

LISTEN.
THINK.
SOLVE.®

ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ
С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

Центробежные насосы

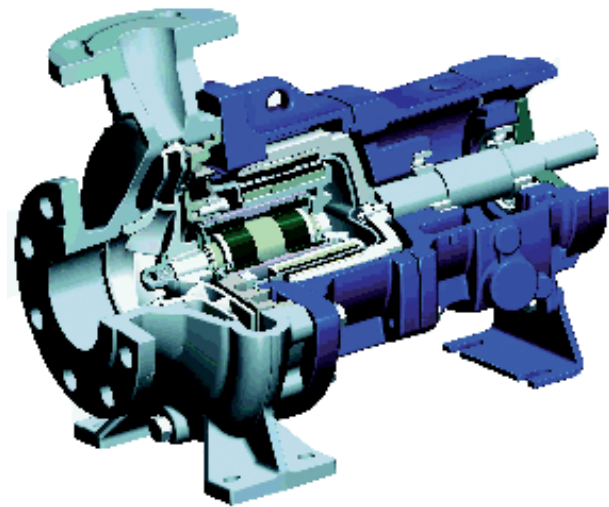
Типы насосов

- Объемного типа
- Центробежные насосы

Центробежные насосы

Насосы обычно подразделяют на два основных типа: объемные и центробежные. Объемные насосы приводят жидкость в движение за счет изменения объема камеры с жидкостью механическими средствами. Объемные насосы представляют собой нагрузку с постоянным моментом на валу, тогда как конструкция центробежных насосов предполагает переменный момент, зависящий от скорости. Центробежные насосы передают импульс жидкости за счет вращения рабочего колеса, погруженного в нее. Импульс приводит к росту давления или подачи на выходе насоса. В данном документе рассматриваются только центробежные насосы.

Центробежный насос является устройством, которое преобразует энергию привода в кинетическую энергию жидкости путем ее ускорения к наружному ободу рабочего колеса - импеллера. Суть здесь состоит в том, что создаваемая энергия является кинетической. Количество энергии, передаваемое жидкости, соответствует скорости на кромке лопасти импеллера. Чем быстрее вращение импеллера или чем больше его размер, тем выше скорость жидкости на кромке лопасти и тем выше энергия, передаваемая жидкости.



Образование сопротивления потоку регулирует кинетическую энергию жидкости на выходе импеллера. Первоначальное сопротивление создается спиральной камерой насоса (корпусом), в которую жидкость попадает и замедляется. Когда жидкость замедляется в корпусе насоса, часть кинетической энергии переходит в энергию давления. Именно сопротивление подаче насоса регистрируется на манометре, установленном на нагнетательном трубопроводе. Насос создает поток, а не давление. Давление является показателем сопротивления потоку.

Пример:

Представьте трубу, струя воды из которой направлена строго вверх, в воздух. Напором будет высота, на которую поднимется вода.

Напор – Сопротивление потоку

Для ньютоновских (истинных) жидкостей (такие невязкие жидкости как вода и бензин) мы используем термин напор для измерения кинетической энергии, создаваемой насосом.

Напором является высота водяного столба, которую насос может создать за счет кинетической энергии, которая передается жидкости.

Главная причина использования напора вместо давления для измерения энергии центробежного насоса заключается в том, что давление на выходе насоса при изменении веса жидкости меняется, а напор нет. Поэтому с использованием термина напор мы можем всегда указать производительность насоса по любой ньютоновской жидкости, тяжелой (серная кислота) или легкой (бензин). Помните, что напор связан со скоростью, которую приобретает жидкость при прохождении через насос.

Все виды энергии, имеющиеся в системе потока жидкости, можно охарактеризовать с помощью высоты водяного столба. Сумма разных напоров составляет общий напор системы или работу, которую насос будет выполнять в данной системе. Выделяются следующие виды напоров:

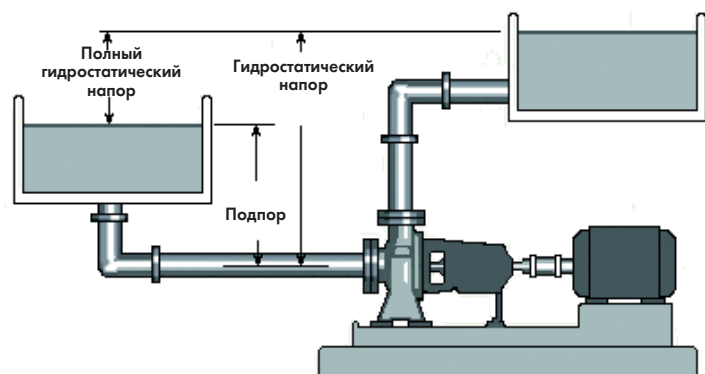
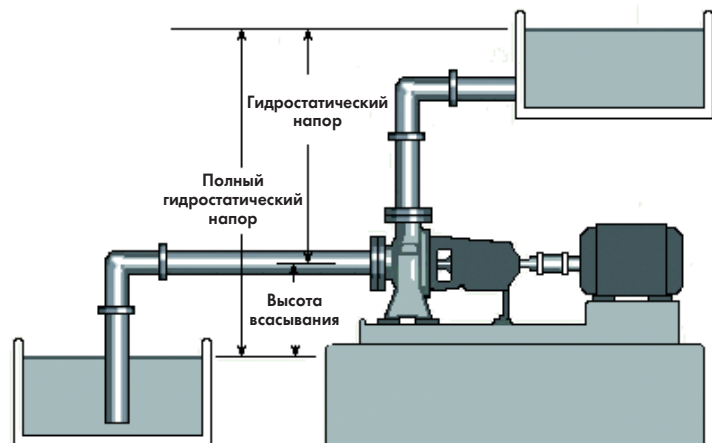
Термины, связанные с насосами

ВЫСОТА ВСАСЫВАНИЯ существует, когда питающий резервуар находится ниже осевой линии насоса. Таким образом, геометрическая высота всасывания является вертикальным расстоянием от осевой линии насоса до свободного уровня жидкости, предназначенной для перекачки.

ПОДПОР возникает, когда питающий резервуар (высота всасывания) находится выше осевой линии насоса. Таким образом, геометрический подпор является вертикальным расстоянием от осевой линии насоса до свободного уровня жидкости, предназначенной для перекачки.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ НАПОР является вертикальным расстоянием между осевой линией насоса и точкой свободного истечения или поверхностью жидкости в приемном резервуаре.

ПОЛНЫЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ НАПОР является вертикальным расстоянием между свободным уровнем в питающем резервуаре и точкой свободного истечения или поверхностью перекаченной жидкости (в приемном резервуаре).



ПОТЕРИ НА ТРЕНИЕ (h_f)

- потери на преодоление сопротивления потоку, которое возникает в трубопроводе и патрубках. Сопротивление зависит от размера, состояния и типа трубопровода, количества и типа патрубков, скорости потока и типа жидкости.

СКОРОСТНОЙ НАПОР (h_v)

- это напор, образующийся в результате движения жидкости со скоростью V . Скоростной напор можно вычислить по следующей формуле:

$$h_v = \frac{V^2}{2g} \quad \text{где: } g = 9,8 \text{ м/с}^2, V = \text{скорость жидкости, м/с}$$

Скоростной напор обычно незначителен, и его можно игнорировать в большинстве высоконапорных систем. Однако он может сыграть серьезную роль в низконапорных системах, и его необходимо учитывать.

НАПОР ДАВЛЕНИЯ

необходимо учитывать, когда насосная система начинается или заканчивается в резервуаре, имеющем неатмосферное давление. Вакуум в питающем резервуаре или положительное давление в приемном резервуаре необходимо добавить к напору системы, тогда как положительное давление в питающем резервуаре или вакуум в приемном резервуаре необходимо вычесть.

Вышеперечисленные виды напоров, а именно гидростатический напор, потери напора при трении, скоростной напор и напор давления вместе образуют напор системы при определенной скорости потока.

ВАКУУМЕТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА ВСАСЫВАНИЯ (h_s)

является геометрической высотой всасывания с учетом потерь и скоростного напора. Вакууметрическая высота всасывания определяется по показаниям прибора на всасывающем фланце. Если допустимая вакууметрическая высота превышена, то в насосе возникает кавитация.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАПОР НА ВЫХОДЕ (h_d)

- это геометрический гидростатический напор, плюс скоростной напор на выпускном фланце насоса, плюс общие потери напора на трение в нагнетательном трубопроводе.

Общий гидродинамический напор на выходе (определяется при испытании насоса) является показанием измерительного прибора на выпускном фланце.

ПОЛНЫЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ НАПОР (TDH)

- это гидродинамический напор на выходе с учетом вакуумметрической высоты всасывания:

$$TDH = h_d + h_s \text{ (при подъеме жидкости на высоту всасывания)}$$

$$TDH = h_d - h_s \text{ (при наличии подпора)}$$

МОЩНОСТЬ

Работа, совершаемая насосом, является функцией полного напора и веса закачиваемой жидкости за определенное время. В формулах обычно используют объемную подачу насоса и удельный вес жидкости, а не реальный вес перекачиваемой жидкости.

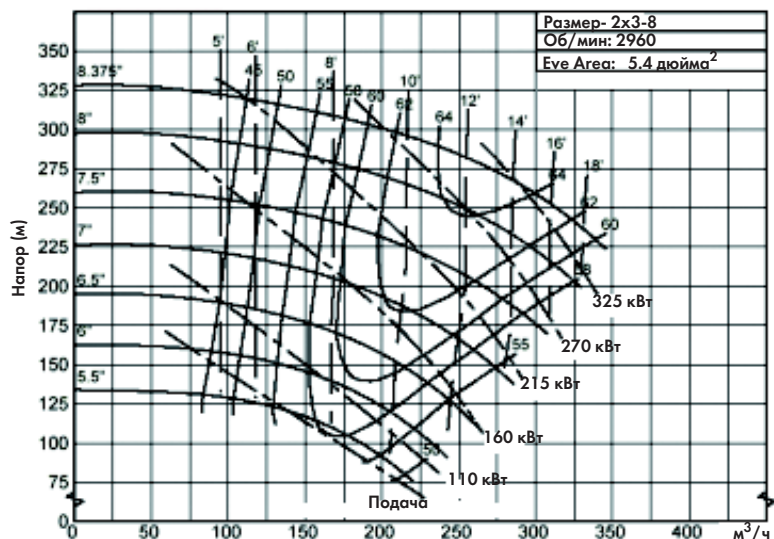
Потребляемая мощность (N) является реальной мощностью, подводимой к валу насоса. Подача насоса или полезная гидравлическая мощность (N_n) является мощностью, которую насос передает жидкости. Эти две величины определяются следующими формулами:

$$N_n \text{ (кВт)} = \frac{Q \text{ (м}^3\text{/ч)} \times H \text{ (м вод. ст.)} \times \text{Удельный вес}}{367}$$

$$N \text{ (кВт)} = \frac{Q \text{ (м}^3\text{/ч)} \times H \text{ (м вод. ст.)} \times \text{Удельный вес}}{367 \times \text{КПД насоса}} \text{ или } \frac{N_n}{\text{КПД насоса}}$$

Характеристики насоса

Характеристики насоса, такие как подача, напор, КПД и потребляемая мощность показаны графически на кривых работы насоса.



Размер насоса, 2x3-8, показан в верхней части графика. Цифры 2x3-8 указывают на то, что выход (выпускной канал) имеет размер 2 дюйма (может быть представлено в мм), вход (всасывающий канал) – 3 дюйма, а импеллер – диаметром в 8 дюймов. Некоторые производители указывают этот код в виде 3x2-8. Большее из первых двух цифр – это выпускной канал.

Скорость насоса (об/мин) также указывается в верхней части графика, и показывает производительность при скорости в 2960 об/мин. Вся информация представлена для данной рабочей скорости.

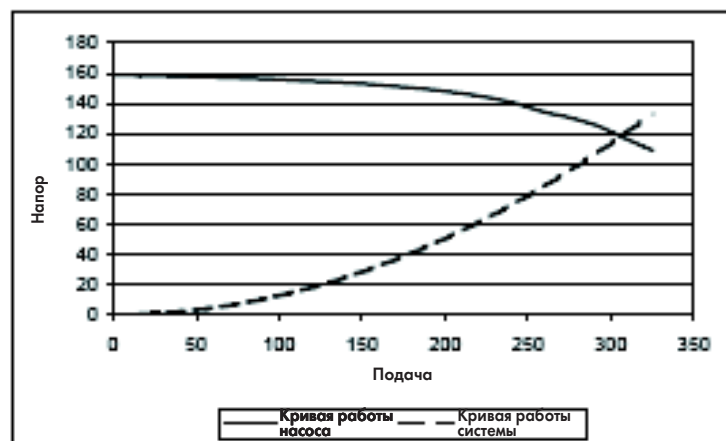
Производительность или объемная подача показаны вдоль нижней части кривой. Все различные уровни подачи показаны для рабочей скорости в 2960 об/мин, но показывают влияние напора при дросселировании выхода.

Левая часть кривых производительности показывает напор, создаваемый при разных скоростях потока.

На графике сопоставлены несколько кривых подачи и напора, каждая характеризует разные (урезанные) размеры импеллера. Для данного насоса диапазон импеллеров варьируется от 5,5 до 8,375 дюймов. Кривые КПД накладываются на график (вертикальные линии) и характеризуют КПД данного насоса от 64 до 45 процентов. По мере того как увеличивается напор, поток и КПД уменьшаются. Потребляемая мощность показана пунктирной линией, проведенной по диагонали с правого нижнего угла к верхнему левому. Кривые потребляемой мощности показаны для диапазона 80 – 325 кВт. При использовании 8-ми дюймового импеллера с подачей в 250 м³/ч, потребляемая мощность составит около 270 кВт.

Рабочие характеристики насоса и системы

Кривая работы насоса является простой функцией физических характеристик насоса. Кривая работы системы полностью зависит от размера трубопровода, его длины, количества и расположения коленчатых патрубков и от других факторов. Место пересечения этих двух кривых является фактической рабочей точкой. В этой точке давление насоса соответствует потерям системы, и все сбалансировано.

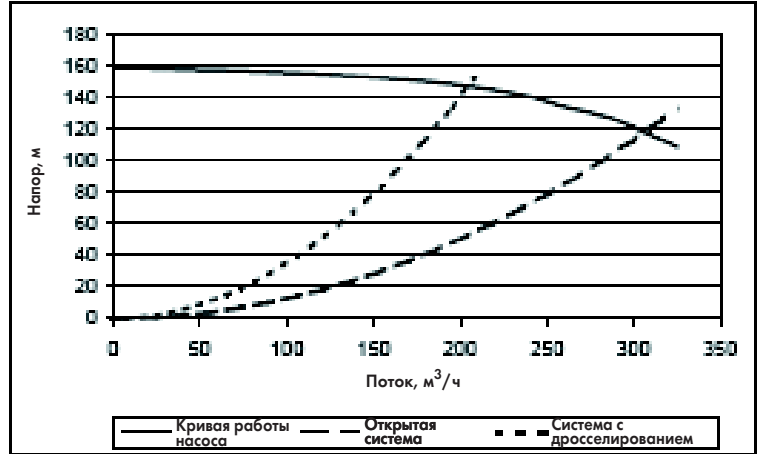


Если система подвержена частым или продолжительным изменениям, необходимо изменять хар-ки насоса или параметры системы.

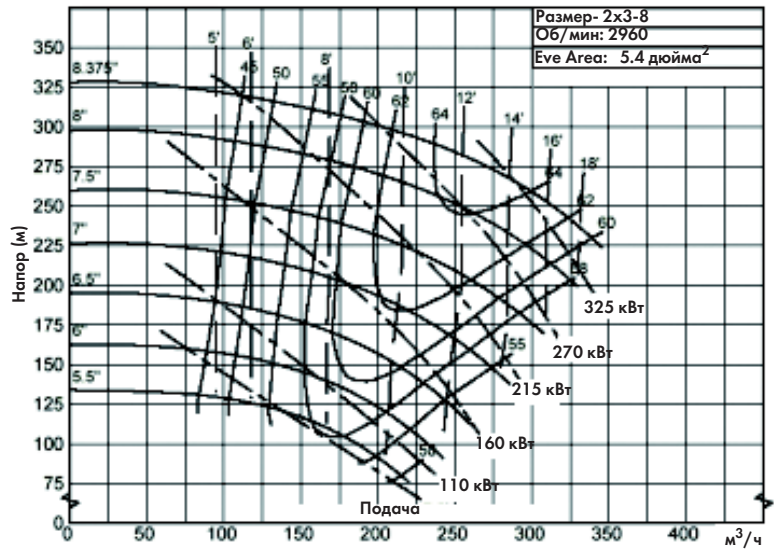
Есть два метода, которые используются для обеспечения переменного потока. Один из методов – это дросселирование, которое приводит к изменению характеристики системы за счет дроссельного клапана. Другой метод заключается в изменении скорости вращения насоса, что приводит к изменению рабочей характеристики насоса.

Дросселирование

При использовании этого метода дополнительное сопротивление потоку увеличивает напор. Характеристики системы при 2х разных положениях клапана показаны ниже.



Для сравнения давайте воспользуемся примером для определения потребляемой мощности системы при дросселировании, затем для системы с регулированием скорости. Используется насос (с 8-ми дюймовым импеллером), работающий с номинальной скоростью 2960 об/мин. Насос предназначен для работы в системе, требующей напора в 250 метров при потоке 250 м³/ч. Смотрите кривую работы насоса ниже



На основе информации, представленной на графике, можно узнать различные требования по мощности при скоростях потока, указанных в таблице ниже, для системы дросселирования.

м³/ч	250	200	150	100
% Потока	100	80	60	40
Потр. мощность	266	240	206	192

$$N_n = \frac{\text{Поток} \times \text{Напор} \times \text{Удельный вес}}{367}$$

$$= \frac{250 \times 250 \times 1.0}{367} = 170.3$$

$$N = \frac{N_n}{\text{КПД насоса}} = \frac{170.3}{0.64} = 266 \text{ кВт}$$

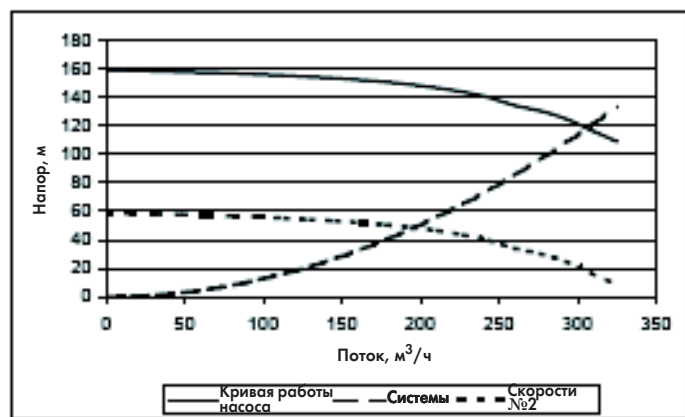
где,

N_n – гидравлическая мощность (кВт)

N – потребляемая мощность (кВт)

Система с регулированием скорости

В отличие от вышеприведенного метода, при регулировании скорости изменяются характеристики насоса.



Более низкая скорость насоса изменяет кривую работы насоса на основе скоростного напора, образованного скоростью перекачиваемой жидкости. Помните, что этот напор равен $V^2/2g$.

Законы подобия

Набор формул, используемых для того, чтобы спрогнозировать работу центробежного насоса в любой рабочей точке на основе исходных характеристик насоса называется законами подобия.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

где,

n = Скорость вращения насоса

Q = Подача ($\text{м}^3/\text{ч}$)

P = Давление (м)

N = Мощность (кВт)

Используя тот же пример, как при дросселировании, можно посчитать потребляемую мощность для систем, когда скорость насоса составляет:

$\text{м}^3/\text{ч}$	250	200	150	100
% Потока	100	80	60	40
Об/мин	2960	2368	1776	1184
Потр. мощность	266	136,2	57,5	17

Для заполнения вышеприведенной таблицы используйте 266 кВт для N_1 , 2960 для n_1 , 250 для Q_1 .

$$\text{Об/мин при } 200 \text{ м}^3/\text{ч}: \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{250}{200} = \frac{2960}{n_2} \quad \text{тогда, } n_2 = 2368 \text{ об/мин}$$

$$N \text{ при } 200 \text{ м}^3/\text{ч} = \frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

$$\frac{266}{N_2} = \left(\frac{2960}{2368}\right)^3$$

$$N_2 = 136,2 \text{ кВт}$$

где N - потребляемая мощность на валу в кВт.

Воспользуйтесь законами подобия для вычисления значений в остальных рабочих точках.

Очевидно, что при регулировании скорости потребляемая мощность в режиме не полной подачи значительно меньше, чем при дросселировании. Чтобы определить реально потребляемую электрическую мощность, необходимо также учитывать КПД электропривода. КПД электродвигателя работающего от сети снижается при не полной нагрузке на валу (как в случае дросселирования), тогда как КПД регулируемого электропривода остается неизменным, что дает дополнительную экономию. Энергосбережение будет зависеть от количества времени, которое насос будет работать на каждом значении пониженной скорости.

Для подсчета реальной экономии потребляемую мощность нужно умножить на количество часов работы. Полученное значение затем умножается на стоимость за кВт*ч, чтобы показать стоимость работы насоса при каждом значении подачи. Отнимите значения потребляемой мощности при регулировании скорости от значений мощности при дросселировании, чтобы получить разницу в стоимости затраченной энергии.

В нашем примере при подаче в $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ при дросселировании потребляется 240 кВт, а при регулировании скорости для той же подачи требуется всего 136,2 кВт. Если необходимо обеспечить такой режим в течение 2000 часов в год при цене в 2 рубля за кВт/ч, сравнение стоимости будет следующим:

Система дросселирования:

$$240 \times 2000 = 480000 \text{ кВт*ч}$$

$$480000 \times 2 = 960 \text{ тыс. рублей}$$

Система с регулированием скорости:

$$136,2 \times 2000 = 272400 \text{ кВт*ч}$$

$$272400 \times 2 = 545 \text{ тыс. рублей}$$

Экономия:

$$960 - 545 = 415 \text{ тыс. рублей}$$

Данный пример не был привязан к напору. Напор не влияет на характеристику системы и потребляемую мощность при регулировании подачи. Чем выше гидростатический напор системы, тем ниже возможности по энергосбережению. Связано это с тем, что характеристика системы более плоская, т.к. большая часть энергии используется на подъем жидкости на необходимую высоту.

www.rockwellautomation.com

Power, Control and Information Solutions Headquarters

Россия и СНГ: Rockwell Automation BV, 115054, Москва, Большой Строченовский пер., 22/25, офис 402, Тел. +7 (495) 956-0464, факс +7 (495) 956-0469

США: Rockwell Automation, 1201 South Second Street, Milwaukee, WI 53204-2496 USA, Тел.: (1) 414 382 2000, Факс: (1) 414 382 4444

Европа/Ближний Восток/Африка: Rockwell Automation SA/NV, Vorstlaan/Boulevard du Souverain 36-BP 3A/B, 1170 Brussels, Belgium, Тел.: (32) 2 663 0600, Факс: (32) 2 663 0640

Тихоокеанский регион: Rockwell Automation, Level 14, Core F, Cyberport 3, 100 Cyberport Road, Hong Kong, Тел.: (852) 2887 4788, Факс: (852) 2508 1846

Публикация DRIVES-WP010C-RU-P - Март 2007

Замещает публикацию DRIVES-WP010B-RU-P - Май 2006

Авторское право ©2008 Rockwell Automation, Inc. Все права защищены. Отпечатано в США.