

# ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ И РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

## Цель работы:

1. Изучить назначение, устройство, основные технические показатели и характеристики центробежного насоса.
2. Экспериментально определить рабочие характеристики центробежного насоса.

## 1. Объект и средства исследования

На рабочем месте расположена лабораторная установка стенда НТЦ-46 «Автоматизация в водоснабжении и водоотведении», в которой объектом исследования является центробежный насос «Джамбо 70/50 – Н».

Средствами исследования служат ваттметр РW (1 дел = 100Вт), манометр МН типа МП на давление 1,0 МПа, расходомер РА типа СВ - 15Г, электронный секундомер.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретические сведения по центробежным насосам.
2. Ознакомиться с основными техническими показателями центробежных насосов.
3. Собрать электрическую схему лабораторной установки (с её проверкой) для снятия рабочих характеристик насоса в зависимости от его подачи  $Q$ : напора  $H = f_1(Q)$ , мощности  $N = f_2(Q)$ , и КПД  $\eta = f(Q)$ .
4. Определить исходные данные и рассчитать необходимые величины для построения рабочих характеристик насоса  $H = f_1(Q)$ ,  $N = f_2(Q)$ ,  $\eta = f(Q)$ .
5. Изучить области применения центробежных насосов.

## 3. Рабочее задание

1. Начертить принципиальную электрическую схему лабораторной установки (рис. 1.1) и таблицу 1.1 результатов опытов (измерений и



3. Перед снятием любой экспериментальной точки необходимо выполнить следующее. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентиля осуществляется путём вращения маховика управления по часовой стрелке), а вентиль В2 необходимо открыть вращением маховика управления против часовой стрелки. При этом управлении вентилями рекомендуется не прикладывать больших усилий.

После включения установки в сеть с помощью выключателя SA1 «Сеть», выключателем, установленным на электродвигателе включить насос. Вначале, воздействуя на вентиль В2, необходимо определить максимальное давление, которое развивает насос по манометру МН. Затем, разбив диапазон измерения давления насоса на пять интервалов, провести шесть опытов. В каждом опыте давление должно быть постоянным. Первый опыт следует начать с минимального давления насоса при минимальном сопротивлении сети, на которую работает насос, что регулируется вентилем В2.

В каждом опыте необходимо измерять: давление на выходе насоса  $P_{\text{нас}}$  по манометру МН, Па; время  $t$  прохождения через расходомер объёма воды  $V$  (объём воды необходимо предварительно задавать, например,  $V = 0,01 \text{ м}^3 = 10 \text{ дм}^3$ ), с; мощность  $P_{\text{дв}}$ , подводимую к электродвигателю по ваттметру РW (показания ваттметра необходимо умножать на 100), Вт.

Результаты измерений необходимо занести в таблицу 1.1.

Во избежание перегрева и преждевременного выхода насоса не следует продолжительное время (более 30 секунд) работать на максимальном давлении, так как в этом случае не может быть протока воды через насос, что видно по расходомеру, показания которого в этом случае не изменяются.

После проведения всех измерений необходимо отключить питание стенда выключателем SA1 «Сеть» и снять перемычки со штекерами (монтажные проводники) с модуля электрического управления.

При обработке результатов исследования принять следующие допущения: давление на входе насоса  $P_{\text{вх}}$  принято равным атмосферному давлению на основании наличия подпора жидкости на входе в насос (уровень воды в нижнем баке выше уровня расположения насоса) и сравнительно низких потерь давления во всасывающем трубопроводе; вертикальные координаты на входе  $Z_{\text{вх}}$  и

выходе  $Z_{\text{ввых}}$  насоса равны между собой при условии, что не учитывается вертикальный размер насоса

$$Z_{\text{ввх}} = Z_{\text{ввых}} \quad (1.1)$$

средние скорости течения воды на входе  $v_{\text{ввх}}$  и выходе  $v_{\text{ввых}}$  равны между собой

$$v_{\text{ввх}} = v_{\text{ввых}} \quad (1.2)$$

Для каждого опыта необходимо определить:

- подачу

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1.3)$$

- мощность насоса

$$N_{\text{нас}} = P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{дв}} \quad (1.4)$$

где  $\eta_{\text{дв}}$  - КПД электродвигателя (принимается  $\eta_{\text{дв}} = 0,5$ );

- напор насоса с учётом вышеизложенных допущений

$$H = \frac{P_{\text{нас}}}{\rho \cdot g} \quad (1.5)$$

где  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  – плотность жидкости (вода);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;

- полезную мощность насоса

$$N_{\text{п}} = P_{\text{нас}} \cdot Q \quad (1.6)$$

- КПД насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{нас}}} \quad (1.7)$$

Результаты вычислений занести в таблицу 1.1 и по её данным построить рабочие характеристики насоса: зависимости напора от подачи  $H = f_1(Q)$ , мощности насоса от подачи  $N = f_2(Q)$ , КПД насоса от подачи  $\eta = f_3(Q)$ .

#### 4. Подготовка к выполнению рабочего задания

1. Изучить необходимые разделы в рекомендуемой литературе [11, с.129...189], [12, с.89...140], [13, с.215...253], [14], [15].

2. Записать основные положения по назначению, устройству

принципу действия центробежных насосов и по их характеристикам.

3. Записать паспортные данные по объекту управления и средств исследования.

4. Записать формулу для расчёта подачи  $Q$ , мощности насоса  $N_{\text{нас}}$ , напора  $H$ , полезной мощности  $N_{\text{п}}$  и КПД  $\eta$  насоса.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Что такое насос и насосный агрегат?

2. Каково назначение и классификация гидронасосов, достоинства и недостатки динамических и объёмных насосов?

3. Пояснить основные технические показатели и характеристики центробежных насосов.

4. Как устроен и работает центробежный насос: консольный, двустороннего входа?

5. Пояснить особенности конструкции и параметры насоса-автомата серии «Джамбо».

6. Пояснить область применения центробежных насосов.

### **6. Общие сведения о назначении, устройстве, принципе действия и характеристикам центробежных насосов**

Насосы – гидравлические машины, предназначенные для создания напорного потока жидкой среды (напор – энергетический показатель). Этот поток создаётся в результате силового воздействия на жидкость в проточной полости или рабочей камере насоса. Под насосным агрегатом следует понимать двигатель и насос, объединённые в одно целое общим основанием и корпусом.

По характеру силового воздействия на жидкость различают насосы динамические и объёмные. В динамическом насосе силовое воздействия на жидкость происходит в проточной полости неизменного объёма, постоянно сообщаемой со входом и выходом насоса. В объёмном насосе силовое воздействия на жидкость осуществляется в рабочей камере, периодически изменяющей свой объём и попеременно сообщаемой со входом и выходом насоса.

Динамические насосы не обладают свойством герметичности. При неподвижном рабочем колесе, устанавливаемом в проточной полости, при неработающем насосе жидкость практически беспрепятственно может перетекать со входа на выход и наоборот. Динамические насосы

из-за не герметичности не способны развивать высокие давления. Но, так как проточная полость у этих насосов постоянно сообщена со входом и выходом и жидкость подаётся непрерывным потоком, динамические насосы, по сравнению с объёмными имеют более высокие подачи. Также из-за не герметичности динамические насосы, не снабжённые специальными устройствами, не обладают свойством самовсасывания. Следовательно, если насос установлен выше уровня жидкости в баке, из которого она засасывается, то в начальный момент, когда всасывающий трубопровод и насос заполнены воздухом, насос не способен создать разрежение, достаточное для подъёма жидкости, и начать работу. Поэтому перед включением динамический насос необходимо заливать водой и удалять из него воздух.

Объёмные насосы обладают свойством герметичности, самовсасывания, способны создавать высокие давления. В принципе, если вытеснитель в рабочей камере имеет идеальное уплотнение, то такой насос способен создавать сколь угодно высокое давление. Но в связи с тем, что объёмный насос постоянно работает в режиме переключения камер с периодическим подключением каждой камеры то к всасыванию, то к выходу насоса, он имеет невысокую подачу, по сравнению с динамическим насосом. Объёмные насосы находят наибольшее применение в машиностроительных гидроприводах.

Таким образом, динамические насосы способны создавать высокие подачи при относительно невысоких давлениях, а объёмные насосы, наоборот, обеспечивают высокие давления при относительно невысоких подачах.

К динамическим насосам относятся лопастные, электромагнитные и насосы трения. Лопастные насосы бывают двух типов: центробежные и осевые. К насосам трения относят: вихревые, шнековые, дисковые, струйные и некоторые другие.

Центробежные насосы чаще всего находят применение в области водоснабжения и водоотведения, теплоэнергетике, атомной промышленности и их можно классифицировать по следующим основным признакам:

- направлению оси расположения, вращения или движения рабочих органов (горизонтальный, вертикальный);
- расположению рабочих органов и конструкций опор (консольный, моноблочный, с выносными опорами, с внутренними опорами);

- расположению входа в насос (с боковым входом, с осевым входом, двухстороннего входа);
- числу ступеней и потоков (одноступенчатый, двухступенчатый, многоступенчатый, однопоточный, двухпоточный, многопоточный);
- условиям отвода жидкости из рабочего колеса (спиральный, кольцевой, с направляющим аппаратом);
- роду перекачиваемых жидкостей (насосы для чистых жидкостей и для гидросмесей).

Преимущества центробежных насосов по сравнению с насосами других типов:

- пологие характеристики  $N = f_1(Q)$  и  $\eta = f_2(Q)$ , в результате чего высокие значения напоров  $H$  и КПД сохраняются в широком диапазоне подач  $Q$ ;
  - большая частота вращения, что позволяет в качестве привода для насосов использовать электродвигатели и турбины;
  - плавное изменения мощности  $N$ , что позволяет выполнить пуск насоса при закрытой выходной заслонке или при закрытом обратном клапане;
  - устойчивость в работе насосов и расширение технических показателей  $H$  и  $Q$  при последовательном или параллельном соединении насосов при работе на один трубопровод;
  - плавное протекание переходных процессов при изменении режима работы гидросистемы;
  - расположение насоса выше уровня жидкости в расходной ёмкости;
  - изменение показателей насосов  $H$ ,  $Q$ ,  $\eta$  за счёт различных факторов: обточки диаметра рабочего колеса, изменение частоты вращения за счёт изменения величины и частоты тока, напряжения и некоторых других;
  - невысокая стоимость насоса из-за использования в конструкции насоса сравнительно дешёвых конструкционных материалов: стали, чугуна, бронзы, полимерных материалов.
- Центробежные насосы обладают и рядом недостатков:
- требуют заливки жидкости перед пуском;
  - имеют склонность к кавитации;
  - имеют пониженное значение КПД при перекачивании вязких жидкостей;
  - имеют небольшое КПД при малой подаче жидкости  $Q$  и большом значении напора  $H$ ;

- насосы целесообразно использовать в области больших подач  $Q$  и низких напоров  $H$  жидкости.

Рассмотрим принцип действия и конструкцию некоторых наиболее распространённых типов центробежных насосов, включая и насос, используемый в лабораторной установке.

В центробежном насосе жидкость под действием центробежных сил перемещается через рабочее колесо от центра к периферии. Жидкость, отбрасываемая лопатками колеса, поступает в спиральный отвод и далее – в напорный трубопровод. Спиральный отвод предназначен не только для улавливания жидкости, выходящей из рабочего колеса, но и для частичного преобразования её кинетической энергии в потенциальную энергию давления.

Принципиальная схема центробежного насоса приведена на рис. 1.2.

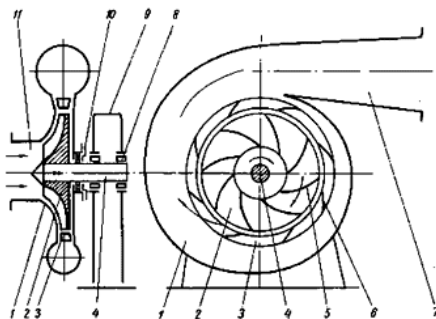


Рис. 1.2. Принципиальная схема устройства центробежного насоса  
1 – рабочая камера, 2 – рабочее колесо, 3- направляющий аппарат, 4 - вал, 5- лопатка рабочего колеса, 6 - лопатка направляющего аппарата, 7- нагнетательный патрубок, 8- подшипник, 9- корпус насоса, 10 - гидравлическое торцовое уплотнение.

На рис. 1.3 показан в разрезе горизонтальный центробежный насос консольного типа, с осевым входом, одноступенчатый, однопоточный.

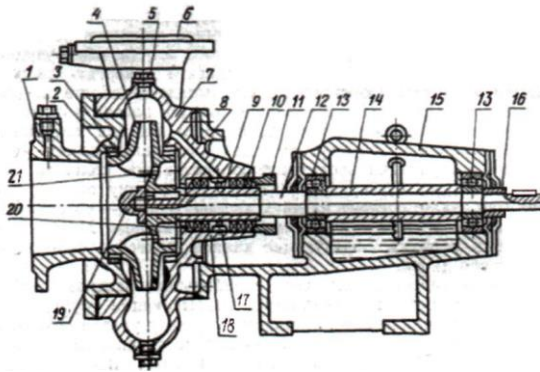


Рис. 1.3. Разрез центробежного насоса

1 – входной всасывающий патрубок, 2 – уплотняющее кольцо, 3 – защитное кольцо, 4 – рабочее колесо, 5 – пробка закрытия отверстия подключения всасывающей трубы, 6 – выходной нагнетательный патрубок, 7 – спиральный корпус, 8 – кронштейн, 9 – втулка защитная, 10 – набивка, 11 – крышка сальника, 12 – вал, 13 – шарикоподшипники (опоры вала), 14 – втулки распорные, 15, 16 – стойка опорная с масляной ванной, 17 – кольцо гидравлического уплотнения, 18 – корпус сальника в виде целой отливки с корпусом насоса, 19 – гайка, 20 – грундбукса, 21 – отверстие разгрузочное.

Рабочее колесо 4 установлено на вал 12 с помощью шпонки. Для фиксации рабочего колеса в осевом направлении предназначена гайка 19. Вал установлен на двух подшипниках качения 13, смазываемых жидкой смазкой (в других конструкциях насосов подшипники смазываются консистентной смазкой). Уплотняющий узел насоса состоит из грундбуксы 20, набивки сальника 10, кольца гидравлического уплотнения 17 и крышки сальника 11. Грундбукса, представляющая собой бронзовое ступенчатое кольцо, служит для предохранения от износа корпуса, в котором установлен уплотняющий узел.

Схема консольного насоса представлена на рис. 1.4, характерной особенностью которого является консольное расположение рабочего колеса 4. Корпус 2,3 – спиральный с осевым подводом жидкости. Рабочее колесо состоит из ведущего *б* и ведомого *а* дисков, соединённых между собой лопастями *в*. Между ними и дисками образуются каналы.

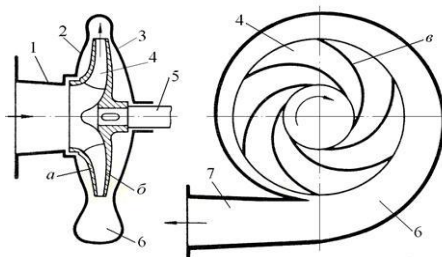


Рис. 1.4. Принципиальная схема центробежного насоса консольного типа  
 1 – всасывающий трубопровод; 2, 3 – корпус; 4 – рабочее колесо; 5 – вал; 6 – спиралеобразный отвод; 7 – диффузор; а – ведомый диск; б – ведущий диск; в – лопасти

Лопастни изогнуты в сторону, противоположную направлению вращения рабочего колеса. Рабочее колесо 4 ведущим диском крепится на валу 5. Центробежное колесо имеет следующий принцип действия. Вращение от двигателя передаётся рабочему колесу посредством вала, вследствие чего поток жидкости в его контактах закручивается и действующие в нём центробежные силы заставляют жидкость перемещаться от центра к периферии, обтекая лопасти. На вход рабочего колеса жидкость поступает непрерывно через конфузор подвода из всасывающего трубопровода 1. Следовательно, рабочее колесо сообщает жидкости преимущественно кинетическую энергию. Жидкость выходит с большой скоростью из рабочего колеса и попадает в спиралеобразный отвод б, плавное расширение которого к выходу обеспечивает при весьма небольших гидравлических потерях перевод значительной доли кинетической энергии потока в потенциальную, чему способствует и диффузор 7, имеющийся в выходном патрубке насоса. Рабочее колесо вовлекает жидкость в пространство между его дисками и боковыми стенками отвода, уменьшает давление жидкости от периферии к центру по параболической зависимости. Рабочие колёса центробежных насосов имеют 6...12 лопастей очертание которых выполняется по спиральной или цилиндрической поверхности, для подачи чистых жидкостей. В сочетании со спиральным отводом при этом обеспечиваются насосу хорошие гидродинамические качества.

Насосные агрегаты с консольными насосами выпускают двух типов: К (консольный) и КМ (консольный моноблочный). Агрегат

типа К представляет собой консольный насос и электродвигатель, установленные на общей раме и валы их соединены втулочно-кольцевой муфтой. В агрегате типа КМ к электродвигателю фланцевого исполнения присоединён консольный насос так, что образуется общий корпус (моноблок). Обозначения и маркировка насосов, за исключением специальных конструкций, определены ГОСТом 22247 – 76, например: К -8/18, КМ – 90/20 (цифры за буквами определяют номинальную подачу ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ) и напор (м) водяного столба). Насосные агрегаты К и КМ предназначены для перекачивания чистых неагрессивных жидкостей при температуре до  $85^\circ\text{C}$  и охватывают номинальные подачи  $10\dots360$  л/ч и напоры  $10\dots100$  т при КПД  $0,5\dots0,83$ .

Центробежные насосы типа Д имеют двусторонний вход жидкости в рабочее колесо (рис. 1.5).

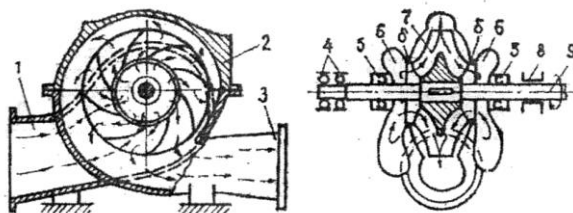


Рис. 1.5. Схема принципа действия центробежного насоса двустороннего входа  
 1 – подвод; 2 – крышка; 3 – корпус; 4 – подшипники; 5 - втулки; 6 - лопасти;  
 7 – каналы рабочего колеса; 8-опора; 9 – приводной вал.

Из подвода 1 жидкость попадает в лопасть *ба*, из неё – в каналы рабочего колеса 7, затем - в спиральный отвод, образованный корпусом 3 и крышкой 2. Двусторонний вход жидкости обеспечивает уравновешенность осевых сил рабочего колеса, меньшие гидравлические сопротивления, что несколько повышает КПД насоса. Двойное уплотнение вала и рабочего колеса аналогичны тем, что применяют в консольных насосах. В обозначении насоса двустороннего входа, например Д200 - 95 указывается тип – Д, номинальные подача -  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$  и напор 95м. Выпускаемые типоразмеры охватывают подачу  $90\dots12500 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напор  $12\dots137\text{м}$  при КПД  $0,64\dots0,92$ .

Электрические центробежные насосы серии «Джамбо» являются поверхностными со встроенным эжектором. Они сочетают в своём устройстве преимущества центробежных насосов с практичностью самовсасывающих моделей (рис. 1.6.)

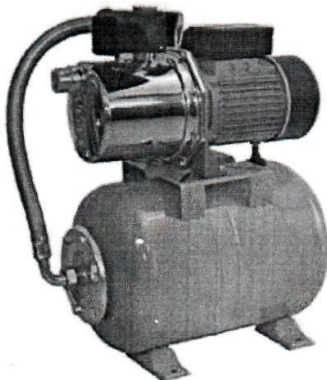


Рис. 1.6. Общий вид насоса серии «Джамбо 70/50Н - 50»

Встроенный внутренний эжектор с системой труб Вентури обеспечивает хорошие условия всасывания на входе в насос и позволяет создавать высокое давление на выходе. Центробежный насос данной серии позволяет перекачивать воду с меньшими, по сравнению с обычными, центробежными насосами, требованиями к чистоте и наличию растворённых газов.

Центробежные насосы «Джамбо 60/35 П», «Джамбо 60/45», «Джамбо 70/50 Н» имеют корпус, выполненный из нержавеющей стали, а корпус насоса «Джамбо 60/35» полностью выполнен из чугуна. Рабочее колесо и проточный блок (направляющий аппарат – трубка Вентури – сопло) выполнены из износостойких практических материалов. Переходной фланец выполнен из алюминия, но со стороны насосной части он отделён от контакта с водой задней крышкой из пластмассы. Для предотвращения внешних утечек из насосной части применены графитно–керамические торцовые уплотнения. Благодаря свойству самосмазывания вследствие сочетания гидродинамического и капиллярного эффектов уплотнения центробежных насосов являются практически вечными.

Применяемый электродвигатель – однофазный асинхронный короткозамкнутый, состоящий из статора, подшипниковых щитов, короткозамкнутого ротора и коробки выводов статорной обмотки, в которой находится конденсатор и клеммные колодки для соединения выводных концов электродвигателя с питающим кабелем подключения к однофазной сети переменного тока напряжением 220 В. Статор электродвигателя защищён термopротектором, отключающим электродвигатель при перегреве обмотки. Он также охлаждается вентилятором, расположенном на заднем конце ротора.

Насосы серии «Джамбо» автоматически поддерживают необходимое давление в системе водоснабжения, самостоятельно включаясь и отключаясь по мере расходования воды потребителями. Насосы - автоматы «Джамбо» по принципу управления различаются по давлению и по потоку.

Системы автоматизированного водоснабжения с насосами серии «Джамбо» обеспечивают плавный пуск с целью снижения пускового тока, предотвращения гидроудара при пуске насоса, снижение механических нагрузок на насос и обратный клапан, поддержание диапазона давления по заданным значениям, а также защиту от «сухого хода» и неуправляемой непрерывной работы, перегрузки по току, перепадов напряжения.

Параметры насоса – автомата «Джамбо 70/50 Н – 50 » используемого в лабораторном стенде НТЦ - 46 следующие:

- номинальная мощность электродвигателя – 1,1 кВт,
- гидроаккумулятор – объём 50 л = 0,95 м<sup>3</sup>,

Подача, л/мин	65	61	57	53	46	37	26	16	7
Напор, м	5	10	15	20	25	30	35	40	45

Работа насоса характеризуется следующими основными параметрами: подачей, напором, давлением, мощностью, коэффициентом полезного действия КПД и частотой вращения.

Подачей насоса Q (м<sup>3</sup>/с) называется объём жидкости, проходящей в единицу времени через напорный выходной патрубок. Подача насоса зависит от геометрических размеров проточной полости и рабочего органа и скорости его движения, а также от утечек жидкости внутри насоса между областями нагнетания и всасывания.

Напором насоса  $H$  (м) называется удельная, приходящаяся на единицу веса энергия, приобретаемая жидкостью при прохождении через насос. Напор насоса

$$H = H_{\text{вых}} - H_{\text{вх}}, \quad (1.8)$$

где  $H_{\text{вых}}$  – напор на выходе в напорном патрубке насоса, м;

$H_{\text{вх}}$  – напор на входе насоса, м.

Учитывая, что напор в любом сечении трубопровода равен сумме геометрического  $Z$ , пьезометрического

$$\frac{P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}}{\rho \cdot g} \quad (1.9)$$

и скоростного

$$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g} \quad (1.10)$$

напоров можно записать

$$H = (Z_{\text{вых}} - Z_{\text{вх}}) + \frac{P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_{\text{вых}} \cdot v_{\text{вых}}^2 - \alpha_{\text{вх}} \cdot v_{\text{вх}}^2}{2g} \quad (1.11)$$

где  $P_{\text{вых}}$ ,  $P_{\text{вх}}$  – соответственно давление на выходе и входе в насос, Па;

$v_{\text{вых}}$ ,  $v_{\text{вх}}$  – соответственно средняя скорость жидкости на выходе и входе в насос; м/с;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\alpha_{\text{вых}}$ ,  $\alpha_{\text{вх}}$  – соответственно коэффициенты Кориолиса на выходе и входе в насос. Они учитывают неравномерность распределения скоростей по живому сечению и представляют собой отношение действительной кинетической энергии потока к энергии, подсчитанной по средней скорости. Если скорости во всех точках живого сечения потока одинаковы,  $\alpha = 1$ , если же скорости неодинаковы,  $\alpha > 1$ .

С учётом принятых допущений (см. пункт 3 рабочего задания)

$$Z_{\text{вх}} = Z_{\text{вых}}, v_{\text{вх}} = v_{\text{вых}} \quad (1.12)$$

напор насоса

$$H = \frac{P_{\text{нас}}}{\rho \cdot g} \quad (1.13)$$

Индексы «вых», «вх» относятся к напорному выходному и входному патрубкам соответственно.

Давление насоса (Па)

$$P = \rho \cdot g \cdot H \quad (1.14)$$

Мощностью насоса (Вт) называется мощность, потребляемая насосом

$$N = M \cdot \omega \quad (1.15)$$

где  $M$  – вращающий момент на валу насоса,  $N \cdot м$ ;

$\omega$  – угловая скорость вала насоса,  $с^{-1}$ .

Полезной мощностью (Вт) называется мощность, приобретаемая жидкостью при прохождении ею насоса

$$N_{\text{п}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (1.16)$$

Отношение полезной мощности  $N_{\text{п}}$  к мощности насоса  $N$  определяет КПД насоса

$$\eta = \frac{N_{\text{п}}}{N} \quad (1.17)$$

При проектировании насосных установок необходимо знать рабочие характеристики насоса с тем, чтобы обеспечить работу насоса в области максимальных значений КПД.

Рабочие характеристики центробежного насоса – зависимости  $H = f_1(Q)$ ,  $N = f_2(Q)$  и  $\eta = f_3(Q)$ .

Получают рабочие характеристики при постоянной частоте вращения вала насоса. Зависимость  $H = f_1(Q)$  называют главной характеристикой, а расчётные характеристики насоса, полученные при номинальной частоте вращения, называют внешними. Проводя испытания насоса при различных частотах вращения вала насоса, иногда получают универсальную характеристику насоса, представляющую собой семейство зависимостей  $H = f(Q)$ , построенных при постоянных значениях КПД. Значение универсальной характеристики насоса особенно важно в тех случаях,

когда привод насоса осуществляется от двигателя, имеющего переменную частоту вращения.

Для определения всасывающей способности насоса и условия возникновения кавитации проводят кавитационные испытания и строят кавитационные характеристики – зависимости  $H = f_1(Q)$ ,  $N = f_2(Q)$  и  $\eta = f_3(Q)$ .

$$H = \frac{P_{\text{вак}}}{\rho \cdot g} \quad (1.18)$$

где  $P_{\text{вак}}$  - вакуумметрическое давление на входе насоса.

При проектировании, экспериментальных, конструкторских и эксплуатационных исследованиях лопастных насосов широко используются методы теории подобия. Теория подобия позволяет проводить эксперименты на моделях, а затем достаточно точно рассчитывать полученные характеристики на натуральные насосы больших размеров или для одного и того же насоса рассчитывать новые характеристики в случаях изменения диаметра рабочего колеса или частоты вращения.

Теория подобия насосов базируется на общей теории гидродинамического подобия потоков. Полные подобия насосов возможны лишь при наличии их геометрического, кинематического и динамического подобия.