

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Экология и энергоэффективность в техносфере»**

**А. Ю. ЕКИМОВ**

# **НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ**

**Лабораторный практикум**



**Гомель 2017**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Экология и энергоэффективность в техносфере»

А. Ю. ЕКИМОВ

# НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

*Одобрено учебно-методической комиссией  
строительного факультета  
в качестве лабораторного практикума*

Гомель 2017

УДК 628.12 (076.5)  
ББК 31.56  
Е45

Р е ц е н з е н т – гл. инженер КПУП «Гомельводоканал» *В. Н. Грибанов*

**Екимов, А. Ю.**

Е45            Насосы и насосные станции : лаб. практик. / А. Ю. Екимов; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 30 с.  
ISBN 978-985-554-215-6

Приведены краткие сведения из теории, описание экспериментальной установки, приборов и оборудования, изложена методика проведения экспериментов и обработки полученных результатов.

Лабораторный практикум предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» по дисциплине «Насосные и воздухоподводящие станции».

**УДК 628.12 (076.5)**  
**ББК 31.56**

**ISBN 978-985-554-215-6**

© Екимов А. Ю., 2017  
© Оформление. БелГУТ, 2017

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум составлен в соответствии с требованиями рабочей программы дисциплины «Насосные и воздуходувные станции» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

К выполнению лабораторных работ допускают студентов, усвоивших содержание методических указаний и рекомендуемой литературы, прошедших в установленном порядке инструктаж по безопасным приемам выполнения экспериментальных частей лабораторных работ и мерах противопожарной безопасности в лаборатории.

Экспериментальная часть лабораторной работы выполняется студентами под непосредственным руководством преподавателя, в присутствии технического персонала лаборатории. При выполнении экспериментальной части работы студенты обязаны строго соблюдать все указания преподавателя, быть внимательными, помнить, что все энергетическое оборудование находится под высоким напряжением.

Каждый студент, приступающий к выполнению очередной лабораторной работы, должен предварительно ознакомиться:

- с содержанием, целями и задачами лабораторной работы;
- схемой установки, ее конструктивными особенностями и правилами техники безопасности при выполнении лабораторных работ;
- порядком проведения экспериментальной и расчетной частей работы;
- ответить на вопросы самоконтроля.

Полученные в ходе выполнения лабораторной работы результаты заносятся студентами в специальный типографский бланк, на котором в дальнейшем выполняются все необходимые расчеты, построение графиков и выводы по итогам работы.

Преподаватель проверяет правильность выполнения расчетов, после чего полностью оформленная работа защищается студентом, с целью проверки глубины усвоения учебного материала и качества знаний.

Бланки всех зачтенных работ сшиваются в форме журнала и сдаются преподавателю на итоговом занятии, после чего студенту проставляют зачет по лаборатории и он считается допущенным к сдаче теоретического зачета или экзамена по дисциплине «Насосные и воздуходувные станции».

## УСТРОЙСТВО ОПЫТНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка выполнена в виде автономной насосной станции с замкнутой системой циркуляции жидкости, не требующей подключения к системам водоснабжения и водоотведения. Основу установки составляют два центробежных консольных насосов типа 1К8/18. Для привода насосов используют асинхронные трехфазные электродвигатели переменного тока, типа АИР 80А2, мощностью по 1,5 кВт каждый и частотой вращения вала 3000 об/мин (рисунок 1).

Гидравлическая схема установки выполнена с разомкнутой циркуляцией рабочей жидкости, в качестве которой используется вода, запас которой хранится в баке вместимостью 220 л. Обвязка насосов выполнена из пластиковых и стальных труб. Всасывающие трубопроводы имеют внутренний диаметр 50, а напорные – 40 мм.



Рисунок 1 – Общий вид насосной установки

Для получения значений измеряемых величин установка имеет информационно-измерительную систему, которая позволяет измерять:

- давление на входах насосов и давление на выходе;
- мощность электродвигателей (PW1 и PW2);
- расход воды в трубопроводной сети;
- температуру рабочей жидкости.

Для измерения давления используют микропроцессорные датчики:

- на входе насоса Н2 –  $D_v$  (предназначен для измерения вакуумметрического давления);
- на входе насоса Н1 –  $D_{ив}$  (предназначен для измерения избыточного и вакуумметрического давления);
- на выходе обоих насосов –  $D_{и}$  (предназначен для измерения избыточного давления).

Для контроля давления на выходе насосов, а также для тарировки датчика  $D_{и}$  установлен механический манометр МН.

В зависимости от схемы подключения насосов при их совместной работе, давление на входе насоса Н1 может быть как вакуумметрическим, так и избыточным. Избыточным это давление бывает в случае последовательного включения насосов, при котором вода с выхода насоса Н2 поступает на вход насоса Н1.

На установке предусмотрена цифровая индикация результатов измерения давлений, расхода воды и мощностей, потребляемых электродвигателями. Кроме того, измеряемые параметры в виде электрических аналоговых сигналов ( $I = 4 \dots 20$  мА) выведены на специальный разъем для подключения к персональному компьютеру.

Для измерения расхода и температуры на стенде установлен электромагнитный расходомер-счетчик типа РСМ-05.03С, в состав которого входят измерительно-вычислительный блок (ИВБ), первичный преобразователь расхода (ППР), термопреобразователь сопротивления (ТС), используемый для измерения температуры. Расходомер РСМ-05.03С осуществляет автоматическое измерение:

- среднего объемного расхода,  $m^3/ч$ ;
- среднего массового расхода,  $t/ч$ ;
- температуры жидкости,  $^{\circ}C$ ;
- суммарного объема жидкости,  $m^3$ .

Насосная установка предназначена для натурных исследований центробежных насосов при их индивидуальной и совместной работе с целью получения их различных характеристик.

Опытная лабораторная установка позволяет:

- выполнять параметрические испытания центробежных насосов;
- получать энергетические характеристики центробежных насосов;
- получать кавитационные характеристики центробежных насосов;
- обеспечивать оптимальные режимы работы насоса на трубопроводную сеть;
- получать суммарные характеристики двух однотипных насосов при параллельном и последовательном подключении.

## Лабораторная работа № 1

### **ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ И УСЛОВИЙ МОНТАЖА В ТРУБОПРОВОДНОЙ СЕТИ**

#### **Цель работы:**

- ознакомиться с конструкцией одноступенчатого консольного насоса К20/30 и особенностями монтажа насоса 1К 8/18 в системе трубопроводов;
- выполнить упрощенную разборку и сборку насоса К20/30;
- на выбор, выполнить эскиз одного из элементов насоса, с замером основных его размеров;
- ознакомиться с особенностями конструкции других видов насосов.

#### **Общие сведения из теории**

Центробежные насосы в системах водоснабжения и водоотведения нашли наибольшее применение, благодаря ряду преимуществ: широким диапазоном изменения подачи и напора, простотой конструкции, относительно высоким КПД, надежностью и долговечностью работы, экономичностью и удобством эксплуатации.

В центробежных насосах передача энергии перекачиваемой жидкости происходит за счет взаимодействия лопаток рабочего колеса с потоком. Под действием центробежной силы жидкость от центра рабочего колеса (всасывающая полость) перемещается к его периферии (напорная полость).

Основным рабочим органом центробежного насоса является рабочее колесо, приводимое во вращение от электродвигателя через приводной вал. Конструктивно рабочее колесо состоит из переднего диска с отверстием для входа потока перекачиваемой жидкости, заднего диска со ступицей для крепления на приводном валу и лопаток, скрепляющих диски между собой. Рабочее колесо помещается в центре корпуса насоса, выполненном в виде отводящей камеры спиральной формы.

С торцевой стороны в центре корпуса крепится всасывающий патрубок, по которому подводится перекачиваемая жидкость. От насоса жидкость отводится через напорный патрубок.

Запуск насоса производится при заполненном перекачиваемой жидкостью корпусе насоса, при этом лопатки рабочего колеса, вращаясь с определенной частотой, будут отбрасывать жидкость от центра насоса к его периферии. В результате на входе в рабочее колесо возникает вакуумметрическое давление, и перекачиваемая жидкость будет непрерывно поступать к рабочему колесу вследствие разности давлений на свободную поверхность жидкости в приемном резервуаре (атмосферное) и в центре рабочего колеса насоса (вакуумметрическое). Выбрасываемая лопатками из рабочего колеса

жидкость поступает в плавно расширяющуюся спиральную камеру и через напорный патрубок далее в напорный трубопровод.

Дополнительные сведения по устройству других типов центробежных насосов, маркировке насосов и особенностях их конструкции следует изучить по рекомендуемым литературным источникам [1] и [2].

### **Порядок разборки и сборки центробежного насоса**

Разборке подлежит консольный одноступенчатый центробежный насос марки К20/30.

Разборка насоса выполняется в следующем порядке:

- отвернуть гайки передней крышки насоса;
- снять переднюю крышку насоса;
- отвернуть центральную контргайку крепления рабочего колеса к валу насоса;
- снять рабочее колесо с вала;
- отвернуть гайки крепления крышки сальника и снять крышку;
- выполнить замеры необходимых размеров насоса и эскизы соответствующих элементов;
- провести общую сборку насоса в обратной последовательности.

При выполнении разборки и сборки насоса и обмера его основных элементов следует использовать гаечные ключи, съемник и штангельциркуль.

### **Порядок оформления отчета**

Как результат изучения конструкции и принципа действия центробежных насосов в отчет следует поместить:

- описание назначения всех конструктивных элементов насоса;
- расшифровку маркировки насоса;
- эскиз элемента насоса, с указанием данных замера основных геометрических размеров.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Перечислить все конструктивные элементы центробежного насоса, какой из них является основным рабочим органом насоса?
- 2 Назначение рабочего колеса центробежного насоса, в чем различие между рабочим колесом водопроводного и канализационного насосов?
- 3 Назначение сальникового уплотнения, его устройство и регулировка?
- 4 Как монтируется центробежный насос в системе трубопроводов?
- 5 Перечислить виды трубопроводных соединений, используемых в системах водоснабжения.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 15– 17, 86– 91; 2, с. 72–76].

## Лабораторная работа № 2

### ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ МОБИЛЬНЫХ И СТАЦИОНАРНЫХ ВОДОМЕРНЫХ УСТРОЙСТВ

#### **Цель работы:**

- изучить устройство, назначение и область применения ультразвукового расходомера-счетчика Днепр-7 (портативный вариант);
- изучить устройство и схему монтажа стационарных механических турбинных расходомеров в системе трубопроводов;
- схему монтажа на опытной лабораторной установке электромагнитного расходомера-счетчика типа РСМ-05.03С.

#### **Общие сведения из теории**

##### *Назначение и область применения расходомера-счетчика Днепр-7*

Портативный ультразвуковой расходомер-счетчик Днепр-7 является прибором общепромышленного назначения с широким диапазоном контролируемых сред. Прибор предназначен для технологических измерений, контроля и учета объемного и массового расхода воды и насыщенного водяного пара в системах холодного, горячего водоснабжения, теплоснабжения и водоотведения. Сверхчувствительные датчики позволяют измерять расходы в трубопроводах с отложениями на стенках, а также в трубах, покрытых изнутри цементом, резиной и т. д.

##### *Устройство и принцип работы*

Расходомер смонтирован в дипломате с автономным питанием от аккумулятора либо от сети. Расходомер состоит из электронного блока и первичных преобразователей (датчиков). Расходомер обеспечивает непрерывное зондирование жидкости или пара ультразвуковыми импульсами постоянной частоты и преобразование доплеровского сдвига частотного спектра отражений, зависящего от скорости потока, в импульсный сигнал пропорциональной частоты, его обработку и цифровое измерение количества жидкости или пара нарастающим итогом, устанавливаемым по сечению трубопровода и цифровую индикацию мгновенного значения объемного расхода. Считывание показаний производится с цифрового многофункционального индикатора. Номинальные диапазоны измеряемого расхода: воды от 0,051 до 43429,4 м<sup>3</sup>/ч; пара от 0,4 до 2021663 м<sup>3</sup>/ч.

##### *Монтаж и подготовка к работе*

Подключить контакты датчиков к соответствующим разъемам прибора. Определить внутренний диаметр трубопровода с точностью до 0,1 мм и ввести его значение в память электронного блока с помощью индикатора в ре-

жиме  $d$ . Выбрать место установки датчиков на трубопроводе. Зачистить наружную поверхность от краски и ржавчины и отшлифовать поверхность, покрыть смазкой типа ЛИТОЛ-24 толщиной 5 мм. Закрепить датчики на подготовленной поверхности при помощи хомута. Включить основной прибор. Выполнить настройку прибора. При наличии помех подключить соответствующие высокочастотные и низкочастотные фильтры в соответствии с Руководством по эксплуатации прибора Днепр-7.

### Порядок проведения опытов

1 В трубопроводе полностью открыть вентиль, обеспечив прохождение максимального расхода. Измерить расход в трубопроводе портативным расходомером и одновременно объемно-весовым способом.

2 Уменьшить расход воды в трубопроводе, частично прикрыв задвижку. Повторить измерения.

3 Сравнить полученные результаты при трех-четырех измерениях и определить абсолютную и относительную погрешность расходомерасчетчика Днепр-7. Предел относительной погрешности исправного прибора составляет не более 2 %.

4 Ознакомиться с устройством турбинного расходомера со стрелочным индикатором мгновенного расхода, смонтированного на опытной насосной установке.

5 Ознакомиться со схемой монтажа электромагнитного расходомерасчетчика типа РСМ-05.03С на опытной насосной установке.

### Обработка экспериментальных данных

1 Наполняя на определенный объем мерную емкость и засекая время наполнения вычисляют расход объемно-весовым способом:

$$Q = W/t, \quad (1)$$

где  $W$  – объем воды в мерной емкости,  $m^3$ ;

$t$  – время наполнения, с.

2 Сравнить полученный расход, измеренный объемно-весовым способом с расходом расходомера Днепр-7. Определить абсолютную погрешность:

$$\Delta Q = |Q_{ов} - Q_{дн}|, \quad (2)$$

где  $Q_{ов}$  – расход воды, определенный объемно-весовым способом,  $m^3/c$ ;

$Q_{дн}$  – расход воды, определенный расходомером Днепр-7.

3 Определить относительную погрешность измерения расхода:

$$\delta_{\text{отн}} = \Delta Q / Q_{\text{ов}} \cdot 100 \% . \quad (3)$$

4 Итоги вычислений занести в таблицу 1.

*Таблица 1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных*

Номер опыта	Метод измерения расхода	Объем $W$ , м <sup>3</sup>	Время $t$ , с	Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Абсолютная погрешность $\Delta Q$ , м <sup>3</sup> /с	Относительная погрешность $\delta_{\text{отн}}$ , %
1	Объемно-весовой					
	Ультразвуковой					

### Порядок оформления отчета

- 1 Вычертить схему опытной установки.
- 2 Заполнить таблицу опытных и расчетных данных.
- 3 Привести расчеты всех величин для одного из измерений.
- 4 В выводах дать заключение о точности измерений расхода воды расходомером-счетчиком Днепр-7 по величине относительной погрешности.

### Контрольные вопросы

- 1 В чем состоят преимущества мобильных расходомерных устройств?
- 2 Объяснить методику измерения расхода воды объемно-весовым способом.
- 3 Как определяется внутренний диаметр трубопровода?
- 4 Как ввести значение диаметра трубопровода в электронный блок расходомера Днепр-7?
- 5 В каком порядке и как вычисляется величина абсолютной и относительной погрешностей?

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 258–259; 2, с. 141–145].

## Лабораторная работа № 3

### ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

#### Цель работы:

- приобрести навыки проведения параметрических испытаний динамических насосов;
- определить основные параметры работы центробежного насоса: подачу и напор;

– построить основную (напорную) характеристику насоса  $H-Q$ .

### Общие сведения из теории

В зависимости от вида испытаний динамических насосов получают следующие характеристики: напорную ( $H-Q$ ); энергетические ( $N-Q$ ), ( $\eta-Q$ ); кавитационную ( $\Delta h-Q$ ).

Под характеристиками насоса понимают графические или аналитические зависимости одних его параметров ( $H$ ,  $N$ ,  $\eta$ ,  $\Delta h$ ) от подачи насоса  $Q$ . В инженерных расчетах удобно использовать характеристики насоса в графическом виде.

В данной работе рассматривают методы проведения параметрических испытаний с целью получения напорно-расходной  $H-Q$  характеристики центробежного насоса. Испытание насоса проводят на специальной насосной установке, которая оборудована соответствующей измерительной аппаратурой, позволяющей установить требуемые зависимости.

К основным техническим показателям работы насоса относят **подачу** и **напор**. **Подачей** называется расход жидкости, проходящий через напорный патрубок насоса.

**Напор** – энергия, которую получила единица веса жидкости, пройдя через насос.

В состав опытной установки входят: испытуемый насос с приводным электродвигателем; всасывающий и напорный трубопроводы; вакуумметр и манометр, расходомерное устройство; оборотный резервуар, обеспечивающий независимый водооборот.

Регулирование подачи при испытаниях насоса осуществляется задвижкой на напорном трубопроводе.

Перед началом испытаний необходимо установить все постоянные величины: диаметры трубопроводов в местах измерений и положение центра манометра относительно оси насоса.

Для определения подачи насоса используется электромагнитный расходомер-счетчик, смонтированный на опытной установке.

Для получения точных значений расхода в ходе выполнения каждого измерения необходимо добиться устойчивых показаний расходомера в узком диапазоне изменения расхода.

Напор насоса, работающего с положительной высотой всасывания, определяется согласно уравнению Бернулли:

$$H = H_n - H_b = (Z_m - Z_b) + (p_m - p_b) / \rho g + (v_n^2 - v_b^2) / 2g, \quad (1)$$

где  $H_n$  и  $H_b$  – соответственно полные гидродинамические напоры на выходе и входе насоса, м;

- $Z_M$  и  $Z_B$  – высоты подключения манометра и вакуумметра, м;  
 $p_M$  – давление на выходе из насоса, Па (определяется по показаниям манометра);  
 $p_B$  – давление на входе в насос, Па (определяется по показаниям вакуумметра);  
 $\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .  
 $v_H$  – скорость жидкости на выходе из насоса, м/с;  
 $v_B$  – скорость жидкости на входе в насос, м/с.

Для данной экспериментальной установки следует учитывать диаметры всасывающего и напорного трубопроводов (50 и 40 мм). Окончательно формула принимает вид:

$$H = (Z_M - Z_B) + (p_M - p_B) / \rho g + (v_H^2 / 2g - v_B^2 / 2g), \quad (2)$$

где  $(Z_M - Z_B) = 0,62 \text{ м}$

### Порядок проведения опытов

1 Проверить готовность установки к запуску, для чего повернуть рукоятку поворотного затвора на всасывающем трубопроводе испытуемого насоса вдоль трубопровода в положение открыто. Подать напряжение на приводной двигатель, тумблером включив защиту электродвигателя.

2 Нажать кнопку Пуск для включения электродвигателя насоса, плавно полностью открыть задвижку на напорной стороне насоса и дать поработать насосу 1–1,5 минуты для удаления воздуха из трубопроводной системы.

3 Когда показания приборов стабилизируются, снять следующие показания величин при полностью открытой задвижке на напорной стороне центробежного насоса:

$p_M$  – давление на выходе по показаниям датчика манометра  $D_M$ ;

$p_B$  – давление на входе по показаниям датчика вакуумметра  $D_B$ ;

$Q$  – расход по показаниям электромагнитного расходомера-счетчика.

4 Постепенно закрывая задвижку, в фиксированных ее положениях, провести аналогичные замеры указанных величин при 3–4 значениях подачи насоса. Снятие отсчетов проводить только после стабилизации показаний приборов.

5 Полностью закрыть задвижку и снять показания манометра и вакуумметра при нулевой подаче насоса. При этом следует не допускать работу насоса при закрытой задвижке более 2–3 минут.

6 После завершения всех измерений, при полностью закрытой задвижке на напорной стороне насоса, выключить приводной электродвигатель кнопкой Стоп.

7 Тумблером отключить защиту электродвигателя и обесточить опытную насосную установку.

### Обработка экспериментальных данных

1 Определить площади живого сечения всасывающего и напорного трубопроводов:

$$\omega_B = \pi d_B^2 / 4; \quad \omega_H = \pi d_H^2 / 4, \quad (3)$$

где  $d_B$  и  $d_H$  – диаметры соответственно всасывающего и напорного патрубков насоса, м.

2 Для каждого опыта определить средние скорости движения воды во всасывающем и напорном патрубках насоса:

$$v_B = 4Q / \omega_B; \quad v_H = 4Q / \omega_H. \quad (4)$$

3 Для каждого опыта определить напор, развиваемый насосом. Подстановку численных значений в формулу (2) при расчете полного гидродинамического напора следует выполнять в системе единиц СИ.

4 Результаты расчетов занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных

Но- мер опыта	$d_B$ , мм	$d_H$ , мм	Опытные данные			$\omega_B$ , м <sup>2</sup>	$\omega_H$ , м <sup>2</sup>	Расчетные данные		
			$p_B$ , кПа	$p_H$ , кПа	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч			$v_B$ , м/с	$v_H$ , м/с	$H$ , м
1	50	40								

### Порядок оформления отчета

- 1 Вычертить принципиальную схему насосной установки.
  - 2 Заполнить таблицу опытными и расчетными данными.
  - 3 Привести детальный расчет всех величин для одного из опытов.
  - 4 Построить напорную характеристику испытуемого насоса ( $H-Q$ ).
  - 5 В выводах сделать заключение о характере изменения параметров центробежного насоса.
- Указать, к какому виду напорных характеристик следует отнести характеристику испытуемого центробежного насоса.

## Контрольные вопросы

- 1 Перечислить технические параметры, характеризующие работу центробежного насоса.
- 2 Какие контрольно-измерительные устройства и приборы используют при натурных испытаниях центробежных насосов?
- 3 Как определяется подача и полный гидродинамический напор насоса?
- 4 Каков порядок запуска и остановки центробежного насоса?

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 110–113; 2, с. 286–287].

## Лабораторная работа № 4

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

#### Цель работы:

- закрепить навыки проведения параметрических испытаний насосов;
- определить основные параметры центробежного насоса: подачу, мощность и КПД;
- построить энергетические характеристики насоса ( $N-Q$ ) и ( $\eta-Q$ ).

#### Общие сведения из теории

В данной работе рассматривают методы проведения испытаний центробежного насоса с целью получения энергетических характеристик центробежного насоса ( $N-Q$ ) и ( $\eta-Q$ ).

Испытание насоса проводят на специальной насосной установке (рисунк 1), которая оборудована соответствующей измерительной аппаратурой, позволяющей установить требуемые параметрические зависимости.

Экспериментальная часть данной работы выполняется аналогично предыдущей работе, при этом для определения мощности, потребляемой насосом, дополнительно в каждом опыте снимают показания ваттметра.

В ходе выполнения работы определяют энергетические параметры, характеризующие работу насоса.

**Мощность насоса ( $N$ )** – мощность, потребляемая насосом для создания определенной подачи  $Q$  и напора  $H$ .

**Полезная мощность насоса ( $N_0$ )** – мощность, сообщаемая насосом перекачиваемой жидкости.

**Коэффициент полезного действия насоса ( $\eta$ )** – отношение полезной мощности насоса к мощности насоса:  $\eta = N_0 / N$ .

## Порядок проведения опытов

1 Запустить испытуемый насос в соответствии с порядком его запуска, подробно изложенного в соответствующем разделе предыдущей работы.

2 Выполнить измерения требуемых величин при различных величинах подачи насоса, начиная с максимальной (при полностью открытой задвижке) и заканчивая нулевой (при полностью закрытой задвижке):

$N_{эд}$  – мощность приводного электродвигателя, принимают по показаниям ваттметра, подключенного в электрическую цепь двигателя, Вт;

$p_m$  – давление на выходе по показаниям датчика манометра  $D_m$ ;

$p_v$  – давление на входе по показаниям датчика вакуумметра  $D_{ив}$ ;

$Q$  – расход по показаниям электромагнитного расходомера-счетчика.

3 После завершения всех измерений выключить установку в соответствии с указаниями предыдущей работы.

## Обработка экспериментальных данных

1 Мощность  $N$ , потребляемую насосом, Вт, определяют исходя из мощности, потребляемой приводным электродвигателем и коэффициентом полезного действия электродвигателя. Мощность электродвигателя определяют в ходе выполнения экспериментальной части работы по показаниям ваттметра, подключенного в электрическую цепь приводного электродвигателя:

$$N = \eta_{эд} N_{эд} = 0,82 N_{эд}, \quad (1)$$

где  $N_{эд}$  – мощность электродвигателя, Вт;

$\eta_{эд}$  – коэффициента полезного действия электродвигателя, принимается из паспорта электродвигателя,  $\eta_{эд} = 0,82$ .

2 Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta = N_0 / N, \quad (2)$$

где  $N_0$  – полезная мощность насоса, Вт;

$N$  – мощность насоса, Вт.

Значение КПД насоса можно определять в долях единицы или в процентах, в этом случае результат, полученный по формуле (2), следует умножить на 100 %.

3 Полезная мощность насоса, Вт,

$$N_0 = \rho g Q H, \quad (3)$$

- где  $\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $Q$  – подачу насоса, принимают по показаниям электромагнитного расходомера-счетчика,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $H$  – полный гидродинамический напор насоса, м.  
 4 Результаты расчетов занести в таблицу 1.

**Таблица 1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных**

Номер опыта	Опытные данные				Расчетные данные					
	$p_b$ , кПа	$p_m$ , кПа	$Q$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	$N_{\text{эл}}$ , Вт	$v_b$ , м/с	$v_m$ , м/с	$H$ , м	$N_0$ , Вт	$N$ , Вт	$\eta$ , %
1										

### Порядок оформления отчета

- 1 Вычертить схему опытной насосной установки.
- 2 Заполнить таблицу опытными и расчетными данными.
- 3 Привести расчеты всех расчетных величин для одного из опытов.
- 4 Построить энергетические характеристики испытуемого центробежного насоса ( $N-Q$ ) и ( $\eta-Q$ ).
- 5 В выводах сделать заключение о характере поведения построенных характеристик и указать значения параметров, которые будут соответствовать работе данного насоса в оптимальном режиме (с максимальным КПД). Определить границы эффективной работы насоса.

### Контрольные вопросы

- 1 Что характеризуют зависимости ( $N-Q$ ) и ( $\eta-Q$ ).
- 2 Дать определение мощности насоса, полезной мощности, КПД насоса.
- 3 Дать понятие оптимального режима работы насоса.
- 4 Какие виды регулирования подачи насоса применяют при выполнении экспериментальной части данной работы?

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 113–114; 2, с. 287–288].

## Лабораторная работа № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМА РАБОТЫ НАСОСА

#### Цель работы:

- практически научиться получать характеристики трубопровода;
- определить режимы работы насоса при разных положениях дросселя;

– построить характеристики трубопровода при различных положениях задвижки.

### Общие сведения из теории

Характеристикой трубопровода называется зависимость потребного напора от расхода в трубопроводе, т. е.  $H_{\text{потр}} = f(Q)$  или  $(H-Q)_{\text{тр}}$ .

Потребный напор – напор, который должен быть создан насосом в начале напорного трубопровода. В общем случае, этот напор затрачивается:

- на поднятие жидкости на геометрическую высоту  $H_{\Gamma}$ ;
- на преодоление разности давлений в напорном и приемном резервуарах гидравлической системы;
- на преодоление гидравлических потерь во всасывающем и напорном трубопроводах  $h_w$ .

$$H_{\text{потр}} = H_{\Gamma} + (p_2 - p_1) / \rho g + h_w, \quad (1)$$

где  $p_2, p_1$  – давление в напорном и приемном резервуарах, Па;

$H_{\Gamma}$  – геометрическая высота подъема (не зависит от расхода  $Q$ ), м;

$h_w$  – гидравлические потери в трубопроводах, м.

При условии действия атмосферного давления на свободную поверхность в напорном и приемном резервуарах, формула (1) упрощается:

$$H_{\text{потр}} = H_{\Gamma} + h_w, \quad (2)$$

Используя формулы *Дарси-Вейсбаха* и неразрывности потока, выражая среднюю скорость через расход, получаем величину потерь напора:

$$h_w = (\lambda l / d)(v^2 / 2g) = (\lambda l / d)(16Q^2 / 2g\pi^2 d^4). \quad (3)$$

Вводя обозначение констант:  $S = (\lambda l / d^5)(16 / 2g\pi^2)$ , окончательно получаем уравнение характеристики трубопровода:

$$H_{\text{потр}} = H_{\Gamma} + SQ^2, \quad (4)$$

где  $S$  – гидравлическое сопротивление сети (для данного трубопровода при квадратичной области сопротивления – величина постоянная).

Для регулирования подачи насосов используют два основных способа: дросселирование – регулирование подачи закрытием задвижки и изменением частоты вращения рабочего колеса.

В первом случае изменяется характеристика трубопровода, во втором – характеристика насоса.

Дросселирование является наиболее простым, но и самым неэкономичным способом регулирования подачи насоса. Этот способ регулирования целесообразно применять при сравнительно небольшой мощности насоса.

**Режимной** или **рабочей точкой А** системы насос – водовод будет являться точка пересечения характеристики насоса и характеристики трубопровода, построенные на одних осях  $H$  и  $Q$ . По этой точке определяют основные параметры работы насоса при его работе на данный трубопровод.

Допустим, нужно обеспечить подачу  $Q_B < Q_A$ . Для этого необходимо частично закрыть задвижку на напорной стороне насоса. При этом увеличиваются потери напора в задвижке  $h_3$ , что приведет к потере мощности насоса. Обеспечить подачу равную  $Q_B$  возможно, если характеристика трубопровода пересечет характеристику насоса в точке  $B$ . Потребный напор в новой режимной точке будет равен:

$$H_{\text{потр}} = H_{\Gamma} + S_1 Q_B^2 + h_3, \quad (5)$$

где  $h_3$  – потери напора в задвижке, м.

Новое (после дросселирования) гидравлическое сопротивление трубопровода  $S_1$  определится из равенства:

$$S_1 Q_B^2 = S Q_B^2 + h_3. \quad (6)$$

В данной лабораторной работе в ходе опытов определяется фактическое положение режимной точки системы насос – водовод, значения гидравлического сопротивления  $S_i$  для каждого опыта и далее строится характеристика трубопровода для различного положения задвижки (дросселя).

### Порядок проведения опытов

1 Подготовить опытную установку к запуску насоса в том же порядке, что и при выполнении лабораторной работы № 3.

2 Запустить насос и выполнить серию опытов:

– при полностью открытой задвижке (дросселе), установив максимальную подачу  $Q_{\text{max}} = Q_A$ ;

– два-три опыта при разной степени открытия задвижки;

– при полностью перекрытой задвижке, при  $Q = 0$ .

Снять показания приборов: манометра и вакуумметра, определить расход воды по показаниям электромагнитного расходомера-счетчика.

Результаты замеров записать в таблицу 1.

3 После завершения измерений закрыть задвижку на напорной стороне насоса, выключить приводной электродвигатель, отключить защиту электродвигателя и обесточить опытную насосную установку.

## Обработка экспериментальных данных

1 В каждой режимной точке системы насос – водовод определить напор, развиваемый насосом, руководствуясь методикой, изложенной в лабораторной работе № 3.

2 По результатам расчетов в таблице (1) построить напорно-расходную характеристику насоса  $H-Q$ .

3 Определить величину геометрической высоты  $H_{\Gamma}$ , м, измерив ее величину от оси насоса до наивысшей точки подъема воды на опытной насосной установке.

4 Для первого опыта определить потери напора  $h_w$  (при  $Q_{\max} = Q_A$ ) как разницу между полным напором в режимной точке и геометрической высотой подъема воды:

$$h_{w,A} = H_A - H_{\Gamma} = S_A Q_A^2. \quad (7)$$

5 Определить гидравлическое сопротивление трубопровода при полностью открытой задвижке:

$$S_A = h_{w,A} / Q_A^2. \quad (8)$$

6 Задавшись значениями расхода в трубопроводе равными, например,  $0,4Q_A$ ;  $0,7Q_A$ ;  $1,05Q_A$ , используя формулу (4), построить характеристику трубопровода с полностью открытой задвижкой. Точка пересечения напорно-расходной характеристики насоса и характеристики трубопровода определит рабочий режим насоса для этого случая.

7 Построить характеристики трубопровода для последующих опытов. Для этого по совмещенным графикам  $H-Q$  и  $(H-Q)_{\text{тр}}$ , построенным по результатам первого опыта, найти соответствующие каждому последующему опыту их рабочие точки, найти величину потерь напора в задвижке  $h_{3,i}$ , определить величину  $S_i$ :

$$S_i = (h_{w,i} + h_{3,i}) / Q_i^2. \quad (9)$$

Используя методику, рассмотренную в п. 6 и принимая значения расхода в трубопроводе, равные  $0,4Q_i$ ;  $0,7Q_i$ ; и  $1,05Q_i$ , построить соответствующие характеристики трубопровода для остальных опытов.

**Таблица 1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных**

Но- мер опыта	Опытные данные			Расчетные данные						
	$p_{\text{в}}$ кПа	$p_{\text{н}}$ кПа	$Q_i$ м <sup>3</sup> /ч	$H$ м	$H_{\Gamma}$ м	$S_i$ с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup>	$h_{3,i}$ м	$0,4Q_i$ м <sup>3</sup> /с	$0,7Q_i$ м <sup>3</sup> /с	$1,05Q_i$ м <sup>3</sup> /с
1										

## Порядок оформления отчета

- 1 Вычертить схему насосной установки.
- 2 Заполнить таблицу опытными и расчетными данными.
- 3 Привести расчеты всех величин для одного из опытов (исключая последний).
- 4 Построить напорно-расходную характеристику насоса  $H-Q$ .
- 5 Построить характеристики трубопровода  $(H-Q)_{\text{тр}}$  при различных режимах работы насосной установки.
- 6 В выводах отразить методику построения характеристики трубопровода, отметить характер поведения графических зависимостей потерь напора от подачи при разной величине открытия задвижки.

## Контрольные вопросы

- 1 Что называется характеристикой трубопровода?
- 2 Как определяют положение режимной точки системы: насос – трубопровод?
- 3 Как рассчитывают параметры работы насоса при работе в определенном режиме?
- 4 Как установить потери в напорном и всасывающем трубопроводах?
- 5 Что называется рабочим полем насоса  $H-Q$ ? Где должна располагаться рабочая точка насоса?

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 53–54; 2, с. 59–60].

## Лабораторная работа № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДВУХ ОДНОТИПНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ИХ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

#### Цель работы:

- ознакомиться с устройством опытной насосной установкой для испытаний группы насосов;
- обеспечить на опытной установке параллельное соединение двух однотипных насосов;
- построить суммарную характеристику  $(H-Q)_{\text{г-п}}$  для двух однотипных центробежных насосов при их параллельном соединении;
- оценить целесообразность совместной работы насосов.

#### Общие сведения из теории

Центробежные насосы могут соединяться для работы на один трубопровод параллельно или последовательно. Параллельное подключение насосов

для работы на один трубопровод обеспечивается переключением соответствующих задвижек.

Когда один насос не может обеспечить требуемой подачи, применяют параллельное соединение двух или нескольких насосов для работы на один трубопровод с целью увеличения общей подачи.

Совместная работа насосов при параллельном их соединении возможна, если в точке слияния потоков установится одинаковый напор. Поэтому для построения напорной характеристики двух параллельно соединенных насосов необходимо суммировать подачи насосов при одинаковых напорах. Удваивая величину подачи в опытных точках и соединяя их плавной кривой, получим напорную характеристику двух насосов, работающих параллельно.

Для построения суммарной характеристики  $(H-Q)_{I+II}$  при параллельной работе насосов полный напор насосов следует определять по формуле:

$$H = (Z_M - Z_B) + (p_M - p_B) / \rho g + (v_H^2 - v_B^2) / 2g, \quad (1)$$

где  $Z_M$  и  $Z_B$  – высоты подключения манометра и вакуумметра, м;

$p_M$  – давление на выходе из насоса, Па (определяется по показаниям манометра);

$p_B$  – давление на входе в насос, Па (определяется по показаниям вакуумметра);

$v_H$  – скорость жидкости на выходе из насоса, м/с;

$v_B$  – скорость жидкости на входе в насос, м/с;

Учитывая, что для экспериментальной установки разность высот подключения манометра и вакуумметра  $(Z_M - Z_B) = 0,62$  м, формула принимает окончательный вид:

$$H = 0,62 + (p_M - p_B) / \rho g + (v_H^2 / 2g - v_B^2 / 2g). \quad (2)$$

Параллельная работа насосов на один трубопровод эффективна при пологих характеристиках трубопровода и крутых напорных характеристиках насосов. При крутой характеристике трубопровода эффект параллельной работы может оказаться низким, так как при подключении к одному насосу второго и всех последующих, подача возрастет незначительно.

При индивидуальной работе каждого из насосов при работе на отдельный трубопровод их общая подача будет больше, чем подача каждого при их параллельном соединении. Разность этих подач называется «дефицитностью в подаче» при параллельной работе двух насосов. Величина «дефицитности в подаче» является важным показателем при сравнении вариантов работы насосов.

## Порядок проведения опытов

- 1 Подготовить опытную лабораторную установку к работе.
- 2 Запустить один насос и выполнить первую серию опытов с целью построения напорной характеристики одного насоса (см. лабораторную работу № 3). Выключить насос.
- 3 Переключением соответствующих задвижек и затворов на напорных и всасывающих трубопроводах обеспечить параллельное подключение двух насосов для работы на один трубопровод.
- 4 Запустить оба насоса в работу и регулируя подачу задвижкой на общем трубопроводе выполнить вторую серию опытов с целью построения напорной характеристики двух, совместно работающих параллельно соединенных насосов.
- 5 После завершения измерений закрыть задвижку на напорной стороне каждого насоса, выключить приводные электродвигатели, отключить защиту и обесточить опытную насосную установку.

## Обработка экспериментальных данных

- 1 Руководствуясь методикой расчетов, изложенной в лабораторной работе № 3, вычислить параметры  $Q$  и  $H$  для первой серии опытов. По результатам расчетов построить характеристику  $(H-Q)$  для одного насоса.
  - 2 Построить теоретическую характеристику  $H_{\text{теор}} = f(Q)$  для двух параллельно соединенных насосов путем удвоения подач при одинаковых (фиксированных) значениях напора.
  - 3 Для второй серии опытов по формуле (2) определить действительный напор, развиваемый двумя параллельно соединенными насосами, работающими на общий трубопровод. Результаты расчетов свести в таблицу 1.
  - 4 Построить действительную характеристику  $(H-Q)_{\text{I-II}}$  для двух параллельно соединенных насосов при их совместной работе на один водовод.
  - 5 Сравнить теоретическую и действительную характеристики насосов.
  - 6 Определить подачу каждого из двух параллельно работающих насосов и сравнить ее с подачей одного насоса, работающего на трубопровод.
  - 7 Определить дефицитность в подаче при параллельной работе двух насосов на один водовод.
- Данные расчетов занести в таблицу 1.

Таблица.1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных

Номер опыта	Опытные данные			Расчетные данные			
	$p_{\text{в}}, \text{кПа}$	$p_{\text{м}}, \text{кПа}$	$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	$v_{\text{в}}, \text{м/с}$	$v_{\text{н}}, \text{м/с}$	$H_{\text{I}}, \text{м}$	$H_{\text{I-II}}, \text{м}$
1							

## Порядок оформления отчета

1 Вычертить схему опытной насосной установки при параллельном подключении насосов.

2 Заполнить таблицу опытными и расчетными данными.

3 Привести расчеты всех величин для одного из режимов при параллельном соединении насосов.

4 Построить теоретическую и действительную напорно-расходные характеристики для двух параллельно соединенных насосов, работающих на один водовод.

5 В выводах сделать заключение о соответствии теоретической и действительной характеристик насосов при их совместной параллельной работе. По величине дефицитности в подаче при параллельной работе двух насосов дать оценку целесообразности совместной работы насосов.

## Контрольные вопросы

1 Когда и с какой целью применяют параллельное соединение двух или нескольких насосов для работы на один трубопровод?

2 Как построить суммарную характеристику двух однотипных насосов, работающих параллельно?

3 Как построить суммарную характеристику двух разнотипных насосов, работающих параллельно?

4 Дать понятие «дефицитности в подаче» при параллельной работе двух насосов на общий водовод.

5 При какой характеристике трубопровода увеличивается эффект параллельного соединения насосов?

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 58–64; 2, с. 64–68].

## Лабораторная работа № 7

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ДВУХ ОДНОТИПНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ

#### Цель работы:

- ознакомиться со схемой переключений на опытной насосной установке для испытаний группы насосов при их последовательном соединении;
- переключением запорно-регулирующей арматурой на опытной установке обеспечить последовательное соединение двух однотипных насосов;
- построить суммарные характеристики  $H-Q$  двух однотипных центробежных насосов при их последовательном соединении.

## Общие сведения из теории

Последовательным называется такое включение насосов, при котором напорный патрубок первого насоса соединяют с всасывающим патрубком второго. Насосы соединяют последовательно при совместной работе для увеличения напора в сети.

Суммарную характеристику  $H-Q$  группы последовательно работающих насосов, подключенных к общему водоводу, получают путем суммирования напоров при фиксированных значениях подач. При стендовых испытаниях суммарную характеристику  $H-Q$  строят по точкам, значения в которых получены по показаниям вакуумметра на входе в первый насос и манометра на выходе из второго насоса.

Последовательное соединение насосов на одной насосной станции в практике водоснабжения осуществляется редко по следующим причинам: замена двух последовательно соединенных насосов одним (большим одноступенчатым), обеспечивающим суммарный напор, всегда экономически более целесообразна; для создания высоких напоров выпускают многоступенчатые насосы.

## Порядок проведения опытов

- 1 Подготовить опытную лабораторную установку к работе.
- 2 Запустить один насос и выполнить первую серию опытов с целью построения напорной характеристики одного насоса (см. лабораторную работу № 3). Выключить насос.
- 3 Переключением соответствующих задвижек и затворов на напорных и всасывающих трубопроводах обеспечить последовательное подключение двух насосов для работы на один трубопровод.
- 4 Запустить оба насоса в работу и регулируя подачу задвижкой на общем трубопроводе выполнить вторую серию опытов с целью построения напорной характеристики двух, совместно работающих последовательно соединенных насосов.
- 5 После завершения измерений закрыть задвижку на напорной стороне каждого насоса, выключить приводные электродвигатели, отключить защиту и обесточить опытную насосную установку.

## Обработка экспериментальных данных

- 1 Вычислить параметры  $Q$  и  $H$  по методике, приведенной в лабораторной работе № 3.
- 2 Определить общий напор, развиваемый двумя последовательно подключенными насосами, используя формулу:

$$H = 0,62 + (p_m - p_b) / \rho g + (v_n^2 / 2g - v_b^2 / 2g), \quad (1)$$

где 0,62 – разность высот подключения манометра и вакуумметра, м;

$p_m$  – давление на выходе из второго насоса, Па (определяется по показаниям манометра);

$p_b$  – давление на входе в первый насос, Па (определяется по показаниям вакуумметра);

$\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

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

$v_n$  – скорость жидкости на выходе из второго насоса, м/с;

$v_b$  – скорость жидкости на входе в первый насос, м/с.

3 Результаты расчетов свести в таблицу 1.

4 По расчетным данным построить графические зависимости  $H = f(Q)$  для одного и двух последовательно соединенных насосов.

5 Построить теоретическую характеристику  $H_{\text{теор}} = f(Q)$  двух последовательно соединенных насосов путем удвоения напоров при одинаковых значениях подач.

6 Сравнить теоретическую и действительную характеристики насосов.

7 Определить параметры работы каждого из двух последовательно работающих насосов.

**Таблица 1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных**

Номер опыта	Опытные данные			Расчетные данные			
	$p_b$ , кПа	$p_m$ , кПа	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	$v_b$ , м/с	$v_n$ , м/с	$H_1$ , м	$H_{1-П}$ , м
1							

### Порядок оформления отчета

1 Вычертить схему универсальной насосной установки при последовательном подключении насосов.

2 Заполнить таблицу опытными и расчетными данными.

3 Привести расчеты всех величин для одного из режимов при последовательном соединении насосов.

4 Построить напорную характеристику для одного насоса при его работе на один трубопровод.

5 Построить напорную характеристику для двух последовательно соединенных насосов при их совместной работе на один трубопровод.

6 В выводах сделать заключение о соответствии теоретической и действительной характеристиках насосов при их совместной работе. Определить параметры работы насоса при его индивидуальной и совместной работе при последовательном подключении.

## Контрольные вопросы

- 1 Когда и с какой целью применяют последовательное соединение двух насосов для работы на один трубопровод?
- 2 Как построить суммарную характеристику двух разнотипных насосов, работающих последовательно?
- 3 При какой характеристике трубопровода увеличивается эффект последовательного соединения насосов?
- 4 Как изменяются параметры работы насоса при их последовательном соединении на один трубопровод?

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 64–66; 2, с. 68–69].

## Лабораторная работа № 8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

#### Цель работы:

- определить вакуумметрическую высоту насоса при разных положениях затвора на всасывающем трубопроводе;
- получить кавитационные характеристики центробежного насоса;
- построить кавитационные характеристики насоса:  $H = f(H_v)$ ,  $Q = f(H_v)$ ,  $N = f(H_v)$ ,  $\eta = f(H_v)$ .

#### Общие сведения из теории

Высота всасывания насоса определяет его высотное расположение по отношению к отметке уровня воды в водоисточнике.

Всасывание жидкости центробежным насосом происходит под действием разности давлений на поверхность воды в водоисточнике и давлением на входе в насос или под действием разности напоров.

Различают геометрическую и вакуумметрическую высоту всасывания. Под геометрической высотой всасывания понимают разность высотных отметок оси насоса и уровня воды в водоисточнике. Под вакуумметрической высотой всасывания понимают разность атмосферного давления  $p_a$ , действующего на свободную поверхность воды в водоисточнике, и полного вакуумметрического давления  $p_b$  в центре рабочего колеса насоса, необходимого для подъема воды насосом, установленным с положительной высотой всасывания:

$$H_{вс} = P_a / \rho g - (p_b / \rho g + v_b^2 / 2g + h_b). \quad (1)$$

Давление на входе в насос  $p_v$  должно быть больше давления  $p_i$  насыщенного пара перекачиваемой жидкости при фактической температуре всасывания ( $p_v > p_i$ ), так как в противном случае в жидкости, поступающей в насос, начнется интенсивное выделение паров и растворенных в ней газов.

Данное явление называется кавитацией. При этом в результате возможен разрыв сплошности потока и уменьшение высоты всасывания до нуля.

Кавитация приводит к трем основным отрицательным последствиям:

- к срыву подачи, напора, мощности и КПД насоса;
- эрозионному износу элементов насоса его проточной части: рабочего колеса, вала и т. д.;
- звуковым явлениям: шуму, вибрации установки, а также к низкочастотным автоколебаниям давления в трубопроводах.

Следовательно, высота всасывания центробежного насоса зависит от атмосферного давления, скорости движения и плотности перекачиваемой жидкости, её температуры (и соответственно – давления её паров) и гидравлического сопротивления всасывающего трубопровода.

Для того чтобы избежать кавитации в насосе можно предпринять следующие шаги:

- повысить давление во всасывающем патрубке (опустить насос, или увеличить давление в приемном резервуаре). Производительность насоса от этого практически не изменится;
- использовать насосы, имеющие меньшие числа оборотов;
- снизить расход жидкости через насос или температуру перекачиваемой жидкости, что соответствует уменьшению давления пара.

Зависимость напора насоса от давления на входе при постоянном расходе и постоянной частоте вращения называется кавитационной характеристикой насоса.

### Порядок проведения опытов

1 Подготовить лабораторную установку к работе.

2 Полностью открыть задвижки и затворы на всасывающей и напорной стороне испытываемого насоса.

3 Включить насос в работу и установить с помощью задвижки на напорной стороне насоса давление, приблизительно равное 160 кПа.

В ходе выполнения работы положение данной задвижки не изменять.

4 Последовательно изменяя степень закрытия затвора на всасывающей стороне работающего насоса, выполнить до 7 опытов, в ходе которых необходимо регистрировать следующие величины:

- мощность двигателя  $N_{эд}$ ;
- давление на входе в насос  $p_v$ ;
- давление на выходе из насоса  $p_n$  и подачу насоса  $Q$ .

5 После завершения измерений закрыть задвижку на напорной стороне насоса, выключить приводной электродвигатель, отключить защиту и обесточить опытную насосную установку.

### Обработка экспериментальных данных

1 Используя показания вакуумметра на всасывающей стороне насоса, определить вакуумметрическую высоту всасывания  $H_v = p_v / \rho g$ .

2 По формулам (2)–(4) определить для каждого из опытов величины полезной и потребляемой мощности насоса  $N_0$  и  $N$ , а также коэффициент полезного действия  $\eta$ .

3 Результаты расчетов свести в таблицу 1.

4 По результатам расчетов построить кавитационные характеристики насоса:  $H = f(H_v)$ ,  $Q = f(H_v)$ ,  $N = f(H_v)$ ,  $\eta = f(H_v)$ .

Таблица 1 – Форма таблицы для записи опытных и расчетных данных

Номер опыта	Опытные данные				Расчетные данные				
	$p_v$ , кПа	$p_m$ , кПа	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	$N_{эл}$ , Вт	$p_v/\rho g$ , м	$N_0$ , Вт	$N$ , Вт	$H$ , м	$\eta$ , %
1									

### Порядок оформления отчета

- 1 Вычертить схему универсальной насосной установки.
- 2 Заполнить таблицу 1 опытными и расчетными данными.
- 3 Привести расчеты всех величин для одного из режимов.
- 4 Построить кавитационные характеристики насоса:  $H = f(H_v)$ ,  $Q = f(H_v)$ ,  $N = f(H_v)$ ,  $\eta = f(H_v)$ .
- 5 В выводах сделать заключение о влиянии изменения вакуумметрического давления на входе в насос на рабочие параметры насоса.

### Контрольные вопросы

- 1 Как поддерживается постоянный режим работы насоса при снятии кавитационной характеристики?
- 2 Что такое кавитация в насосах? В каких условиях она возникает?
- 3 Перечислить признаки, характеризующие возникновение кавитации в центробежном насосе?
- 4 Как определяется вакуумметрическая высота при проведении лабораторной работы?
- 5 Как не допустить работу насоса в условиях кавитации?

Рекомендуемая литература: [1, с. 27–30; 2, с. 286–288].

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Карасёв, Б. В.** Насосные и воздухоудные станции: учеб. для вузов / Б. В. Карасёв. – Минск : Выш. шк., 1990. – 326 с.
- 2 **Карелин, В. Я.** Насосы и насосные станции: учеб. для вузов / В. Я. Карелин, А. В. Минаев. – М. : Стройиздат, 1986. – 320 с.
- 3 **Лабораторный практикум по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам** / С. М. Казарян [и др.]. – Ереван : Луйс, 1984. – 319 с.
- 4 **Карасёв, Б. В.** Методические указания к лабораторным работам по курсу «Насосные и воздухоудные станции» / Б. В. Карасёв, И. Ф. Шаповал. – Брест : БПИ, 1990. – 32 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
УСТРОЙСТВО ОПЫТНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	4
Лабораторная работа № 1. Изучение устройства центробежных насосов и условий монтажа в трубопроводной сети.....	6
Лабораторная работа № 2. Изучение работы мобильных и стационарных водомерных устройств.....	8
Лабораторная работа № 3. Испытания центробежного насоса.....	10
Лабораторная работа № 4. Энергетические испытания центробежного насоса.....	14
Лабораторная работа № 5. Определение режима работы насоса.....	16
Лабораторная работа № 6. Исследование совместной работы двух однотипных центробежных насосов при их параллельном соединении.....	20
Лабораторная работа № 7. Исследование совместной работы двух однотипных центробежных насосов при их последовательном соединении.....	23
Лабораторная работа № 8. Определение кавитационных характеристик центробежного насоса.....	26
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	29

Учебное издание

*ЕКИМОВ Александр Юрьевич*

## **НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ**

Лабораторный практикум

Редактор Т. М. Маруняк  
Технический редактор В. Н. Кучерова

Подписано в печать 04.07.2017 г. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 1,84. Уч.-изд. л. 1,66. Тираж 50 экз.  
Зак. № 2289. Изд. № 65.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель