

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра комплексных систем водоснабжения

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

**Методические указания к лабораторным работам для
студентов специальности 280301.65
«Инженерные системы сельскохозяйственного водо-
снабжения, обводнения и водоотведения»**

Краснодар, 2008 г.

УДК 628.152

Рецензент - заведующий кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения Кубанского государственного аграрного университета к.т.н., доцент А.Е. Хаджиди

Методические указания рассмотрены на заседании кафедры комплексных систем водоснабжения (протокол № 8 от 02.04.2007 г.) и рекомендован к изданию методической комиссией факультета водоснабжения и водоотведения (протокол № 9 от 28.05.2007 г.).

Аракельян Л.В., Ванжа В.В. Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 280301.65 «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения: - Краснодар: Куб.ГАУ.- 38 с.

Содержание

Инструкция по технике безопасности и охране труда при выполнении лабораторных работ по курсу «Насосы и насосные станции».....	2
Лабораторная работа № 1. Изучение конструкций лопастных насосов.	3
Лабораторная работа № 2. Изучение кинематики потока жидкости в рабочем колесе центробежного насоса.....	14
Лабораторная работа № 3. Изучение последовательности запуска и условий всасывания центробежного консольного насоса.....	20
Лабораторная работа № 4. Испытания центробежного насоса с целью получения его энергетических характеристик.....	24
Лабораторная работа № 5. Параллельная работа двух центробежных насосов в один общий напорный трубопровод.....	29
Лабораторная работа № 6. Последовательная работа двух центробежных насосов на один общий напорный трубопровод.....	33
Список используемых источников.....	38

ИНСТРУКЦИЯ

по технике безопасности и охране труда при выполнении лабораторных работ по курсу «Насосы и насосные станции»

1. К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, изучающие теоретический курс по рассматриваемому вопросу, методику ее проведения, а также ознакомление с настоящей инструкцией.
2. При выполнении лабораторной работы необходимо строго соблюдать дисциплину и четко выполнять указания преподавателей – руководителей работы.
3. Приступая к работе, нужно убедиться, что лабораторное оборудование находится в исправном состоянии (электрические приборы заземлены, нет оголенных проводов и т.д.).
4. Включать двигатели насосных агрегатов можно только с разрешения и в присутствии преподавателей – руководителей работы.
5. В случае возникновения аварийной ситуации необходимо перевести электрический рубильник в положение «ВЫКЛЮЧЕНО», перекрыть воду и попытаться предотвратить аварию.
6. При выполнении лабораторной работы запрещается:
 - а) отступать от методики выполнения данной работы;
 - б) прикасаться к вращающимся деталям насосных установок;
 - в) снимать крышки с электрических приборов (магнитных пускателей, амперметров, ваттметров и т.д.);
 - г) заходить на крышки люков подземного резервуара;
 - д) открывать и закрывать задвижки и краны, не предусмотренные методикой выполнения данной работы;
 - е) пользоваться неисправным слесарным инструментом при монтаже и демонтаже насосов;
 - ж) подходить к другим рабочим местам;
 - з) самовольно разбирать или приводить в действие макеты и установки, не предусмотренные методикой выполнения данной работы.
7. После окончания работы на стенде необходимо отключить электроэнергию, воду, закрыть окна помещения.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ

1. Цель работы. Практическое изучение конструкций лопастных насосов, последовательности их сборки и разборки, назначения отдельных деталей и узлов. Определение марок лопастных насосов.

2. Лабораторное оборудование. Консольные центробежные насосы (тип «К», «КМ»), центробежный насос с двухсторонним входом на рабочее колесо (тип «Д»), насос осевой (тип «О»), погружной скважинный насос, измерительные инструменты, слесарный инструмент для монтажа и демонтажа насосов.

3. Порядок выполнения лабораторной работы.

3.1. Изучение конструкций центробежных консольных насосов.

Произвести демонтаж консольного насоса, для чего необходимо отсоединить всасывающий патрубок, выполненный заодно с крышкой насоса;

- отвернуть опорную гайку, удерживающую рабочее колесо на валу;
- снять рабочее колесо.

Рабочее колесо представляет собой одну отливку из бронзы, чугуна или стали, состоящую из 2-х дисков: одного со втулкой для насадки на вал, другого в форме широкого кольца. Между дисками расположены лопасти, скрепляющие в одно целое оба диска. Задний диск может иметь несколько разгрузочных отверстий у втулки колеса для уравнивания возникающих при работе осевых сил.

Для уменьшения утечки жидкости при циркуляции ее с наружной стороны дисков рабочего колеса имеются кольцевые выступы с уплотняющими и защитными кольцами. В конструкции, не предусматривающей разгрузочные отверстия, имеется один выступ во входной части и одна пара уплотняющих колец.

Рабочее колесо закреплено на консоли вал, вращающегося в двух опорных подшипниках.

Отвернуть гайки, прижимающие крышку сальника, вынуть ее и сальниковую набивку.

Сальник устраивается в месте выхода вала из корпуса наружу с напорной стороны и предотвращает утечку жидкости из корпуса насоса. Сальник состоит из следующих частей: корпуса, крышки, запрессованной в корпус грундрбуksы, мягкой набивки, гидравлического уплотнения, двух шпилек с гайками.

Снять с вала корпус насоса, представляющий собой чугунную отливку в форме улитки, корпус насоса отлит заодно с корпусом сальника и напорным патрубком. Напорный патрубок в виде диффузора может быть повернут на 90° , 180° и 270° к оси насоса. В корпусе насоса имеется два отверстия, закрытых пробками – верхнее для присоединения к вакуумной линии, нижнее – для слива воды.

Входная часть, рабочее колесо, спиралевидный отвод и выходной патрубок составляют проточную часть насоса.

Монтаж насоса выполняется в обратной последовательности.

Промышленность выпускает консольные насосы на отдельной стойке (рис. 1) и моноблочные (рис. 2), т.е. закрепленные на опорном фланце электродвигателя. Последовательность демонтажа и монтажа консольного моноблочного насоса аналогична вышеописанной.

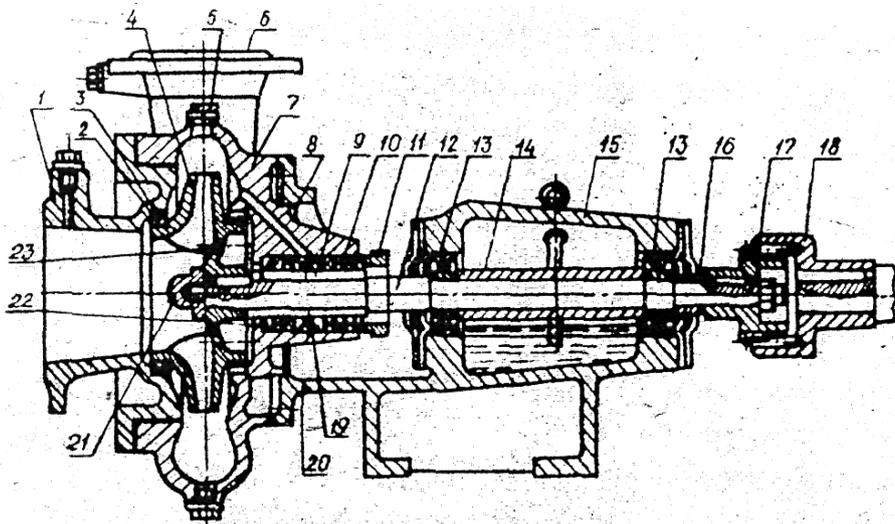


Рис. 1. Разрез центробежного консольного горизонтального насоса:

1 - всасывающий патрубок; 2 - уплотняющее кольцо; 3 - защитное кольцо, 4 - рабочее колесо; 5- пробка, закрывающая отверстия для подключения всасывающей трубы вакуум-насоса; 6 - нагнетательный патрубок; 7 - спиральный корпус; 8 - кронштейн; 9 - втулка защитная; 10 - набивка; 11 - крышка сальника; 12 - вал; 13 - шарикоподшипники (опоры вала); 14 - распорная втулка; 15 - стойка опорная с масляной ванной; 16 - втулка распорная; 17, 18 - полу-муфты; 19 - кольцо гидравлического уплотнения; 20 - корпус сальника; 21 - гайка; 22 - грундбукса; 23 - разгрузочное отверстие.

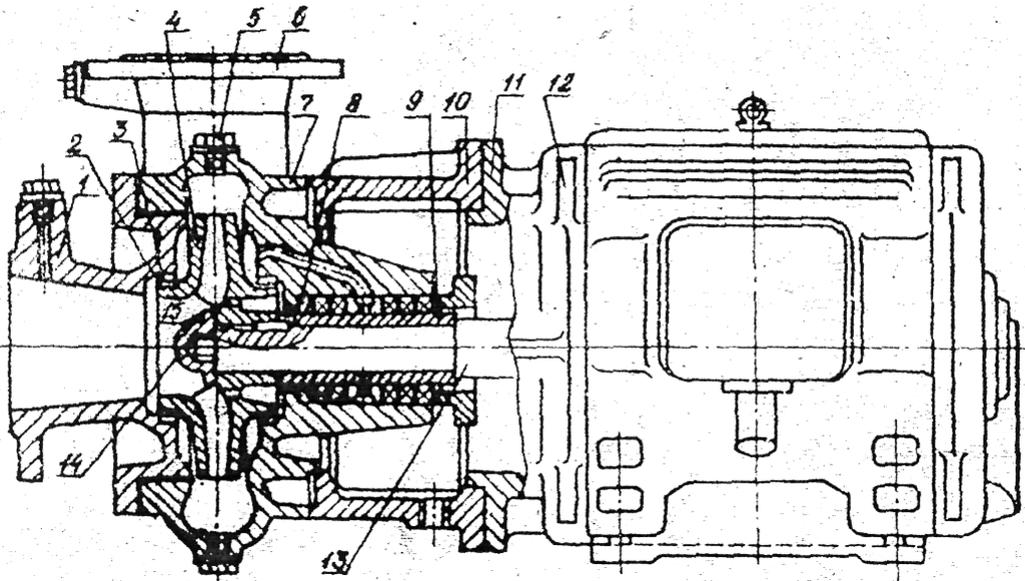


Рис. 2. Разрез центробежного горизонтального, консольного моноблочного насоса:

1 - всасывающий патрубок; 2- уплотняющее кольцо; 3 - защитное, кольцо; 4 - рабочее колесо; 5 - пробка, закрывающая отверстие для подключения вакуум-насоса; 6 - нагнетательный патрубок; 7 - спиральный корпус; 8 - кольцо; 9 - втулка защитная; 10.- фонарь; 11 - фланцевый щит электродвигателя; 12 - электродвигатель; 13 - вал электродвигателя удлинённый; 14 - гайка; 15 - разгрузочное отверстие.

- снять защитно-уплотняющие кольца;
- снять кольца сальника, разбрызгиватели и грунбуксы;
- свернуть защитные втулки и снять рабочее колесо с вала.

Монтаж проводится в обратной последовательности.

3.2. Изучение конструкции насоса с двухсторонним входом.

Последовательность демонтажа насоса с двусторонним входом (рис. 3):

- снять крышки корпуса подшипников;
- отвернуть гайки, крепящие крышки сальников к корпусу сальника;
- снять крышки сальников и вынуть набивку сальника;
- отвернуть гайки, крепящие крышку насоса к корпусу и вынуть крышку насоса;
- двумя съемниками вынуть ротор насоса.

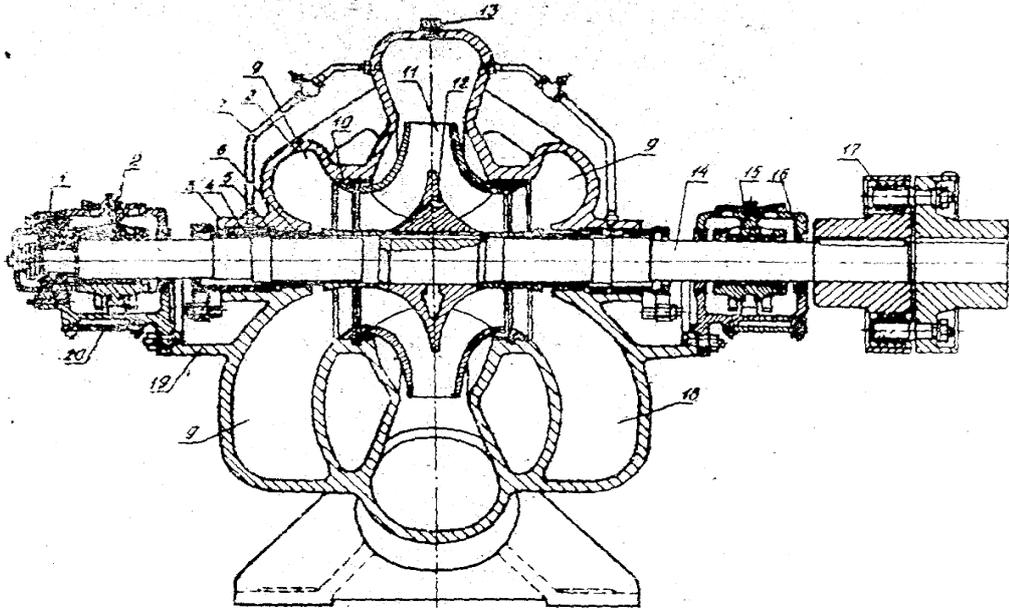


Рис. 3. Разрез горизонтального центробежного насоса двухстороннего входа:

1 - радиально-осевой шариковый подшипник; 2 и 15 - радиальные подшипники трения скольжения; 3 - корпус сальника; 4- гайка; 5 -- грундбукса; 6 - защитно-упорные втулки; 7 - трубки гидравлического уплотнения; 8 - крышка корпуса; 9 - спиральный подзол воды; 10 - защитно-уплотняющее кольцо; 11 – рабочее колесо; 12 - втулка рабочего колеса; 13 - отверстие для подключения вакуум-насоса; 14 - вал; 16 - уплотнение; 17 - резиновая втулка; 18- - корпус насоса; 19 - кронштейн; 20 – камера.

3.3. Изучение конструкции погружного скважинного насоса.

Последовательность демонтажа погружного скважинного насосного агрегата (рис.4):

- отсоединить двигатель от насоса;
- отвернуть болты стяжек и отсоединить напорный патрубок с обратным клапаном и всасывающий патрубок с присоединительной муфтой;
- отсоединить один блок, снять рабочее колесо и направляющий аппарат.

Монтаж насоса осуществляется в обратной последовательности.

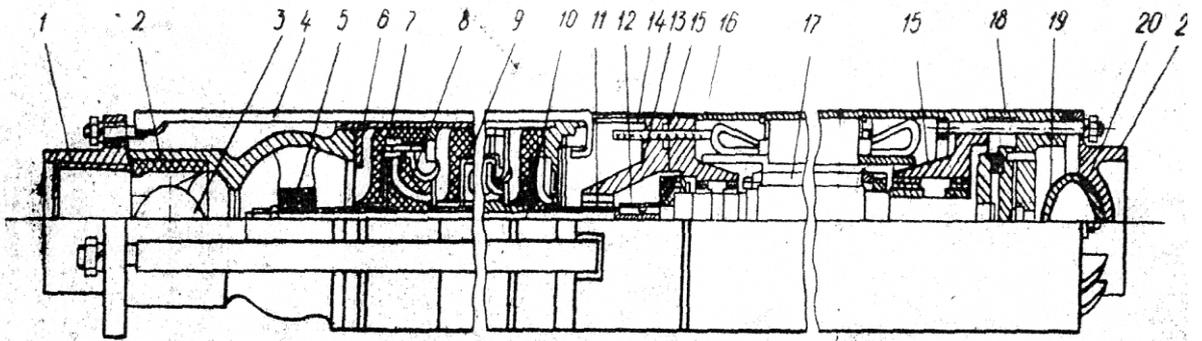


Рис. 4. Конструкция скважинного насоса типа ЭЦВ с центробежным колесом.

1 – напорный патрубок; 2 – корпуса подшипника и клапана; 3 – обратный клапан; 4 – стяжка; 5 – радиальный и упорный подшипник; 6 – обойма лопаточного отвода; 7 – лопаточный отвод; 8 – рабочее колесо; 9, 11 – уплотняющая и подшипниковая втулки; 10 – вал; 12 – соединительная муфта; 13 – подвод; 14 – сетка; 15 – подшипниковый щит; 16 – статор; 17 – ротор; 18 – пята; 19 – ограничитель; 20 – диафрагма; 21 – днище.

3.4. Изучение конструкции осевого насоса.

К основным деталям этих насосов относятся рабочее колесо, корпус насоса, направляющий и выправляющий аппараты и вал (рис 5).

Рабочее колесо насоса состоит из пустотелой втулки, в которой жестко закреплены лопасти насоса и обтекатели. Рабочее колесо располагается в неподвижной цилиндрической рабочей камере. Жидкость поступает в насос через входной патрубок, образуемый закладным кольцом камерного подвода. Во входном патрубке имеется направляющий аппарат в виде неподвижных лопастей обтекаемой формы. Непосредственно за рабочим колесом расположен выправляющий аппарат для устранения вращательного движения жидкости. В осевых насосах типа «О» жидкость отводится под углом 60° и 90° к вертикали.

Комплекс неподвижных частей (статор насоса), состоящий из рабочей камеры, плавно очерченного подвода и коленчатого отвода, образует корпус насоса.

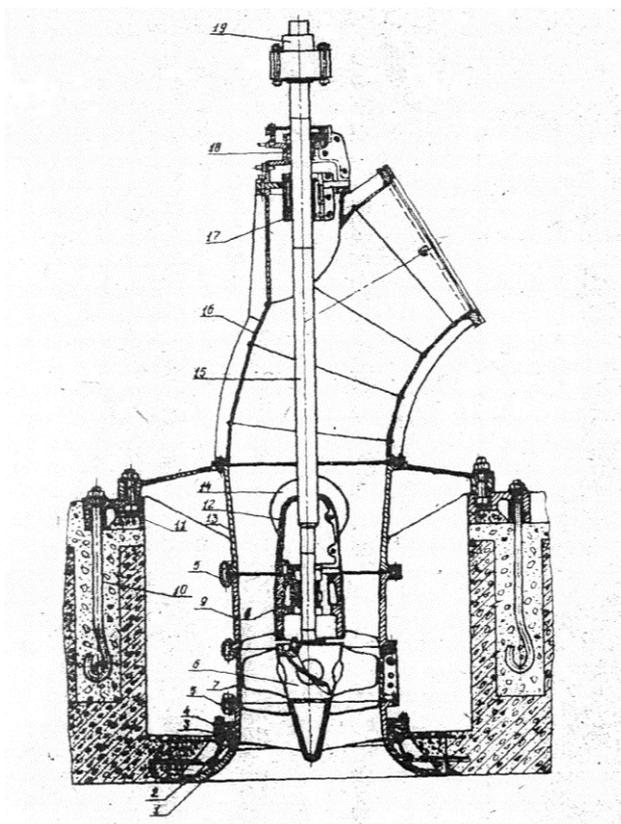


Рис. 5. Разрез осевого насоса С5-55 с подводом воды горизонтальной прямоосной трубой (камерный подвод).

1 - закладное кольцо; 2 - выпрямитель с обтекателем; 3 - резиновый шнур Ø 20 мм; 4 - крышка (кольцо) сальника; 5 - прокладка из прессшпана; 6 - рабочее колесо; 7 - камера рабочего колеса (цилиндрическая); 8 - подшипник; 9 - выправляющий аппарат; 10 - фундаментами болт; 11 - опорная рама (плита ~ 2 шт.); 12 - обтекатель; 13 - диффузор с опорной частью - лапами для крепления на фундаменте; 14 – смотровой герметический люк; 15 - вал; 16 - отвод; 17 - верхний подшипник; 18 - сальник; 19 - вид электродвигателя.

3.5. Основные параметры насоса.

Основные параметры насоса вписываются из каталогов насосов по заданной марке и числу оборотов и заносятся в таблицу 1.

Паспортные данные насосов

Таблица 1

Тип насоса	Подача, м ³ /с Q	Напор, м H	Мощность, кВт N	КПД макс, η	Высота всасывания, Δhм	Число оборотов, об/мин n

3.6. Обмер изучаемых насосов

Результаты обмеров изучаемых насосов помещаем в таблицу 2.

Результаты обмера насосов

Таблица 2.

Тип	Число		Диаметры, мм						Z	b ₂	σ ₂
	сторон всасывания	ступеней нагнетания	D ₂	D ₀	d _{вт}	d _{вала}	d _{вс}	d _н			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

В таблице буквами обозначены следующие диаметры:

D₂ - рабочего колеса;

D₀ - входного отверстия рабочего колеса;

d_{вт} - втулки рабочего колеса;

d_{вала} - вала насоса;

d_{вс} - всасывающего патрубка;

d_н - напорного патрубка;

Основные обозначения:

Z - количество лопастей;

b₂ - расстояние между дисками на выходе колеса;

σ₂ - толщина лопастей на окружности при сходе с колеса.

Так как исполненные насосы не имеют точной обработки после отливки, то обмер производится в нескольких местах и берется среднее из полученных размеров.

Основные размеры рабочего колеса показаны на рисунке 6.

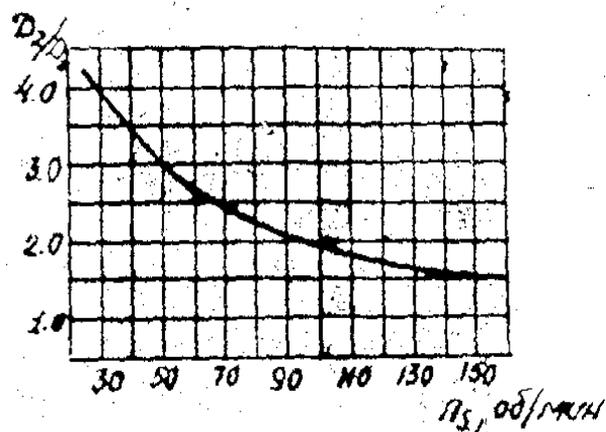
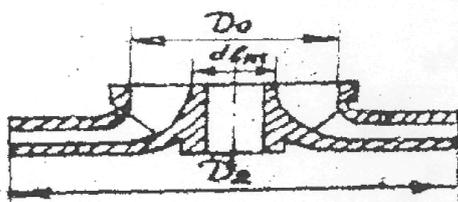


Рис.6.

Для определения марок насосов по ГОСТ 10272-73, ГОСТ 22247-76, ГОСТ 10426-79Е необходимо рассчитать напор **Н** и подачу **Q**.

4. Маркировка насосов.

4.1. Маркировка консольных насосов.

Обозначение консольных насосов по ГОСТ 22247-76:

**KQ_ч/H-У2;
KMQ_ч/H_а-У2,**

где K – консольный насос,
KM – консольный моноблочный насос,
H – напор насоса,
Q_ч – часовая подача насоса, м³/час.

Кроме ранее указанных обозначений, буква «а» обозначает, что рабочее колесо обточено, а буква «б» - что колесо обточено до минимального значения, далее указывается климатическое исполнение насоса. Например, K 45/556-У2.

4.2. Маркировка насосов с двухсторонним входом на рабочее колесо.

По ГОСТ 10272-73 насосы с двухсторонним входом обозначаются:

ДQ_ч-H,

где Д – двухсторонний вход на рабочее колесо:
Q_ч – часовая подача насоса, м³/час;
H – напор насоса, м.
Например, Д630-90.

4.3. Маркировка погружных скважинных насосов.

В обозначении погружных насосных агрегатов, согласно ГОСТ 10488-79Е, первая цифра – порядковый номер конструктивной модификации, буквы ЭЦВ обозначают тип насоса (Э – привод от погружного электродвигателя, Ц – центробежный, В - подача воды), первая цифра после букв – диаметр обсадной колонны труб скважины в мм, уменьшенный в 25 раз, т.е. в дюймах, первая группа цифр – подача в м³/ч, вторая – напор в м, далее исполнение и номер ГОСТа.

Секундную подачу Q_c можно определить по формуле:

$$Q_c = (D_{\text{экв}} / K_d)^3 i_{\text{вх}} n, \text{ м}^3/\text{с},$$

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

Эквивалентный диаметр определяется:

$$D_{\text{экв}} = \sqrt{D_0^2 - d_{\text{вт}}^2}, \text{ м},$$

где D_0 – диаметр входного отверстия рабочего колеса, м;
 $d_{\text{вт}}$ – диаметр втулки, м.

Напор H определяется по формуле:

$$H = i_{\text{ст}} \sqrt[3]{\left(\frac{3.65 n \sqrt{Q_c / i_{\text{вх}}}}{n_s} \right)^4}, \text{ м},$$

где $i_{\text{ст}}$ – число ступеней нагнетания/насоса;
 n_s – коэффициент быстроходности насоса об/мин, определяемый по графику $n_s = f(D_2/D_0)$, (рисунок 6.)

Часовая подача насоса:

$$Q_{\text{ч}} = Q_c \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{с}$$

На основании полученных результатов замеров и расчётов записывают марки насосов по вышеуказанным ГОСТам в таблицу 3.

Определение расхождения между подученными значениями расхода и напора производят по зависимости:

$$Q = \frac{Q_p - Q_{\text{кат}}}{Q_p} \cdot 100\%,$$
$$H = \frac{H_p - H_{\text{кат}}}{H_p} \cdot 100\%.$$

Вопросы к лабораторной работе

1. Конструкции, основные детали и узлы центробежных насосов.
2. Конструкции, основные детали и узлы осевых насосов.
3. Сравнительная характеристика конструкций консольных насосов и насосов с двухсторонним входом.
4. Маркировка консольных насосов.
5. Маркировка насосов с двухсторонним входом.
6. Маркировка погружных скважинных насосов.
7. Маркировка осевых насосов.
8. Конструкции рабочих колёс центробежных и осевых насосов.

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕМАТИКИ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В РАБОЧЕМ КОЛЕСЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

1. Цель работы. 1) Закрепить теоретические знания студентов по разделу «Кинематика потока жидкости внутри рабочего колеса центробежного насоса. 2) Уяснить связь между скоростями U_2 – переносной (окружной), W – относительной, V_2 – абсолютной, V_u – тангенциальной составляющей абсолютной скорости, V_m – радиальной (меридиональной), составляющей абсолютной скорости. 3) Построить планы скоростей при входе жидкости в колесо и выходе из него. 4) Определить напор H при заданных подаче Q и частоте вращения рабочего колеса Π , используя план скоростей потока жидкости на выходе из колеса.

2. Лабораторное оборудование и приборы.

Рабочие колеса центробежных насосов штангенциркули, кронциркули, линейка, транспортир, карандаши, бумага.

3. Последовательность выполнения.

Производится обмер рабочего колеса. Так как исполненные колеса не имеют точной и тщательной механической обработки после отливки, то обмер проводят в нескольких местах и в расчет берут средние из полученных размеров.

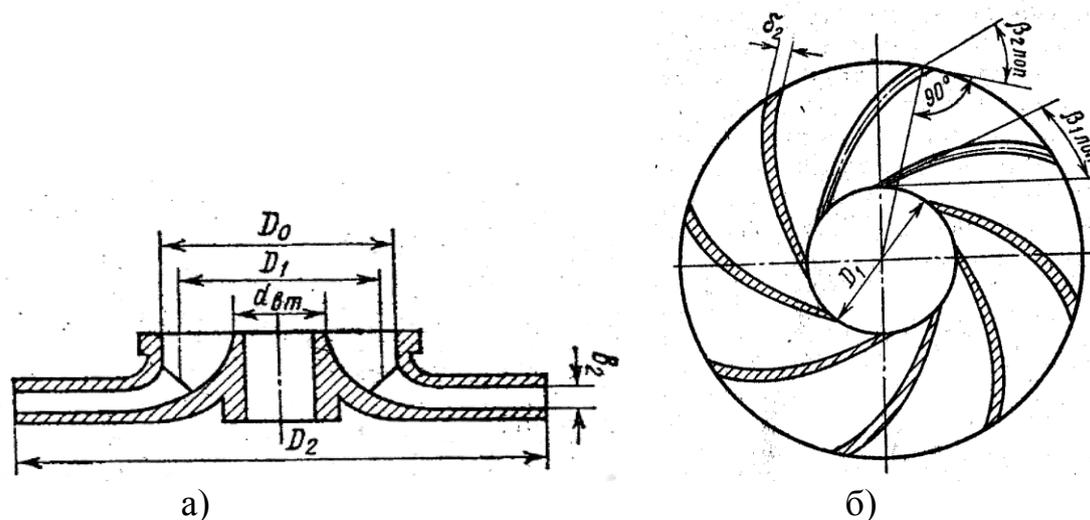


Рис.7.

Эскиз рабочего колеса с обозначением размеров, необходимых для определения скоростей потока в межлопастных каналах.

Результаты обмера рабочего колеса помещают в таблицу 4.

Результаты обмера рабочего колеса

Таблица 4.

D_2 , м	D_0 , м	D_1 , м	$d_{вт}$, м	b_2 , м	σ_2 , м	$B_{1\text{лоп}}$, град	$B_{2\text{лоп}}$, град	Число лопастей $Z_{л}$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

В таблицу 5 вносят данные из каталога по рассматриваемому насосу, а также рассчитанные по известным обобщающим формулам, гидравлический η_T и объемный $\eta_{об}$ КПД насоса.

$$\eta_T = \frac{H_T}{H_T + h_T}; \quad \eta_{об} = \frac{Q_T}{Q_T + q},$$

где H_T – теоретический номер насоса;
 Q_T – теоретический расход насоса;
 h_T – гидравлические потери напора в насосе;
 q – объемные потери в насосе.

Данные каталога и расчетов по рассматриваемому насосу занесены в таблицу 5.

Данные каталога и расчетов по рассматриваемому насосу

Таблица 5.

Марка насоса	n , об/мин	Q , м ³ /час	H , м	N , кВт	n_s , об/мин	η , об	n_T
1	2	3	4	5	6	7	8

Кинематика 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 очертаниям лопастей в плане (рис.7, б)). Такое допущение соответствует струйной теории течения жидкости в рабочем колесе насоса. Скорость потока (м/с) при входе в рабочее колесо:

$$v_0 = \frac{4Q}{\eta_{об}\pi(D_0^2 - d_{вт}^2)}$$

Скорость потока обычно не изменяется при движении жидкости до входа на лопасти рабочего колеса, то есть $v_0 = v_1 = v_{1m}$, где v_1 — абсолютная скорость потока при входе на лопасти; v_{1m} — меридианная составляющая абсолютной скорости (вектор меридианной составляющей v_{1m} расположен в плоскости сечения колеса, проходящей через ось вращения). Средняя окружная скорость (м/с) входных кромок лопастей $u_1 = \pi D_1 n / 60$ направлена по касательной к окружности вращения середины входной кромки лопасти. После нахождения скоростей v_1 и u_1 можно построить план скоростей потока перед входом его в межлопастные каналы колеса на диаметре D_1 . Для этого строят параллелограмм векторов скоростей (рис.8).

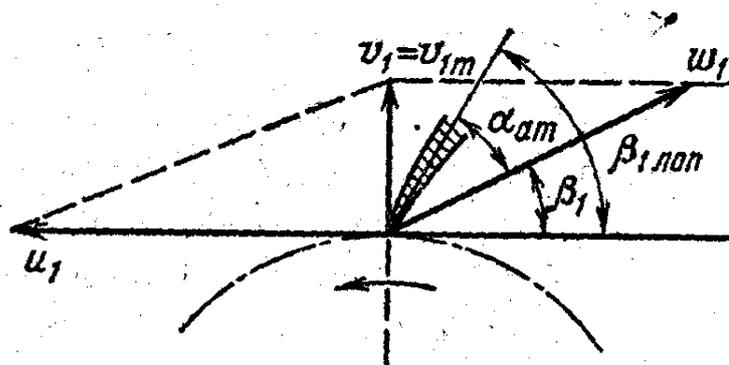


Рис. 8. План скоростей потока при входе в рабочее колесо.

Из параллелограмма скоростей определяется вектор относительной скорости ω_1 , так как $\vec{v}_1 = \vec{\omega}_1 + \vec{u}_1$, ω_1 — это средняя скорость потока относительно лопасти рабочего колеса. Угол β_1 называется углом входа потока на лопасти. Его величину можно определить по формуле $\beta_1 = \arctg v_1 / u_1$. Разность углов между направлением лопасти $\beta_{1\text{лоп}}$ и направлением относительной скорости ω_1 называется углом атаки $\alpha_{\text{ат}}$: $\alpha_{\text{ат}} = \beta_{1\text{лоп}} - \beta_1$. По нормативным данным величина угла атаки положительна и на расчетном режиме должна находиться в пределах $3 \dots 8^\circ$. После входа в межлопастной канал поток уже движется вдоль лопастей, а траектория его соответствует очертаниям межлопастных каналов.

Кинематика потока при выходе жидкости из рабочего колеса

При выходе из рабочего колеса поток жидкости имеет окружную составляющую скорости $u_2 = (\pi D_2 n) / 60$, а направление его в относительном движении соответствует направлению лопастей на выходе, то есть углу установки лопастей $\beta_{2\text{лоп}}$ (см. рис.7 б)).

Меридианную (радиальную) составляющую абсолютной скорости потока на выходе v_{2m} можно найти по формуле:

$$v_{2m} = \frac{Q}{\eta_{об} F_2} = \frac{Q}{\eta_{об} (\pi D_2 b_2 - \frac{\delta_2}{\sin \beta_{2лон}} b_2 z_l)}$$

где F_2 - площадь потока жидкости, выходящего из колеса, по круговому сечению с диаметром D_2 , м²;

b_2 - расстояние между дисками колеса на диаметре D_2 , м;

Z_l - число лопастей рабочего колеса; м;

δ_2 - толщина лопасти при выходе из колеса, м;

η_2 - принять для колес с односторонним входом жидкости и простейшими уплотнителями или без них – 0,95, а для колес с двухсторонним входом жидкости и фигурными уплотнителями – 0,995.

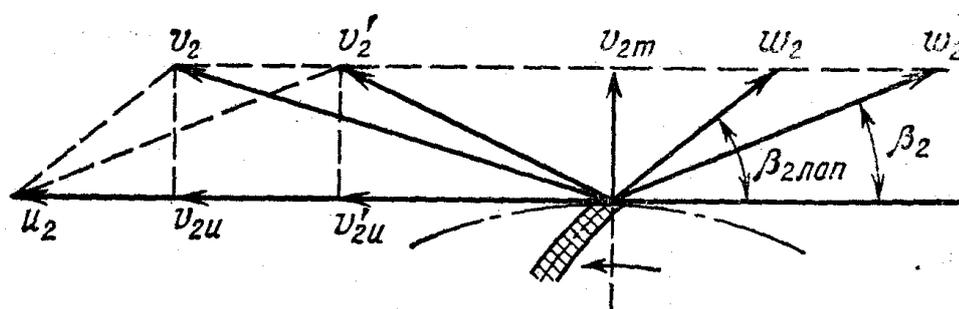


Рис.9. План скоростей потока при выходе его из рабочего колеса.

Эта скорость зависит только от подачи насоса и геометрических размеров колеса. Построение плана скоростей при выходе потока из колеса начинается с построения векторов скоростей u_2 и u_{2m} (рис. 9). Так как направление относительной скорости потока w_2 известно и соответствует углу $\beta_{2лон}$, то величину ее можно найти из параллелограмма скоростей, который строится по известным векторам \vec{u}_2 и \vec{u}_{2m} (рис. 3). Поскольку $\vec{v}_2 = \vec{w}_2 + \vec{u}_2$ то нетрудно найти и вектор абсолютной скорости v_2 . Проекция скорости v_2 на направление окружной скорости u_2 называется окружной составляющей абсолютной скорости потока v_{2u} (рис. 9). Из теории насосов известно, что на самом деле относительная скорость w_2 отклоняется от направления лопастей колеса, в результате чего окружная составляющая v_2 становится меньше, чем это следует из построенного плана скоростей. Действительное значение скорости v_2 можно найти по следующей формуле:

$$v'_{2u} = v_{2u} / (1 + p),$$

где p — коэффициент, зависящий от числа лопастей Z_l , угла установки лопасти на выходе $\beta_{2лон}$ и отношения диаметров D_1/D_2 .

На рисунке 3 эта скорость обозначена вектором v'_{2u} . Соответственно появляются скорости v'_2 и w'_2 . Такое изменение плана скоростей объясняется

Вопросы к лабораторной работе

1. Соответствует ли полученный угол атаки $a_{ат}$ нормативным данным?
2. Как изменяется угол атаки $a_{ат}$ 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?

Лабораторная работа №3

ИЗУЧЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ЗАПУСКА И УСЛОВИЙ ВСАСЫВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОНСОЛЬНОГО НАСОСА

1. Цель работы. Изучение последовательности пуска и остановки центробежного насоса. Отделение геометрической h_n , вакуумметрической $H_{\text{ван}}$ высоты всасывания и построение зависимостей

$$H_{\text{ван}} = f(Q); \quad h_n = f(Q); \quad h_{\text{вс}} = f(Q); \quad \xi_{\text{вс}} = f(Q).$$

2. Лабораторная установка и приборы:

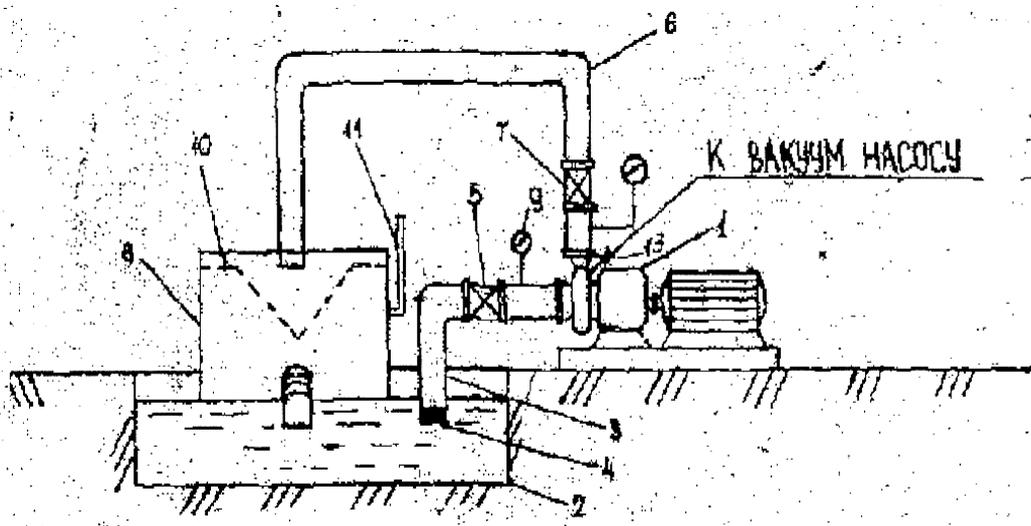


Рис.10.

Установка (рисунок 10) состоит из консольного центробежного насоса 1, который, забирает воду, из подземного резервуара 2 с помощью трубопровода 3, оборудованного сороудерживающей сеткой 4 и задвижкой 5, и подаёт её по напорному трубопроводу 6, снабженному задвижкой 7 в мерный бак 8, а затем в тот же резервуар. Для измерений давления на всасывающей линии 2 установлен вакуумметр 9. Мерный бак 8 оборудован треугольным водосливом 10 и пьезометром 11.

3. Последовательность выполнения:

Задвижка 7 на напорном трубопроводе 6 закрыта. Включают вакуум-насос 12, вентиль 13 открывают и по показаниям вакуумметра 9 следят за степенью разряжения в насосе 1. При понижении давления до необходимого значения включают насос 1, вентиль 13 закрывают, вакуум-насос 12 отклю-

чают, плавно открывают задвижку 7 на напорном трубопроводе 6 и устанавливают максимальный расход насоса.

Снимают показания приборов: вакуумметра и пьезометра, замеряют h_n . Закрытием задвижки 7 на напорном трубопроводе 6 устанавливают следующий расход насоса и снимают показания приборов. Таким образом проводится 8-10 опытов от максимального значения расхода до нуля.

По окончании лабораторной работы отключают насос 1, предварительно закрыв задвижку 7.

4. Обработка результатов опытов.

Расход насоса определяют по тарировочной кривой $h = f(Q)$.

Суммарные гидравлические потери во всасывающей линии насоса определяют из выражения

$$h_{\text{вак}} = h_n + \sum h_{\text{вс}} + \frac{\alpha v_{\text{вс}}^2}{2g},$$

где $h_{\text{вак}}$ – вакуумметрическая высота всасывания, м (показания вакуумметра, переведенные в м.вод.ст.);

h_n – геометрическая высота всасывания, м (расстояние от поверхности воды до оси рабочего колеса насоса);

$\sum h_{\text{вс}}$ – суммарные гидравлические потери во всасывающей линии, м;

$\frac{\alpha v_{\text{вс}}^2}{2g}$ – скорость напора во всасывающей трубке насоса, м, ($\alpha=1,1$)

$$\sum h_{\text{вс}} = h_{\text{вак}} - h_n - \frac{\alpha v_{\text{вс}}^2}{2g}.$$

Суммарные гидравлические потери во всасывающей линии можно также выразить зависимостью:

$$\sum h_{\text{вс}} = \sum \xi_{\text{вс}} \cdot \frac{\alpha v_{\text{вс}}^2}{2g},$$

где $\sum \xi_{\text{вс}}$ – суммарный коэффициент сопротивления всасывающей линии, откуда:

$$\sum \xi_{\text{вс}} = \frac{\sum h_{\text{вс}}}{\alpha v_{\text{вс}}^2 / 2g},$$

Результаты измерений и вычислений, вносят в таблицу 7.

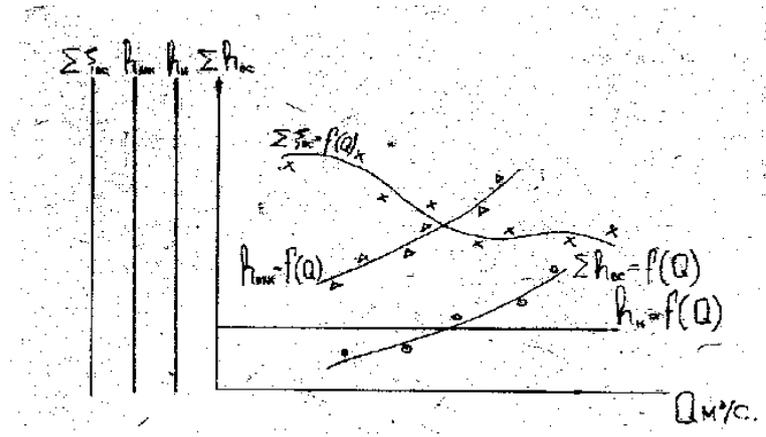


Рис. 11. Определение условий всасывания центробежного насоса.

Результата измерений и вычислений

Таблица 7

№ п/п	Измеряемые и вычисляемые величины	Обозначения	Единицы измерения	Номера опытов											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Показания пьезометра	h	мм												
2	Показания вакуумметра	P _{вак}	кг/см ²												
3	Геометрическая высота всасывания	h _н	м												
4	Диаметр всасывающего насоса патрубка	d _{вс}	м												
5	Расход насоса	Q	м ³ /с												
6	Вакуумметрическая высота всасывания	h _{вак}	м												
7	Скорость во всасывающем патрубке насоса	U _{вс}	м/с												
8	Скоростной напор	$\frac{\alpha v_{вс}^2}{2g}$	м												
9	Потери во всасывающем трубопроводе	Σh _{вс}	м												
10	Коэффициент сопротивления всасывающего трубопровода	Σξ _{вс}													

По данным граф. 3, 5, 6, 9, 10 таблицы 7 строят графики

$$h_n = f(Q); \quad h_{вак} = f(Q); \quad h_{вс} = f(Q); \quad \Sigma \xi_{вс} = f(Q).$$

Вопросы к лабораторной работе

1. Что называется геометрической высотой всасывания насосов?
2. Чему равна вакуумметрическая высота всасывания?
3. Какой порядок запуска центробежного насоса?
4. От чего зависят потери напора на всасывающей линии насоса?

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

1. Цель работы: Получить экспериментальные характеристики центробежного насоса в виде графиков зависимостей напора H , затраченной мощности N_z и коэффициента полезного действия η от подачи при постоянном числе оборотов n .

$$H=f(Q); \quad N_z=f(Q); \quad \eta=f(Q).$$

2. Лабораторная установка и приборы:

Схема лабораторной установки представлена на рисунке 12. Испытуемый насос 1 посредством всасывающего трубопровода 2 забирает воду из подземного резервуара 3 и подает в напорный трубопровод 4, который сбрасывает её в мерный резервуар 6. Регулирование подачи осуществляется задвижкой 5, установленной на напорном трубопроводе. Расход измеряется тарированным треугольным водосливом, расположенным в мерном резервуаре 6.

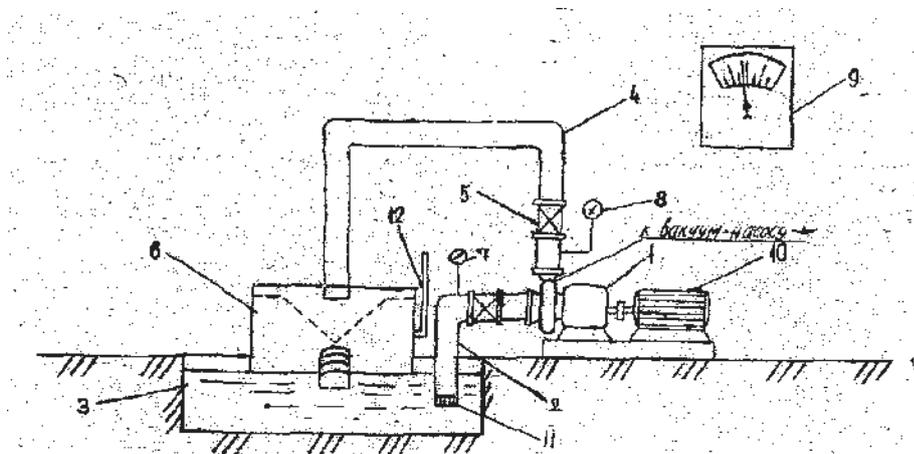


Рис. 12. Схема экспериментальной установки

1 -центробежный насос; 2 -всасывающий трубопровод; 3 - подземный резервуар; 4 - напорный трубопровод; 5 –задвижка; 6 -мерный резервуар; 7 -вакуумметр; 8 -манометр; 9 - ваттметр (амперметр); 10 - электродвигатель; 11- сорудерживающая сетка; 12 – пьезометр.

Давление на всасывающей стороне насоса измеряется вакуумметром 7, а давление в напорном патрубке манометром 8. Для определения затраченной мощности устанавливается киловаттметр (амперметр) 9.

11	Скорость в напорном патрубке	v_H	м/с	
12	Скоростной напор во всасывающем патрубке	$\frac{\alpha V_{BC}^2}{2g}$	м.вод.ст	
13	Скоростной напор в нагнетательном патрубке	$\frac{\alpha V_H^2}{2g}$	м.вод.ст	
14	Напор насоса	H	м.вод.ст	
15	Затраченная мощность	N_3	кВт	
16	Полезная мощность	N_{Π}	кВт	
17	Коэффициент полезного действия насоса	η	%	

4. Обработка результатов опыта:

Расход насосов определяют по тарировочной кривой соответствующего мерного бака по показаниям пьезометра, а полный напор насосной установки определяют по зависимости:

$$H = \frac{p_M}{\rho g} + \frac{p_B}{\rho g} + \Delta Z + \frac{\alpha v_H^2 - \alpha v_{BC}^2}{2g},$$

где ρ - плотность воды, кг/м³;

α – коэффициент скорости;

v_{BC} – скорость во всасывающем патрубке, м/с;

v_H – скорость в напорном патрубке, м/с;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Затраченная на валу насоса мощность определяется по формуле:

$$N_3 = K_{тв} \cdot N_{\kappa}$$

где $K_{тв}$ - коэффициент трансформации киловаттметра;

N_{κ} - показания киловаттметра.

Если в лабораторной установке поставлен амперметр, то затраченная мощность N_3 определяется по зависимости:

$$N_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot K_{me} \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{эв}}{1000}, \text{ кВт}$$

где U – напряжение сети электрического тока, В;
 $\eta_{эв}$ – К.П.Д. электродвигателя.

Полезную мощность определяют по зависимости

$$N_n = 9.81 \cdot Q \cdot H, \text{ кВт}$$

Тогда коэффициент полезного действия насосной установки выразится так:

$$\eta = \frac{N_n}{N_3} \cdot 100\%,$$

По данным таблицы 8 строится экспериментальная характеристика насосной установки (рисунок 13)

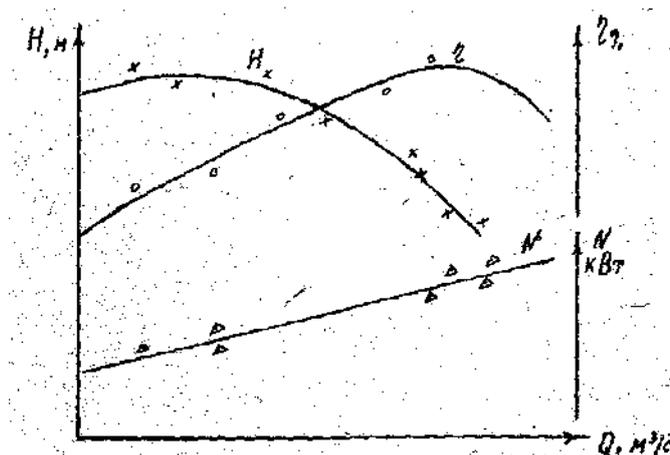


Рис. 13. Опытная характеристика насосной установки с центробежным консольным насосом (марка)

Вопросы к лабораторной работе

1. Что называется характеристикой насоса и её виды?
2. Как определяется: полный напор насосной установка?
3. Как определяется полезная, затраченная мощность насосной установки?
4. Что такое коэффициент полезного действия насосной установки?

Лабораторная работа № 5

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В ОДИН ОБЩИЙ НАПОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД

1. Цель работы: Графическое построение суммарной характеристики при параллельной работе двух центробежных насосов (используются данные лабораторной работы № 3) Экспериментальная проверка этой суммарной характеристики.

2. Лабораторная установка и приборы. Лабораторная установка состоит из двух насосных агрегатов №1 и №2, насосы которых имеют разные характеристики (рисунок 14). Каждый из насосов имеет свою автономную всасывающую линию и свой присоединительный трубопровод. Присоединительные трубопроводы подводят воду к общему нагнетательному трубопроводу. Присоединительные трубопроводы снабжены кранами 1, 2. Насосные установки оборудованы вакуумметрами 4,6 на всасывающих и манометрами 5,7 на присоединительных трубопроводах. На общем напорном трубопроводе имеется пробковый кран 3 для регулирования общего расхода. Для определения суммарного общего расхода двух параллельно работающих насосов используют треугольный водослив 9 мерного бака 10 с пьезометром 11.

3. Последовательность выполнения работы:

Запускаются первый и второй насос при закрытых кранах на присоединительных трубопроводах. Кран на общем трубопроводе 3 открыт. Открытием кранов 1 и 2 насосы включаются в параллельную работу. Снимаются показания манометра 8 и одного из вакуумметров 4 и 6 (большее из двух показаний).

В дальнейших опытах пользуются показаниями этого вакуумметра. Закрывая (открывая) кран 3 проводят 8-10 опытов, во всем диапазоне параллельной работы двух насосов. При этом, в условиях параллельной работы постоянно контролируются показания манометров 7 и 5, которые должны показывать приблизительно одинаковые давления. Как только давление на одном из манометров 7 или 5 (обычно на манометре насоса с меньшим значением максимального давления) станет меньше давления другого насоса, этот насос из параллельной работы выключается. Опыты продолжаются с одним насосом вплоть до полного закрытия крана 3.

Результаты опыта заносят в таблицу 9.

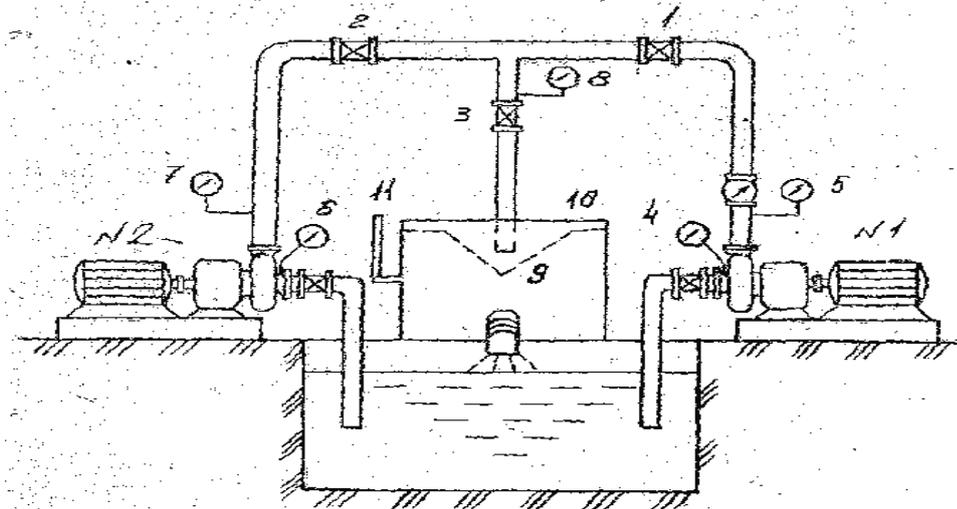


Рис. 14.

Таблица 9

№ п/п	Измеряемые и вычисляемые величины	Обозначения	Единицы измерения	Номера опытов						
				1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Результаты измерений										
1	Показания пьезометра	h	мм							
2	Показания вакуумметра(4 и б)	P _{вак}	атм							
3	Показания манометра 8	P _м	атм.							
4	Расстояние по вертикали между точками замера давления	Δz	м							
5	Диаметра трубопровода в месте установки вакуумметра	d _в	м							
6	Диаметр трубопровода в месте установки манометра	d _м	м							
Результаты вычислений										
7	Расход	Q	м ³ /с							
8	Скорость напора на всасывающей линии	$\frac{\alpha v_B^2}{2g}$	м							
9	Скоростной напор в месте установки манометра	$\frac{\alpha v_M^2}{2g}$	м							
10	Напор при параллельной работе насосов	H	м							

4. Обработка экспериментальных данных:

Напор определяется по зависимости:

$$H = \frac{P_M}{\rho g} + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{\alpha v_M^2 - \alpha v_B^2}{2g} + \Delta Z$$

По данным граф 7 и 10 строится экспериментальная суммарная характеристика двух параллельно работающих насосов.

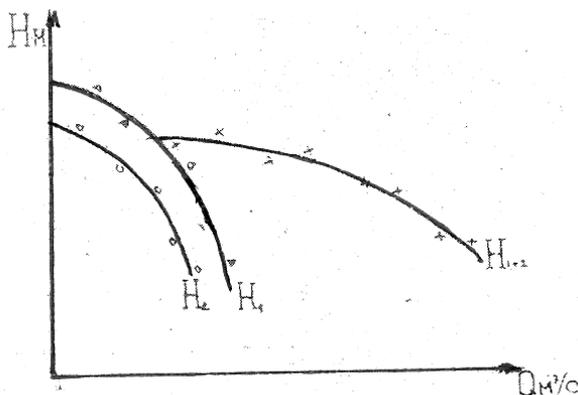


Рис.15. Получение суммарной характеристики двух параллельно работающих насосов

Вопросы к лабораторной работе

1. Условия параллельной работы насосов.
2. Порядок построения суммарной характеристики насосов.
3. Чему равна полезная мощность параллельно соединенных насосов.
4. Что такое «дефицитность» в подаче работающих параллельных насосов?
5. Как учитываются потери напора в всасывающих и соединительных трубопроводах?

Лабораторная работа № 6

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ НА ОДИН ОБЩИЙ НАПОРНЫЙ ТРУБОПРОВОД

1. Цель работы. Графическое построение суммарной характеристики при последовательной работе двух центробежных насосов (используются данные лабораторной работы № 3). Экспериментальная проверка этой суммарной характеристики.

2. Лабораторные установки и приборы.

Лаборатория располагает двумя установками для проведения работы. Первая – с последовательным соединением двух одинаковых насосов. Вторая – с последовательным соединением двух разных насосов. Схема этих установок представлена на рис.16.

Насос 1 забирает воду из подземного резервуара 3 посредством всасывающего трубопровода 4 и подает ее напорным трубопроводом 5 во всасывающий патрубок насоса 2, который сбрасывает воду на напорном трубопроводе 6 в мерный бак 7 с пьезометром, а затем в подземный резервуар 3. Регулирование расхода производится пробковым краном 9. Давления измеряют по показаниям вакуумметра 10 и манометра 11.

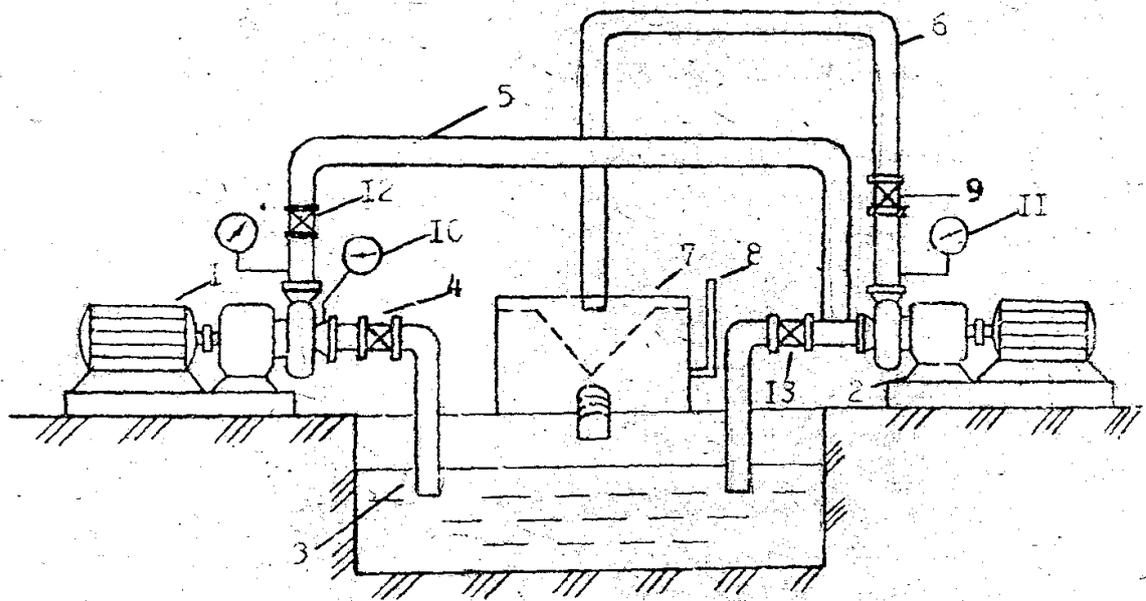


Рис.16.

3. Последовательность выполнения работы.

На основании данных лабораторной работы № 3 построить суммарную графическую характеристику двух насосов, работающих последовательно (рис.17).

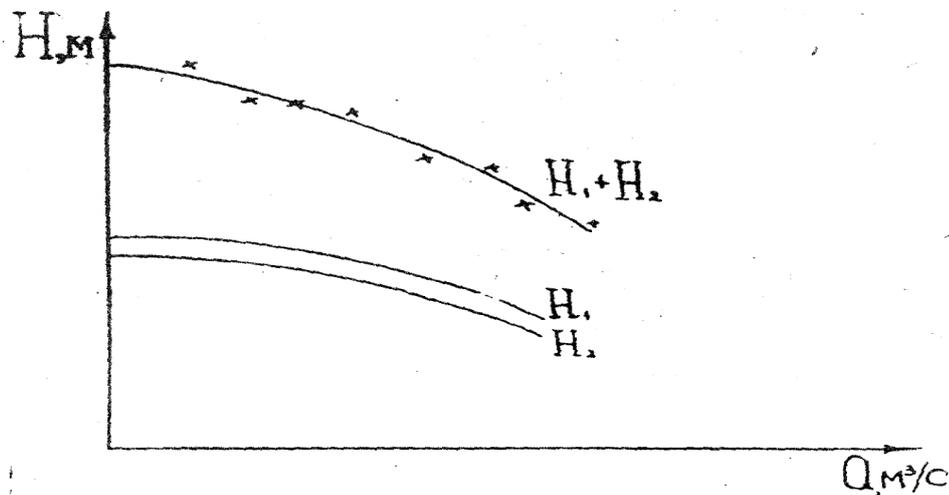


Рис.17.

Запускается насос 1 при закрытом пробковом кране 12 на соединительном трубопроводе. После открытия крана 12 запускается насос 2 при закрытом кране 9 и задвижке 13. при полном открытии крана 9 снимаются показания приборов 8, 10, 11. Проводятся 6-10 опытов с интервалом от максимального до нулевого значения подачи. Изменение подачи производится краном 9. Результаты опытов заносятся в таблицу 10.

Таблица 10.

№ п/п	Измеряемые и вычисляемые величины	Обозначения	Ед.изм.	№ опытов						
				1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Результаты измерений										
1	Показание пьезометра	H	мм							
2	Показание вакуумметра	P_{вак}	атм							
3	Показания манометра 11	P_м	атм							

4	Расстояние по вертикали между точками замера давления	ΔZ	м							
5	Диаметр трубопровода в месте установки вакуумметра	d_B	м							
6	Диаметр трубопровода в месте установки манометра	d_H	м							
Результаты вычислений										
7	Расход	Q	м ³ /с							
8	Скоростной напор во всасывающей линии	$\frac{\alpha v_B^2}{2g}$	м							
9	Скоростной напор в месте установки манометра	$\frac{\alpha v_H^2}{2g}$	м							
10	Напор при последовательной работе насосов	H	м							

4. Обработка результатов опытов.

Расход насоса определяется по тарировочной кривой.

$$h = f(Q)$$

Полный напор определяется так:

$$H = \frac{P_{\text{вак}}}{\gamma} + \frac{P_{\text{м}}}{\gamma} + \Delta Z + \frac{\alpha v_M^2 - \alpha v_B^2}{2g}, \text{ м}$$

где γ - удельный вес воды, кг/м³;
 g - ускорение силы тяжести, м/с²;
 V_H, V_B - скорость соответственно в напорном и всасывающем патрубках, насосов, м/с;
 ΔZ - расстояние по вертикали между точками замера давлений, м;
 $P_{\text{вак}}$ - показания вакуумметра, кг/см²;
 P_M - показания манометра, кг/см².

По данным граф 7 и 10 строится экспериментальная суммарная характеристика двух последовательно работающих насосов и производится ее сравнение с характеристикой, полученной путем сложения характеристик $h = f(Q)$ 1-го и 2-го насосов (по данным работы № 3).

Вопросы к лабораторной работе

1. Порядок построения суммарной характеристики при последовательной работе центробежных насосов.
2. Чему равна полезная мощность последовательно соединенных насосов?
3. Чему равен расход последовательно соединенных насосов?
4. Как получить характеристику последовательно соединенных насосов при значительном расстоянии между ними?

Список используемых источников

1. Рычагов В.В., Флоринский М.М. «Насосы и насосные станции» - М - Колос, 1975г.- 416с.
2. Чебаевский В.Ф. и др. «Насосы и насосные станции» - М - Агропромиздат, 1989г – 416с.
3. Рычагов В.В., Третьяков А.А., Флоринский М.М. «Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. М – Колос, 1971г - 319с.
4. Рычагов В.В., Чебаевский В.Ф. «Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. М – Колос, 1982г – 320с.
5. Аракельян Л.В., Крылова Н.Н. «Методические указания к лабораторным работам по курсу «Насосы и мелиоративные насосные станции», Краснодар – 1993г – 36с.

