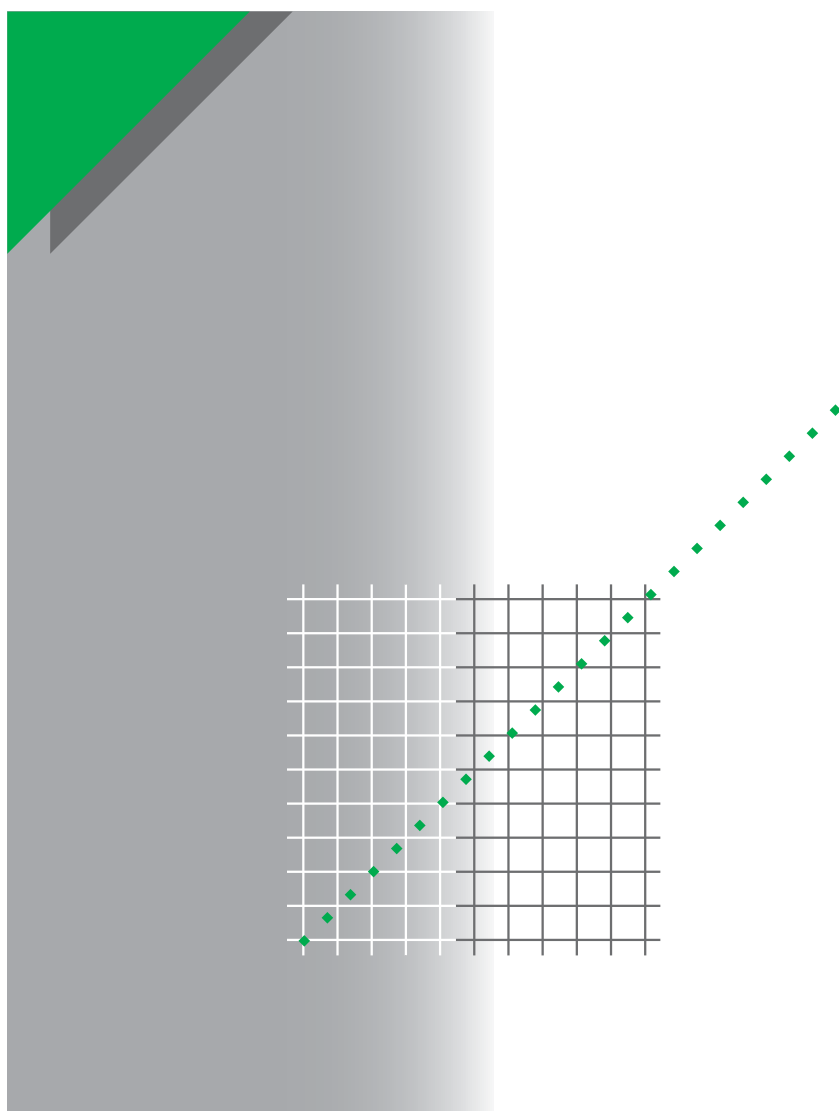


## Выпуск № 27

**Энергоэффективность:  
преимущества применения частотно-  
регулируемого привода в насосных,  
вентиляционных и компрессорных  
установках**



Компания *Schneider Electric* приступила к выпуску «**Технической коллекции Schneider Electric**» на русском языке.

**Техническая коллекция** представляет собой серию отдельных выпусков для специалистов, которые хотели бы получить более подробную техническую информацию о продукции *Schneider Electric* и ее применении, в дополнение к тому, что содержится в каталогах.

В **Технической коллекции** будут публиковаться материалы, которые позволят лучше понять технические и экономические проблемы и явления, возникающие при использовании электрооборудования и средств автоматизации *Schneider Electric*.

**Техническая коллекция** предназначена для инженеров и специалистов, работающих в электротехнической промышленности и в проектных организациях, занимающихся разработкой, монтажом и эксплуатацией электроустановок, распределительных электрических сетей, средств и систем автоматизации.

**Техническая коллекция** будет также полезна студентам и преподавателям ВУЗов. В ней они найдут сведения о новых технологиях и современных тенденциях в мире Электричества и Автоматики.

В каждом выпуске **Технической коллекции** будет углубленно рассматриваться конкретная тема из области электрических сетей, релейной защиты и управления, промышленного контроля и автоматизации технологических процессов.

**Валерий Саженок,**  
Технический директор  
ЗАО «Шнейдер Электрик»,  
Кандидат технических наук

## Выпуск № 27

### **Энергоэффективность: преимущества применения частотно- регулируемого привода в насосных, вентиляционных и компрессорных установках**



**Жак Шонек**

**Инженер, выпускник Высшей Национальной Школы электротехники, электроники, информатики, гидравлики и телекоммуникаций и доктор технических наук университета Тулузы, он участвовал с 1980 по 1995 в проектировании преобразователей частоты марки «Telemecanique». Затем он заведовал отделом фильтрации гармоник. В настоящее время он работает с группой «Архитектура и Системы» Schneider Electric в качестве эксперта по распределению электроэнергии.**

---

**Энергоэффективность:**

Оптимальное использование электроэнергии, в том числе уменьшение потребления и улучшение эффективности использования.

**Частотно - регулируемый привод (VSD):**

Механизм, использующий для изменения рабочих характеристик изменение частоты вращения электродвигателя.

**Преобразователь частоты:**

Устройство, изменяющее частоту питающего напряжения электродвигателя и управляющее таким образом его скоростью.

**Устройство плавного пуска:**

Устройство, ограничивающее пусковой ток при пуске двигателя и управляющее его разгоном.

**Насос:**

Устройство для нагнетания, сжатия или отсасывания текучих сред.

**Центробежный насос:**

Насос, в котором перемещение жидкости осуществляется под действием центробежных сил.

**Вентилятор:**

Устройство для усиления протока воздуха.

**Компрессор:**

Устройство для сжатия и подачи воздуха под давлением.

**Подача (производительность):**

Количество текучей среды, перемещенной за единицу времени.

**Напор:**

Давление в заданной точке сети, выраженное в высоте столба жидкости.

**Полезная мощность:**

Мощность, получаемая от насоса в виде потока жидкости под давлением (мощность на выходе насоса).

**Механическая мощность:**

Мощность на валу насоса (подведенная мощность). Величина, преобразуемая в полезную мощность.

**Электрическая мощность:**

Мощность, потребляемая электродвигателем (входная мощность).

**Потеря напора:**

Дополнительная энергия, которая должна быть передана текучей среде для преодоления сил сопротивления.

**Бустер:**

Устройство, используемое для поддержания постоянного давления в сети независимо от расхода.

**Гидроудар:**

Внезапное изменение давления в сети вследствие чрезмерно быстрого закрытия задвижки либо остановки насоса.

**Кавитация:**

Явление образования и схлопывания паровых пузырьков в насосе, обусловленное местным падением давления в потоке.

# Энергоэффективность: преимущества применения частотно-регулируемого привода в насосных, вентиляционных и компрессорных установках

Значительная часть производимой в мире электроэнергии используется для подъема, перемещения и сжатия жидкостей и газов. Для этого используются такие устройства, как насосы, вентиляторы и компрессоры.

Связи с возрастающей важностью контроля над энергопотреблением, особое внимание должно быть уделено способам управления данными механизмами. Значительная экономия электроэнергии может быть достигнута при управлении механизмами изменением частоты вращения.

В данном издании Технической Коллекции будут рассмотрены различные количественные и качественные особенности данного способа управления. Использование частотно-регулируемого привода является одним из решений, предлагаемых компанией Schneider Electric для повышения энергоэффективности.

<b>Содержание</b>	<b>Стр.</b>
<b>1. Введение</b>	<b>4</b>
<b>2. Центробежные насосы</b>	<b>5</b>
2.1 Общие сведения	5
2.2 Основные характеристики	6
2.3 Рабочая точка	8
2.4 Изменение расхода при постоянной частоте вращения	9
2.5 Работа при изменении частоты вращения насоса	12
<b>3. Вентиляторы</b>	<b>20</b>
3.1 Общие сведения	20
3.2 Работа при постоянной частоте вращения	21
3.3 Работа при переменной частоте вращения	23
<b>4. Компрессоры</b>	<b>27</b>
4.1 Общие сведения	27
4.2 Работа при переменном давлении	28
4.3 Работа при переменной частоте вращения	28
<b>5. Выводы</b>	<b>29</b>
<b>Приложение 1: Библиография</b>	<b>30</b>

# 1. Введение

Электрическая энергия, потребляемая насосными, вентиляционными и компрессорными установками, составляет значительную часть от общего расхода электроэнергии. Исследования показывают, что в промышленности и при эксплуатации зданий, 72% электроэнергии потребляется электродвигателями, причем 63% от этой величины используется для привода насосов, вентиляторов и компрессоров.

Большинство секторов экономики используют насосные, вентиляционные и компрессорные установки. Например:

- В секторе обработки воды: для водоподъема, орошения, распределения, очистки.
- В нефтяном и газовом секторах: для добычи, транспортировки, переработки, сжижения.
- В строительстве: для обогрева, вентиляции, кондиционирования.

Традиционные способы управления расходом или давлением заключаются в изменении эффективного поперечного сечения трубопровода или воздушного тракта, по которому происходит перемещение текучей среды. Наиболее часто для этих целей используются клапаны, задвижки и вентили.

Однако наиболее существенная экономия энергии по сравнению с традиционными способами может быть получена при использовании частотно-регулируемого привода. В насосных приложениях наибольшая экономия достигается при использовании центробежных насосов.

В данном документе описываются различные режимы работы центробежных механизмов и производится количественная оценка экономии электроэнергии при управлении изменением частоты вращения привода. Также рассматриваются другие преимущества преобразователей частоты применительно к вопросам энергоэффективности.

## 2. Центробежные насосы

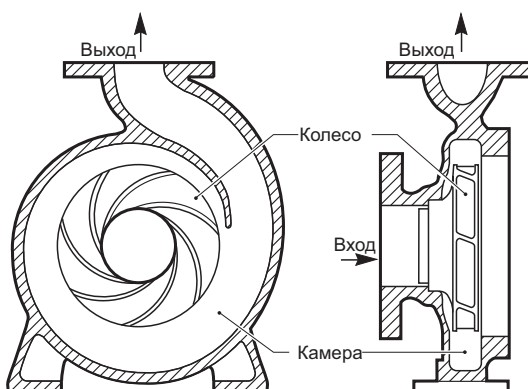
### 2.1 Общие сведения

Центробежные насосы имеют очень широкий диапазон мощностей, расходов и давлений. Они используются во многих приложениях, особенно в секторе обработки воды. Это наиболее распространенный тип насосов.

Подведенная к рабочему колесу извне механическая энергия через лопатки рабочего колеса передается жидкости и преобразуется в потенциальную (давление) и кинетическую (расход) энергию.

На **Рисунке 1** показаны основные части одноступенчатого центробежного насоса:

- корпус насоса в всасывающим и напорным патрубками
- рабочее колесо, закрепленное на валу.



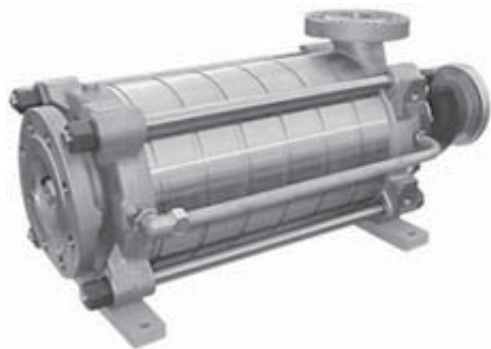
**Рис. 1.** Основные части центробежного насоса

На **Рисунке 2** показан центробежный насос с приводом от трехфазного асинхронного электродвигателя, наиболее распространенного из используемых в настоящее время. При прямом подключении к сети эти двигатели вращаются в постоянной скоростью, однако в полной мере могут использоваться также совместно с преобразователями частоты, работая при этом с переменной частотой вращения.



**Рис. 2.** Центробежный насос с электроприводом

Разработаны различные типы насосов для соответствия требуемым диапазонам расхода и давления. В частности, для повышения давления несколько насосов могут быть соединены последовательно. На **Рисунке 3** в качестве примера изображен многоступенчатый насос.



**Рис. 3.** Многоступенчатый центробежный насос

## 2.2 Основные характеристики

Основная задача насоса заключается в перемещении определенного количества жидкости за заданное время при заданном давлении. Основными параметрами при этом являются подача и напор.

Подача (или производительность)  $Q$  определяется как объем жидкости, перемещенный за единицу времени, и выражается в  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Напор ( $H$ ) определяется как давление в данной точке сети, выраженное в метрах столба перекачиваемой жидкости\*.

Зависимость между напором и давлением определяется выражением:

$$Pr = \rho gH$$

$Pr$ : давление (Па)

$\rho$ : плотность жидкости ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )

$g$ : ускорение свободного падения ( $9.81 \text{ м}/\text{с}^2$ )

$H$ : напор (м)

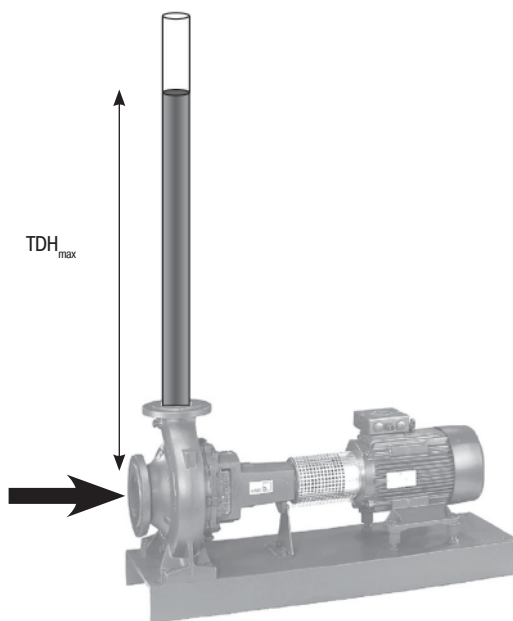
Плотность воды:  $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$

**Полный напор (Total Dynamic Head, TDH)** - разница давлений жидкости между входным и выходным патрубками насоса. TDH изменяется в зависимости от подачи насоса. Кривая изменения TDH в зависимости от подачи - основная характеристика каждого насоса.

Каждому значению частоты вращения насоса соответствует своя характеристика изменения TDH.

**Максимальный напор ( $TDH_{\text{max}}$ )** - максимальное давление, которое насос может создать при нулевой подаче. Соответствует максимальной высоте столба жидкости, как показано на **Рисунке 4**.

\* В отечественной литературе напор - разность полной удельной энергии у выхода и входа в насос (прим. переводчика)



**Fig. 4.** Иллюстрация: максимальный напор ( $TDH_{\text{max}}$ ).



**Полезная мощность** ( $P_u$ ), переданная жидкости, рассчитывается по формуле:  $P_u = \rho g H Q$  (в Вт)

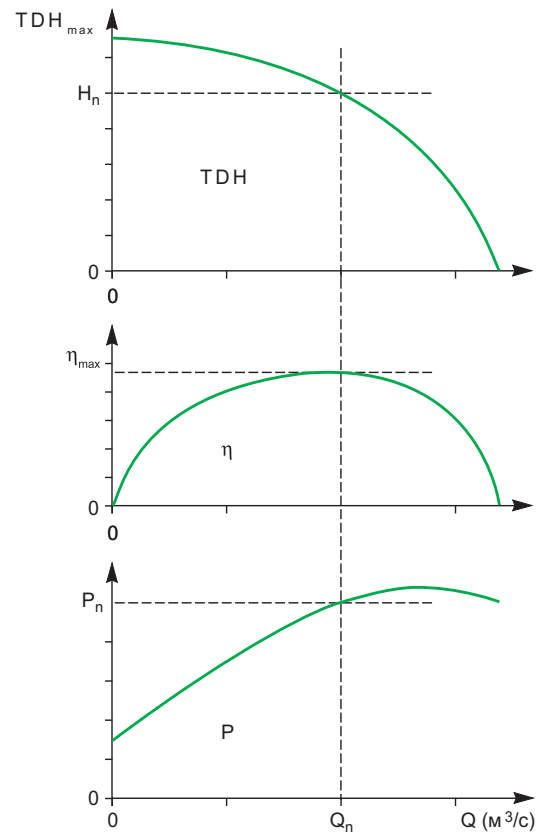
**Механическая мощность** ( $P$ ) рассчитывается с учетом КПД ( $\eta$ ) насоса:

$$P = (1/\eta) P_u = (1/\eta) \rho g H Q$$

Коэффициент полезного действия насоса  $\eta$  изменяется в зависимости от подачи насоса. Он равен нулю, если напор или подача также равны нулю. В этом случае никакой энергии жидкости не передается.

Номинальная рабочая точка (БЕР, Best Efficiency Point), определяется как точка характеристики, в которой КПД максимален.

На **Рисунке 5** представлены характеристики изменения напора, КПД и мощности в зависимости от подачи для типового центробежного насоса.



**Рис. 5.** Стандартные характеристики центробежного насоса.

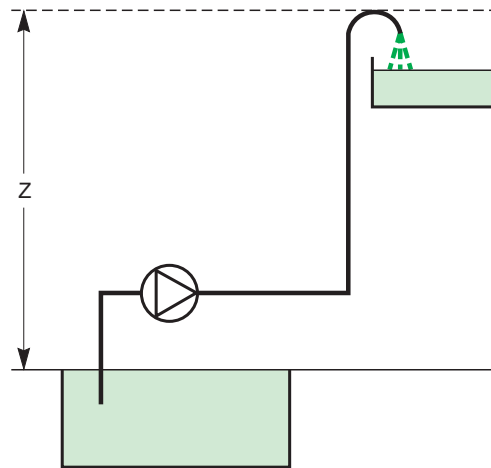
## 2.3 Рабочая точка

Распределительная сеть характеризуется следующими характеристиками:

- высотой столба жидкости между точкой всасывания и точкой, в которой планируется потребление жидкости (полная геометрическая высота  $Z$ , или статический напор),

- потерей напора, определяемого как дополнительное давление, необходимое для преодоления дополнительного трения в трубопроводах.

Простая распределительная сеть представлена на **Рисунке 6**.

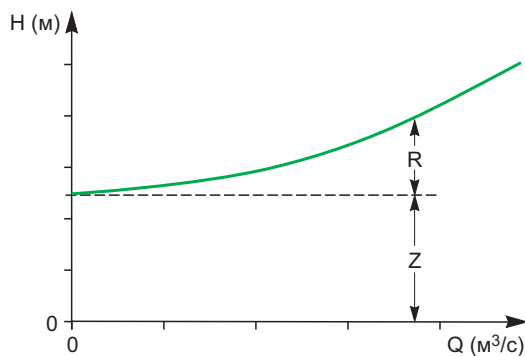


**Рис. 6.** Упрощенная схема распределительной сети.

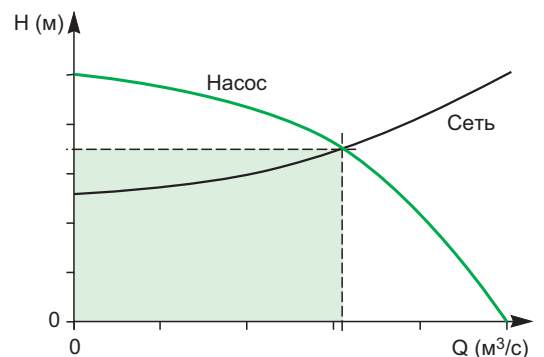
Потеря напора  $R$  пропорциональна квадрату подачи. Кривая, представляющая собой характеристику сети, показана на **Рисунке 7**.

Рабочая точка насоса при установке в соответствующей сети определяется пересечением характеристик насоса и сети, как показано на **Рис 8**.

В этом случае, полезная мощность, передаваемая насосом жидкости (равная  $gHQ$ ) пропорциональна затемненной площади на рисунке.



**Рис. 7.** Характеристика сети.



**Рис. 8.** Рабочая точка насоса в сети.

$H$ : напор насоса

$Z$ : высота столба жидкости (статический напор)

$R$ : потеря напора (динамический напор)

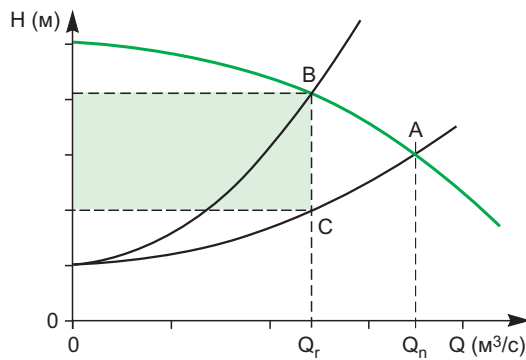
## 2.4 Изменение расхода при постоянной частоте вращения

В подавляющем большинстве приложений, подача жидкостей должна меняться постоянно в соответствии с потребностями потребителей. При использовании насосов, работающих на постоянной частоте вращения, возможны различные способы регулирования подачи. Некоторые наиболее распространенные решения описаны ниже.

### Использование клапанов, установленных за насосом

Целью данного решения является уменьшение эффективного поперечного сечения трубопровода за насосом. В результате увеличиваются потери напора в сети, которые выражаются в повышении давления на выходе насоса и рассеивании энергии в жидкости.

На **Рисунке 9**, точка А - рабочая точка при номинальной подаче  $Q_n$ . Точка В - рабочая точка при редуцированной подаче  $Q_r$ . Оптимальной рабочей точкой сети при подаче  $Q_r$  должна быть точка С. Затемненный сектор - потери при данном способе регулирования.



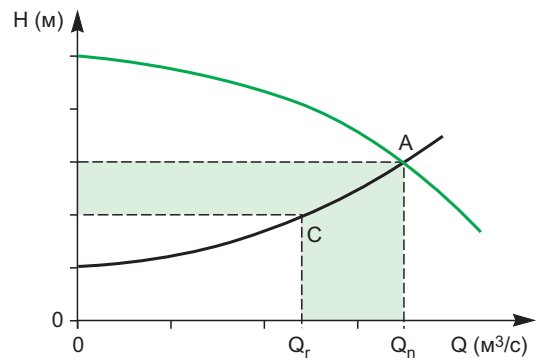
**Рис. 9.** Регулирование подачи клапаном за насосом.

### Использование байпасной линии

Принцип заключается в возврате части жидкости на всасывающий патрубок насоса при помощи байпасного клапана. Это позволяет точно регулировать подачу насоса, однако недостатком такой схемы регулирования является низкий КПД.

На **Рисунке 10**, точка А - рабочая точка, соответствующая номинальной подаче  $Q_n$ . Оптимальной рабочей точкой для данной сети при пониженной подаче  $Q_r$  должна быть точка С. Расположенный за насосом байпасный клапан практически не изменяет характеристику сети. Затемненные сектора соответствуют потерям при использовании байпасного клапана.

Этот тип регулирования позволяет получать режимы работы с небольшой подачей без риска превышения максимального допустимого давления на выходе насоса.



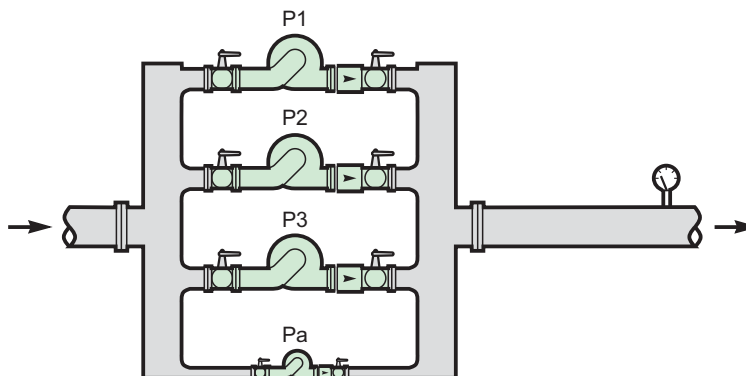
**Рис. 10.** Регулирование подачи при использовании байпасной линии.

### Периодическая работа

Данный режим работы наиболее часто используется для заполнения резервуаров, например, водонапорных башен. Насос выбирается таким образом, чтобы обеспечивать максимально возможную подачу и работать при этом с оптимальным КПД. Насосы включаются во время, когда стоимость электроэнергии наименьшая. Однако при работе с максимальной подачей потеря напора также максимальна, что является недостатком данного способа.

### Параллельная работа насосов

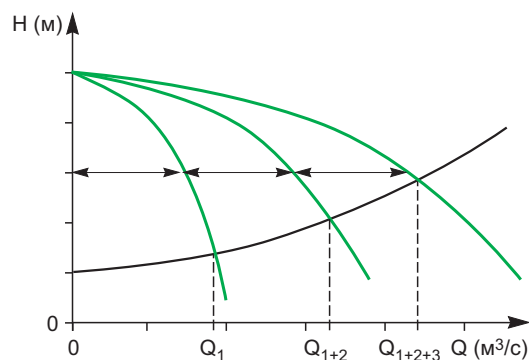
В тех случаях, когда необходимо изменять подачу в широком диапазоне, одним из решений является параллельная работа нескольких насосов. Иллюстрация такого решения приведена на **Рис. 11**. В этом случае возможно реализовать работу каждого насоса с оптимальным КПД.



**Рис. 11.** Параллельная работа насосов.

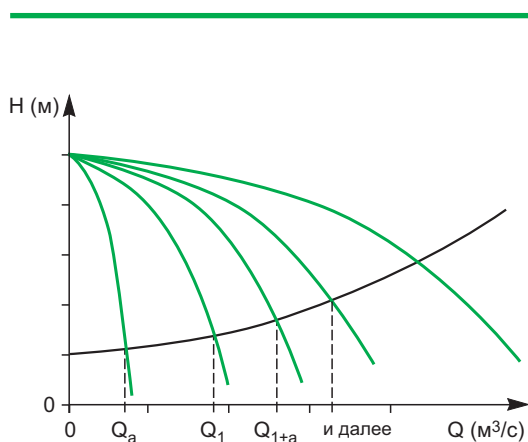
Рассмотрим пример параллельной работы трех однотипных насосов. Результирующая характеристика представляет собой сумму подач всех насосов при постоянном напоре. В сети в таком случае возможны три рабочих точки, положение которых определяется количеством находящихся в работе насосов, как показано на **Рис. 12**.

Обратите внимание, что  $Q_{1+2} < 2 Q_1$ .  
Это происходит из-за увеличения сопротивления сети (трение).



**Рис. 12.** Параллельная работа однотипных насосов.

Промежуточные рабочие точки могут быть получены при использовании дополнительного насоса меньшей мощности, как показано на **Рис. 13**.



**Рис. 13.** Использование дополнительного насоса

Следуя тому же принципу, в установках часто применяют т.н. "подпорный насос" (jockey pump) небольшой мощности для поддержания минимального давления в сети, если основные насосы не работают.

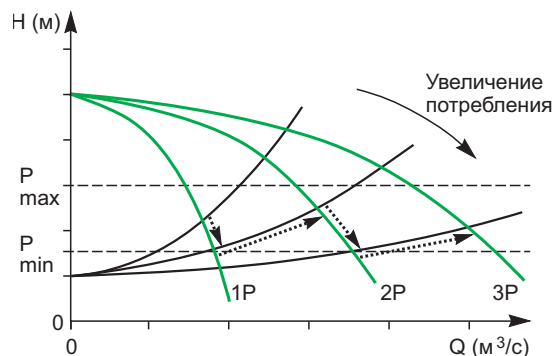
Примечание: при параллельной работе насосов с разными характеристиками возможна нестабильная работа системы, и проектирование в этом случае должно вестись совместно с специалистами по гидродинамике.

#### Бустер

Установленные параллельно насосы обычно используются для поддержания давления в системе между минимальным и максимальным значением, используя обратную связь по давлению.

Увеличение потребления приводит к снижению потерь напора, как результат открытия клапана за насосом, и к снижению давления.

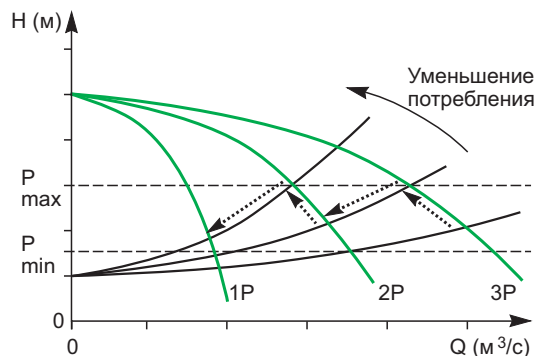
При достижении минимального давления должен включиться резервный насос. Этот режим представлен на **Рис. 14**.



**Рис. 14.** Работа бустерного насоса при увеличении расхода в сети

И наоборот, уменьшение потребления приводит к увеличению потерь напора в результате закрытия регулирующего клапана за насосом, и увеличению давления.

При достижении максимального давления насос должен остановиться. Работа в таком режиме показана на **Рис. 15**.



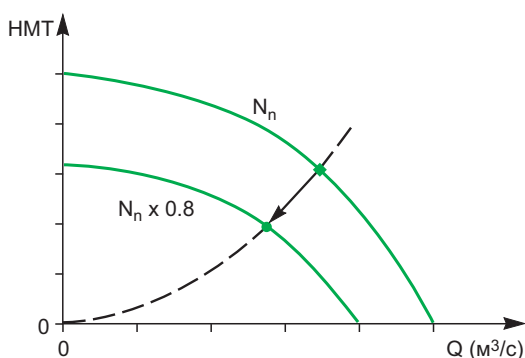
**Рис. 15.** Работа бустерного насоса при уменьшении расхода в сети

## 2.5 Работа при изменении частоты вращения насоса

Основные характеристики центробежного насоса имеют прямую зависимость от частоты вращения. Если рассматривать собственно насос (без учета высоты водяного столба), то при частоте вращения  $N$ , отличающейся от номинальной частоты вращения  $N_n$ :

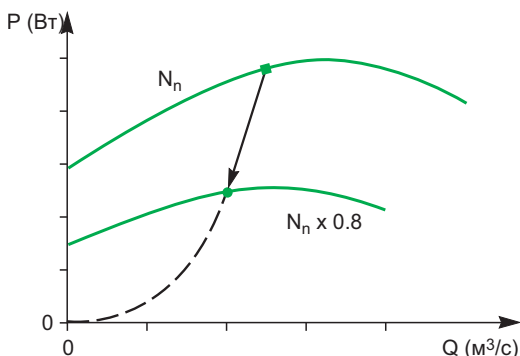
- подача  $Q$  пропорциональна отношению  $(N/N_n)$ ,
- полный динамический напор пропорционален  $(N/N_n)^2$ ,
- мощность  $P$  пропорциональна  $(N/N_n)^3$

Необходимо иметь в виду, что эти зависимости приближительны, однако ими можно пользоваться в широком диапазоне изменения частоты вращения.



**Рис. 16.** Характеристики центробежного насоса на двух различных скоростях

Основной является характеристика  $TDH(Q)$  на номинальной скорости. Характеристика на других скоростях может быть построена последовательно по точкам, расположенным на параболической кривой, как показано на **Рис. 16**.



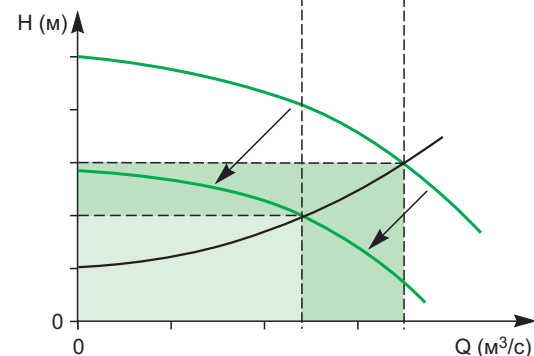
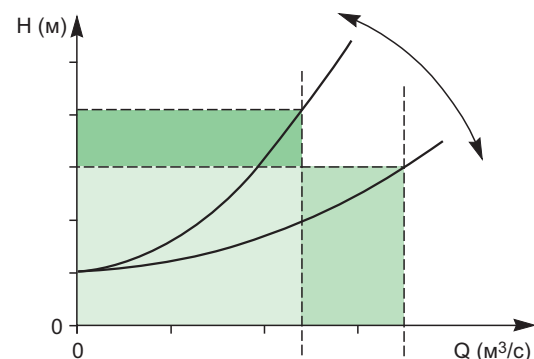
**Рис. 17.** Характеристика  $P(Q)$  центробежного насоса для двух различных скоростей.

Упрощенно, характеристика  $P(Q)$  может быть также построена последовательно по точкам, соответствующим точкам, расположенным на кубической характеристике, как показано на **Рис. 17**.

### Изменение подачи в заданной сети

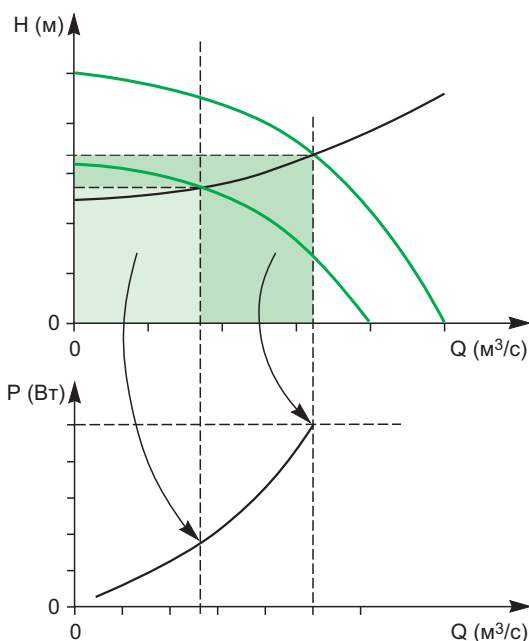
Выше говорилось о возможности изменения подачи насоса при работе на постоянной скорости, используя дросселирующий клапан за насосом, что было проиллюстрировано на **Рис. 9**.

**Рис. 18** поясняет снижение потребляемой мощности при изменении подачи насоса снижением его частоты вращения. Полезная мощность пропорциональна затененным прямоугольникам, поэтому легко обнаружить значительное снижение мощности при изменении частоты вращения насоса.



**Рис. 18.** Регулирование изменения подачи насоса при постоянной и при переменной частоте вращения

Регулирование изменением частоты вращения делает возможным постоянное использование насоса с наиболее высоким КПД. В этом случае прямоугольные затемненные области прямо пропорциональны мощности, потребляемой насосом. Данный пример оценки потребляемой насосом мощности проиллюстрирован на **Рис. 19**.



**Рис. 19.** Изменение потребляемой мощности

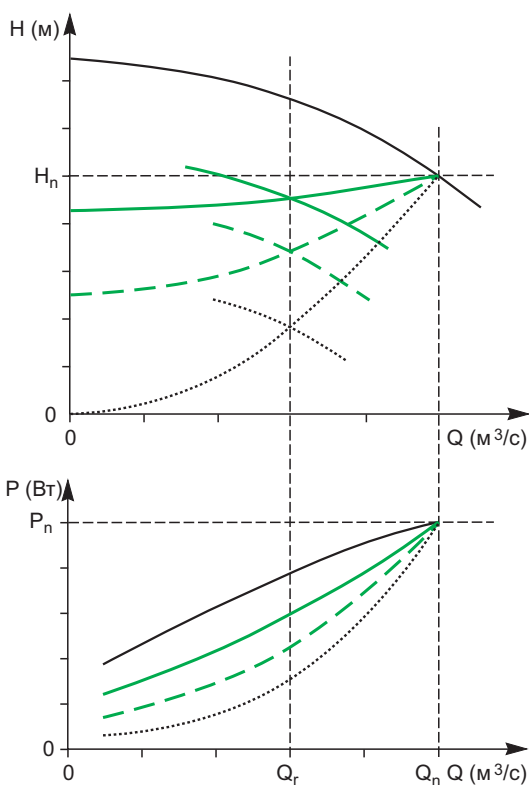
**Изменение потребляемой мощности при различных типах сети**

Изменение потребляемой насосом мощности в функции подачи зависит от характеристики сети, на которую данный насос работает. При расчетах учитывается поправочный коэффициент, учитывающий разницу между напором насоса в номинальной рабочей точке и высотой столба жидкости  $Z$  в точке с нулевой подачей (см. **Рис. 7**).

Принимая  $H_n$  как полный напор в номинальной рабочей точке, можно рассмотреть различные типы сети:

- $Z = 0$ : сеть только с потерями напора
- $Z = 0.85 H_n$ : типичная характеристика (геометрический напор является преобладающим фактором)
- $Z = 0.5 H_n$ : среднее значение

На верхней схеме **Рис. 20** показано, что одинаковое снижение подачи насоса с  $Q_n$  до  $Q_r$ , уменьшением частоты вращения будет различаться по реализации в зависимости от типа сети. Это проявляется в различии характеристик мощности в функции подачи, как показано на нижней схеме рисунка. Чем больше снижение частоты вращения, тем более существенно снижение мощности.



**Рис. 20.** Изменение мощности для различных типов сети

- .....  $Z = 0$
- - -  $Z = 0.5 H_n$
- $Z = 0.85 H_n$

### Пример: расчет уменьшения потребляемой мощности

Предположим, что насос с номинальной мощностью 100 кВт работает на сеть, в которой статический напор  $Z$  равен половине номинального полного напора TDH ( $Z = 0.5 \cdot H_n$ ).

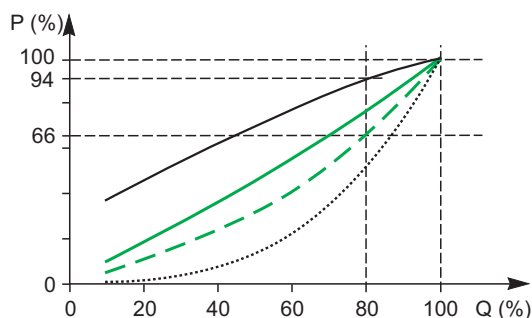
Необходимо сравнить потребление энергии при 80% номинальной подаче во время работы на номинальной частоте вращения с потреблением во время работы на пониженной скорости. Для регулирования подачи при работе на номинальной скорости используется клапан, расположенный за насосом.

КПД двигателя:  $\eta_{mot} = 0.95$  на номинальной скорости

$\eta_{mot} = 0.93$  на 80% от номинальной скорости

КПД при переменной частоте вращения:  $\eta_{vsd} = 0.97$

Мощность, потребляемая для различных типов сети, представлена на **Рис.21**.



**Рис. 21.** Изменение потребляемой мощности

При подаче 80 % от номинальной, мощность, потребляемая на номинальной частоте вращения, равна 94 % от номинальной мощности.

В то же время, мощность, потребляемая на пониженной частоте вращения, равна 66% от номинальной мощности.

Мощность на номинальной частоте вращения:

$$P_f = P_n \cdot \frac{1}{\eta_{mot}} \cdot P(Q) = 100 \cdot \frac{1}{0.95} \cdot 0.94 = 98.9 \text{ кВт}$$

Мощность на пониженной частоте вращения:

$$P_r = P_n \cdot \frac{1}{\eta_{mot}} \cdot \frac{1}{\eta_{vsd}} \cdot P(Q) = 100 \cdot \frac{1}{0.93} \cdot \frac{1}{0.97} \cdot 0.66 = 73.1 \text{ кВт}$$

Потребление электроэнергии снижено на 25.8кВт, что составляет экономию электроэнергии в 226МВт\*ч в год при постоянной работе, что составляет экономию 11,300 в год, считая стоимость электроэнергии в 0.05/кВт\*ч.



### Программное обеспечение Eco8

Применение прикладного программного обеспечения, разработанного компанией Schneider Electric позволяет, в большинстве случаев, рассчитать экономию электроэнергии при регулировании подачи изменением частоты вращения, по сравнению с традиционными техническими решениями, такими как дросселирование потока клапанами за насосом, или использование байпасной линии.

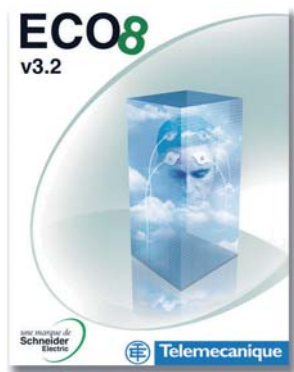


Рис. 22. Программное обеспечение Eco8

### Снижение мощности по сравнению с периодической работой насоса

Периодическое включение насоса с фиксированной частотой вращения - одно из возможных технических решений для регулирования средней подачи в сети. Рассмотрим пример экономии электроэнергии при использовании насоса с регулируемой частотой вращения.

Рассмотрим сеть, в которой статический напор  $Z$  при нулевой подаче равен половине полного напора насоса TDH, то есть  $Z = 0.5 H_n$

Напор в сети как функция подачи определяется выражением:  

$$H = Z + k1 \cdot Q^2 \quad (1)$$

Если  $Q_n$  - номинальная подача насоса, то получим:

$$H_n = Z + k1 Q_n^2, \text{ если } Z = 0.5 H_n$$

$$\text{то } k1 = \frac{0.5 H_n}{Q_n^2} \quad (2)$$

Заменяя  $k1$  в выражении (1), получим:

$$H = 0.5 H_n \left( 1 + \left( \frac{Q}{Q_n} \right)^2 \right) \quad (3)$$

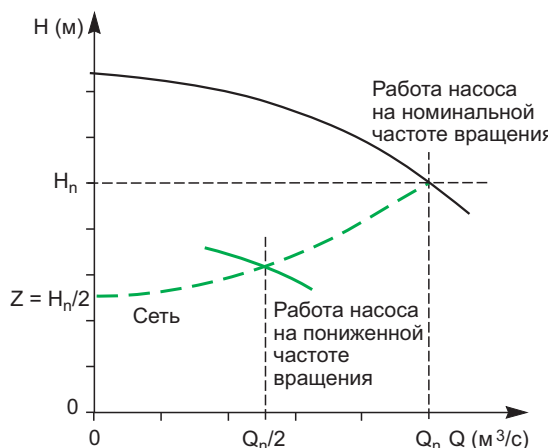


Рис. 23. Характеристики насоса и сети

Предположим, что необходимо получить подачу насоса, равную половине номинальной подачи. При использовании насоса с фиксированной частотой вращения, необходимо периодическое включение с работой на номинальной мощности с периодичностью 0.5.

Потребляя при этом средняя мощность может быть определена:

$$P_{\text{avg}} = k (0.5) H_n Q_n$$

В значении коэффициента  $k$  учитывается КПД насоса, который принимается оптимальным в номинальной рабочей точке ( $H_n, Q_n$ ). При работе на пониженной частоте вращения, потребляемая мощность рассчитывается:

$$P_r = k \cdot H \cdot Q_n / 2$$

Значение коэффициента  $k$  принимаем неизменным, если считать, что КПД насоса при работе на пониженной частоте вращения также оптимален.

Напор  $H$  можно рассчитать, используя выражение (3) при  $Q = Q_n / 2$ .

Таким образом, получаем:

$$P_r = (5/8) \cdot k \cdot (0.5) \cdot H_n \cdot Q_n$$

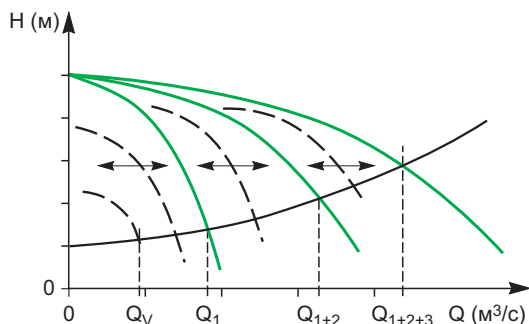
$$\text{Следовательно: } P_r = 0.62 \cdot P_{\text{avg}}$$

В данном примере использование насоса на пониженной частоте вращения приводит к снижению потребления электроэнергии почти на 40%, без учета потерь в двигателе и преобразователе частоты.

### Параллельная работа насосов с регулируемой частотой вращения

Описанная ранее параллельная работа нескольких насосных агрегатов (см. **Рис. 11**) может быть значительно усовершенствована при использовании насосов с регулируемой частотой вращения.

Наиболее широко используемой конфигурацией является изменение частоты вращения одного насоса при работе остальных на постоянной скорости. Использование насоса с переменной частотой вращения позволяет расширить рабочий диапазон ( $H, Q$ ), как показано на **Рис. 24**.



**Рис. 24.** Использование насоса с переменной частотой вращения

Использование насоса с переменной частотой вращения позволяет поддерживать давление в сети на заданном уровне. Если давление в сети падает или возрастает по сравнению с заданным, в преобразователь частоты подается команда на увеличение или уменьшение частоты вращения. Если насос достигает максимальной или минимальной частоты вращения, запускается, либо останавливается один из насосов с постоянной частотой вращения.

Использование насоса с переменной частотой вращения позволяет избежать значительного изменения давления в сети, как было ранее показано на рисунках 14 и 15.

Данная система позволяет уменьшить количество пусков и остановок электродвигателей, предотвращая тем самым значительные колебания давления или подачи, которые происходили при пусках и остановках насосов с постоянной частотой вращения. Данное свойство уменьшает нагрузку на двигатели и опасность гидравлических ударов.

### Сравнение различных решений

В рассматриваемом примере сравниваются различные способы регулирования подачи системы:

Дросселирование подачи;

Работа одного насоса с переменной частотой вращения (ведущий насос) и остальных насосов системы с постоянной частотой вращения;

Все насосы работают с переменной частотой вращения.

Предположим, что в состав системы входят три идентичных насосных агрегата, работающих в параллель. Мощность каждого насоса при 100% подаче равна 100 кВт. Статический напор  $Z$  равен половине полного напора  $H_n$  сети ( $Z = 0.5 H_n$ ).

Сравнение производится для потребления в 70% полной подачи сети, то есть для 210% номинальной подачи каждого из насосов.

Характеристики насосов для различных частот вращения представлены на **Рис. 25**.

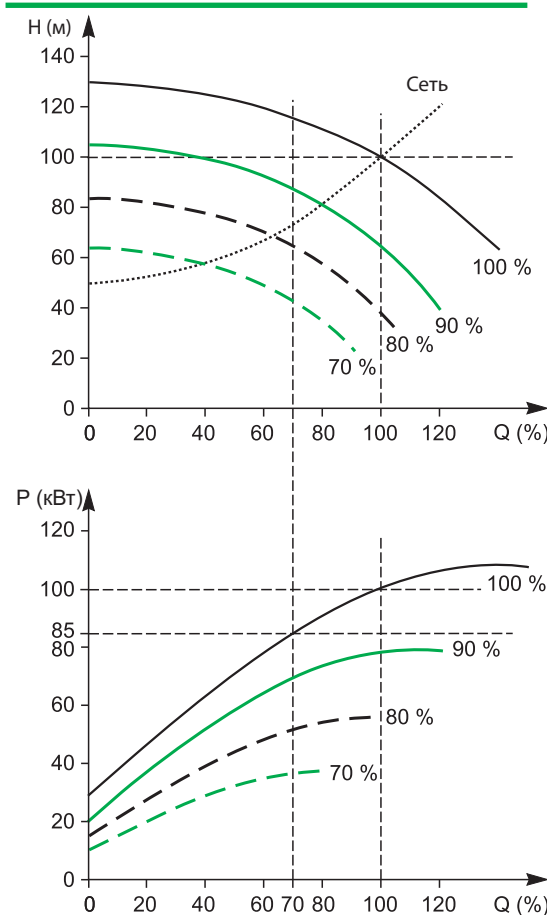


Рис. 25 : Характеристики насоса и сети

При дросселировании, мощность каждого насоса, работающего с постоянной частотой вращения, снижается до 85 кВт. Соответственно, полная мощность системы равна 225 кВт. Работа системы с выбором в качестве ведущего насоса с переменной частотой вращения проиллюстрирована на Рис. 26. В результате подача насоса, работающего с постоянной частотой вращения, увеличивается до 130% с увеличением потребляемой мощности (около 7%). При требуемой подаче 210% номинальной подачи одного насоса, необходим только один насос, работающий с полной постоянной частотой вращения.

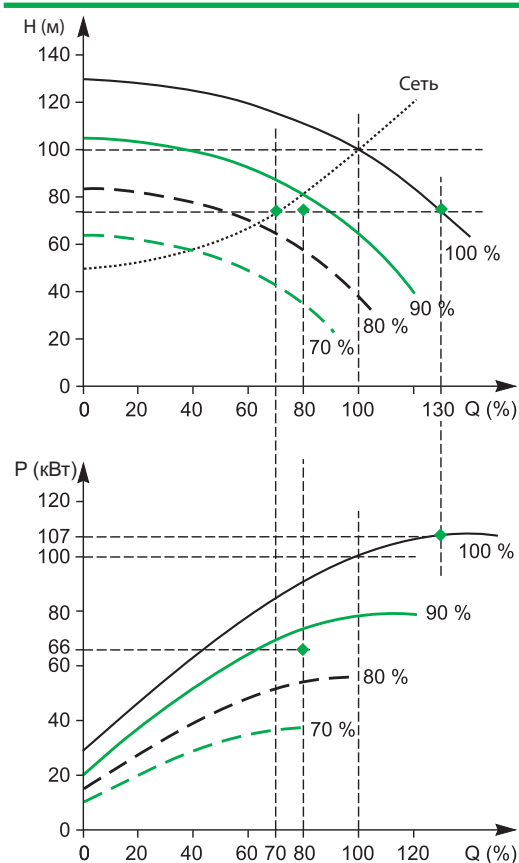
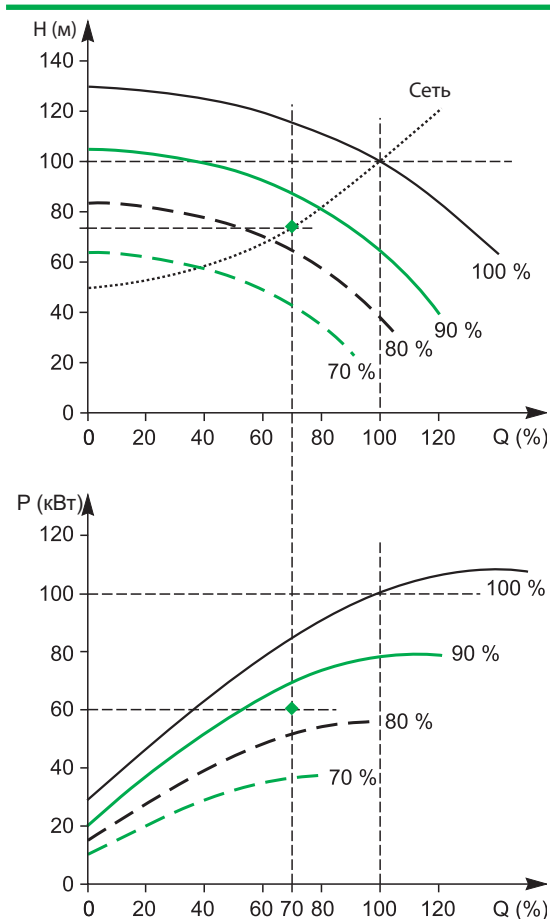


Рис. 26 : Использование в качестве ведущего насоса с переменной частотой вращения

Подача, обеспечиваемая ведущим насосом, при этом равна  $210 - 130 = 80\%$  от номинальной подачи. При данных напоре и подаче, насос работает на частоте вращения, примерно равной 87% от номинальной. При этом потребляемая мощность равна примерно 66 кВт.

При такой схеме включения насосов полная мощность равна  $107 + 66 = 173$  кВт.



**Рис. 27 :** Использование трех насосов с переменной частотой вращения

При наличии трех насосов, работающих на одинаковой пониженной скорости, их частота вращения должна быть снижена до 85% от номинальной. Мощность каждого насоса при этом снижается до 60 кВт.

Полная мощность в этом случае равна  $3 \times 60 = 180$  кВт.

Можно сделать вывод, что применение частотно - регулируемого привода значительно снижает полную мощность системы.

В рассмотренном примере использование одного ведущего насоса является наиболее энергоэффективным, но при этом работающий с постоянной частотой вращения насос должен быть большей номинальной мощности.

### **Иные преимущества частотно - регулируемого привода**

В дополнение к уже упомянутым преимуществам, использование частотно - регулируемого привода предоставляет большие возможности при разработке и эксплуатации оборудования. В частности:

- Исключение клапанов, регулирующих максимальную подачу: если насос переразмерен, работа на пониженных скоростях позволяет избежать потерь, связанных с изначальным дросселированием потока.
- Снижение шума и уровня вибрации: использование насоса с переменной частотой вращения означает, что насос не будет использоваться в течение длительного периода для работы с постоянной частотой вращения, что позволяет избегать резонансных явлений в трубопроводах.

- Снижение риска гидроударов и кавитации: данное явление, которое возникает в результате резкого изменения частоты вращения, не возникает в приводах с частотным регулированием благодаря плавному разгону и замедлению механизма.
- Замена двухскоростных и иных, уже устаревших устройств регулирования частоты вращения с низким КПД.
- Срок эксплуатации рабочего колеса зависит от частоты вращения, поэтому снижение частоты вращения увеличивает срок службы оборудования.
- Управление частотой вращения позволяет использовать насос с высоким КПД. Эксплуатация вне оптимальной рабочей зоны уменьшает срок службы подшипников и уплотнений насоса.



**Рис. 28. Преобразователи частоты Altivar 61 компании Schneider Electric**

Для регулирования частоты вращения электродвигателей компания Schneider Electric предлагает преобразователи частоты Altivar 61, специально разработанные для насосных приложений.

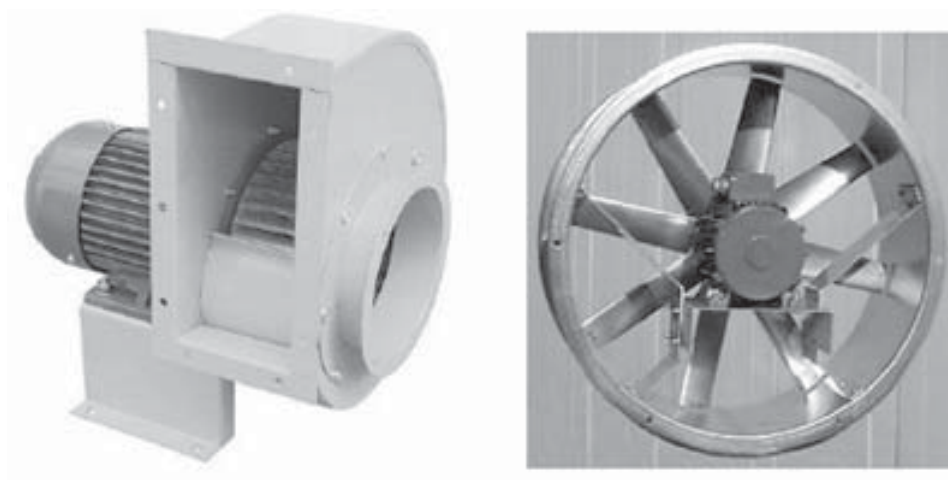
В настоящее время на базе встроенной карты контроллера разработаны карта переключения насосов и карта насосной станции для комплексных решений с секторе обработки воды.

## 3. Вентиляторы

### 3.1 Общие сведения

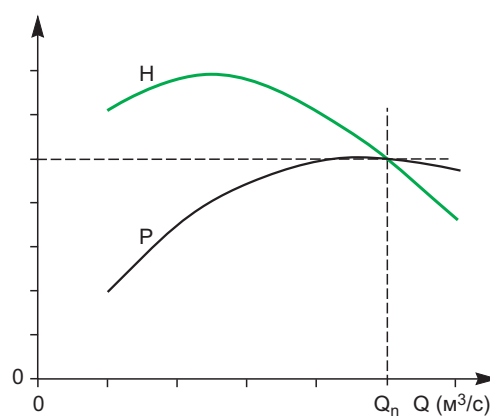
Вентиляторы - это механизмы, предназначенные для перемещения газообразных сред с небольшим коэффициентом сжатия. Их свойства определяются теми же законами гидромеханики, что применяются для оценки работы центробежных насосов. Свойства этих механизмов во многом аналогичны.

Имеется большое количество различных типов вентиляторов. На **Рис. 29** представлены два типа вентиляторов: центробежный, или радиальный, и лопастный, или осевой вентиляторы.



**Рис. 29.** Примеры центробежного (слева) и осевого (справа) вентиляторов с приводными двигателями

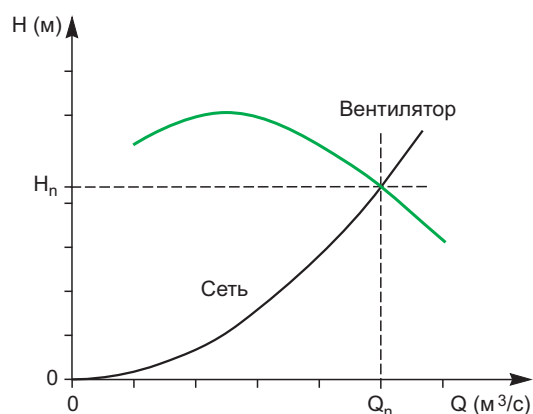
Создаваемый вентилятором перепад давлений может быть выражен в форме геометрического напора жидкости, как и в случае с насосом. На **Рис. 30** показаны зависимости напора  $H$  и мощности  $P$  как функция подачи  $Q$  для стандартного центробежного вентилятора при постоянной частоте вращения.



**Рис. 30.** Типовая характеристика центробежного вентилятора

В большинстве случаев, в сети не требуется создание большой разницы давлений (давление на входе и выходе участка сети равно атмосферному). Форма характеристики сети может быть объяснена потерей напора, который пропорционален квадрату подачи. Таким образом, зависимость  $H(Q)$  представляет собой параболу, проходящую через начало координат. Рабочая точка находится на пересечении характеристик вентилятора и сети, как показано на **Рис. 31**.

Работы вентилятора на участке характеристики левее выраженного максимума следует избегать, поскольку имеется риск нестабильной работы (колебания давления и подачи), и возможно появление повышенного шума при работе и значительных механических напряжений.



**Рис. 31.** Рабочая точка при работе вентилятора на сеть

### 3.2 Работа при постоянной частоте вращения

Для регулирования подачи вентиляторов, работающих с постоянной частотой вращения, используются различные механические устройства.

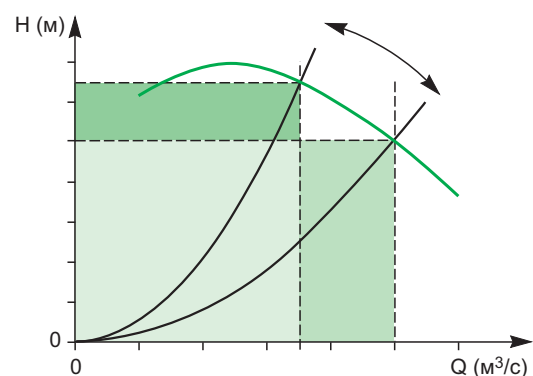
#### Устройства, установленные после вентилятора.

Принцип действия заключается в размещении устройства внутри воздуховода для управления потерями напора в сети. В зависимости от габаритов воздуховода устройство может представлять из себя либо клапан, либо одно- или многостовую заслонку (см. **Рис. 32**).

Это самый простой способ регулирования подачи, но при этом энергоэффективность очень низка, как показано на **Рис. 33**. В этом случае подача регулируется изменением характеристики сети. Для двух представленных рабочих точек значения полезной мощности, пропорциональные заштрихованным прямоугольным областям, изменяются очень мало. При малых величинах подачи значительная часть энергии рассеивается.



**Рис. 32.** Пример многостовой заслонки



**Рис. 33.** Регулирование подачи устройством, расположенным за вентилятором

### Устройство, установленное перед вентилятором

Задача данного устройства заключается в изменении характеристики вентилятора, для того чтобы сместить рабочую точку вниз по характеристике сети. Энергоэффективность в этом случае значительно улучшается, потому что при пониженной подаче нет необходимости создавать избыточное давление.

Используются различные типы устройств, включая поворотные заслонки, шиберы, механизмы регулировки направляющего аппарата.

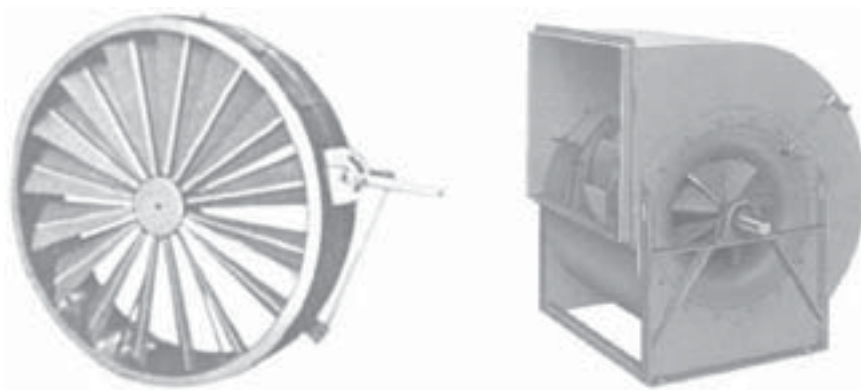


Рис. 34. Примеры регулирующих устройств, расположенных перед вентилятором

При применении любого из этих устройств характеристика вентилятора изменяется, как показано на Рис. 35. Значения полезной мощности пропорциональны заштрихованным прямоугольным областям, и на рисунке заметно значительное снижение мощности при снижении подачи. Такое изменение характеристик сопровождается меньшими потерями по сравнению с установкой дросселирующего устройства в любой точке сети.

### Другие возможные устройства регулирования

- В осевых вентиляторах подача может регулироваться путем изменения угла поворота лопастей. Решение технически достаточно сложное, поэтому оно используется только для больших вентиляторов. С точки зрения энергоэффективности этот метод является наилучшим.
- Подача также может регулироваться установкой байпасной линии, однако такой способ не является экономичным, поскольку потребление энергии при этом остается на постоянном максимальном уровне, независимо от эффективной подачи.

### Примечание:

Во многих случаях расчетная подача вентиляторов оказывается больше, чем фактически необходимо потребителю. Вследствие этого устанавливаются задвижки для снижения подачи или скорости воздушного потока уже при вводе установки в действие. Это приводит к постоянным потерям напора, что снижает общую эффективность системы.

Другим недостатком работы с постоянной частотой вращения является то, что уровень шума всегда имеет максимально возможное значение.

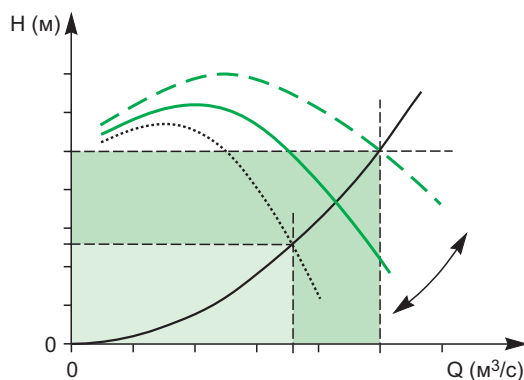
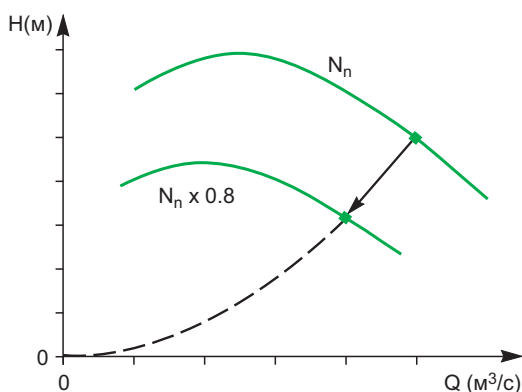


Рис. 35. Регулирование подачи устройством, установленным перед вентилятором



### 3.3 Работа при переменной частоте вращения

Основные характеристики вентилятора напрямую связаны с его частотой вращения. Если предположить, что вентилятор изолирован от других устройств, то при частоте вращения  $N$ , отличной от номинальной частоты вращения  $N_n$ :  
 подача  $Q$  пропорциональна отношению  $(N/N_n)$ ,  
 напор  $H$  пропорционален отношению  $(N/N_n)^2$ ,  
 мощность  $P$  пропорциональна отношению  $(N/N_n)^3$   
 Взяв за основу характеристику при номинальной частоте вращения, характеристика  $H(Q)$  при другой частоте вращения может быть построена последовательно, по соответствующим точкам, расположенным на параболе, как показано на **Рис.36**.



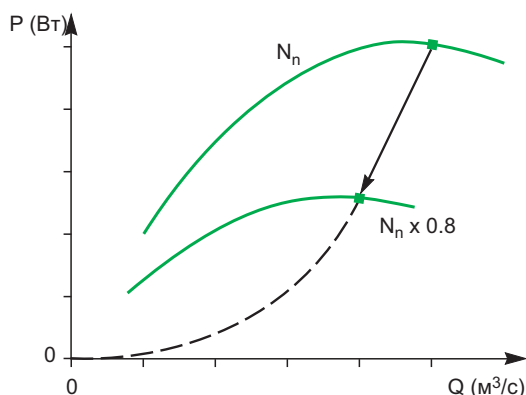
**Рис. 36.** Характеристика вентилятора при двух различных скоростях

Подобным образом строится характеристика  $P(Q)$ , при этом используется кривая третьего порядка, как показано на **Рис.37**.

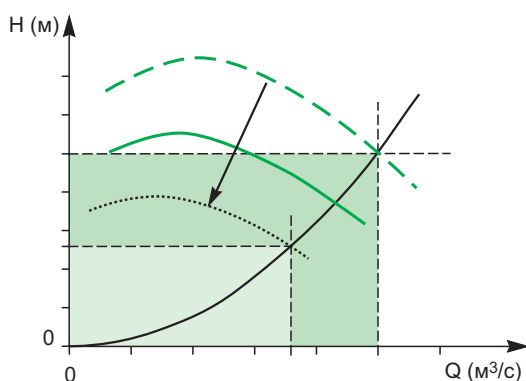
**Рис.38** иллюстрирует смещение характеристик вентилятора при различных частотах вращения для получения требуемого значения подачи в данной сети.

Изменение частоты вращения позволяет всегда использовать вентилятор с оптимальным КПД. Это означает, что заштрихованный прямоугольник прямо пропорционален мощности, потребляемой вентилятором.

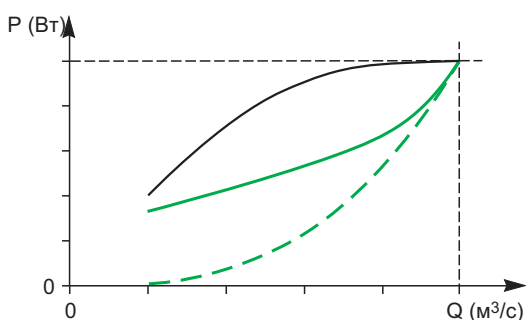
Таким образом, регулирование подачи изменением частоты вращения является наилучшим с точки зрения энергоэффективности. На **Рис.39** сравниваются три наиболее распространенных способа регулирования подачи: устройство, размещенное за вентилятором, устройство, размещенное перед вентилятором, и регулирование изменением частоты вращения.



**Рис. 37.** Характеристика  $P(Q)$  вентилятора на двух различных скоростях



**Рис. 38.** Регулирование подачи изменением частоты вращения вентилятора



**Рис. 39.** Характеристика  $P(Q)$  при различных способах регулирования подачи

- За вентилятором
- Перед вентилятором
- Изменением частоты вращения

### Пример расчета изменения потребляемой мощности

Предположим, что имеется центробежный вентилятор с номинальной мощностью 100 кВт. Вентилятор несколько переразмерен, поэтому максимально возможное значение подачи должно быть уменьшено до 90% от номинального для ограничения скорости воздушного потока в сети. При постоянной круглосуточной работе, в дневное время требуется обеспечить подачу 90% от номинальной (12 часов), а в ночное время достаточно обеспечить подачу в 50% от номинальной.

Задача - сравнить различные способы регулирования подачи.

КПД двигателя:

- $\eta_{mot} = 0.95$  на номинальной скорости
- $\eta_{mot} = 0.94$  при 90% от номинальной скорости
- $\eta_{mot} = 0.89$  при 50% от номинальной скорости

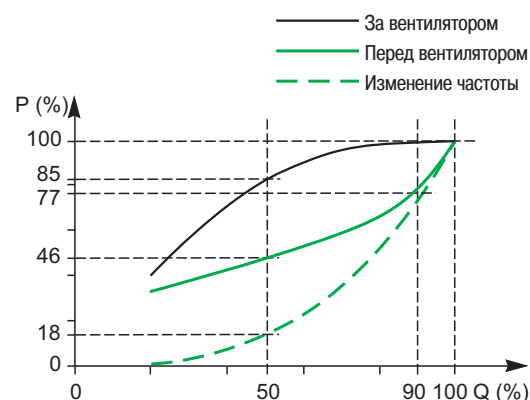
КПД при использовании частотно - регулируемого привода:

$$\eta_{vsd} = 0.97$$

Мощность, потребляемая данным вентилятором, предварительно проиллюстрирована на **Рис. 39** и детально рассмотрена на **Рис. 40**.

Основная расчетная формула для определения мощности имеет вид:

$$P_f = P_n \cdot \frac{1}{\eta_{mot}} \cdot P(Q)$$



**Рис. 40.** Изменение потребляемой мощности

На пониженных частотах вращения в формулу добавляется КПД преобразователя частоты:

$$P_f = P_n \cdot \frac{1}{\eta_{mot}} \cdot \frac{1}{\eta_{vsd}} \cdot P(Q)$$

В таблице приведены расчеты, выполненные для различных способов регулирования, в кВт:

Значения:	кВт при 0.9 x Q <sub>n</sub>	кВт при 0.5 x Q <sub>n</sub>
За вентилятором	105	89
Перед вентилятором	80	48
Изменение частоты	84	21

Потребленная энергия рассчитывается перемножением потребленной мощности на время работы, для каждого из периодов (день или ночь): 12 часов/день x 365 дней = 4,380 часов/год, если считать, что вентилятор работает постоянно. Принимая стоимость электроэнергии в 0.05/кВтч, использование частотно - регулируемого привода обеспечивает экономию электроэнергии 19,600 в год по сравнению с регулирующим

устройством, установленным за вентилятором, и 5,100 в год по сравнению с устройством, расположенным перед вентилятором. Представленное выше программное обеспечение Ecos8 позволяет произвести данные вычисления для всех возможных случаев применения (выбор мощности установки, способ регулирования подачи, определение рабочей частоты вращения).

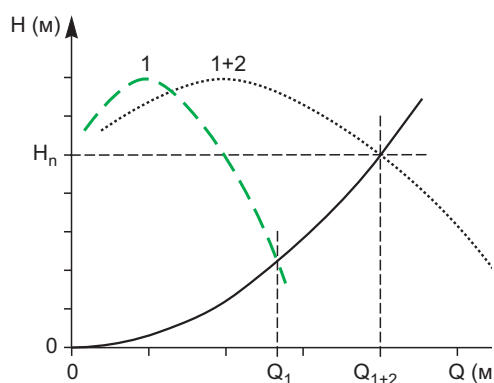
Значения:	кВт
За вентилятором	852 947
Перед вентилятором	562 484
Изменение частоты	460 661

### Параллельная работа вентиляторов

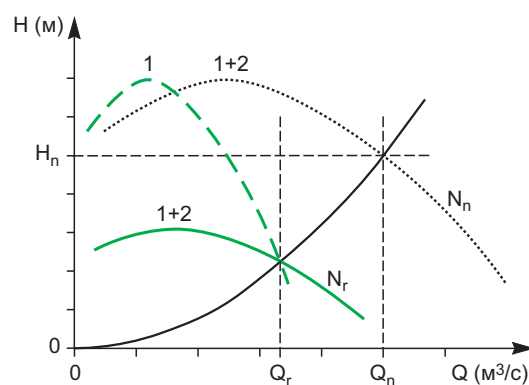
При необходимости перемещения большого количества газообразных веществ возможна параллельная установка вентиляторов. в основном используются однотипные вентиляторы. Результирующая характеристика получается суммированием подач при одинаковом давлении, как показано на **Рис. 41**.

Можно заметить, что из-за квадратичного увеличения потерь напора в функции подачи, результирующая подача двух параллельно работающих вентиляторов не равна двойной подаче, обеспечиваемой одним вентилятором. Подача  $Q_1$  на

**Рис. 41** может быть получена либо работой вентилятора 1 при номинальной частоте вращения, либо при совместной работе двух вентиляторов на пониженной скорости. Данная возможность проиллюстрирована на **Рис. 42**, где представлены двух вентиляторов, одновременно работающих на пониженной частоте вращения  $N_r$ .



**Рис. 41.** Характеристика двух параллельно работающих вентиляторов



**Рис. 42.** Параллельная работа двух вентиляторов на пониженных скоростях

В рассматриваемом примере пониженная частота вращения равна примерно 2/3 от номинальной частоты вращения  $N_n$ . Таким образом, каждый вентилятор потребляет мощность, равную  $(2/3)^3$  от номинальной мощности  $P_n$  вентилятора. Суммарная потребляемая мощность в этом случае определяется:

$$P_t = 2 \cdot \left(\frac{2}{3}\right)^3 \cdot P_n \approx 0.6 \cdot P_n$$

Таким образом, параллельная работа двух вентиляторов на пониженных скоростях приносит экономию электроэнергии в 40% по сравнению с работой одного вентилятора на номинальной частоте вращения.

Достижимая экономия энергии может быть даже больше при параллельной установке вентиляторов, если работа происходит при очень малом, либо нулевом напоре.

Например, предположим, что вентиляционная установка состоит из шести вентиляторов с номинальной мощностью  $P_n$ , установленных параллельно, при этом давление на выходе установки небольшое.

Для получения потока, равного половине максимального, три вентилятора могут работать на номинальной частоте вращения, либо шесть вентиляторов могут работать с частотой вращения, равной половине от номинальной.

В первом случае, мощность определяется:

$$P_1 = 3 \cdot P_n$$

При работе всех шести вентиляторов:

$$P_2 = 6 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^3 \cdot P_n = \frac{3}{4} \cdot P_n = \frac{P_1}{4}$$

Таким образом, и второй приведенный пример подтверждает предположение, что использование частотно - регулируемого привода существенно снижает потребление энергии при управлении вентиляторами.

Для управления частотой вращения вентиляторов компания Schneider Electric предлагает серию преобразователей частоты Altivar 21, которые специально разработаны для применения в сетях отопления, вентиляции и кондиционирования (HVAC).



**Рис. 43.** Преобразователи частоты Altivar 21 производства компании Schneider Electric

## 4. Компрессоры

### 4.1 Общие сведения

Основной задачей компрессора является повышение давления газообразных веществ от давления всасывания до заданного давления, при котором компрессор переходит в состояние "разгрузка".

Сжатый воздух и газ используются во многих отраслях промышленности. В частности:

- преобразование энергии сжатого воздуха в механическую энергию пневмоинструмента;
- производство сжиженных газов (азот, кислород, и т.д.),
- системы кондиционирования и морозильные установки,
- установки очистки воды.

Требования к компрессорам, заключающиеся в определении необходимых подач и давлений, для различных применений могут быть совершенно разными, поэтому развиваются различные направления компрессорной техники. Наиболее распространенными типами компрессоров являются:

- центробежные;
- винтовые;
- поршневые;
- спиральные;
- турбокомпрессоры.

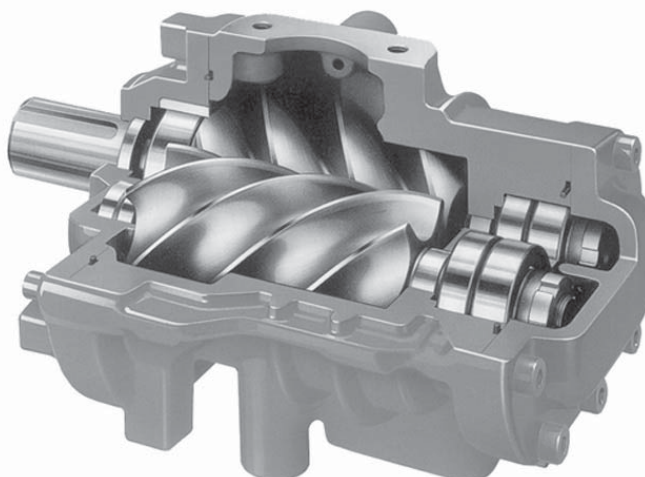


Рис. 44. Пример винтового компрессора

В основном, момент на валу приводного двигателя увеличивается с увеличением частоты вращения, однако в некоторых случаях пусковой момент может быть значительным (например, поршневой компрессор).

Как было рассмотрено выше, на примере насосов и вентиляторов, положение рабочей точки компрессора определяется характеристикой сети, что проиллюстрировано на следующем рисунке (для центробежного компрессора).

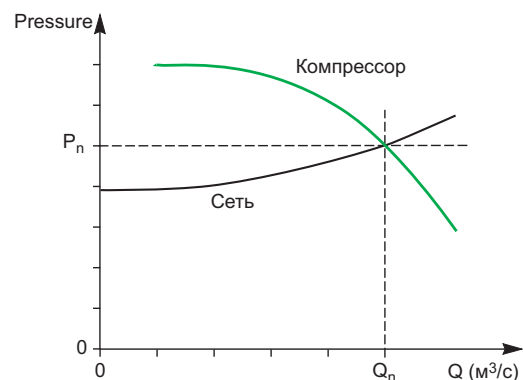


Рис. 45. Рабочая точка центробежного компрессора

## 4.2 Работа при переменном давлении

Для поддержания постоянного давления в сети, все компрессорные установки снабжены регуляторами давления. Основными способами регулирования давления, используемыми в установках различных производителей оборудования, являются:

- пуск и остановка компрессора. Периодическая работа применяется в установках небольшой мощности, которые могут часто включаться без серьезных отрицательных последствий. После запуска компрессор работает с оптимальным КПД.
- рециркуляция или сброс избыточного давления. Данный метод регулирования применим только для маломощных систем, поскольку его энергоэффективность очень низка.

- частичный или полный сброс нагрузки путем закрытия впускного клапана компрессора. Нагрузка на компрессор снижается до нуля, при этом уменьшается потребляемая приводным двигателем мощность.
- параллельная установка нескольких компрессоров. Количество одновременно работающих компрессоров может меняться в зависимости от потребления в сети.
- изменение частоты вращения компрессора. С точки зрения энергоэффективности этот метод самый лучший.

## 4.3 Работа при переменной частоте вращения

Регулирование изменением частоты вращения - метод, который может быть использован в подавляющем большинстве технологических процессов. Его использование позволяет получить следующие преимущества:

- плавный пуск: отсутствуют броски тока, снижаются механические усилия;
  - точное регулирование давления: частота вращения компрессора, и, следовательно, подача, регулируется в соответствии с потреблением в сети. В результате уменьшается амплитуда колебаний давления и уменьшается требуемая емкость ресиверов;
  - оптимальный КПД: работа без потерь напора в сети, что, соответственно, уменьшает потери энергии;
- Регулирование изменением частоты вращения также хорошо укладывается в схему параллельной работы. В основном, только один компрессор имеет частотное регулирование, в то время как остальные используют другие способы управления.

На представленном рисунке показаны типовые характеристики изменения мощности при различных способах управления.

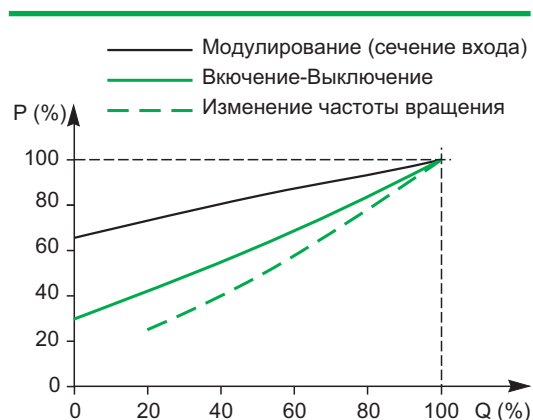


Рис. 46. Сравнение методов управления компрессорами

## 5. Выводы

Использование частотно - регулируемого привода в насосных, вентиляционных и компрессорных установках позволяет уменьшить энергопотребление в промышленности и коммерческих приложениях.

Экономия энергии особенно существенна в тех случаях, когда базовая величина подачи не постоянна, а варьируется в значительных пределах. Инвестированные в частотно - регулируемый привод средства окупаются очень быстро и впоследствии приносят значительную экономию.

Кроме экономии энергии, частотно - регулируемый привод имеет большое количество других преимуществ при использовании в данных приложениях. Кроме того, значительно уменьшается вероятность возникновения механических проблем (гидроудар,

кавитация, броски момента) благодаря плавному разгону и замедлению электродвигателя. Увеличивается срок службы оборудования. Кроме того, управление технологическим процессом значительно улучшается и упрощается, поскольку появляется возможность наилучшим образом регулировать подачу и давление "текучей среды".

Углубленное обсуждение работы насосных, вентиляционных и компрессорных установок не является целью данного документа. Здесь представлены основные принципы и приведены примеры, иллюстрирующие возможности по экономии энергии, которые могут быть достигнуты при использовании частотно - регулируемого привода.

## Приложение 1: Библиография

---

- "Technical booklets of the International Water Office", Limoges, France
- "Entrainements lectriques vitesse variable", Prom the, Schneider Electric
- "Improving pumping system performance", US Department of Energy
- "Syst mes de ventilation", Hydro-Qu bec, Montreal, Canada
- "Syst mes de compression et de r frig ration" Hydro-Qu bec, Montreal, Canada
- "Energy Efficiency Guide Book", Bureau of Energy Efficiency, India
- "Energy savings with electric motors and drives", AEA Group, UK



**Для заметок**

---

**Для заметок**

---



# Schneider Electric в странах СНГ

## Азербайджан

### Баку

AZ 1008, ул. Гарабах, 22  
Тел.: (99412) 496 93 39  
Факс: (99412) 496 22 97

## Беларусь

### Минск

220006, ул. Белорусская, 15, офис 9  
Тел.: (37517) 226 06 74, 227 60 34, 227 60 72

## Казахстан

### Алматы

050050, ул. Табачнозаводская, 20  
Швейцарский центр  
Тел.: (727) 244 15 05 (многоканальный)  
Факс: (727) 244 15 06, 244 15 07

### Астана

010000, ул. Бейбитшилик, 18  
Бизнес-центр «Бейбитшилик 2002», офис 402  
Тел.: (3172) 91 06 69  
Факс: (3172) 91 06 70

### Атырау

060002, ул. Абая, 2 А  
Бизнес-центр «Сутас-С», офис 407  
Тел.: (3122) 32 31 91, 32 66 70  
Факс: (3122) 32 37 54

## Россия

### Волгоград

400089, ул. Профсоюзная, 15, офис 12  
Тел.: (8442) 93 08 41

### Воронеж

394026, пр-т Труда, 65, офис 267  
Тел.: (4732) 39 06 00  
Тел./факс: (4732) 39 06 01

### Екатеринбург

620219, ул. Первомайская, 104, офисы 311, 313  
Тел.: (343) 217 63 37  
Факс: (343) 217 63 38

### Иркутск

664047, ул. 1-я Советская, 3 Б, офис 312  
Тел./факс: (3952) 29 00 07, 29 20 43

### Казань

420107, ул. Спартаковская, 6, этаж 7  
Тел./факс: (843) 526 55 84 / 85 / 86 / 87 / 88

### Калининград

236040, Гвардейский пр., 15  
Тел.: (4012) 53 59 53  
Факс: (4012) 57 60 79

### Краснодар

350020, ул. Коммунаров, 268 В, офисы 316, 314  
Тел.: (861) 210 06 38, 210 14 45  
Факс: (861) 210 06 02

### Красноярск

660021, ул. Горького, 3 А, офис 302  
Тел.: (3912) 56 80 95  
Факс: (3912) 56 80 96

### Москва

129281, ул. Енисейская, 37  
Тел.: (495) 797 40 00  
Факс: (495) 797 40 02

### Мурманск

183038, ул. Воровского, 5/23  
Конгресс-отель «Меридиан», офис 739  
Тел.: (8152) 28 86 90  
Факс: (8152) 28 87 30

### Нижний Новгород

603000, пер. Холодный, 10 А, этаж 8  
Тел./факс: (831) 278 97 25, 278 97 26

### Новосибирск

630005, Красный пр-т, 86, офис 501  
Тел.: (383) 358 54 21  
Тел./факс: (383) 227 62 53

### Пермь

614010, Комсомольский пр-т, 98, офис 11  
Тел./факс: (342) 290 26 11 / 13 / 15

### Ростов-на-Дону

344002, ул. Социалистическая, 74, литера А  
Тел.: (863) 200 17 22, 200 17 23  
Факс: (863) 200 17 24

### Самара

443096, ул. Коммунистическая, 27  
Тел./факс: (846) 266 41 41, 266 41 11

### Санкт-Петербург

198103, ул. Циолковского, 9, корпус 2 А  
Тел.: (812) 320 64 64  
Факс: (812) 320 64 63

### Сочи

354008, ул. Виноградная, 20 А, офис 54  
Тел.: (8622) 96 06 01, 96 06 02  
Факс: (8622) 96 06 02

### Уфа

450098, пр-т Октября, 132/3 (бизнес-центр КПД)  
Блок-секция № 3, этаж 9  
Тел.: (347) 279 98 29  
Факс: (347) 279 98 30

### Хабаровск

680000, ул. Муравьева-Амурского, 23, этаж 4  
Тел.: (4212) 30 64 70  
Факс: (4212) 30 46 66

## Туркменистан

### Ашгабат

744017, Мир 2/1, ул. Ю. Эмре, «Э.М.Б.Ц.»  
Тел.: (99312) 45 49 40  
Факс: (99312) 45 49 56

## Узбекистан

### Ташкент

100000, пр-т Мустакиллик, 75  
Тел.: (99871) 140 11 33  
Факс: (99871) 140 11 99

## Украина

### Днепропетровск

49000, ул. Глинки, 17, этаж 4  
Тел.: (380567) 90 08 88  
Факс: (380567) 90 09 99

### Донецк

83087, ул. Инженерная, 1 В  
Тел.: (38062) 385 48 45, 385 48 65  
Факс: (38062) 385 49 23

### Киев

03057, ул. Смоленская, 31-33, кор. 29  
Тел.: (38044) 538 14 70  
Факс: (38044) 538 14 71

### Львов

79015, ул. Тургенева, 72, кор. 1  
Тел./факс: (38032) 298 85 85

### Николаев

54030, ул. Никольская, 25  
Бизнес-центр «Александровский», офис 5  
Тел.: (380512) 58 24 67  
Факс: (380512) 58 24 68

### Одесса

65079, ул. Куликово поле, 1, офис 213  
Тел.: (38048) 728 65 55  
Факс: (38048) 728 65 35

### Симферополь

95013, ул. Севастопольская, 43/2, офис 11  
Тел.: (380652) 44 38 26  
Факс: (380652) 54 81 14

### Харьков

61070, ул. Академика Проскуры, 1  
Бизнес-центр «Telesens», офис 569  
Тел.: (38057) 719 07 79  
Факс: (38057) 719 07 49

## Центр поддержки клиентов

Тел.: 8 (800) 200 64 46 (многоканальный)  
Тел.: (495) 797 32 32, факс: (495) 797 40 04  
ru.csc@ru.schneider-electric.com  
www.schneider-electric.ru