

АО “Ўзбекистон темир йўллари”

Ташкентский институт инженеров железнодорожного  
транспорта

## **НАСОС И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для подготовки бакалавров 3 курса по направлению:  
5340400-“Строительство и монтаж инженерных коммуникаций  
(водоснабжение и канализация на железнодорожном  
транспорте)

Ташкент – 2019

## **UDK 628.1.001**

В методических указаниях по дисциплине «Насос и воздухоудные станции» и «Насосы и насосные станции» приведено выполнение лабораторных работ: изучение конструкций консольных, двусторонних, вихревых центробежных насосов и определение их марок, изучение кинематики потока в рабочем колесе центробежного насоса, испытание центробежного насоса, кавитационные испытания центробежного насоса, струйный насос, испытание насосной установки с двумя параллельно работающими центробежными насосами.

Методические указания предназначены для студентов строительного факультета, изучающих дисциплину «Насос и воздухоудные станции» и «Насосы и насосные станции».

Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

Составили: А.Н. Ризаев – д.т.н., проф.;  
Г.Р. Рихсиходжаева – асс.

Рецензенты: Э.С. Буриев – доц. (ТАСИ);  
У. Бахрамов – т.ф.н., доц. (ТашИИТ).

## Введение

**Центробежные насосы** – самая большая группа устройств, применяемых в быту для перекачки жидкостей. Они широко используются в системах водоснабжения и водоотведения домов. Также их применяют для откачки воды из скважин (ЭЦВ – модели, оснащенные приводом электродвигателя).

Под центробежным насосом понимают устройство, в котором требуемое давление и напор жидкости достигается за счет центробежной силы, возникающей в результате действия лопастей рабочего колеса на воду.

Главная рабочая часть агрегата – колесо, насаженное на вал и вращающееся внутри корпуса. Колесо состоит из двух дисков (заднего и переднего), расположенных на некотором удалении друг от друга. Между лопастями имеется механизм, который соединяет колеса воедино.

**Принцип работы центробежного насоса.** Межлопастные каналы (плоскость внутри лопасти и дисков) во время работы агрегата заполняют жидкостью. При вращении устройства на жидкость, находящуюся в межлопастном пространстве действует центробежная сила, результате чего из-под рабочей ступени вытекает вода. Это способствует возникновению разрежения непосредственно в центре ступени, и также повышению давления на периферии.

Жидкость идет по всасывающему трубопроводу и попадает в насос через патрубок. Перемещение воды во всасывающем трубопроводе осуществляется за счет разности давления в центральной области колеса и приемном бассейне. Жидкость, выбрасываемая из рабочего колеса, поступает в спиральную камеру, после чего перемещается в напорный патрубок, который соединен с напорным трубопроводом.

Чем больше диаметр колеса и выше частота вращения, тем больше центробежная сила, а соответственно и напор насоса. В качестве привода для агрегата используется электродвигатель.

**Основные разновидности центробежных насосов.** Сегодня данные устройства выпускаются для самых разных целей. Существуют 18 типов центробежных насосов, наиболее популярными среди которых являются:

1. консольные,
2. погружные,
3. вихревые,
4. осевые,

5. шламовые и др.

**По уровню создаваемого давления** центробежные насосы делятся на следующие типы:

1. низкого,
2. среднего,
3. высокого давления.

**По расположению вала и способу разъема корпуса** есть следующие типы водяных насосов:

1. горизонтальные,
2. вертикальные.

Особенностью вертикальных моделей является наличие бокового входа. С помощью такого агрегата производится перекачивание гидросмесей, содержащих в большом количестве песок, твердые включения и т.п.

Также есть модели с одно- или двусторонним подводом жидкости, с мокрым и сухим ротором. Двусторонние агрегаты называется насосами двойного всасывания.

**По количеству рабочих колес** имеются следующие разновидности оборудования:

1. одноступенчатые,
2. многоступенчатые.

В одноступенчатых вариантах расположение вала консольное, поэтому их еще называют консольными.

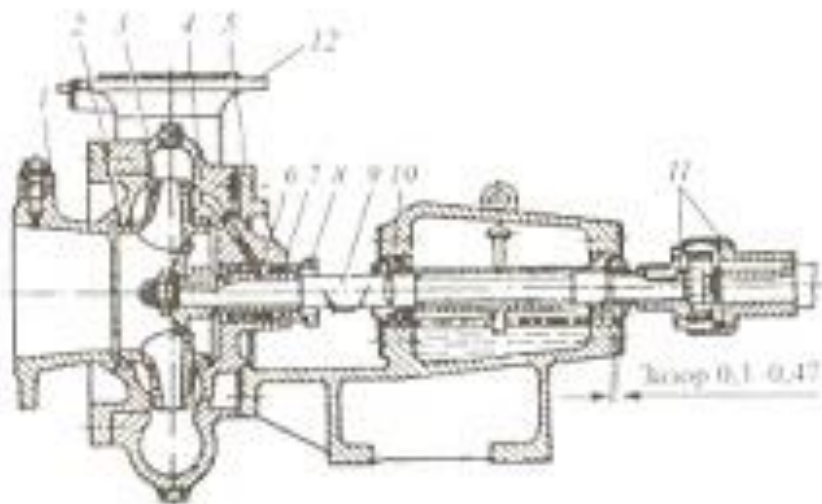
**Типы консольных центробежных насосов:**



1. К – устройства с горизонтальным валом, размещенным на отдельной стойке;
2. КМ – агрегаты с горизонтальным валом с электродвигателем, моноблочные.

Устройства КМ и К используются для перекачки жидкостей,

которые по плотности и вязкости схожи с водой. Температура рабочей среды может достигать 85°C, при этом допускается наличие механических примесей, размер которых не превышает 0,2 мм, с содержанием - не более 0,1% от общего объема.



Всасывающий патрубок (1), кольцо уплотнительное (2), колесо рабочее (3) корпус спиральный (4), опорный кронштейн (5), втулка (6), сальник (7), крышка сальника (8), вал (9), подшипник насоса (10), полумуфты (12), патрубок напорный (12).

**По создаваемому напору** насосы бывают:

- низконапорные (до 20 мм водяного столба);
- средненапорные – (до 60 мм водяного столба);
- высоконапорные – (более 60 мм водяного столба).

**По способу отвода вода из рабочего колеса** устройства классифицируются на:

- спиральные,
- турбинные.

**По типу погружения** центробежные насосы бывают:

- - погружные (устройство полностью опускается в воду)
- - поверхностные (монтируются сверху скважин и колодцев).

Центробежные модели используются для подачи воды из различных резервуаров, накопителей для полива и водоснабжения домов и дач. Погружные модели можно применять для подачи воды на высоту около 200 метров. Мощные модели способны полностью удовлетворить потребности небольшого дома.

Для откачки нечистот и борьбы с затоплениями предусмотрены фекальные и дренажные модели. Они отличаются высокой производительностью, способны создавать высокое давление.

**К преимуществам** центробежных насосов относятся:

- высокая надежность,
- конструктивная простота;
- долговечность,
- доступная стоимость.

**К недостаткам** относятся восприимчивость к содержащимся в перекачиваемой жидкости примесям, а также невысокий КПД. Для достижения требуемых параметров КПД можно использовать более мощные электродвигатели.

Установка центробежного насоса должна производиться в месте, которое защищено от негативного атмосферного влияния.

Центробежные насосы относятся к лопастным. Классификация и сравнение различных конструктивных типов лопастных насосов проводятся по обобщенному критерию – коэффициенту быстроходности.

$$n_s = 3,65 * \frac{n * \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

где,  $Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор, м;

$n$  – частота вращения рабочего колеса, об/мин.

Зависимость (1) характеризует не насос в целом, а одно рабочее колесо. Рабочее колесо с двусторонним входом следует рассматривать как два параллельно соединенных колеса, и в зависимость (1) подставляется величина  $Q/2$ . Для многоступенчатых насосов с последовательным соединением рабочих колес подставляется напор, деленный на число ступеней, т.е. подставляется напор от одной ступени.

В зависимости от значений  $n_s$  рабочие колеса подразделяются на 5 основных типов (рис.1, табл.1.).

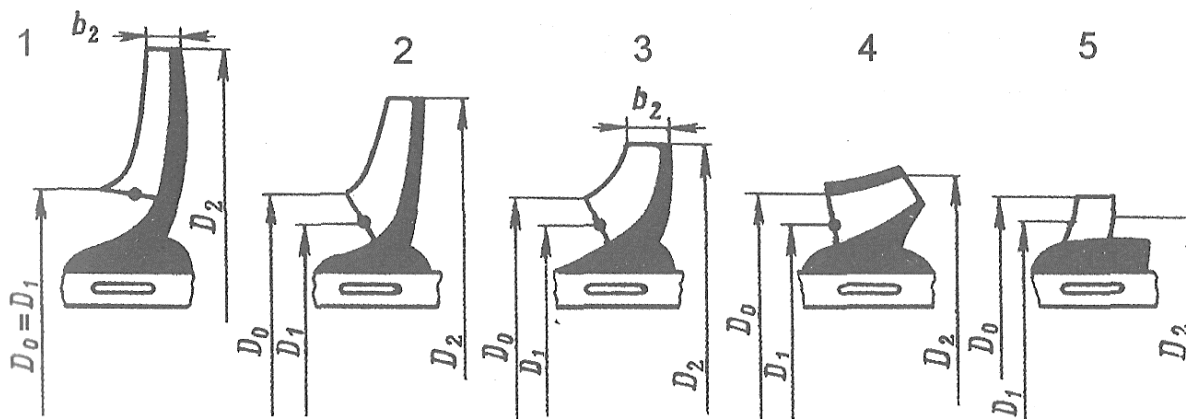


Рис.1. Рабочие колеса различных по быстроходности насосов

Таблица 1

## Классификация насосов по коэффициенту быстроходности

| Тип рабочего колеса | Наименование типа рабочего колеса | Коэффициент быстроходности, $n_s$ | Соотношение размеров колеса, $D_2/D_0$ |
|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| 1                   | Центробежные тихоходные           | 40-80                             | 2,5                                    |
| 2                   | Центробежные нормальные           | 80-150                            | 2                                      |
| 3                   | Центробежные быстроходные         | 150-300                           | 1,8-1,4                                |
| 4                   | Диагональные                      | 300-600                           | 1,2-1,1                                |
| 5                   | Осевые (пропеллерные)             | 600-1800                          | 0,8-0,6                                |

С увеличением значений коэффициента быстроходности увеличивается подача и снижается напор насоса, меньше диаметры рабочих колес и отношения  $D_2/D_0$  меньше размеры и массы насосов. Форма колеса постепенно переходит из радиальной в осевую, направление потока приближается к оси насоса, увеличивается относительная ширина лопастей на выходе из колеса, больше КПД насосов. Тихоходные насосы имеют малые подачи при больших напорах, а быстроходные – большие подачи при малых напорах.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### **Изучение конструкций консольных центробежных насосов и определение их марок.**

**Цель работы:** Изучить конструкции консольных насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

#### **1. Общие понятия насоса типа К**

*Консольные насосы* — это вид центробежных насосов с односторонним или двусторонним подводом жидкости к рабочему колесу, расположенному на конце вала, удалённом от привода. Агрегаты комплектуются электродвигателем устанавливаемым, как правило, на единую платформу, либо соединяемых фланцем. Консольные насосы служат для перекачки воды, химически активных жидкостей, жидкостей включающих примеси и твёрдые включения.

*Особенности конструкции.* Для перекачивания воды чаще всего используют насосы центробежные консольные, относящиеся к типу К. Их рабочее колесо с лопатками крепится на валу, обратный конец которого размещается в подшипниковом узле. Конструктивной особенностью, отличающей насосы типа К, является наличие в них специальной компенсационной камеры, позволяющей избежать протечек, которые могут возникать в тех случаях, когда значение напора жидкости, создаваемого насосом, превышает нормативные показатели.

Защиту от внутренних и внешних протечек через корпус устройства обеспечивают передний и задний уплотнительные элементы, которыми оснащается каждый насос типа К. В конструкции таких консольных насосов также имеется сменная защитная втулка. Ее использование позволяет снизить износ вала, на котором фиксируется рабочее колесо устройства.

Уравновешивание осевой силы, создаваемой в процессе работы консольных насосов, мощность которых не превышает 10 кВт, обеспечивается за счет подшипников. В устройствах более высокой мощности такая задача решается при помощи специальных разгрузочных отверстий, выполненных в диске рабочего колеса.

*Насосное оборудование типов К и КМ.* Основными элементами



конструкции центробежных консольных насосов, относящихся к типу К, являются:

1. корпус;
2. подшипниковые узлы;
3. вал с закрепленным на нем рабочим колесом;
4. сальниковые элементы;
5. сменная защитная втулка;
6. опорный кронштейн.

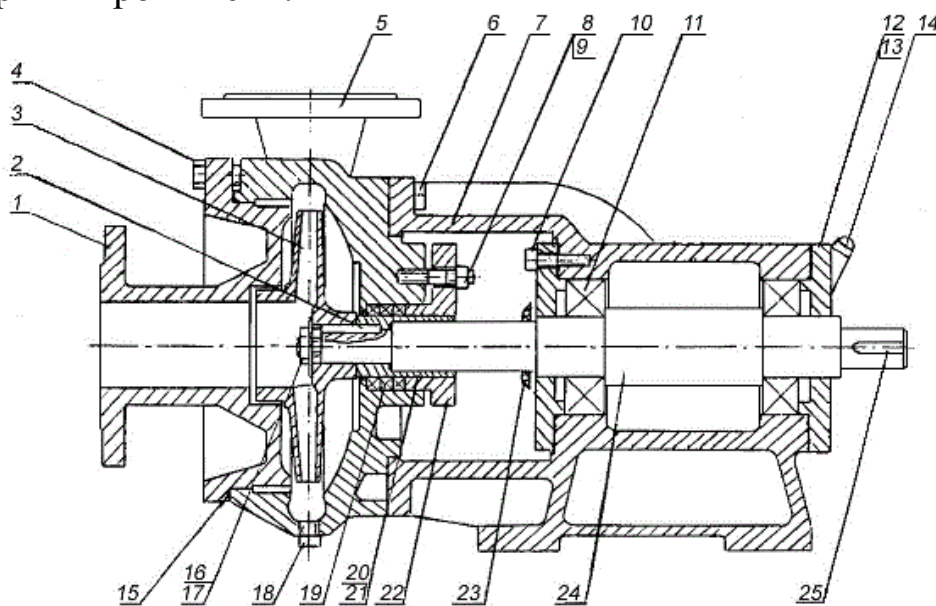


Рис. 2. Разрез насоса

1-крышка насоса; 2-шпонка; 3-рабочее колесо; 4,6-болт M12×35; 5-корпус насоса;  
7-корпус подшипников; 8-гайка M10; 9-шпилька M10×50; 10-болт M8×20;  
11-подшипник; 12-крышка подшипника; 13-прокладка; 14-масленка; 15-прокладка;  
16-гайка рабочего колеса; 17-шайба; 18-пробка; 19-набивка сальниковая; 20-втулка  
защитная; 21-прокладка; 22-крышка сальника; 23-отбойник; 24-вал; 25-шпонка.

Одной из разновидностей насосных устройств данного типа являются моноблочные консольные насосы, в обозначении которых присутствуют буквы КМ. Насосы данной серии отличаются высокой мощностью, поэтому их используют преимущественно на производственных предприятиях и для оснащения крупных инженерных сетей. Мощные и производительные насосы серии КМ отличаются такими недостатками, как:

- большие габариты и значительный вес;
- невысокая надежность уплотнительных узлов (это приводит к тому, что производить осмотр и техническое обслуживание насосных устройств данного типа требуется достаточно часто);
- более длительный, сложный и дорогостоящий ремонт, по сравнению с насосами, относящимися к типу К;

- сложность и неудобство замены электродвигателя, если в этом возникает необходимость.

*Принцип действия.* Принцип, по которому работает насос центробежный консольного типа, достаточно прост.

- При включении электропитания приводного двигателя начинает вращаться рабочее колесо, оснащенное лопастями.
- При прохождении области внутренней камеры, где располагается входной патрубок насоса, в ней создается разрежение воздуха, что способствует всасыванию через патрубок жидкой среды.
- Поступившая в консольный насос жидкость начинает перемещаться вместе с лопатками рабочего колеса, что в итоге приводит к увеличению давления перекачиваемой среды в области нагнетательного патрубка и ее выталкиванию через него в трубопроводную систему.

При вращении рабочего колеса консольного насоса, оснащенного лопатками, создается центробежная сила, благодаря которой увеличивается скорость потока перекачиваемой таким устройством жидкости.

Между тем следует иметь в виду: если консольный насос, предназначенный для оснащения системы водоснабжения, подобран неправильно, то слишком высокая скорость вращения его рабочего колеса с лопатками может привести к тому, что во входном патрубке будет создаваться недостаточное разрежение воздуха, что снизит эффективность работы оборудования. При использовании центробежного консольного насоса, рабочее колесо которого вращается со слишком высокой скоростью, в рабочей камере происходит переход перекачиваемой жидкой среды в пар, который затем конденсируется. Это приводит к возникновению такого явления, как кавитация. Именно поэтому следует хорошо разобраться в том, как выбирать консольный насос для оснащения систем водоснабжения, обладающих определенными техническими характеристиками.

#### **К70-50-220-СД-УХЛ-3**

**К** – тип оборудования (консольный насос);

**70** – диаметр всасывающего патрубка (мм);

**50** – диаметр патрубка подачи;

**220** – диаметр лопастного барабана;

**СД** – уплотнение двойным сальником (С - одинарный сальник);

**УХЛ** - вариант климатического исполнения согласно ГОСТ 15150-69;

**3** – категория размещения.

Рис. 3. Пример маркировки консольного насоса

*Правильная установка.* Насосы консольные, чтобы они эффективно справлялись с поставленными перед ними задачами, нуждаются в правильной установке. При этом следует придерживаться следующих рекомендаций.

Для установки насоса следует использовать ровное и качественное бетонное основание, способное обеспечить надежное крепление такого устройства. Бетонная фундаментная подушка, масса которой должна превышать массу самого насоса как минимум в полтора раза, необходима для того, чтобы поглощать вибрации, ударные нагрузки и линейные деформации, возникающие при работе оборудования. Ширина и длина фундаментной подушки под насос рассчитываются таким образом, чтобы они выступали за периметр несущей рамы оборудования как минимум на один метр. После подготовки бетонного основания насос устанавливается в его центральной части и надежно фиксируется.

При подсоединении к насосной установке элементов трубопровода следует учитывать, чтобы на корпус оборудования не передавались значительные механические нагрузки.

Диаметры напорной и всасывающей труб должны быть подобраны с учетом давления, которое будет создавать насосная установка.

При монтаже труб (в особенности всасывающей магистрали) следует обращать внимание на то, чтобы в них не было скопления воздуха.

По обеим сторонам консольного насоса при выполнении его монтажа обязательно устанавливаются отсечные клапаны или краны, которые необходимы для того, чтобы не допустить вытекания жидкости из системы при осуществлении технического обслуживания или ремонта насосной установки.

Как всасывающий, так и напорный трубопровод, подходящие к насосу, должны иметь надежные крепления, причем располагать их следует как можно ближе к корпусу установки.

Соединение всасывающей и напорной магистралей трубопровода с насосом осуществляется при помощи контрфланцев, которые крепятся к фланцам устройства таким образом, чтобы снять с него все возникающие в системе напряжения.

Чтобы насосная установка консольного типа работала эффективно и без сбоев, необходимо свести к минимуму вибрации и шумы, возникающие при ее функционировании, что достигается различными способами. Особенно актуальным такое требование является в том случае, если мощность приводного двигателя консольного насоса

превышает 11 кВт. Между тем следует иметь в виду, что приводные электродвигатели меньшей мощности также могут создавать при своей работе нежелательные вибрационные нагрузки и шум.



Рис. 4. Вид консольного химического насоса в разрезе



Рис. 5. Вид консольного водяного насоса

## **2. Правила выполнения работы**

### **2.1. Ознакомиться с конструкцией насоса:**

- а) тип насоса;
- б) соединения рабочего колеса;
- с) тип выхода с рабочего колеса;
- д) открывание корпуса насоса (вертикальный, горизонтальный);
- е) тип рабочего колеса;
- ф) количество ступеней во время появления напора.

### **2.2. Измеряемые параметры:**

- а) диаметр напорного патрубка насоса;
- б) диаметр всасывающего патрубка насоса;
- с) разрез диаметра входа на рабочее колесо;
- д) диаметр рабочего колеса.

## Образец

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

#### Изучение конструкций консольных центробежных насосов и определение их марок

**Цель работы:** Изучить конструкции консольных насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

1.Чертеж (схема) устройства  
(отдельно начертано и сдается вместе с отчетом)

2.Дано

Марка насоса по старому ГОСТу имеет следующий вид:

$$d_{\delta} T - W_S - i_{cm}$$

где,  $d_{\delta}$  – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка в мм, уменьшенная в 25 раз ( величина  $d_{\delta}$  округляется до 0,5);

$T$  – тип насоса (  $K$  – консольный,  $D$  – с двухсторонним входом,  $MC$  – многоступенчатый секционный);

$W_S$  – величина коэффициента быстроходности насоса в об/мин, уменьшенная в 10 раз (величина  $W_S$  округляется до 1,0);

$i_{cm}$  – число ступеней насоса (если насос одноступенчатый, то  $i_{cm}$  из марки насоса исключается).

3.Марка насоса по новому ГОСТу имеет вид:

- для насоса типа «К» –  $d_{\delta} K Q/H$ ;
- для насоса типа «Д» –  $D Q - H$ ;
- для насоса типа «МС» – ЦНС  $Q - H$ ;

где,  $d_{\delta}$  – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка;

$Q$  – подача насоса при максимальном КПД;

$H$  – напор насоса при максимальном КПД.

4.Подача  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и напор  $H$  (м) насоса при максимальном КПД определяется по формулам:

$$D_{\text{экв}} = \sqrt{D_0^2 + d_{BT}^2}$$

$$Q = \left( \frac{D_{\text{экв}}}{K_D} \right)^3 n * i_{BX}$$

$$H = i_{CT}^3 \sqrt[3]{\left( \frac{3.65 * n * \sqrt{Q/i_{BX}}}{n_s} \right)^4}$$

где,  $D_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр входа в колесо, м;  $K_d = 4 \dots 4,5$  – коэффициент;

$n$  – частота вращения вала насоса, об/мин;

$i_{\text{вх}}$ , – число сторон всасывания;

$i_{\text{ст}}$ , – число ступеней насоса;

$n_s$  – коэффициент быстроходности насоса, об/мин.

### 3. Данные во время опыта

| N | Тип насоса | Параметры | Тип входа к насосу | Тип выхода к насосу | Снятия корпуса | Тип рабочего колеса | Количество показаний напора |
|---|------------|-----------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|
| 2 | Консольный |           |                    |                     |                |                     |                             |

### 4. Размеры и параметры насосов, необходимые для определения их марок

| Тип насоса     | Размеры колеса |            |                      | Число                             |                                     | Внутренние диаметры патрубков насоса |                      | Частота вращения вала насоса |
|----------------|----------------|------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|
|                | $D_2$ , мм     | $D_0$ , мм | $d_{\text{вх}}$ , мм | сторон всасывания $i_{\text{вх}}$ | ступеней нагнетания $i_{\text{ст}}$ | всасывающего $d_в$ , мм              | напорного $d_n$ , мм | $n$ , об/мин                 |
| Консольный - К |                |            |                      |                                   |                                     |                                      |                      |                              |

### 5. Определение марок насосов

| Тип насоса   | $D_2/D_0$ | $n$ , об/мин по графику | $Q$ , м <sup>3</sup> /с | $Q$ , м <sup>3</sup> /ч | $H$ , м | Марка насоса     |                 |
|--------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------|-----------------|
|              |           |                         |                         |                         |         | По старому ГОСТу | По новому ГОСТу |
| Консольный-К |           |                         |                         |                         |         |                  |                 |

### 6. Выводы по результатам опыта

#### Контрольные вопросы:

1. Будет ли работать насос типа К, если его вал расположить вертикально?
2. Почему центробежный насос называют центробежным?

3. На каком принципе работают центробежные насосы?
4. Какие разновидности рабочих колес центробежных насосов существуют?

#### **Литература:**

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидројуритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат 1986 г.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**

### **Изучение конструкций двусторонних центробежных насосов и определение их марок**

**Цель работы:** Изучить конструкции двусторонних насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

Насосы двустороннего входа типа Д (ГОСТ 10272 - 87\*) предназначены для перекачивания воды и чистых жидкостей (сходных с водой по вязкости и химической активности) с температурой 85°C и содержанием твердых включений размерами до 0,2 мм, не превышающим 0,05% по массе.

Эти насосы применяются на насосных станциях I и II подъема городских, сельскохозяйственных и промышленных систем водоснабжения, в системах мелиорации и ирригации и в других отраслях народного хозяйства.

*Области применения.* Водоснабжение, водоподготовка, отопление,

нефтегазовая отрасль, атомная и тепловая энергетика, химическая промышленность, целлюлозно-бумажная промышленность, общепромышленное применение, сельское хозяйство, пожаротушение, опреснение воды, судостроение.

Крупные насосы, например Д12500-24, могут использоваться в циркуляционных системах тепловых и атомных электростанций.

ГОСТ предусматривал выпуск насосов типов Д и НДн, НДс и НДв

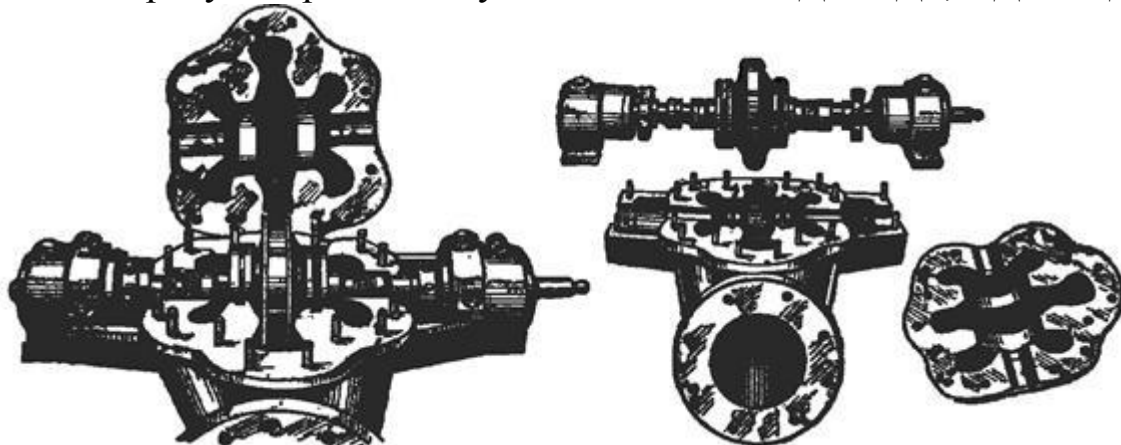


Рис. 6. Насос типа Д со снятой крышкой

*Условное обозначение насоса* (например, 14НДс и Д19): цифра перед буквами - диаметр напорного патрубка, мм (уменьшенный в 25 раз); буквы - тип насоса (НД - насос двусторонний; н - низко-, с - средне- и в - высоконапорный); цифра за буквой - коэффициент быстроходности (уменьшенный в 10 раз). Эти насосы в настоящее время еще достаточно широко используются в производстве.

Центробежные насосы типа Д (рис. 6, 7) - горизонтальные с осевым горизонтальным разъемом корпуса, с полуспиральным подводом жидкости к рабочему колесу двустороннего входа имеют ряд **преимуществ**:

- насосы типа Д имеют хорошую всасывающую способность;
- вал насосов разгружен от осевых гидравлических сил за счет раздвоения общего потока на входе в насос и симметричности конструкции рабочего колеса;
- рабочее колесо с двусторонним подводом жидкости обладает по сравнению с колесом одностороннего подвода (при одинаковых значениях напора, подачи и частоты вращения) существенно лучшими кавитационными качествами;
- одновременно достигается уравнивание осевых сил на опорный ведущий диск колеса;
- случайные осевые усилия воспринимаются дальше от муфты шарикоподшипниковой опорой вала.



Лопастное рабочее колесо состоит из трех дисков - ведущего (опорного) и двух ведомых, соединенных пространственными или цилиндрическими лопатками, загнутыми в сторону обратную вращению вала. Колесо насосов типа Д с коэффициентом быстроходности  $n_s = 130 - 190$  имеет шесть - восемь пространственных лопаток, а с  $n_s = 60 - 90$  - восемь цилиндрических лопаток.

*Условное обозначение насоса* (например, Д200-95а, у ГОСТ 10272-87\*): первая буква - тип насоса (центробежный двустороннего входа); первая цифра после буквы - подача,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ; вторая цифра - напор, м; буква после цифр («а» или «б») - индекс варианта обточки рабочего колеса.

Уплотнение и защита рабочего колеса от износа осуществляется сменными защитными кольцами. Во избежание возможных осевых смещений рабочее колесо закрепляется на валу защитными втулками с резьбой или гайками с помощью защитных втулок.

Вал рабочего колеса изготавливается из высокопрочной стали. Опорами вала служат шарикоподшипники, смазываемые консистентной смазкой. Для насосов Д6300-80 применяются баббитовые подшипники скользящего типа с кольцевой смазкой, с разъемом по оси насоса и водяным охлаждением; для насосов Д12500-24 - подшипники качения с кольцевой смазкой и водяным охлаждением. Для охлаждения подшипников подается техническая вода при напоре 15-20 м в количестве 500 л/ч. В насосах с консистентной смазкой охлаждение подшипников не предусмотрено.

Корпус подшипников крепится на кронштейнах, отлитых за одно целое с корпусом насоса. В нижней части кронштейна высверлено отверстие для отвода воды, просачивающейся через сальник. Корпус насоса представляет собой сложную чугунную отливку с входным патрубком (рис.7 б) и спиральным диффузорным отводящим каналом, переходящим в напорный патрубок. Входной и выходной патрубки насосов расположены в нижней части корпуса и направлены в противоположные стороны под углом  $90^\circ$  к оси насоса. Такое расположение патрубков, а также разъем корпуса по оси насоса обеспечивают возможность вскрытия, осмотра, ремонта и замены различных деталей без демонтажа насоса и трубопроводов.

Вал в местах его выхода из корпуса уплотнен сальниками из хлопчатобумажной набивки, пропитанной графитосолидоловой смазкой.

В конструкции сальника предусмотрены водяные камеры, к которым подводится вода для гидроуплотнения сальников. Для

насосов с подачей до 1600 м<sup>3</sup>/ч включительно и для насоса Д12500-24 вода в водяную камеру подводится по двум трубкам из верхней части корпуса насоса. В насосах с подачей от 2000 м<sup>3</sup>/ч при давлении у входа в рабочее колесо ниже атмосферного к водяным камерам необходимо подавать воду от постороннего источника.

Для увеличения ресурса работы насоса корпус и крышка корпуса защищены сменными уплотнительными кольцами.

Привод насосов типа Д осуществляется электродвигателем с помощью упругой муфты. В нормальном исполнении вал вращается против часовой стрелки, если смотреть на насос со стороны электродвигателя; входной патрубков расположен с левой стороны насоса. По особому заказу насосы типа Д поставляются с обратным вращением вала.

Отличительной особенностью насосов типа Д являются высокие значения КПД (73 - 88%), которые сохраняются в течение всего срока службы насоса, гарантийный ресурс 20 тыс.ч - без ремонта рабочих органов. Работают эти насосы плавно, без вибраций; они удобны и надежны в эксплуатации.

Насосы типа Д имеют подачу 100 - 12500 м<sup>3</sup>/ч, напор 14 - 125 м и допустимый кавитационный запас для рабочей части характеристики 3-7,5 м.

ГОСТ 10272 - 87\* регламентирует давление на входе в насос, что в некоторых случаях позволяет использовать эти насосы по схеме последовательной работы.

Широкое применение насосов типа Д на оросительных системах, а также при перекачивании сбросных и дренажных вод ставит перед конструкторами задачу по созданию насосов, способных работать в условиях повышенного содержания взвешенных частиц абразивного и агрессивного характера, причем узлы уплотнения должны работать без подачи осветленной воды.

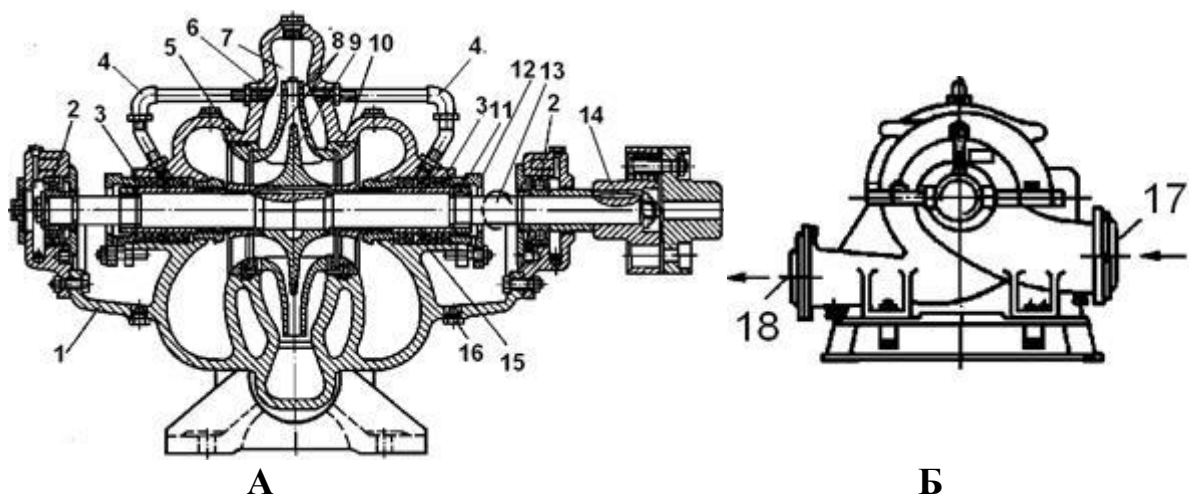


Рис. 7. Насос типа Д.

а - продольный разрез; б - поперечный; 1 - кронштейн; 2 - шарикоподшипник;  
 3 - сальники; 4 - трубки; 5, 10 - защитные и уплотняющие кольца; 6 - корпус насоса;  
 7 - спиральный канал; 8, 9 - ведомые и ведущий диски; 11- защитная втулка;  
 12 - крышка сальника; 13 - вал рабочего колеса, 14 - муфта; 15 - кольцо  
 гидроуплотнения; 16 - отверстие для стока воды; 17 - входной патрубок;  
 18 - выходной патрубок.



Рис. 8. Вид двустороннего насоса

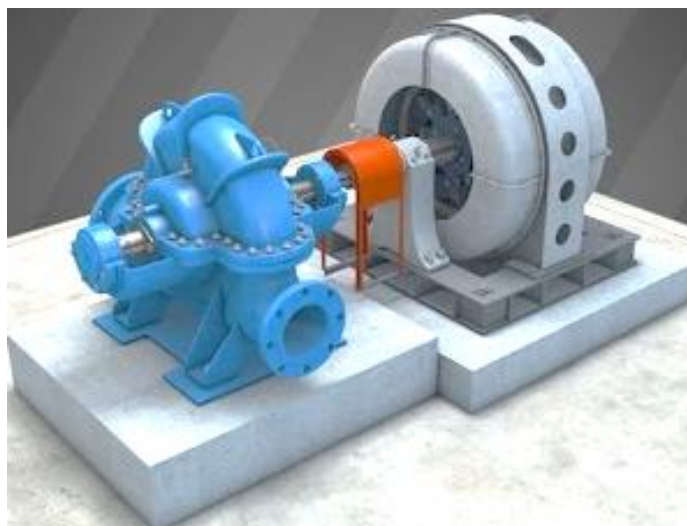
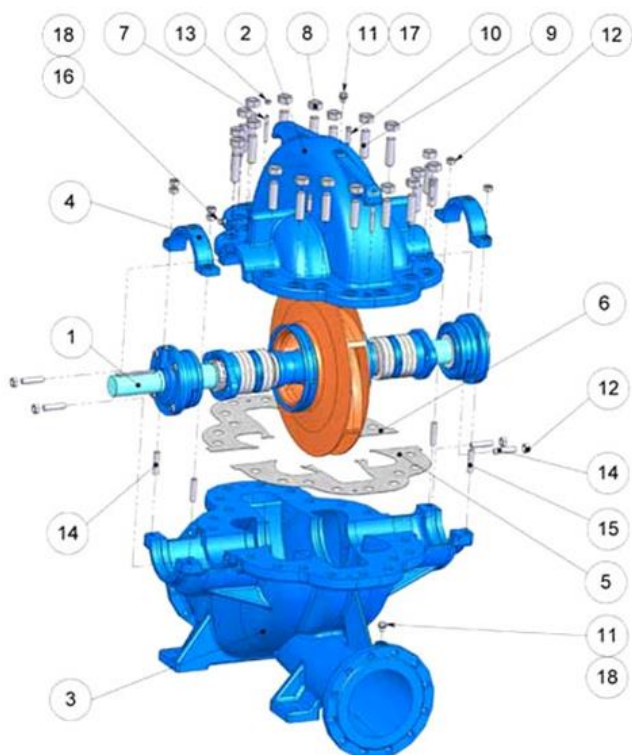


Рис. 9. Вид двустороннего насоса с соединением двигателем



| Поз. | Наименование         | Количество                |
|------|----------------------|---------------------------|
| 1    | Ротор в сборе        | 1                         |
| 2    | Крышка               | 1                         |
| 3    | Корпус               | 1                         |
| 4    | Скоба                | 2                         |
| 5    | Прокладка            | 1                         |
| 6    | Прокладка            | 1                         |
| 7    | Штифт 10x80          | 2                         |
| 8    | Гайка М24            | Различное по типоразмерам |
| 9    | Шпилька М24х55       | Различное по типоразмерам |
| 10   | Винт отжимной М12х45 | 2                         |
| 11   | Пробка М16           | 5                         |
| 12   | Гайка М16            | 10                        |
| 13   | Гайка М10            | 2                         |
| 14   | Шпилька М16х60       | 6                         |
| 15   | Шпилька М16х40       | 2                         |
| 16   | Пробка М12           | 2                         |
| 17   | Прокладка            | 5                         |
| 18   | Прокладка            | 2                         |

Рис. 10. Схема сборки и разборки насоса типа Д, 1Д

## 2. Правила выполнения работы

2.1. Ознакомиться с конструкцией насоса:

- тип насоса;
- соединения рабочего колеса;
- тип выхода с рабочего колеса;
- открывание корпуса насоса (вертикальный, горизонтальный);
- тип рабочего колеса;
- количество ступеней во время появления напора.

## 2.2. Измеряемые параметры:

- а) диаметр напорного патрубка насоса;
- б) диаметр всасывающего патрубка насоса;
- с) разрез диаметра входа на рабочее колесо;
- д) диаметр рабочего колеса.

## Образец

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

#### Изучение конструкций двусторонних центробежных насосов и определение их марок.

**Цель работы:** Изучить конструкции двусторонних центробежных насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

#### 1. Чертеж (схема) устройство (отдельно начертано и с отчетом сдается)

#### 2. Дано

1. Марка насоса по старому ГОСТу имеет следующий вид:

$$d_s T - W_s - i_{cm}$$

где,  $d_s$  – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка в мм, уменьшенная в 25 раз ( величина  $d_s$  округляется до 0,5);

$T$  – тип насоса ( К – консольный, Д – с двухсторонним входом, МС – многоступенчатый секционный);

$W_s$  – величина коэффициента быстроходности насоса в об/мин, уменьшенная в 10 раз (величина  $W_s$  округляется до 1,0);

$i_{cm}$  – число ступеней насоса (если насос одноступенчатый, то  $i_{cm}$  из марки насоса исключается).

2. Марка насоса по новому ГОСТу имеет вид:

- для насоса типа «К» –  $d_s K Q/H$ ;
- для насоса типа «Д» –  $D Q - H$ ;
- для насоса типа «МС» – ЦНС Q - H;

где,  $d_s$  – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка;

$Q$  – подача насоса при максимальном КПД;

$H$  – напор насоса при максимальном КПД.

3. Подача  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и напор  $H$  (м) насоса при максимальном КПД определяется по формулам:

$$D_{\text{экв}} = \sqrt{D_0^2 + d_{BT}^2}$$

$$Q = \left( \frac{D_{\text{экв}}}{K_d} \right)^3 n \cdot i_{BX}$$

$$H = i_{CT} \sqrt[3]{\frac{3.65 \cdot n \cdot \sqrt{Q/i_{BX}}}{n_s}}^4$$

где,  $D_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр входа в колесо, м;  $K_d = 4 \dots 4,5$  – коэффициент;  
 $n$  – частота вращения вала насоса, об/мин;  
 $i_{BX}$ , – число сторон всасывания;  
 $i_{CT}$ , – число ступеней насоса;  
 $n_s$  – коэффициент быстроходности насоса, об/мин.

### 3. Данные во время опыта

| N | Тип насоса               | Параметры | Тип входа к насосу | Тип выхода к насосу | Снятия корпуса | Тип рабочего колеса | Количество показание напора |
|---|--------------------------|-----------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|
| 2 | С двусторонним входом– Д |           |                    |                     |                |                     |                             |

### 4. Размеры и параметры насосов, необходимые для определения их марок

| Тип насоса               | Размеры колеса |            |               | Число                        |                                | Внутренние диаметры патрубков насоса |                      | Частота вращения вала насоса |
|--------------------------|----------------|------------|---------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|
|                          | $D_2$ , мм     | $D_0$ , мм | $d_{вм}$ , мм | сторон всасывания $i_{BX}$ , | ступеней нагнетания $i_{CT}$ , | всасывающего $d_в$ , мм              | напорного $d_n$ , мм | $n$ , об/мин                 |
| С двусторонним входом– Д |                |            |               |                              |                                |                                      |                      |                              |

### 5.Определение марок насосов

| Тип насоса               | $D_2/D_0$ | $n$ , об/мин по графику | $Q$ , м3/с | $Q$ , м3/ч | $H$ , м | Марка насоса     |                 |
|--------------------------|-----------|-------------------------|------------|------------|---------|------------------|-----------------|
|                          |           |                         |            |            |         | По старому ГОСТу | По новому ГОСТу |
| С двусторонним входом– Д |           |                         |            |            |         |                  |                 |

## 6. Вывод по результату опыта

### Контрольные вопросы:

1. В чем заключается сходство и различие насосов типа Д и типа К?
2. Осевое усилие рабочего колеса. Способы разгрузки.
3. Назначение и конструкция сальникового уплотнения.
4. Как определить в какую сторону вращается рабочее колесо насоса.

### Литература:

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидроюритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат 1986г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Изучение конструкций вихревых насосов и определение их марок

**Цель работы:** Изучить конструкции вихревых насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

Вихревые насосы являются разновидностью лопастных насосов. Рабочее колесо вихревых насосов представляет собой массивный стальной диск с фрезерованными по окружности пазами, образующими прямолинейные короткие лопатки. Всасывающий и напорный патрубки насоса обычно расположены в верхней части корпуса, что обеспечивает последующее самовсасывание насоса после одноразового залива при первоначальном пуске насоса. Внутри корпуса концентрично к оси вала насоса расположен отливной канал,

идущий по направлению вращения от входного до напорного патрубка. Между всасывающим и напорным патрубками расположена перемычка, подходящая к рабочему колесу с минимальным зазором (0,15-0,2 мм) и перекрывающая не менее 2-х лопаток рабочего колеса. Перемычка отделяет всасывающую полость от напорной.

Вихревые насосы выпускаются производительностью от 8 до 60 м<sup>3</sup>/ч с напором от 25 до 250 метров. Выпускаются также комбинированные насосы, в которых в одном корпусе размещаются колеса центробежного и вихревого типов. Эти насосы отличаются лучшим кпд.

Существует два основных типа вихревых насосов: открытого и закрытого типа. Рассмотрим конструктивные схемы этих насосов.

*Вихревой насос закрытого типа.* Конструктивная схема насоса показана на рис.11.

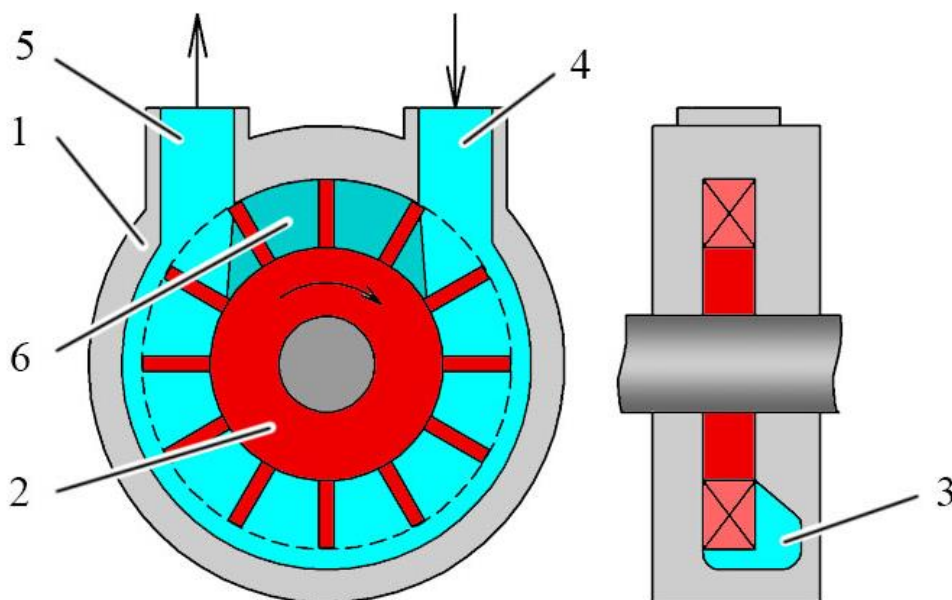


Рис.11. Конструктивная схема насоса

В корпусе 1 вихревого насоса установлено рабочее колесо 2 с малыми зазорами. В корпусе также выполнен специальный концентрический канал 3, расположенный по периметру окружности описываемой лопатками от входного патрубка 4 до напорного 5. Концентрический канал разделен перемычкой 6, не позволяющей жидкости перетекать из напорной линии во всасывающую. Лопатки рабочего колеса передают энергию жидкости, которая под воздействием сил инерции и трения перемещается от всасывающего патрубка к напорному.

*Устройство вихревого насоса открытого типа.* Схема открыто-



вихревого насоса показана на рис.12.

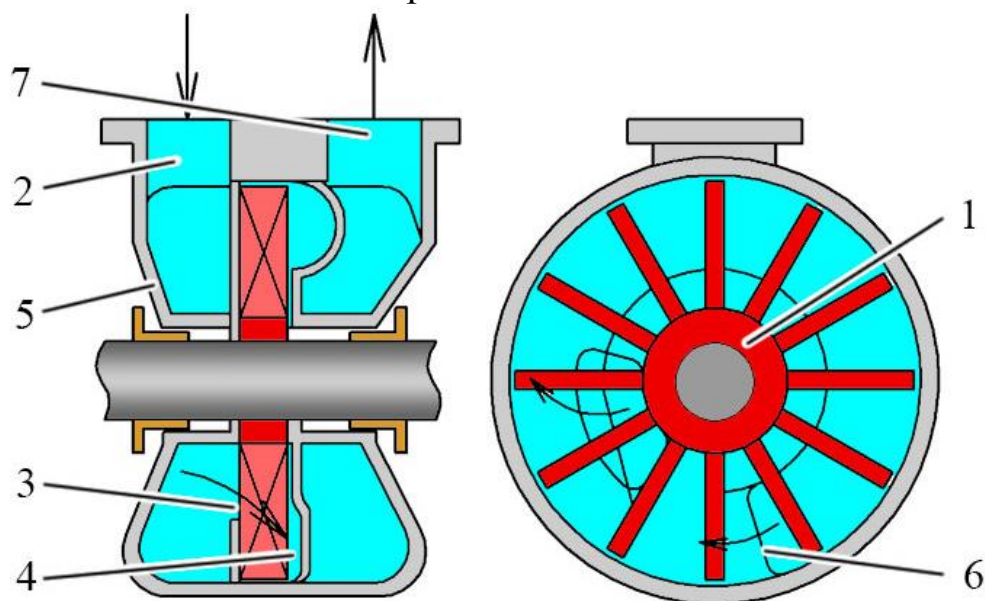


Рис.12. Схема открыто-вихревого насоса

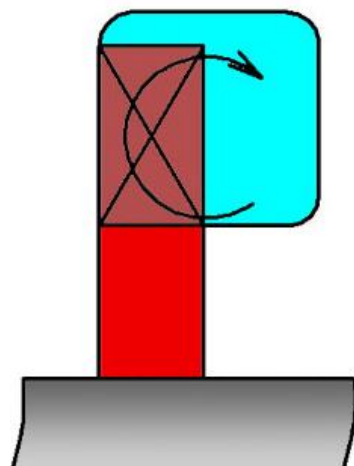
Рабочая жидкость поступает к лопаткам рабочего колеса 1 через подвод 2 и окно 3. Через рабочее колесо жидкость поступает в кольцевой канал 4, выполненный в корпусе 5. Под воздействием лопаток рабочего колеса жидкость перемещается по кольцевому каналу, и через отверстие 6 поступает в напорную линию 7.

*Принцип работы вихревого насоса.* Вихревой насос относится к динамическим, а значит движение жидкости в нем осуществляется за счет сил инерции и трения. От рабочего колеса энергия передается частицам жидкости, которая через спрофилированные каналы поступает из линии всасывания в линию нагнетания.

*Рабочее колесо вихревого насоса.* Лопатки рабочего колеса вихревого насоса спрофилированы таким образом, что при движении жидкость направляется от внутренней части канала к внешней, приобретая окружную составляющую скорости.

Происходит активное смешивание жидкости поступающей от рабочего колеса и текущей по каналу за счет сил инерции. В результате взаимодействия частиц с различными скоростями и направлениями движения возникают интенсивные вихри, что ведет к значительным потерям энергии.

Для исключения продольной силы, возникающей в результате разницы давления в осевых зазорах, используют симметричное



рабочее колесо.

*Характеристики вихревых насосов.*

Напор - до 25 м

Подача - до 12 л/с

Мощность - до 25 кВт

КПД - 35...40%

Вид основной характеристики вихревого насоса показан на рис. 13.

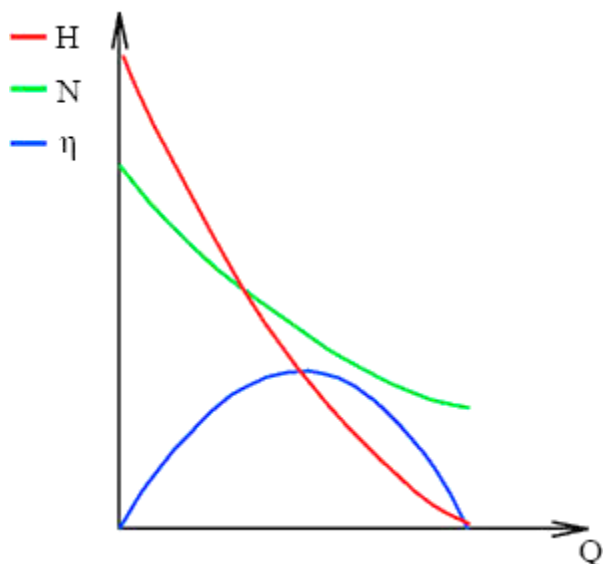


Рис.13. Вид основной характеристики вихревого насоса

*Потери энергии в вихревом насосе.* Гидравлические потери в вихревом насосе велики и составляет до 30% от энергии на валу насоса. Эти потери возникают вследствие образования многочисленных вихрей при движении жидкости в насосе.

*Объемные потери* также велики и могут достигать 20%, обусловлены они перетеканием жидкости через зазоры разделителя.

*Механические потери* в вихревом насосе возникают из-за трения в подшипниках и уплотнительных устройствах.

Ввиду высоких гидравлических и объемных потерь **общий КПД вихревого насоса** невысок и составляет 35 - 40%.

*Применение вихревых насосов.* Учитывая указанные достоинства и недостатки, вихревые насосы, как правило, используют в системах, где необходимо создать высокий напор при относительно небольшой подаче. Например, в небольших автоматических насосных станциях для водоснабжения. Способность перекачивать жидкостно-газовую смесь позволяет использовать вихревые насосы для перекачки летучих жидкостей (бензин, керосин), что обуславливает применение таких насосов в системах заправки топливом.

*Достоинства вихревых насосов.* При тех же габаритах, что и у

центробежного, **вихревой насос способен создать больший напор** (в 3-9 раз больше). Вихревые насосы открытого типа обладают способностью к самовсасыванию, также они способны работать на газожидкостной смеси.

*Недостатки вихревых насосов.* Вихревые насосы обладают достаточно низким КПД (35% - 45%), что делает нецелесообразным использование насосов высокой мощности. Вихревые насосы не способны перекачивать жидкость с высокой вязкостью. Также эти машины чувствительны к наличию абразивных частиц в жидкости. Наличие абразива приводит к быстрому износу вихревых насосов, вследствие малых зазоров.

## **2. Правила выполнения работы**

2.1. Ознакомиться с конструкцией насоса:

- а) тип насоса;
- б) соединения рабочего колеса;
- в) тип выхода с рабочего колеса;
- г) открывание корпуса насоса (вертикальный, горизонтальный);
- д) тип рабочего колеса;
- е) количество ступеней во время появления напора.

2.2. Измеряемые параметры:

- а) диаметр напорного патрубка насоса;
- б) диаметр всасывающего патрубка насоса;
- в) разрез диаметра входа на рабочее колесо;
- г) диаметр рабочего колеса.

**Образец**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.**

**Изучение конструкций вихревых насосов и определение их марок**

**Цель работы:** Изучить конструкции вихревых насосов, уяснить назначение их основных узлов и деталей, провести монтаж и демонтаж насосов. Определить марки насосов по старым и новым ГОСТам.

1. Чертеж (схема) устройства  
(отдельно начертано и сдается вместе с отчетом)

## 2. Дано

1. Марка насоса по старому ГОСТу имеет следующий вид:

$$d_g T - W_s - i_{cm}$$

где,  $d_g$  – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка в мм, уменьшенная в 25 раз (величина  $d_g$  округляется до 0,5);

$T$  – тип насоса (К – консольный, Д – с двухсторонним входом, МС – многоступенчатый секционный);

$W_s$  – величина коэффициента быстроходности насоса в об/мин, уменьшенная в 10 раз (величина  $W_s$  округляется до 1,0);

$i_{cm}$  – число ступеней насоса (если насос одноступенчатый, то  $i_{cm}$  из марки насоса исключается).

2. Марка насоса по новому ГОСТу имеет вид:

– для насоса типа «К» –  $d_g K Q/H$ ;

– для насоса типа «Д» –  $D Q - H$ ;

– для насоса типа «МС» – ЦНС Q - H;

где,  $d_g$  – величина внутреннего диаметра всасывающего патрубка;

$Q$  – подача насоса при максимальном КПД;

$H$  – напор насоса при максимальном КПД.

3. Подача  $Q$  (м<sup>3</sup>/с) и напор  $H$  (м) насоса при максимальном КПД определяется по формулам:

$$D_{\text{экв}} = \sqrt{D_0^2 + d_{BT}^2}$$
$$Q = \left( \frac{D_{\text{экв}}}{K_d} \right)^3 n * i_{BX}$$
$$H = i_{CT} \sqrt[3]{\left( \frac{3.65 * n * \sqrt{Q/i_{BX}}}{n_s} \right)^4}$$

где,  $D_{\text{экв}}$  – эквивалентный диаметр входа в колесо, м;  $K_d = 4 \dots 4,5$  – коэффициент;

$p$  – частота вращения вала насоса, об/мин;

$i_{BX}$ , – число сторон всасывания;

$i_{cm}$ , – число ступеней насоса;

$n_s$  – коэффициент быстроходности насоса, об/мин.

### 3. Данные во время опыта

| N | Тип насоса | Параметры | Тип входа к насосу | Тип выхода к насосу | Снятия корпуса | Тип рабочего колеса | Количество показание напора |
|---|------------|-----------|--------------------|---------------------|----------------|---------------------|-----------------------------|
| 2 | Вихревые   |           |                    |                     |                |                     |                             |

### 4. Размеры и параметры насосов, необходимые для определения их марок

| Тип насоса | Размеры колеса |            |                | Число                      |                              | Внутренние диаметры патрубков насоса |                      | Частота вращения вала насоса |
|------------|----------------|------------|----------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|----------------------|------------------------------|
|            | $D_2$ , мм     | $D_0$ , мм | $d_{вст}$ , мм | сторон всасывания $i_{вх}$ | ступеней нагнетания $i_{ст}$ | всасывающего $d_в$ , мм              | напорного $d_n$ , мм | $n$ , об/мин                 |
| Вихревые   |                |            |                |                            |                              |                                      |                      |                              |

### 5. Определение марок насосов

| Тип насоса | $D_2/D_0$ | $n$ , об/мин по графику | $Q$ , м <sup>3</sup> /с | $Q$ , м <sup>3</sup> /ч | $H$ , м | Марка насоса     |                 |
|------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------|-----------------|
|            |           |                         |                         |                         |         | По старому ГОСТу | По новому ГОСТу |
| Вихревые   |           |                         |                         |                         |         |                  |                 |

### 6. Вывод по результату опыта

#### Контрольные вопросы:

1. Перечислите состав насоса и покажите его основные элементы.
2. Назовите основные типы центробежных насосов.
3. Какая деталь центробежного насоса позволяет преобразовать кинетическую энергию потока в потенциальную?
4. Какова причина возникновения осевого усилия в центробежных насосах?

#### Литература:

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидројуритмалар.

- Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
  5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат 1986г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### Изучение кинематики потока в рабочем колесе центробежного насоса

#### *Цель работы*

1. Уяснить связь между скоростями  $V$ ,  $V_m$ ,  $V_u$ ,  $W$ ,  $U$ ;
2. Построить планы скоростей при входе жидкости в колесо и выходе из него;
3. Определить напор насоса ( $H$ ), при заданных подаче ( $Q$ ), и частоте вращения вала ( $n$ ), используя план скоростей на выходе из колеса;
4. Сравнить значение рассчитанного напора ( $H$ ), с напором насоса по паспортным данным.

Рабочее колесо (крыльчатка) – главная рабочая деталь насоса. Задача рабочего колеса насоса – преобразование вращательной энергии, которая выходит из двигателя, в энергию протока воды. С помощью движения крыльчатки жидкость, что находится в ней, также вращается и на нее влияет центробежная сила. Такая сила перемещает жидкость от центра крыльчатки к ее краю. После такого перемещения в центре крыльчатки создается разрежение, что и помогает всасыванию жидкости через всасывающий патрубок устройства. Достигнув периферии крыльчатки, жидкость выходит в напорный патрубок агрегата.

**Виды рабочих колес.** Рабочие колеса могут быть следующих типов: осевые, радиальные, диагональные, открытые, полузакрытые и закрытые. В основном, в насосных устройствах крыльчатка трехмерной конструкции, которая соединяет плюсы осевых и радиальных колес.

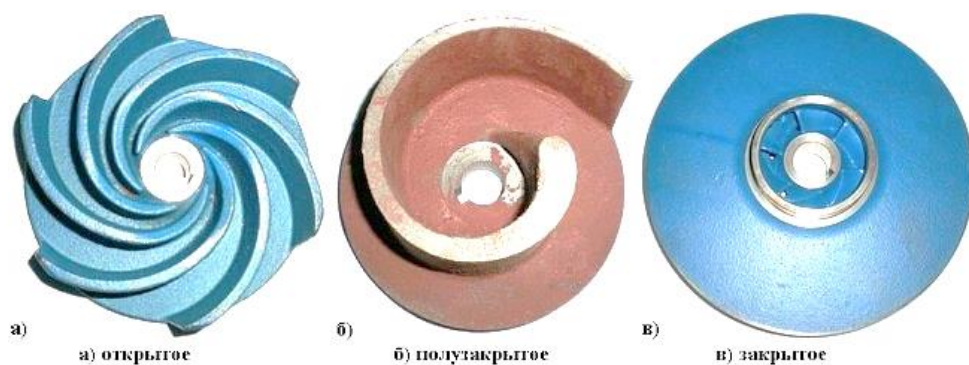


Рис.14. Виды рабочих колес для насосов

**Открытое.** Такой тип изделия имеет один диск, который на поверхности оборудован лопастями. Таких лопастей может быть четыре или шесть. Их используют в случаях, когда нужен низкий напор, а рабочая жидкость имеет загрязнения, маслянистые включения или твердые частицы. Конструкция открытой крыльчатки позволяет легко очистить загрязненные каналы. КПД таких крыльчаток небольшой – примерно 40%. Вместе с этим недостатком крыльчатки обладают рядом преимуществ – они не так засоряются и весьма просто очищаются от разнообразного налета. Открытая деталь устройства износостойкая по отношению к абразивным частицам рабочей жидкости (например, к песку) к меню.

**Полужакрытое.** Отличие полужакрытого изделия заключается в том, что у него нет второго диска, а лопасти с зазором примыкают к корпусу устройства, которое играет роль второго диска. Используют полужакрытые изделия для перекачки очень загрязненных жидкостей к меню.

**Закрытое.** Конструкция закрытого изделия имеет два диска, между которыми находятся лопасти. Такая крыльчатка часто используется для работы центробежных насосов, ведь она создает хороший напор, и характеризуется малыми утечками воды из выхода на вход. Производят такие крыльчатки несколькими способами: штамповкой, литьем, точечной сваркой или клепкой. На качество и эффективность работы влияет количество лопастей. Чем больше лопастей имеет деталь, тем меньше пульсации давления воды на выходе из устройства.





Рис.15. Конструктивные элементы рабочего колеса

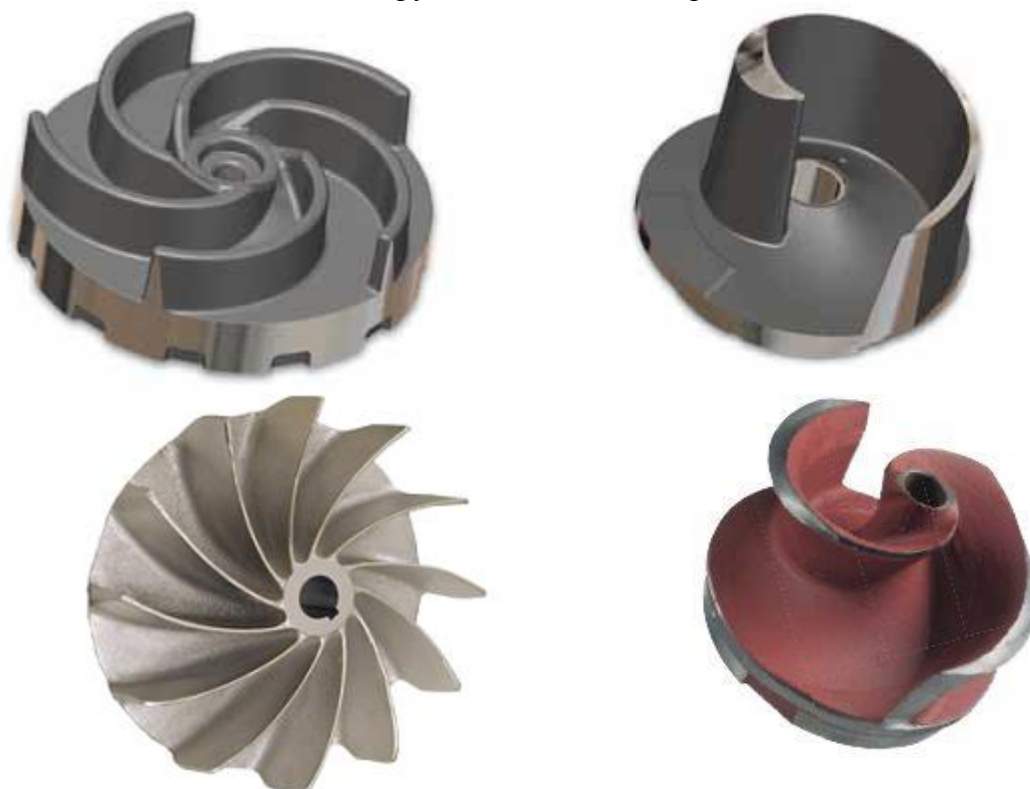


Рис.16. Виды рабочих колес для насосов



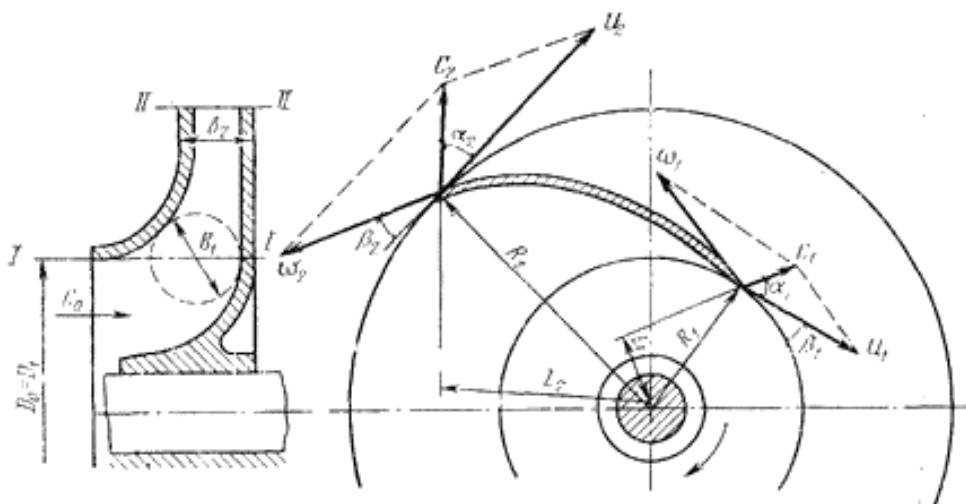


Рис.17. Диаграмма скоростей

### Паспортные данные рассматриваемого насоса

| Марка насоса | Частота вращения, $n$ , об/мин | Подача, $Q$ , м <sup>3</sup> /с | Напор, $H$ , м | Мощность, $N$ , кВт | Быстроходность, $n_s$ , об/мин | Объемный КПД, $\eta_{об}$ | Гидравлический КПД, $\eta_г$ |
|--------------|--------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 6К-144/21    | 1450                           | 40                              | 21             |                     |                                |                           |                              |
| 4 НФ         | 1450                           | 20                              | 11             |                     |                                |                           |                              |

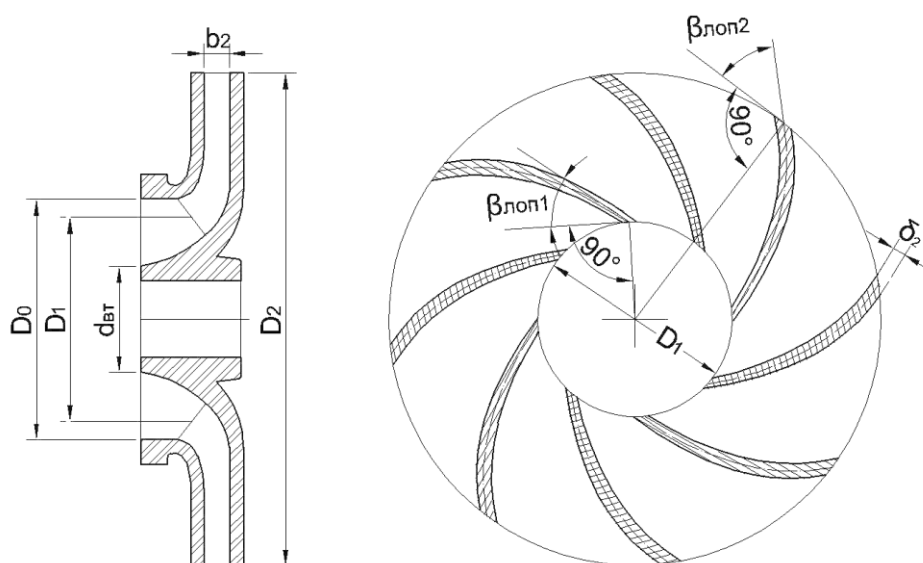


Рис.18. Эскиз рабочего колеса

### Результаты обмера рабочего колеса

| Марка насоса | $D_2$ , м | $D_0$ , м | $D_1$ , м | Число лопастей, $z$ | $\delta_2$ , м | $b_2$ , м | $\beta_1$ | $\beta_2$ | $d_{вт}$ , м |
|--------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 6К-144/21    |           |           |           |                     |                |           |           |           |              |
| 4 НФ         |           |           |           |                     |                |           |           |           |              |

## Основные определения и соотношение

### 1. Кинематика потока при входе в рабочее колесо

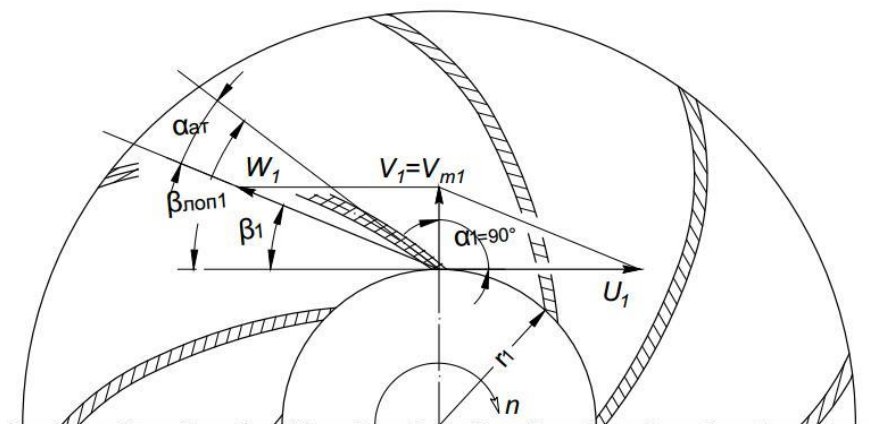


Рис.19. План скоростей потока при входе в рабочее колесо

При рассмотрении движения жидкости внутри колеса принимают, что распределение скоростей в поперечных сечениях каналов колеса равномерно и определяется размером канала и расходом, а траектории потока полностью соответствуют очертаниями лопастей в плане. Такое допущение соответствует струйной теории течения жидкости в рабочем колесе насоса.

Скорость потока при входе в рабочее колесо равна

$$V_0 = \frac{4Q}{\eta_{об}\pi(D_0^2 - d_{вт}^2)}, \text{ м/с}$$

где,  $Q$  – подача рабочего колеса, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_{об}$  – объемный КПД;  $D_0$  – диаметр входного сечения рабочего колеса, м;  $d_{вт}$  – диаметр втулки, м.

Скорость потока обычно не изменяется при движении жидкости до входа на лопасти рабочего колеса, т.е.

$$V_0 = V_1 = V_{1m}$$

где  $V_1$  – абсолютная скорость потока при входе на лопасти, м/с;

$V_{1m}$  – меридианная составляющая абсолютной скорости, м/с.

Средняя окружная скорость входных кромок лопастей равна

$$u_1 = \frac{\pi D_1 n}{60}, \text{ м/с}$$

где  $D_1$  – диаметр сечения, проходящего через середины входных кромок лопастей, м;

$n$  – частота вращения, об/мин.

Средняя скорость потока относительно лопасти рабочего колеса определяется из параллелограмма скоростей

$$\vec{V}_1 = \vec{\omega}_1 + \vec{u}_1$$

Угол входа потока на лопасти определяется по формуле

$$\beta_1 = \arctg \frac{V_1}{u_1}, \text{ град}$$

Угол атаки равен

$$a_{am} = \beta_{1\text{лоп}} - \beta_1, \text{ град}$$

где  $\beta_{1\text{лоп}}$  – угол установки лопасти, град.

По нормативным данным величина  $a_{am}$  положительна и на расчетном режиме должна находиться в пределах  $3...8^\circ$ .

2. Кинематика потока при выходе жидкости из рабочего колеса

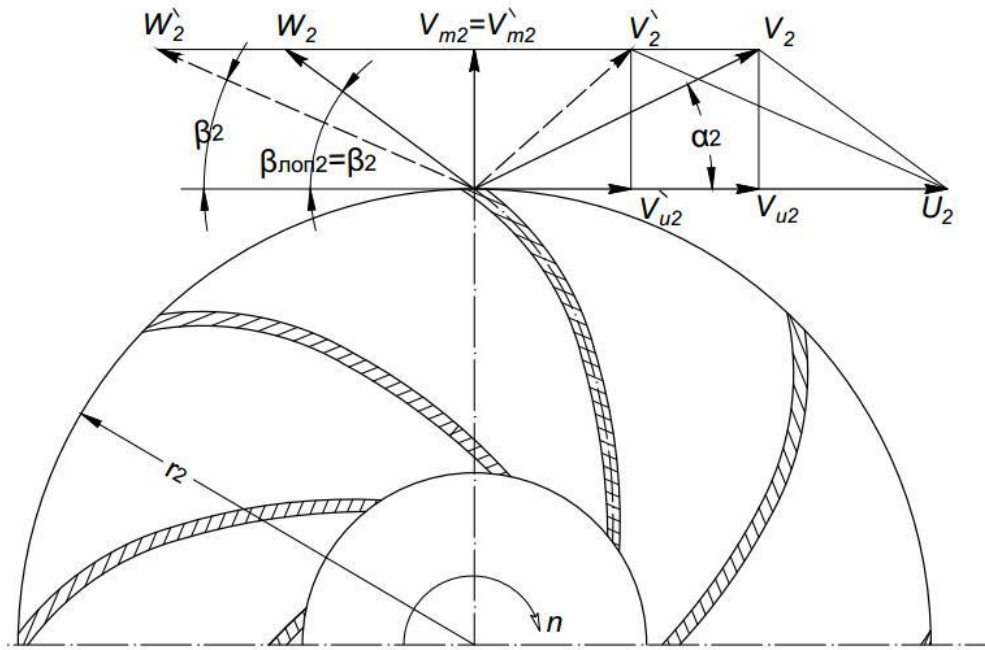


Рис. 20. План скоростей потока при выходе из рабочего колеса

После входа на лопасти поток движется вдоль лопастей, а траектория его соответствует очертаниям межлопастных каналов.

Окружная скорость потока жидкости при выходе из рабочего колеса равна

$$u_2 = \frac{\pi D_2 \eta}{60} \text{ м/с}$$

где  $D_2$  – диаметр сечения, проходящего через середины входных кромок лопастей, м;  $\eta$  – частота вращения, об/мин.

Меридианная (радиальная) составляющая абсолютной скорости потока на выходе находится по формуле

$$V_{2m} = \frac{Q}{\eta_{об} F_2} = \frac{Q}{\eta_{об} \left( \pi D_2 b_2 - \frac{\delta_2}{\sin \beta_{2\text{лоп}}} b_2 z_l \right)}, \text{ м/с}$$

где,  $Q$  – подача,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\eta_{об}$  – объемный КПД;  $F_2$  – площадь потока жидкости, выходящего из рабочего колеса,  $\text{м}^2$ ;  $D_2$  – наружный диаметр рабочего колеса,  $\text{м}$ ;  $b_2$  – расстояние между дисками колеса на выходе,  $\text{м}$ ;  $\delta_2$  – толщина лопасти при выходе из колеса,  $\text{м}$ ;  $\beta_{2\text{лоп}}$  – угол установки лопасти, град;  $z_{л}$  – число лопастей рабочего колеса. Относительная скорость потока  $\omega_2$  находится из параллелограмма скоростей, которая строится по известным векторам  $\vec{u}_2$  и  $\vec{V}_{2m}$ . Направление скорости соответствует углу  $\beta_{2\text{лоп}}$ .

Абсолютная скорость потока при выходе из рабочего колеса равна

$$\vec{V}_2 = \vec{\omega}_2 + \vec{u}_2 \text{ (м/с)}$$

Проекция скорости  $V_2$  на направление окружной скорости  $u_2$  называется окружной составляющей абсолютной скорости потока  $V_{2u}$ .

Из теории насосов известно, что на самом деле относительная скорость  $\omega_2$  отклоняется от направления лопастей колеса, в результате чего окружная составляющая  $V_{2u}$  становится меньше, чем это следует из построения плана скоростей.

$$V_{2u} = u_2 - V_{2m} \text{ctg} \beta_{2\text{лоп}} \text{ м/с}$$

Действительное значение скорости  $V_{2u}$  определится по формуле:

$$V'_{2u} = V_{2u} / (1 + P) \text{ м/с}$$

где,  $P$  – коэффициент, зависящий от числа лопастей  $z_{л}$ , угла установки лопастей на выходе  $\beta_{2\text{лоп}}$  и отношения диаметров  $D_1/D_2$

$$P = \frac{1,2(1 + \sin \beta_{2\text{лоп}})}{z_{л}[1 - (D_1/D_2)^2]}$$

### 3. Определение напора насоса

Теоретический напор насоса определяется по уравнению Эйлера

$$H_T = V'_{2u} u_2 / g \text{ м}$$

Действительный расчетный напор насоса равен

$$H_p = H_T \eta_{г} \text{ м}$$

где,  $\eta_{г}$  – гидравлический коэффициент полезного действия насоса.

Расчет параметров потока в колесе и напора насоса

| Q                 | n      | U <sub>1</sub> | V <sub>m1</sub> | $\beta_1$ | $\alpha_{ат}$ | U <sub>2</sub> | V <sub>m2</sub> | V <sub>U2</sub> | P <sub>Z</sub> | V <sub>U2</sub> | H <sub>T</sub> | H <sub>p</sub> | H |
|-------------------|--------|----------------|-----------------|-----------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|---|
| м <sup>3</sup> /с | об/мин | м/с            | м/с             | град.     | град.         | м/с            | м/с             | м/с             |                | м/с             | м              | м              | м |
|                   |        |                |                 |           |               |                |                 |                 |                |                 |                |                |   |

Сравнение рассчитанного напора с напором по паспортным данным

$$\Delta h = \frac{H - H_p}{H} * 100\%$$

где,  $H$  – напор насоса по паспорту;  $H_p$  – напор насоса, рассчитанный по

построенному плану скоростей на выходе из рабочего колеса.

Вывод по результату опыта

### **Контрольные вопросы:**

1. Соответствует ли полученный угол атаки  $\alpha_{ат}$  нормативным данным?
2. Как изменяется угол атаки  $\alpha_{ат}$  при изменении подачи?
3. Как изменяется напор насоса  $H$  при изменении подачи  $Q$ , или частоты вращения  $n$ ?
4. Какое расхождение между расчетным и опытным (по паспорту) напорами насоса?
5. Какая скорость характеризует вращательное движение частицы среды в рабочем колесе?
6. Какая скорость характеризует поступательное движение частицы среды в рабочем колесе?

### **Литература:**

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва хаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латилов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидроюритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат 1986 г.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5**

### **Испытание центробежного насоса**

#### ***Цель работы:***

1. Провести испытания насоса и построить его характеристики  $H = f(Q)$ ,  $N = f(Q)$ ,  $\eta = f(Q)$  при постоянной частоте вращения вала, т.е.

$n = \text{const.}$

- Сравнить полученные результаты с паспортными данными насоса, взятыми из каталога при  $\eta = \eta_{\max}$ , и определить их расхождение.

#### 4.2. Основные сведения о стенде для испытания центробежного насоса

- Схема стенда приведена на рис. 21;

- Паспортные данные насоса:

Марка \_\_\_\_\_,  $n =$  \_\_\_\_\_ об/мин,  $Q =$  \_\_\_\_\_ л/с,  
 $H =$  \_\_\_\_\_ м,  $N =$  \_\_\_\_\_ кВт,  $\eta_{\max} =$  \_\_\_\_\_ %,  $d_e =$  \_\_\_\_\_ мм,  
 $d_n =$  \_\_\_\_\_ мм;

- Паспортные данные электродвигателя:

Марка \_\_\_\_\_,  $n =$  \_\_\_\_\_ об/мин,  $\eta_{\text{дв}} =$  \_\_\_\_\_ %;

- Расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки и всасывающему трубопроводу  $y_v =$  \_\_\_\_\_ м (см. рис. 1);
- Расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до прибора  $y_m =$  \_\_\_\_\_ м (см. рис. 1);
- Расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра  $Z_{\text{изм}} =$  \_\_\_\_\_ м;
- Ваттметр включен в цепь через трансформатор, коэффициент трансформации которого равен  $K_{\text{тр}} =$  \_\_\_\_\_.

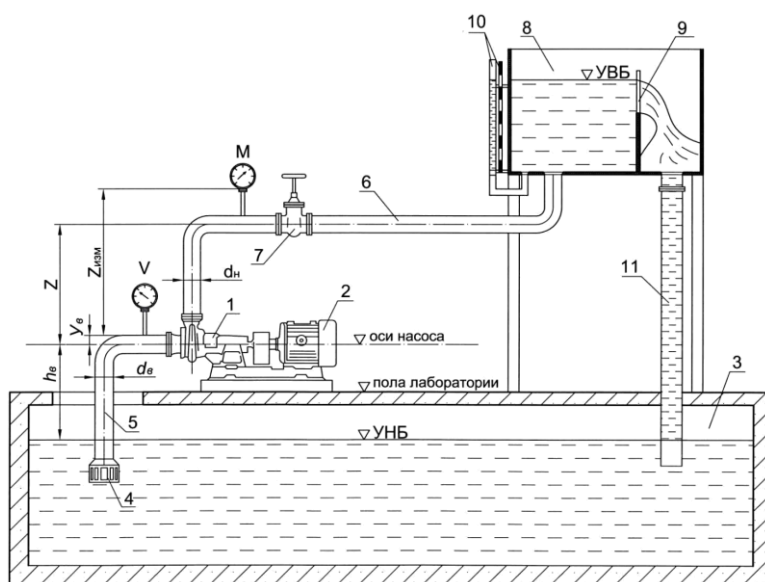


Рис.21. Схема стенда для испытаний центробежного насоса:

- 1 – насос; 2 – электродвигатель; 3 – подземный бассейн; 4 – приемный клапан;  
5 – всасывающий трубопровод; 6 – напорный трубопровод; 7 – задвижка; 8 – напорный бак; 9 – треугольный водослив; 10 – пьезометрический стакан с шпигунмасштабом;  
11 – сбросной трубопровод

### *Зависимости для определения параметров насоса*

#### 1. Напор насоса

$$H_{\text{изм}} = \frac{(P_H - P_B)}{\rho g} + \frac{(V_H^2 - V_B^2)}{2g} + Z = H_M + H_V + Z_{\text{изм}} + \frac{(V_H^2 - V_B^2)}{2g}$$

где  $P_H$  и  $P_B$  – абсолютные давления в точках замера (на осях трубопроводов),  $P_H = P_a + P_M + y_M \gamma$ ,  $P_B = P_a + P_V + y_M \gamma$ ,  $P_H$  и  $P_V$  – показания манометра и вакуумметра,  $P_a$  – атмосферное давление;  $V_H$  и  $V_B$  – скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах в сечениях замера давления, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $Z$  – расстояние по вертикали между точками замера давления, м;  $\gamma$  – удельный вес жидкости;  $H_V$  – показания вакуумметра, м.

$$H_V = \frac{P_V}{\rho g} = P_V(\text{атм}) * 10$$

$H_M$  – показания манометра, м,

$$H_M = \frac{P_M}{\rho g} = P_M(\text{атм}) * 10$$

$Z_{\text{изм}}$  – расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра, м;  $y_B$  – расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки и всасывающему трубопроводу, м;  $y_M$  – расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до прибора, м.

#### 2. Мощность насоса

$$N_{\text{изм}} = N_{\text{дв}} * \eta_{\text{дв}} * \eta_{\text{пер}}$$

где  $N_{\text{дв}}$  – электрическая мощность, подведенная к электродвигателю (измеряется с помощью ваттметра),

$$N_{\text{дв}} = K_{\text{тр}} * W$$

$W$  – показания ваттметра;

$K_{\text{тр}}$  – коэффициент трансформации, \_\_\_\_\_;

$\eta_{\text{дв}}$  – КПД двигателя, \_\_\_\_\_;

$\eta_{\text{пер}}$  – КПД передачи, \_\_\_\_\_.

#### 3. Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta = \gamma QH / N = 9,81 QH / N$$

где  $Q$  (м<sup>3</sup>/с),  $H$  (м),  $N$  (кВт) – параметры насоса, приведенные к постоянной частоте вращения вала насоса  $n$ .

#### 4. Для определения $Q$ , $H$ и $N$ при заданной частоте вращения вала $n = \text{const}$ используем формулу подобия

$$Q = Q_{\text{изм}} * i_n; H = H_{\text{изм}} * i_n^2; N = N_{\text{изм}} * i_n^3$$

где  $i_n = n/n_{изм}$ ;  $n$  – частота вращения насоса по паспорту;  
 $n_{изм}$  – измеренная частота вращения насоса.

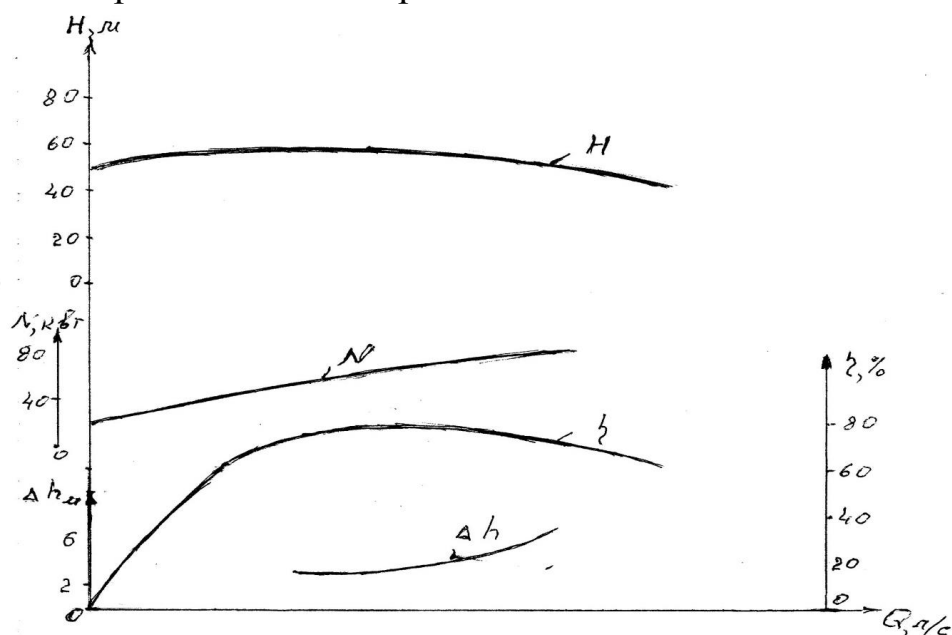


Рис. 22. Параметры центробежного насоса

### Результаты измерений

| №<br>п/п | Показания<br>приборов | Ед. изм. | № опытов |   |   |   |   |   |   |
|----------|-----------------------|----------|----------|---|---|---|---|---|---|
|          |                       |          | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1        | Вакуумметра $P_v$     | атм      |          |   |   |   |   |   |   |
| 2        | Манометра $P_m$       | атм      |          |   |   |   |   |   |   |
| 3        | Ваттметра $W$         | кВт      |          |   |   |   |   |   |   |
| 4        | Расходомера           | л/с      |          |   |   |   |   |   |   |
| 5        | Частотомера $n_{изм}$ | об/мин   |          |   |   |   |   |   |   |

### Расчет основных параметров насоса

| №<br>п/п | Наименование величин                                                    | Ед.<br>изм. | № опытов |   |   |   |   |   |   |
|----------|-------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|---|---|---|---|---|---|
|          |                                                                         |             | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1        | Подача насоса $Q_{изм}$                                                 | л/с         |          |   |   |   |   |   |   |
| 2        | Показание вакуумметра<br>$H_v = P_v(\text{атм}) * 10$                   | м           |          |   |   |   |   |   |   |
| 3        | Показания манометра<br>$H_m = P_v(\text{атм}) * 10$                     | м           |          |   |   |   |   |   |   |
| 4        | Напор насоса<br>$H_{изм} = H_m + H_v + Z_{изм}$                         | м           |          |   |   |   |   |   |   |
| 5        | Мощность насоса<br>$N_{изм} = K_{тр} * N_{дв} * \eta_{дв} * \eta_{пер}$ | кВт         |          |   |   |   |   |   |   |
| 6        | Отношение частот<br>$i_n = n/n_{изм}$                                   | -           |          |   |   |   |   |   |   |
| 7        | $i_n^2$                                                                 | -           |          |   |   |   |   |   |   |
| 8        | $i_n^3$                                                                 | -           |          |   |   |   |   |   |   |
| 9        | Подача насоса                                                           | л/с         |          |   |   |   |   |   |   |



|    |                                                 |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----|-------------------------------------------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|
|    | $Q = Q_{\text{изм}} * i_n$                      |     |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 | Напор насоса<br>$H = H_{\text{изм}} * i_n^2$    | м   |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 | Мощность насоса<br>$N = N_{\text{изм}} * i_n^3$ | кВт |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12 | КПД насоса<br>$\eta = 9,81QH/N$                 | -   |  |  |  |  |  |  |  |  |

### Вывод по результату опыта

### Контрольные вопросы:

1. Что называется характеристикой насоса?
2. Как измеряется подача насоса?
3. Что такое напор насоса? Как он измеряется? Что называется давлением насоса?
4. Что понимается под термином «мощность насоса»? Как её измерить?
5. Как приводятся к номинальной частоте вращения опытные значения подачи, напора и мощности?
6. Как определяется КПД насоса?
7. Что называется режимом работы насоса?
8. Что следует называть параметрами характеристики насоса?
9. Какую информацию представляет характеристика насоса?
10. Как определить коэффициент быстроходности по характеристике насоса?
11. В каком положении находится регулирующая задвижка при пуске насоса и почему?

### Литература:

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидроюритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат 1986 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6,7

### Кавитационные испытания центробежного насоса

#### Цель работы:

1. Снять экспериментальную срывную кавитационную характеристику центробежного насоса  $H=f(\Delta h)$ .
2. Построить кавитационные характеристики насоса  $(H-\Delta h)$ ,
3. Определить величину критического кавитационного запаса  $\Delta h_{кр}$ .
4. Определить значения допустимых кавитационного запаса  $\Delta h_{доп}$  и вакуумметрической высоты всасывания  $H_{вак}^{доп}$ .

Кавитацией называется образование и последующее захлопывание в потоке жидкости парогазовых пузырьков, сопровождающееся непрерывными гидравлическими микроударами высокой частоты, большими давлениями и температурами в центрах захлопывания. При кавитации изменяется характеристика насоса, снижаются его технические показатели, возникают шум (треск, удары) и вибрация, происходит интенсивная эрозия поверхностей рабочих органов (лопастей, подвода). Кавитация ограничивает высоту всасывания насоса.

В динамических насосах критерием бескавитационной работы служит *кавитационный запас давления*  $\Delta p_k$ , представляющий собой превышение полного давления жидкости во входном патрубке насоса над давлением насыщенного пара (рис. 23).

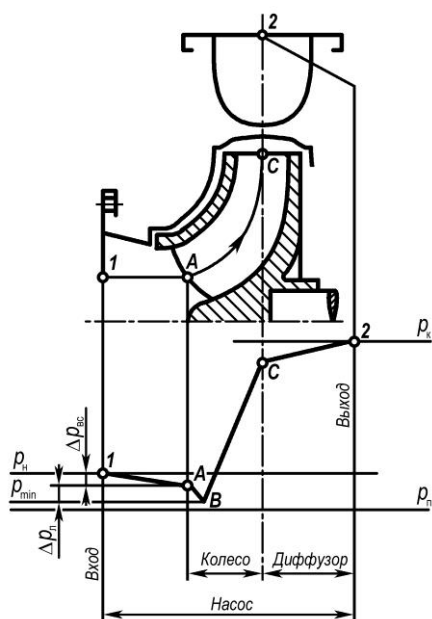


Рис. 23. Распределение давления в центробежном насосе:

- 1 — вход в насос; 2 — выход из насоса; А — вход в лопасть;  
В — точка минимального давления;  
С — выход из колеса

Кавитация возникает с уменьшением кавитационного запаса давления до некоторого значения, называемого критическим и обозначаемого  $\Delta p_{кр}$ . Для нормальной работы насоса необходимо, чтобы кавитационный запас давления был больше критического.

Величина  $\Delta h_{Д} = A * \frac{\Delta p_{кр}}{g\rho}$ , где  $A$  – коэффициент кавитационного запаса, называется *допускаемым кавитационным запасом*, наносится на характеристику насоса, а затем используется для определения *допускаемой вакуумметрической высоты всасывания* насоса в данных условиях эксплуатации.

Безразмерная величина  $C_{кр} = \frac{n * \sqrt{Q}}{(\frac{\Delta p_{кр}}{\rho})^{\frac{3}{4}}}$  называется *кавитационным коэффициентом быстроходности*. При работе односерийных насосов на невязкой жидкости эта величина зависит только от коэффициента подачи  $\varphi = \frac{Q}{n * D_2^3}$ . Для каждого режима она имеет определённое значение.

Величину  $\Delta p_{кр}$  находят по *кавитационной характеристике* (рис. 24), которая представляет собой зависимость напора насоса  $H$  от *кавитационного запаса*  $\Delta h = \frac{\Delta p_k}{\rho g}$  при постоянных значениях подачи  $Q$  и частоты вращения  $n$ . Согласно стандарту на испытания насосов частные кавитационные характеристики должны быть сняты на минимальной, номинальной и максимальной подачах рабочего интервала характеристики насоса. Критическим называется кавитационный запас  $\Delta h_{кр}$ , при котором падение напора на частной кавитационной характеристике составляет 3%.

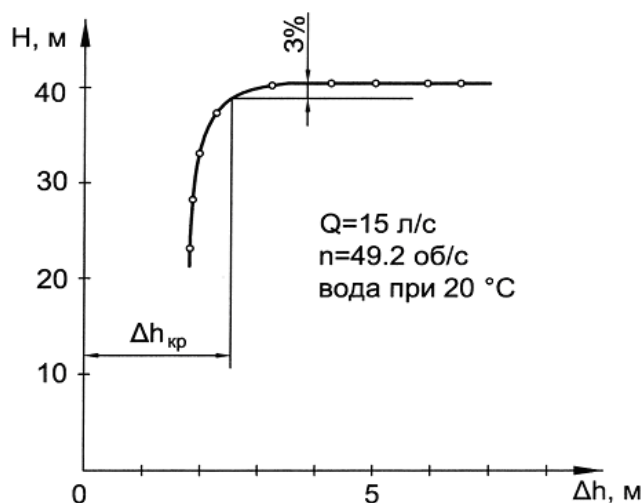


Рис. 24. Кавитационная характеристика

Цель настоящей работы – снять частную кавитационную характеристику и определить кавитационный коэффициент быстроходности  $\bar{C}_{кр}$  в одном из режимов работы центробежного насоса.

*Основные сведения о стенде для кавитационных испытаний центробежного насоса*

1. Схема стенда приведена на рис.25;

2. Паспортные данные насоса:

Марка \_\_\_\_\_,  $n =$  \_\_\_\_\_ об/мин,  $Q =$  \_\_\_\_\_ л/с,

$H =$  \_\_\_\_\_ м,  $N =$  \_\_\_\_\_ кВт,  $\eta_{max} =$  \_\_\_\_\_ %,  $dв =$  \_\_\_\_\_ мм,

$dн =$  \_\_\_\_\_ мм;

3. Паспортные данные электродвигателя:

Марка \_\_\_\_\_,  $n =$  \_\_\_\_\_ об/мин;

4. Расстояние по вертикали от точки замера давления на оси всасывающего трубопровода до точки присоединения подводящей трубки и всасывающему трубопроводу  $y_в =$  \_\_\_\_\_ м (см. рис. 25);

5. Расстояние по вертикали между теми точками жидкости, где давление соответствует показаниям манометра и вакуумметра  $Z_{изм} =$  \_\_\_\_\_ м;

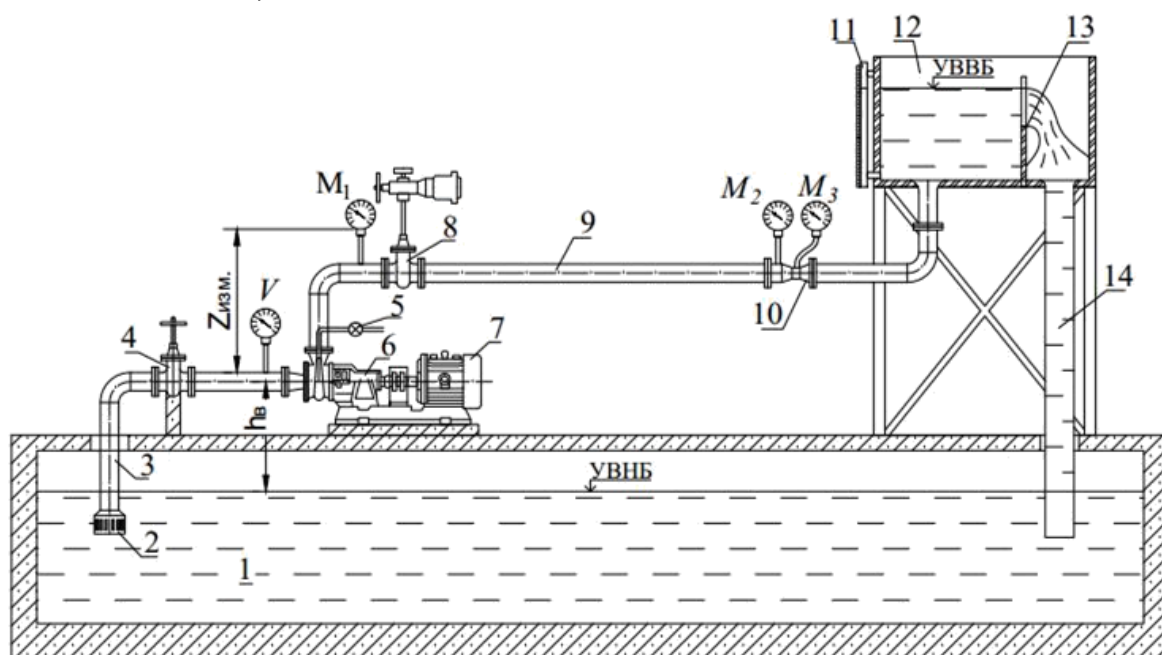


Рис.25. Схема стенда для кавитационных испытаний центробежных насосов:

- 1 – бассейн с водой; 2 – заборное устройство; 3 – всасывающий трубопровод; 4 – задвижка; 5 – кран на отсасывающем трубопроводе вакуум-системы; 6 – насос; 7 – двигатель; 8 – задвижка с электроприводом; 9 – напорный трубопровод; 10 – сопло Вентури для измерения подачи насоса; 11 – пьезометрический стакан со шпигуном-масштабом; 12 – напорный бак; 13 – треугольный водослив; 14 – сбросной трубопровод

### Основные определения и соотношения

1. Критическим кавитационным запасом  $\Delta h_{кр}$  называется кавитационный запас  $\Delta h$ , при котором согласно ГОСТ происходит снижение напора  $H_{насоса}$  на 2%. Определение величины  $\Delta h_{кр}$  производится по экспериментальной графической зависимости  $H = f(\Delta h)$  при  $Q = const$  и  $n = const$ .

$$\Delta h = \frac{(P_a - P_{п.ж.})}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} - H_{вак}$$

где  $P_a$  – атмосферное давление;

$$\frac{P_a}{\rho g} = P_{бар} * \frac{10}{735}$$

$P_{п.ж.}$  – давление насыщенных паров жидкости,  $P_{п.ж.}/\rho g = 0,2$  при температуре воды  $t = 20^\circ\text{C}$ ;  $P_{п.ж.} = f(t)$ ;  $\rho$  – удельный вес жидкости;  $V$  – скорость воды во всасывающем трубопроводе перед насосом, м/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H_{вак}$  – вакуумметрическая высота всасывания, м.

$$H_{вак} = \frac{P_v}{\rho g} - y_v = P_{в(атм)} * 10 - y_v$$

2. Допустимый кавитационный запас насоса  $\Delta h_{дон}$  подсчитывается по формуле:

$$\Delta h_{вак} = \alpha K_б K_ж \Delta h_{кр}$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от величины  $\Delta h_{кр}$ ;  $K_б$  – коэффициент, зависящий от быстроходности насоса и принимаем по таблице 2,

$$\text{т.к.} \quad n_s = 3,65 n \sqrt{Q} / H^{\frac{3}{4}}$$

$K_ж$  – коэффициент, зависящий от рода жидкости и принимаемый для воды,  $K_ж = 1$ ;  $\Delta h_{кр}$  – критический кавитационный запас (м), определяем по кривой зависимости  $H = f(\Delta h)$  – за величину принимаем кавитационный запас  $\Delta h$ , соответствующий падению напора  $H$  на 2%.

Таблица 1

Зависимость величины  $\alpha$  от  $\Delta h_{кр}$

| $\Delta h_{кр}$ | 0   | 2    | 4   | 6    | 7   | 8    | 10   | 12   | 14   | 16   |
|-----------------|-----|------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|
| $\alpha$        | 1,6 | 1,37 | 1,2 | 1,13 | 1,1 | 1,09 | 1,08 | 1,07 | 1,06 | 1,06 |

Таблица 2

Зависимость величины

| $K_б$ | >170 | 170   | 100   | 65    | 50  |
|-------|------|-------|-------|-------|-----|
| $n_s$ | 1,1  | 1,094 | 1,052 | 1,014 | 1,0 |

3. Допустимую вакуумметрическую высоту всасывания подсчитывают по формуле:

$$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = \frac{(P_a - P_{\text{п.ж.}})}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} - \Delta h_{\text{доп}}$$

#### Результаты измерений параметров

| №<br>п/п | Наименование<br>величин              | Ед. изм. | № опытов |   |   |   |   |   |   |
|----------|--------------------------------------|----------|----------|---|---|---|---|---|---|
|          |                                      |          | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1        | Расход Q                             | л/с      |          |   |   |   |   |   |   |
| 2        | Вакуумметра $P_v$                    | атм      |          |   |   |   |   |   |   |
| 3        | Манометра $P_m$                      | атм      |          |   |   |   |   |   |   |
| 4        | Частота вращения<br>$n_{\text{изм}}$ | об/мин   |          |   |   |   |   |   |   |

#### Результаты расчета кавитационного запаса

| №<br>п/п | Наименование величин                                                                                         | Ед.<br>изм. | № опытов |   |   |   |   |   |   |  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------|---|---|---|---|---|---|--|
|          |                                                                                                              |             | 1        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |  |
| 1        | Показание вакуумметра<br>$H_v = P_v(\text{атм}) * 10$                                                        | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 2        | Показания манометра<br>$H_m = P_m(\text{атм}) * 10$                                                          | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 3        | Скорость в напорном трубопроводе $V_n$                                                                       | м/с         |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 4        | Скорость в напорном трубопроводе $V_n^2/2g$                                                                  | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 5        | Скорость во всасывающем трубопроводе $V_v$                                                                   | м/с         |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 6        | Скоростной напор во всасывающем трубопроводе $V_v^2/2g$                                                      | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 7        | Разность скоростных напоров $(V_n^2 - V_v^2)/2g$                                                             | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 8        | Напор насоса<br>$H_{\text{изм}} = H_m + H_v + Z_{\text{изм}} + (V_n^2 - V_v^2)/2g$                           | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |
| 9        | Кавитационный запас<br>$\Delta h = \frac{(P_a - P_{\text{п.ж.}})}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} - H_{\text{вак}}$ | м           |          |   |   |   |   |   |   |  |

$$H_{\text{вак}} = H_v - y_6$$

**Результаты расчетов допустимого кавитационного запаса  $\Delta h_{\text{доп}}$  и вакуумметрической высоты всасывания  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$**

| № п/п | Наименование величин                                                                                                                                                | Ед.изм. | Значение величин |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|------------------|
| 1     | Критический кавитационный запас $h_{\text{кр}}$                                                                                                                     | м       |                  |
| 2     | Допустимый кавитационный запас<br>$\Delta h_{\text{доп}} = K \Delta h_{\text{кр}} \quad K = \alpha K_b K_{\text{ж}}$                                                | м       |                  |
| 3     | Допустимый вакуумметрическая высота всасывания<br>$H_{\text{вак}}^{\text{доп}} = \frac{(P_a - P_{\text{п.ж.}})}{\rho g} + \frac{V_b^2}{2g} - \Delta h_{\text{доп}}$ | м       |                  |

**Вывод по результату опыта**

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое кавитация в насосах? В каких условиях она возникает?
2. Что такое кавитационный запас давления?
3. Напишите выражение кавитационного коэффициента быстроходности. От чего зависит эта величина?
4. Как представляется кавитационная характеристика центробежного насоса? Каковы её координаты и параметры?
5. Как определяется критический кавитационный запас по кавитационной характеристике?
6. Что называется полным давлением жидкости в данном сечении трубопровода?
7. Напишите формулу измерения кавитационного запаса по показаниям приборов.
8. Как поддерживается постоянный режим работы насоса при снятии кавитационной характеристики?

**Литература:**

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидројуритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат, 1986г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

### Струйный насос

**Цель работы:** Изучение конструкции и принципа действия струйного насоса

#### Основные теоретические положения

Струйный насос — устройство для нагнетания (инжектор) или отсасывания (эжектор) жидких или газообразных веществ, транспортирования гидросмесей (гидроэлеватор), действие которого основано на увлечении нагнетаемого (откачиваемого) вещества струёй жидкости, пара или газа (соответственно различают жидкоструйные, пароструйные и газоструйные насосы).

В зависимости от типа перекачиваемой и рабочей жидкости, различают три типа струйных насосов. К ним относятся: Эжектор. Этот вид струйных насосов применяется только для перекачивания жидкости. Механизм работы заключается в отсасывании жидких веществ. Рабочая жидкость — вода. Инжектор. Работает по принципу нагнетания жидких веществ. Рабочее вещество — пар. Элеватор. Используется для понижения температуры теплоносителя за счет смешивания с рабочей жидкостью. В общем, струйные насосы могут перекачивать жидкость, газ и пар. Могут применяться как жидкоструйные агрегаты (для смешивания и транспортировки рабочей и пассивной жидкости с разницей давления) и аэрлифтовые/эрлифтовые (выполняет функцию подъема жидкостей). Если насос используется только для перекачки воды, его называют водоструйным. Он может иметь две модификации: вакуумный насос (работающий для использования в лабораториях) и гидроэлеватор (используется для скважин глубиной до 16 метров).

Особенности струйных насосов: высокая надежность; отсутствие необходимости в регулярном техобслуживании; широкая сфера применения; простая конструкция. При этом: низкий уровень КПД (не более 30%).

Струйные насосы отличаются от других типов насосов тем, что в них отсутствуют какие-либо движущиеся механические приспособления. Вместо них к струйным насосам подводится под давлением рабочая жидкость, пар или газ, которые сообщают перекачиваемой



жидкости необходимую энергию и обеспечивают таким образом всасывание и нагнетание.

Принцип действий струйных насосов основан на преобразовании энергии статической (давление) в кинетическую (скорость) и обратно.

Рабочая жидкость подводится к соплу, где вследствие уменьшения сечения увеличивается кинетическая энергия (скоростной напор  $V^2/2g$ ). Это обуславливает понижение давления (статического напора  $p/g$ ). В камере смешения образуется разрежение, обеспечивающее всасывание перекачиваемой жидкости. Всасываемая жидкость перемешивается с рабочей. Отношение весовых расходов рабочей  $G_p$  и  $G_v$  жидкостей называется коэффициентом инжекции, характеризующим эффективность работы данного струйного насоса.

$$h_{эж} = G_p / G_v$$

После смешивания жидкости поступают в диффузор, в котором осуществляется обратная трансформация энергии, т.е. за счет уменьшения скоростного напора возрастает давление, обеспечивающая нагнетание жидкости смеси. В зависимости от соотношения между давлениями рабочей жидкости  $p_p$  при входе в насос и жидкостной смеси  $p_{см}$  при выходе из него все струйные насосы делятся на два типа: 1) эжекторы, у которых  $p_p > p_{см}$ , 2) эжекторы, у которых  $p_p < p_{см}$ .

### Устройство струйного насоса

Устройство струйного насоса приведено на рис.27.

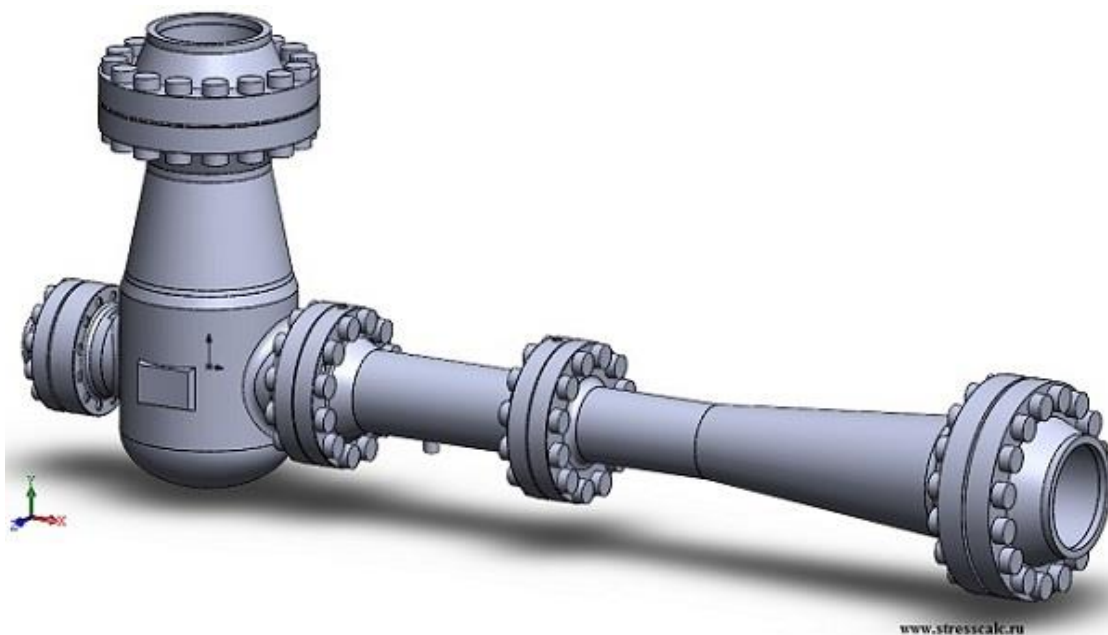


Рис. 26. Вид струйного насоса

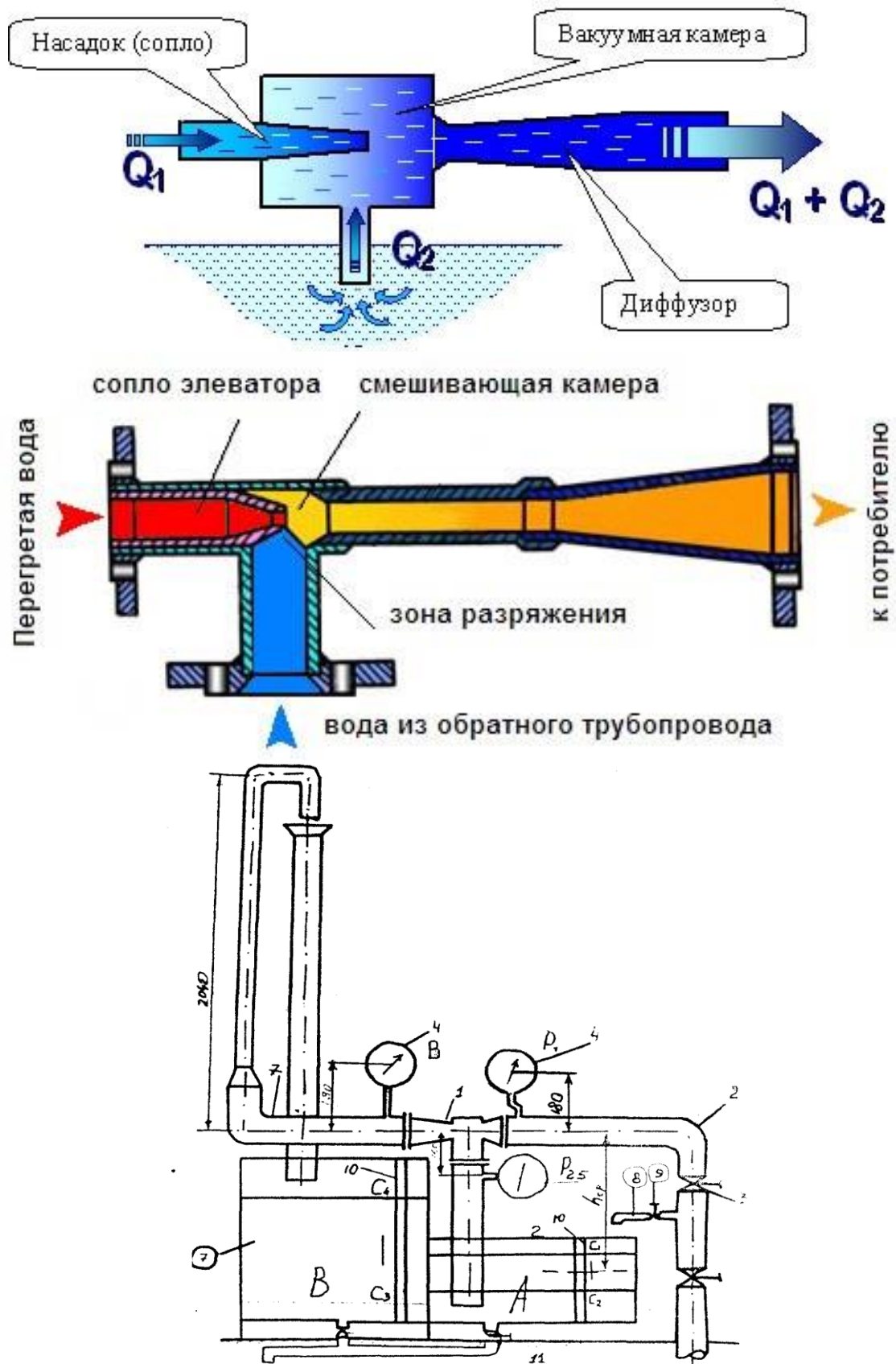


Рис. 27. Устройство струйного насоса

1-расходный бак; 2-насос; 3-струйный насос; 4-полная подача; 5-поток полезной подачи; 6-подвод рабочего потока; 7-приемный трубопровод; 8-нагнетательный трубопровод.

### **Описание работы лабораторной установки**

Данная схема (см.рис.1) позволяет наглядно увидеть работу струйного насоса (на данной схеме он указан под номером 3). Эжектор работает следующим образом: рабочая вода из приемного бака, посредством приемного трубопровода, подается под давлением к соплу. Из выходного узкого сечения сопла вода выходит с большей скоростью в так называемую камеру смешения, при этом давление понижается. Проходя по узкому сечению диффузора («горлу»), вода увлекает за собой воздух и создает разрежение в камере смешения, которое обеспечивает поступление жидкости из всасывающей вода смешивается, захватывается и перемещается с рабочей. Смесь поступает в расширяющуюся часть диффузора, где кинетическая энергия (скорость) снижается и за счет этого возрастает статический напор (давление), способствующий нагнетанию жидкостной смеси через патрубок в нагнетательный трубопровод. Регулировать подачу можно путем ввертывания и вывертывания сопла.

Расчеты проводятся по формуле:

$$Q_3 = Q_1 + Q_2$$

где  $Q_3$  – подача в камеру диффузора;  $Q_1$  – расходное количество рабочей жидкости;  $Q_2$  – расходное количество вещества для эжектирования.

Для того, чтобы рассчитать количество жидкости для эжектирования, необходимое количество литров в секунду жидкости для эжектирования разделить на количество литров в секунду рабочей жидкости. Также при расчетах стоит учитывать вид насосов и область применения, поскольку они могут иметь дополнительные параметры. Например, для насосов, используемых при пожаротушении, учитываются состояния их рабочего материала – пена, вода, газ – и возможная высота струи, необходимая для эффективного пожаротушения. В нефтяной промышленности берутся во внимание вязкость материала, загазованность среды и т.п.

### **Вывод по результату опыта**

#### **Контрольные вопросы:**

1. Назначение и состав струйного насоса?
2. Как осуществляется регулирование подачи?
3. Расскажите принцип работы эжектора?

4. Что такое коэффициент инжекции?
5. В чем отличие струйных насосов от других видов насосов?

### **Литература:**

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидроюритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат, 1986 г.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9**

### **Испытание насосной установки с двумя параллельно работающими центробежными насосами**

#### ***Цель работы:***

1. Исследование совместной работы центробежных насосов при их параллельном и последовательном включении на сеть.
2. Построение суммарной характеристики двух насосов.
3. Анализ характеристик и выбор режима работа.

#### **Общие сведения**

На практике может возникнуть необходимость в такой производительности, которая не может быть обеспечена одним из судовых насосов. В этом случае два насоса включают на один трубопровод, например, для обслуживания пожарной, балластной систем. В тех случаях, когда необходимо преодолеть сопротивление сети, превышающее напор одного насоса, применяют последовательное соединение насосов.

На рис. 28 показаны характеристики трубопровода  $H_{тр} = f(Q)$  – линия АВ, характеристика  $H_1 = f(Q)$ , отдельно работающего насоса –

линия СД и суммарная характеристика  $H_{1+2} = f(Q)$  двух одинаковых насосов при их параллельном включении – линия СЕ. Кривая ОР представляет собой характеристику  $\eta_1 = f(Q)$  для одного насоса, кривая ОК – характеристику  $\eta_{1+2} = f(Q)$  для двух параллельно работающих насосов.

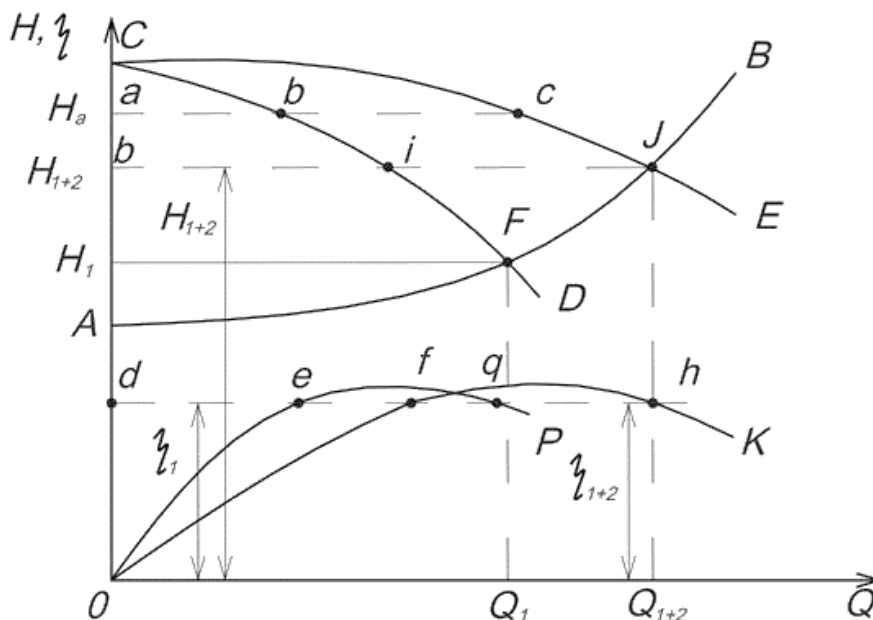


Рис. 28. Параллельное включение насосов на сеть.

Точка F характеризует режим работы одного насоса на сеть (подача  $Q_1$ , напор  $H_1$ ). Точка J характеризует режим совместной работы двух насосов. Оба насоса развивают подачу  $Q_{1+2}$  и напор  $H_{1+2}$ . Суммарная характеристика  $H_{1+2} = f(Q)$  получается в результате сложения производительности двух насосов при одинаковых напорах. Например, при производительности насоса будет соответствовать отрезку a-b, а производительность двух параллельно работающих насосов - отрезку a-c, причем отрезки a-b и b-c равны между собой. Аналогично строится зависимость  $\eta_{1+2} = f(Q)$ . В этом случае отрезки d-e и e-f, а также d-q и q-h попарно равны между собой. КПД насосной установки при параллельной работе равен  $\eta_{1+2}$  при производительности  $Q_{1+2}$

Он соответствует значению  $\eta_1$  одного насоса при таком же напоре. Такому КПД соответствует точка i на характеристике С-Д.

Из рисунка видно, что суммарная подача  $Q_{1+2}$  меньше суммы производительностей двух насосов, т.е.  $Q_{1+2} < 2Q_1$ . Это объясняется тем, что зависимость между скоростью жидкости в трубопроводе и расходом жидкости линейная, а между скоростью и напором - параболическая. Производительность каждого из насосов при совместной работе будет равна половине общего расхода в трубопроводе и выразится отрезком

l - i, а напор - отрезком l-o, равным  $H_{1+2}$ . Чем круче характеристика трубопровода, тем меньшее возрастание производительности дает параллельное включение двух насосов. Для пологих характеристик трубопроводов с преобладающим гидростатическим сопротивлением подключение параллельно второго насоса более целесообразно. При исследовании работы насосов, включенных последовательно, их суммарные характеристики отроются аналогично при постоянных значениях производительности. Кривая  $H_{1+2} = f(Q)$  получается "растянутой" вдоль оси ординат. Естественно, что более экономичный режим работы насосной установки в этом случае будет при работе насосов на трубопровод с преобладающими гидродинамическими сопротивлениями.

В составе лабораторной установки оба насоса одинаковы, и при исследовании можно определить характеристики  $H = f(Q)$  и  $\eta = f(Q)$  любого из насоса и те же их характеристики при совместной работе (при параллельном и последовательном подключении). Методика экспериментального построения характеристик в обоих случаях одинакова.

Установка состоит из двух одинаковых центробежных насосов 1 и 2 (рис. 29).

### Описание лабораторной установки.

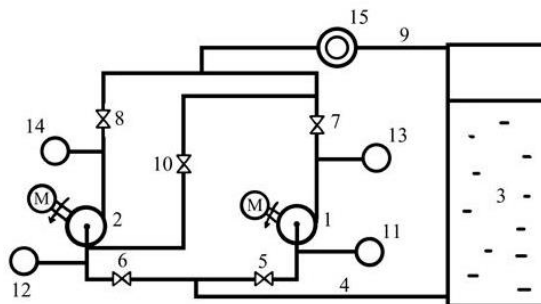


Рис.29. Схема лабораторной установки «Совместная работа центробежных насосов»

Вода из бака 3 через всасывающий трубопровод 4, клапан на всасывающей магистрали 5 и 6 поступает в насосы, от насосов, через нагнетательные клапана 7 и 8, трубопровод 9 – в бак 3. Перепускной клапан 10 служит для подключения – отключения насосов на совместную работу. Давление перед насосами измеряется мановакуумметра 11 и 12. Давление за насосами измеряется манометрами 13 и 14 и регулируется клапанами 7 и 8. Расход жидкости измеряется расходомером 15.

При параллельном подключении на рабочем режиме клапана 5,6,7,8 должны быть открыты, а перепускной клапан 10 - закрыт. При

последовательном включении открыты клапана 5, 7, 8,10, клапан 6 - закрыт.

### Порядок выполнения работы

Провести подготовку насосной установки к пуску, как указано в лабораторной работе 3.

Методика проведения испытаний и построения характеристик насосов при их индивидуальной и совместной работе такая же, как в лабораторной работе 3. В первой части работы проводятся испытания одного насоса, во второй - двух насосов при параллельном и при последовательном включении их в сеть.

Режим работы насосов устанавливается клапанами на напорной магистрали. На каждом режиме производится по пять замеров. Преподавателем задается контрольный параметр: продолжительность опыта или затраты электроэнергии по оборотам диска счетчика.

Замеряются следующие параметры:

- ✓ расход жидкости по расходомеру до начала опыта и по его окончании, м<sup>3</sup>;
- ✓ продолжительность опыта, определяемая по секундомеру (если не является контрольным параметром), с;
- ✓ количество оборотов диска счетчика (если не является контрольным параметром);
- ✓ давление всасывания насоса 1 Р<sub>вс1</sub> по мановакуумметру 11, мм.рт.ст;
- ✓ давление всасывания насоса 2 Р<sub>вс2</sub> по мановакуумметру 12 при параллельном включении, мм рт.ст.;
- ✓ давление нагнетания насоса 1 Р<sub>н1</sub> по манометру 13, кг/см<sup>2</sup>;
- ✓ давление нагнетания насоса 2 Р<sub>н2</sub> по манометру 14, кг/см<sup>2</sup>.

Результаты замеров заносятся в таблицу

Таблица замеров параметров

| Режим работы                                         | Номер замера              | Показания расходомера м <sup>3</sup> | Продолжительность опыта τ оп       | Количество оборотов диска счетчика | Давление |
|------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------|
| Р <sub>вс1</sub> мм.рт.ст                            | Р <sub>вс2</sub> мм.рт.ст | Р <sub>н1</sub> кг/см <sup>2</sup>   | Р <sub>н2</sub> кг/см <sup>2</sup> |                                    |          |
| Q1                                                   | Q2                        | Насос 1                              | Насос 2                            |                                    |          |
| 1.Работает один насос<br>2.Совместная работа насосов |                           |                                      |                                    |                                    |          |

На основании данных таблицы замеров путем обработки результатов испытаний строят характеристики насосов при индивидуальной и совместной работе и выбирают режим работы насоса. После окончания испытаний насосы останавливают и приводят запорную арматуру в исходное положение – закрывают клапана 5,6,7,8,10.

### Обработка результатов испытаний

1. Действительная производительность насоса (насосов) определяется так же, как в лабораторной работе 3.

2. Манометрический напор, развиваемый насосом (насосами), кПа:

$$H = P_{\text{ман}} - P_{\text{вак}}$$

где  $P_{\text{ман}}$ ,  $P_{\text{вак}}$  – показания манометра и мановакуумметра, кПа, причем  $P_{\text{ман}} = P_{\text{н1}}$  – показания манометра 13 при испытании насоса 1;

$P_{\text{вак}} = P_{\text{вс1}}$  - показания мановакуумметра 11 при испытании насоса 1 и при последовательном включении насосов;

$$P_{\text{ман}} = \frac{P_{\text{н1}} + P_{\text{н2}}}{2}, \quad P_{\text{вак}} = \frac{P_{\text{вс1}} + P_{\text{вс2}}}{2}$$

при параллельном включении насосов;

$P_{\text{ман}} = P_{\text{н2}}$  - показания манометра 14 при последовательном включении насосов.

3. Полезная мощность, развиваемая насосом (насосами), кВт:

$$N_{\text{п}} = H \cdot Q$$

4. Мощность, затрачиваемая на привод насоса 1 при его индивидуальной работе, кВт:

$$N = \frac{3600 * A}{C * \tau_{\text{оп}}}$$

где  $A$  - количество оборотов диска счетчика за время опыта топ измеряемое в секундах;

$C$  - количество оборотов диска счетчика, соответствующих 1 кВт ч.

5. Суммарная мощность, затраченная на привод двух насосов при совместной работе, кВт:

$$N_{\text{с}} = \frac{3600 * (A + B)}{C * \tau_{\text{оп}}}$$

где  $B$  - количество оборотов диска счетчика за время опыта топ, измеряемое в секундах.

6. Общий КПД насосного агрегата

6.1. Для насоса 1, работающего индивидуально,



$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N}$$

6.2. При совместной работе двух насосов

$$\eta = \frac{N_{\Pi}}{N_c}$$

7. Построение характеристик насосов при их совместной работе. Характеристики  $H = f(Q)$  и  $\eta = f(Q)$  строятся по результатам испытаний и обработки данных. Строятся характеристики для насоса 1, работающего индивидуально, и характеристики для двух насосов, включенных совместно на один трубопровод.

По полученным графическим зависимостям даются рекомендации по выбору работы насоса. На полученные графики наносится типовая характеристика трубопровода, соответствующая экономичному режиму работы. Определяются параметры: подача, напор, КПД.

Вывод по результату опыта

### Контрольные вопросы

1. Для чего применяется совместная работа насосов на один трубопровод?
2. Как строятся суммарные характеристики  $H = f(Q)$  и  $\eta = f(Q)$  двух одинаковых насосов при их совместной работе?
3. Как по суммарной характеристике определить максимальную подачу насоса и напор?
4. Как строятся суммарные характеристики двух различных насосов, работающих на один трубопровод?
5. Как по суммарной характеристике оценить целесообразность подключения второго насоса в параллель? последовательно?
6. Когда параллельное включение второго насоса нецелесообразно?
7. Как определяется производительность насосов при их индивидуальной и совместной работе?
8. Как определяется манометрический напор, развиваемый насосами при индивидуальной и совместной работе?
9. На какие трубопроводы целесообразно параллельное включение насосов? Поясните графически.
10. Как определить полезную мощность, развиваемую насосами при индивидуальной и совместной работе?
11. Как определить затраты электроэнергии на привод насосов?
12. Каковы способы регулирования подачи центробежных насосов?

13. Как изменяется подача центробежного насоса при увеличении напора? Почему?
14. Почему суммарный максимальный КПД двух насосов меньше, чем КПД одного насоса, работающего индивидуально?
15. Назовите судовые системы, в которых применяется параллельное, последовательное включение центробежных насосов.

#### **Литература:**

1. Рашидов Ю.К., Низамова Ш.А. Насос ва ҳаво узатиш станциялари. 1 қисм. Насослар. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2002 й. (электрон версия)
2. Мамажонов М. Насослар ва насос станциялари. – Т.: «Фан ва технология», 2012, 372 бет.
3. Латипов К.Ш. Гидравлика, гидромашиналар ва гидроюритмалар. Т., Ўқитувчи 1992й.
4. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции М., Стройиздат 1990.
5. Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. М., Стройиздат, 1986 г.

## Содержание

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение .....                                                                                                           | 3  |
| <b>Лабораторная работа №1.</b> Изучение конструкций консольных центробежных насосов и определение их марок. ....         | 8  |
| <b>Лабораторная работа №2.</b> Изучение конструкций двусторонних центробежных насосов и определение их марок .....       | 15 |
| <b>Лабораторная работа №3.</b> Изучение конструкций вихревых насосов и определение их марок.....                         | 23 |
| <b>Лабораторная работа №4.</b> Изучение кинематики потока в рабочем колесе центробежного насоса .....                    | 30 |
| <b>Лабораторная работа №5.</b> Испытание центробежного насоса .....                                                      | 37 |
| <b>Лабораторная работа №6,7.</b> Кавитационные испытания центробежного насоса.....                                       | 42 |
| <b>Лабораторная работа №8.</b> Струйный насос.....                                                                       | 48 |
| <b>Лабораторная работа №9.</b> Испытание насосной установки с двумя параллельно работающими центробежными насосами ..... | 52 |
| Литература.....                                                                                                          | 58 |

Редактор: Мулламухамедов С.А.

Подписано в печать 26.11.2019

Объем 3,9 п. л.

Формат бумаги 60×84/16 Тираж 10 экз. Заказ № 14-4/2019

Типография ТашИИТ

г. Ташкент, ул. Адылходжаева, 1