

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТЕОРИИ ГИДРАВЛИКИ

Ниже приведен перечень основных терминов, применяемых в теории гидравлики, а также приведено их значение. Знание этих терминов необходимо для обсуждения работы насосного оборудования. Все значения указаны в технических единицах и приведены в английских и международных единицах измерения в соответствующей таблице.

НАПОР

Напор - это высота, разность уровней, перепад, создаваемый насосом во время работы. Например, если расход насоса составляет Q литров в секунду и напор 30 метров - это означает, что он способен поднимать Q литров жидкости на высоту 30 метров каждую секунду. Для любого насоса напор определяется особенностями его конструкции, такими как диаметр рабочего колеса и скорость вращения, и не зависит от перекачиваемой жидкости. Это означает, что за секунду насос может поднять на высоту 30 метров Q литров воды, бензина, ртути и т.п.; во всех случаях отличаться будет только необходимая мощность электродвигателя.

ПЛОТНОСТЬ ЖИДКОСТИ ИЛИ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Плотностью жидкости или рабочей среды называется масса жидкости/рабочей среды на единицу объема. Плотность измеряется в кг/дм^3 или кг/л , при этом 1 дм^3 равен 1 литру.

ДАВЛЕНИЕ

Давление - это вес на единицу площади (например, кг/см^2), давление не стоит путать с напором. В случае с жидкостями, давление, которое жидкость оказывает на поверхность, является произведением напора (высоты столба) жидкости и её плотности. По этой причине столб воздуха высотой в несколько километров оказывает на земную поверхность давление на уровне моря около 1 кг/см^2 (примерно равно 1 атмосфере). При замене воздуха на воду давление было бы примерно в 700-800 раз выше, потому что вода имеет плотность примерно в 700-800 раз больше плотности воздуха.

Принимая во внимание, что столб воды высотой 10 метров оказывает давление примерно 1 кг/см^2 , при установке манометра на напорной стороне можно измерить следующие значения повышения давления:

- а) для бензина (плотность $0,7 \text{ кг/дм}^3$) = $00,7 \times 0,001 \times 30 \times 100 = 2,1 \text{ кг/см}^2$
- б) для воды (плотность $1,0 \text{ кг/дм}^3$) = $00,1 \times 0,001 \times 30 \times 100 = 3,0 \text{ кг/см}^2$
- в) для ртути (плотность $13,6 \text{ кг/дм}^3$) = $13,6 \times 0,001 \times 30 \times 100 = 40,8 \text{ кг/см}^2$

РАСХОД

Расход - это количество жидкости или рабочей среды, проходящее через какую-либо точку, например, через напорный патрубок насоса или через поперечное сечение трубы за определенную единицу времени.

Расход может измеряться в литрах в минуту (л/мин), литрах в секунду (л/с), метрах кубических в час ($\text{м}^3/\text{ч}$) и т.д.

Существует аналогия между потоком воды в трубопроводе и электрическим током, протекающим по проводникам. Проводя аналогию, гидравлический напор эквивалентен электрическому потенциалу или напряжению, а гидравлический расход аналогичен электрическому току. Характер изменения вышеуказанных параметров одинаковый. Также, как проводник с небольшим поперечным сечением создает сопротивление протеканию электрического тока больше, чем проводник большего сечения, труба малого сечения создает более высокое сопротивление потоку жидкости, чем труба большего сечения. Для протекания электрического тока в проводнике необходимо создать разницу потенциалов, для протекания жидкости или рабочей среды в трубе необходим определенный напор.

Жидкость никогда не будет перемещаться между двумя точками в абсолютно горизонтальной трубе, если напор жидкости в этих точках одинаковый. Это объясняется тем, что, аналогично проводнику, оказывающему сопротивление протеканию электрического тока (электрическое сопротивление), трубопровод оказывает сопротивление протеканию жидкости, величина которого зависит от трубы (материала, формы, наличия загрязнений), площади поперечного сечения и скорости потока жидкости в трубе. Данное сопротивление называется гидравлическим сопротивлением системы или потерей напора.

ПОТЕРИ НАПОРА

Потери напора - часть напора жидкости, которая теряется при протекании через трубопровод, клапаны, фильтры и другие элементы. Эти потери не восполняются, поскольку являются потерями из-за трения. По аналогии между электрическим и гидравлическим сопротивлениями, потери в проводнике увеличиваются пропорционально увеличению электрического тока, потери напора жидкости увеличиваются пропорционально повышению скорости жидкости. Чем сильнее ограничение расхода из-за налета на стенках труб, из-за загрязненных фильтров, частично закрытых клапанов и т.д., тем больше будут потери напора.

НАСОС

Насос - это устройство, применяемое для увеличения напора жидкости, проходящей через него. Напор может быть использован для подъема необходимого объема жидкости на определенную высоту, для создания расхода жидкости в трубе или для преодоления жидкостью определенного расстояния на открытом воздухе. Основными характеристиками насоса являются:

- а) **Расход** (количество жидкости, перекачиваемое насосом в единицу времени)
- б) **Напор** (высота, на которую насос способен поднять необходимый объем жидкости)

Исходя из существующего соотношения расхода и напора, можно выделить несколько групп насосов:

- а) Насосы с малым расходом и высоким напором (поршневые насосы, роторные насосы, небольшие центробежные насосы).
- б) Насосы со средними расходом и напором (центробежные насосы).
- в) Насосы с большим расходом и малым напором (диагонально-центробежные насосы, осевые насосы).

Рабочее колесо центробежных, диагонально-центробежных и осевых насосов совершает вращательное движение, скорость вращения измеряется в оборотах в минуту (об/мин). Для этих насосов при работе на одной определенной скорости вращения каждому значению расхода соответствует только одно значение напора. Это значит, что для увеличения или уменьшения производительности насосов данных типов необходимо изменить скорость вращения электродвигателя. Для перекачивания жидкости насос тратит количество энергии, пропорциональное напору и скорости потока жидкости. Данная энергия, создаваемая в единицу времени, называется „передаваемая мощность“.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ

ПЕРЕДАВАЕМАЯ МОЩНОСТЬ

Передаваемая мощность – это мощность, отдаваемая насосом перекачиваемой жидкости. Значение передаваемой мощности зависит от трех факторов: расхода, напора и плотности перекачиваемой жидкости. Чем выше значения этих факторов, тем большую мощность передает насос. Например, насос, перекачивающий бензин, совершает меньше работы, чем при работе с фосфорной кислотой, по причине разной плотности этих жидкостей.

Для перекачивания жидкости насос приводится в действие двигателем. В большинстве случаев это электродвигатель или двигатель внутреннего сгорания. Электродвигатели потребляют электрическую мощность, двигатели внутреннего сгорания работают на топливе. Мощность, которая требуется для работы насоса, называется потребляемой мощностью.

РАСЧЕТ ПЕРЕДАВАЕМОЙ МОЩНОСТИ

Передаваемая мощность, как правило, выражается в кВт или л.с. и зависит от:

Q = расхода

H = напора в метрах столба жидкости

γ = плотности жидкости

Передаваемая мощность (P3) рассчитывается по одной из следующих формул:

$$P3 = \frac{\gamma \text{ (кг/дм}^3\text{)} \times Q \text{ (л/с)} \times H \text{ (м)}}{75} \text{ в л.с.}$$

$$P3 = \frac{\gamma \text{ (кг/дм}^3\text{)} \times Q \text{ (м}^3\text{/ч)} \times H \text{ (м)}}{270} \text{ в л.с.}$$

$$P3 = \frac{\gamma \text{ (кг/дм}^3\text{)} \times Q \text{ (л/с)} \times H \text{ (м)}}{102} \text{ в кВт}$$

$$P3 = \frac{\gamma \text{ (кг/дм}^3\text{)} \times Q \text{ (л/мин)} \times H \text{ (м)}}{4500} \text{ в л.с.}$$

$$P3 = \frac{\gamma \text{ (кг/дм}^3\text{)} \times Q \text{ (м}^3\text{/ч)} \times H \text{ (м)}}{367} \text{ в кВт}$$

$$P3 = \frac{\gamma \text{ (кг/дм}^3\text{)} \times Q \text{ (л/мин)} \times H \text{ (м)}}{6120} \text{ в кВт}$$

ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ

Потребляемая мощность – это мощность, которую гидравлика насоса получает от двигателя для передачи ее жидкости. Не вся потребляемая мощность превращается в передаваемую, так как часть мощности теряется на трение, а другая более значительная часть затрачивается на преодоление гидравлического сопротивления внутри самого насоса. Из этого следует, что передаваемая мощность всегда меньше потребляемой, а соотношение между этими двумя мощностями – это число, которое всегда меньше единицы. Это число называется коэффициентом полезного действия (КПД).

КПД

Коэффициент полезного действия (КПД) определяется путем деления передаваемой мощности на потребляемую и, как правило, выражается в процентах. Например, КПД насоса 75% означает, что только 75% потребляемой мощности преобразуется в передаваемую мощность, а остальные 25% теряются на трении. Таким образом, чем выше КПД насоса, тем меньшая часть потребляемой мощности теряется. Учитывая взаимосвязь между стоимостью энергии и потребляемой мощностью, важность КПД сразу становится очевидной. Если сравнить два насоса с одинаковой передаваемой мощностью 1 л.с., но с КПД 50% у одного насоса и 60% у другого, можно увидеть, что первому насосу потребуется 2 л.с., чтобы передать 1 л.с., при этом второму насосу потребуется только 1,67 л.с. для достижения такого же результата. Это означает, что КПД насоса лучше любого другого параметра отражает качество работы насоса и относительную экономичность с точки зрения эксплуатационных затрат.

РАСЧЕТ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТИ

P1: мощность, потребляемая электродвигателем.

P2: мощность, передаваемая электродвигателем, в кВт. Измеряется под нагрузкой.

P3: мощность, передаваемая насосом.

$$\text{КПД двигателя } \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$\text{КПД гидр. части } \eta = \frac{P_3}{P_2}$$

$$\text{КПД нас. агрегата } \eta = \frac{P_3}{P_1}$$

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ

НАПОР НАСОСА И ЕГО ИЗМЕРЕНИЕ

Напор насоса – это всегда дифференциальный напор или напор, создаваемый самим насосом. Обычно, он измеряется в метрах. Чтобы определить напор поверхностного насоса, необходимо в процессе его работы измерить значение напора непосредственно на всасывающем и напорном патрубках насоса, при этом показания должны сниматься на одном уровне, который называется плоскостью измерения. В зависимости от установки возможны два варианта:

1) значение напора на всасывании отрицательное (манометр показывает значение ниже нуля): в этом случае уровень жидкости находится ниже уровня всасывающего патрубка.

2) значение напора на всасывании положительное (манометр показывает значение выше нуля): в этом случае уровень жидкости находится выше уровня всасывающего патрубка (работа под заливом).

В первом случае напор насоса рассчитывается путем сложения двух величин, во втором случае он рассчитывается путем вычитания значения напора на всасывающем патрубке насоса из значения на напорном.

В заключение, необходимо убедиться, что показания на патрубках были получены из отверстий одинакового диаметра, чтобы исключить их искажение вследствие разницы скоростей жидкости в точках измерения. Любая коррекция производится путем расчета динамического напора или той части напора, которая связана со скоростью жидкости, т.е. той части напора, которой обладает жидкость на контрольном сечении, с учетом того, что жидкость движется. Динамический напор H_d , выражаемый в метрах, рассчитывается по следующей формуле:

$$H_d = \frac{v^2}{2g}$$

где: v = скорость жидкости в точке измерения, в м/с
 g = ускорение свободного падения (9,81), в м/с²
 $2g = 2 \times 9,81 = 19,62$ м/с²

Коррекция напора осуществляется путем получения разности динамического напора на напорном и всасывающем патрубках насоса. При измерении на отверстиях одинакового диаметра и при одинаковой скорости течения жидкости, коррекция будет равна нулю.

В погружных лопастных насосах достаточно во время работы измерить напор на напорном патрубке насоса. В этом случае напор насоса измеряется путем сложения показания динамического напора (на подаче) и разности уровней свободной поверхности забираемой жидкости и манометра.

ИЗМЕНЕНИЕ НАПОРА НАСОСА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Производительность насоса напрямую зависит от скорости вращения электродвигателя насоса, выраженной в об/мин (n). При условии отсутствия кавитации, можно использовать закон подобия, который выражается следующим образом:

$$Q_x = Q \times \frac{n_x}{n}$$

$$H_x = H \times \left(\frac{n_x}{n}\right)^2$$

$$P_{2-x} = P_2 \times \left(\frac{n_x}{n}\right)^3$$

Например, при увеличении числа оборотов (n_x) в два раза получаем:

Q_x = расход увеличивается в два раза

H_x = напор увеличивается в 4 раза

P_{2-X} = потребляемая мощность увеличивается в 8 раз

$Q - H - P_2$ - это значения при скорости n

$Q_x - H_x - P_{2-X}$ - это значения при скорости n_x .

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НАСОСОВ

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
P_1 : МОЩНОСТЬ, ПОТРЕБЛЯЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ, кВт.
P_2 : МОЩНОСТЬ, ПЕРЕДАВАЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ, кВт или л.с.
V (В) ~ = НАПРЯЖЕНИЕ ПИТАНИЯ.
Hz (Гц) = ЧАСТОТА.
I = НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, А.
$\cos\varphi$ = КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ.
$n^{1/min}$ = СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ В ОБ/МИН.
η = КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (ОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПЕРЕДАВАЕМОЙ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТЬЮ P_2/P_1).
p = КОЛИЧЕСТВО ПАР ПОЛЮСОВ СТАТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ.
C_n = НОМИНАЛЬНЫЙ КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ ДВИГАТЕЛЯ.

СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ НА ХОЛОСТОМ ХОДУ

Скорость вращения на холостом ходу одно- или трехфазного асинхронного электродвигателя рассчитывается по формуле:

$$n^{1/min} = \frac{120 \times \text{Hz}}{p}$$

Скорость вращения на холостом ходу $n^{1/min}$

ЧАСТОТА Гц	2 ПОЛЮСА	4 ПОЛЮСА
50	3000	1500
60	3600	1800

Скорость вращения при полной нагрузке на 2 – 7 % ниже скорости вращения на холостом ходу (сдвиг 2 – 7 %).

ПОТРЕБЛЯЕМЫЙ ТОК

Однофазный: $I = \frac{1000 \times P_2 \text{ (кВт)}}{V \times \cos\varphi \times \eta}$ или: $I = \frac{736 \times P_2 \text{ (л.с.)}}{V \times \cos\varphi \times \eta}$

Трехфазный: $I = \frac{1000 \times P_2 \text{ (кВт)}}{1,73 \times V \times \cos\varphi \times \eta}$ или: $I = \frac{736 \times P_2 \text{ (л.с.)}}{1,73 \times V \times \cos\varphi \times \eta}$

ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ

Однофазный: $P_1 \text{ (кВт)} = \frac{V \times I \times \cos\varphi}{1000}$

Трехфазный: $P_1 \text{ (кВт)} = \frac{1,73 \times V \times I \times \cos\varphi}{1000}$

МОЩНОСТЬ, ПЕРЕДАВАЕМАЯ ДВИГАТЕЛЕМ

Однофазный: $P_2 \text{ (кВт)} = \frac{V \times I \times \cos\varphi \times \eta}{1000}$ или: $P_2 \text{ (л.с.)} = \frac{V \times I \times \cos\varphi \times \eta}{736}$

Трехфазный: $P_2 \text{ (кВт)} = \frac{1,73 \times V \times I \times \cos\varphi \times \eta}{1000}$ или: $P_2 \text{ (л.с.)} = \frac{1,73 \times V \times I \times \cos\varphi \times \eta}{736}$

КПД

$$\eta = \frac{P_2 \text{ (кВт)}}{P_1 \text{ (кВт)}}$$

ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ НАСОСЫ

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ

$$\text{Однофазный: } \cos\varphi = \frac{P_2 (\text{кВт}) \times 1000}{V \times I \times \eta} \quad \text{или: } \cos\varphi = \frac{P_1 (\text{кВт}) \times 1000}{V \times I}$$

$$\text{Трёхфазный: } \cos\varphi = \frac{P_2 (\text{кВт}) \times 1000}{1,73 \times V \times I \times \eta} \quad \text{или: } \cos\varphi = \frac{P_1 (\text{кВт}) \times 1000}{1,73 \times V \times I}$$

КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ

$$C_n = \frac{P_2 (\text{кВт}) \times 1000}{1,027 \times n^{1/\text{min}}} \quad \text{в кгм}$$

$$C_n = \frac{P_2 (\text{л.с.}) \times 736}{1,027 \times n^{1/\text{min}}} \quad \text{в кгм}$$

$$C_n = \frac{702 \times \text{л.с.}}{n^{1/\text{min}}} \quad \text{в деканьютон-метрах}$$

ОТНОШЕНИЕ МЕЖДУ кВт и л.с.

$$1 \text{ л.с.} = 0,736 \text{ кВт}$$

$$1 \text{ кВт} = 1,36 \text{ л.с.}$$

$$\frac{\text{л.с.}}{1,36} = \text{кВт}$$

$$\text{кВт} \times 1,36 = \text{л.с.}$$

ПУСКОВОЙ ТОК (IST)

Пусковой ток (при запуске) электродвигателя в 4 – 8 раз выше номинального, в зависимости от мощности электродвигателя.

$$I_{sp} = I_n \times 4 \div 8$$

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНДЕНСАТОРОВ

Примерный ток, потребляемый конденсатором, рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{6,28 \times F \times C \times V}{1\,000\,000}$$

Где:

I = ток в Амперах, потребляемый конденсатором.

F = частота в Гц.

C = емкость конденсатора в мкФ.

V = напряжение питания.

Пример:

Ток, потребляемый конденсатором емкостью 14 мкФ, подключенным к источнику питания 220 В – 50 Гц:

$$I = \frac{6,28 \times 50 \times 14 \times 220}{1\,000\,000} = 0,96 \text{ А}$$

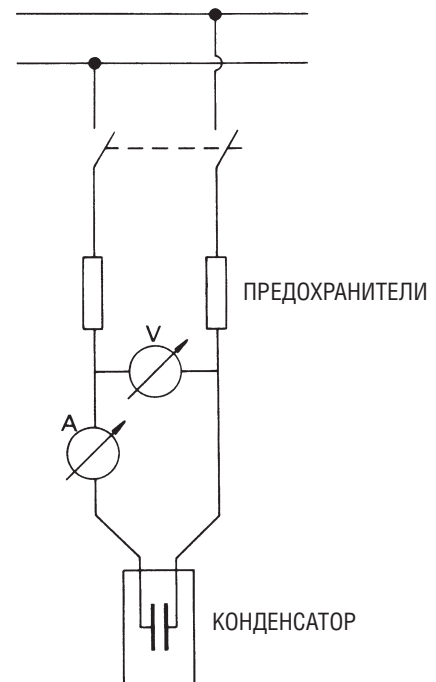
Примерная емкость конденсатора определяется по формуле:

$$C = \frac{I}{6,28 \times F \times V} \times 1\,000\,000$$

Пример:

Емкость конденсатора, потребляющего ток 1,4 ампера, подключенного к источнику питания 220 В – 50 Гц:

$$C = \frac{1,4}{6,28 \times 50 \times 220} \times 1\,000\,000 = 20,2 \text{ мкФ}$$



ЗАПУСК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО СХЕМЕ «ЗВЕЗДА-ТРЕУГОЛЬНИК»

Электродвигатель с обмотками, соединенными по схеме «треугольник», запускается по схеме «звезда». Ток и пусковой момент снижаются на 1/3 по сравнению со значениями при подключении обмоток по схеме «треугольник».

ЗАЩИТА

Для защиты от перегрузки и выхода электродвигателя насоса из строя рекомендуется подключать их к сети электропитания при помощи трехфазных термомангнитных автоматических выключателей, соответствующих действующим нормам.