мощность компрессоров, но и трубопроводы, а также систему подготовки сжатого воздуха. При необходимости увеличения производственных мощностей предприятия путем добавления еще одной установки (с такой же производительностью, как у существующей), рекомендуется произвести замер потребления сжатого воздуха, используя установку, находящуюся в эксплуатации (рис. 2).

### 2.3.2 Надежность снабжения

В компрессорных станциях обычно предусмотрено

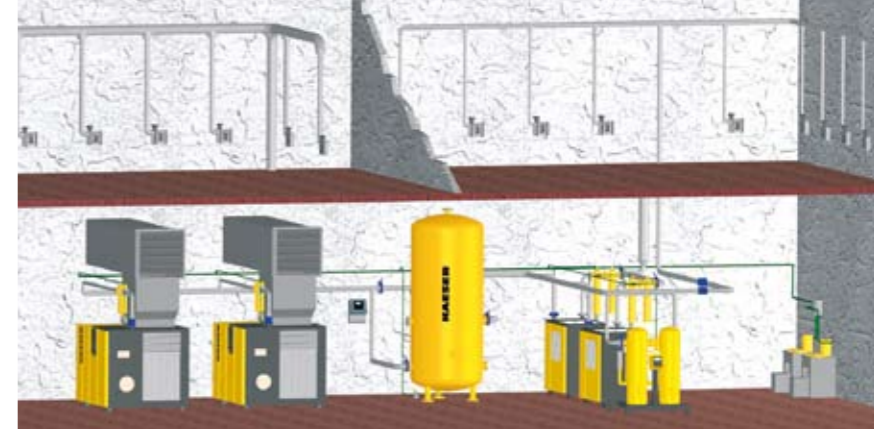
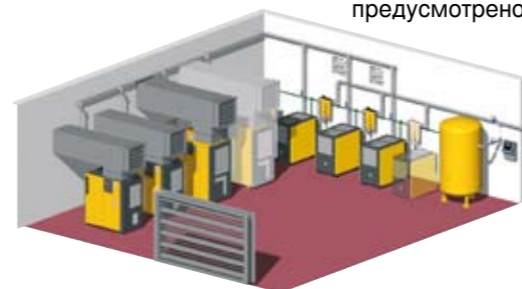


Рис. 4: Станция с подготовкой воздуха двух различных классов качества

наличие резервного компрессора. Что же касается подготовки сжатого воздуха, то здесь обычно пренебрегают такими резервными системами. Таким образом, при увеличении потребления воздуха хотя и включается запасной компрессор, но из-за отсутствия мощностей подготовки не достигается требуемое качество сжатого воздуха. Поэтому для каждого резервного компрессора следует предусмотреть резервные компоненты для подготовки воздуха (осушитель/фильтр) (рис. 3).

### 2.3.3 Изменение качества воздуха

При необходимости производства сжатого воздуха более высокого класса качества, следует определить, касается ли это производства в целом или одного участка. В первом случае недостаточно централизованной системы подготовки сжатого воздуха. Необходимо очистить или заменить трубопроводы, по которым ранее направлялся воздух более низкого класса качества. Во втором случае, наоборот, рекомендуется использовать отдельную систему подготовки, обеспечивающую требуемое качество сжатого воздуха (рис. 4). Для этого необходимо установить ограничитель потока. В противном случае, в систему подготовки может быть подано слишком большое количество сжатого воздуха, на которое она рассчитана не рассчитана.

## 2.4 Контроль утечек

В любой, даже хорошо обслуживаемой, пневмосети происходят утечки, имеющие тенденцию увеличиваться. Иногда они могут привести к значительным потерям электроэнергии. Основной причиной появления утечек является износ шланговых соединений, узлов машины или инструмента. При этом важно обращать внимание на такие недостатки

Рис. 3: Для обеспечения требуемого качества сжатого воздуха для каждого резервного компрессора следует предусмотреть резервные компоненты подготовки воздуха

и при необходимости устранять их. Кроме того, рекомендуется периодически контролировать утечки, используя современные системы управления и мониторинга типа «SAM». При установлении увеличения утечек, их следует локализовать и устранить.

## 3. Управление затратами – гарант экономичности

Аналитические данные, полученные при планировании, представляют не меньшую ценность при дальнейшей эксплуатации. Однако не следует проводить специальный анализ с целью получения новых данных. Эту задачу выполняют системы «SAM». Тем самым обеспечивается оптимальный фундамент для проведения он-лайн аудита сжатого воздуха и эффективного управления затратами снабжения сжатым воздухом (рис. 5). Чем больше пользователей сделают себестоимость сжатого воздуха прозрачной, поймут насколько велик потенциал экономии, а энергоэффективность станет главной составляющей при приобретении компонентов компрессорной станции,

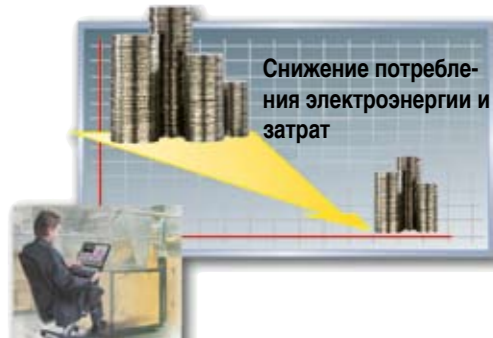


Рис. 5: Управление затратами позволяет постоянно контролировать расходы на производство сжатого воздуха

тем быстрее все заинтересованные стороны достигнут цели – сокращение потребления электроэнергии при производстве сжатого воздуха на 30% и более. Это послужит делу сохранения окружающей среды и позволит улучшить финансовые показатели предприятий.

# Все больше потребителей выбирают KAESER KOMPRESSOREN



## Контактная информация

Издатель: KAESER KOMPRESSOREN GmbH, Carl-Kaeser-Str. 26, 96450 Coburg, Deutschland  
Телефон: +49(0)9561 640-0; Факс: +49(0)9561 640-130;  
E-mail: [produktinfo@kaeser.com](mailto:produktinfo@kaeser.com). Интернет: [www.kaeser.com](http://www.kaeser.com)

Редакция: Михаил Бар (ответствт.), Эрвин Руппельт

Дизайн/графика: Мартин Фолмер, Ральф Гюнтер

Фотоматериалы: Марсель Хунгер

Типография: Schneider Printmedien GmbH, Reußenberg 22b, 96279 Weidhausen

Перепечатка и любое воспроизведение материалов допускается только с письменного разрешения редакции.

# Поставляемая продукция



Винтовые компрессоры с SIGMA PROFIL



Холодоосушитель с энергосберегающей системой регулирования SECOTEC



Системы управления компрессорами с интернет-технологией



Подготовка сжатого воздуха (фильтр, подготовка конденсата к утилизации, адсорбционный осушитель, адсорбер на активированном угле)



Роторные воздуходувки с OMEGA PROFIL



Передвижные строительные компрессоры с SIGMA PROFIL



Поршневые компрессоры для небольших производств и мастерских



Бустеры

# KAESER – во всем мире

KAESER KOMPRESSOREN является сегодня одним из ведущих мировых производителей компрессорного оборудования. Собственные филиалы и партнеры более чем в 60 странах мира готовы предложить пользователям сжатого воздуха самые современные, надежные и экономичные установки.

Профессиональные инженеры и консультанты предложат широкий спектр рекомендаций для всех областей применения сжатого воздуха. Глобальная компьютерная сеть фирмы KAESER делает доступным "ноу-хау" фирмы для всех заказчиков в любой точке земного шара.

И, наконец, прекрасно организованная сеть сервисного обслуживания гарантирует постоянную работоспособность всей продукции фирмы KAESER.

