

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

А. В. Кикот

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов
вузов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 20.03.02
Природообустройство и водопользование

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 628.292(075.8)

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Н. Р. Ахмедова

Кикот, А. В. Насосы и насосные станции: учебно-методическое пособие по лабораторным работам для студентов вузов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование / **А. В. Кикот.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 40 с.

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по лабораторным работам. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» «30» ноября 2022 г., протокол № 8

УДК 628.292(075.8)

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Кикот А. В., 2022 г.

Содержание

Введение.....	4
Техника безопасности при проведении лабораторных работ.....	5
Лабораторная работа №1. Кинематика жидкости в рабочем колесе центробежного насоса. Определение теоретической подачи и напора центробежного насоса.....	5
Лабораторная работа №2. Разработка гидравлической схемы испытательного стенда трубопровода с насосной подачей.....	9
Лабораторная работа №3. Испытание вихревого насоса LEO APm37. Экспериментальное определение его главной технической характеристики..	14
Лабораторная работа №4. Испытания насосной установки с двумя одинаковыми вихревыми насосами LEO APm37, параллельно работающими на одну гидравлическую систему.....	18
Лабораторная работа №5. Испытания насосной установки с двумя последовательно работающими в системе вихревыми насосами LEO APm37.....	21
Список использованных источников.....	25
Приложение А.....	26
Приложение Б.....	29
Приложение В.....	30
Приложение Г.....	35
Приложение Д.....	37
Приложение Е.....	38

Введение

В соответствии с учебным планом образовательной программы высшего образования (ОП ВО) по направлению подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» «Насосы и насосные станции» является дисциплиной по выбору.

Целью освоения дисциплины является формирование систематизированных знаний о принципах действия и конструкциях различных типов насосов; конструктивных особенностях водозаборных и водовыпускных сооружений; зданиях насосных станций, трубопроводов и трубопроводных коммуникаций, входящих в состав гидротехнических узлов сооружений насосных станций сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения.

Задача изучения дисциплины

- получение профессиональных навыков в области эксплуатации объектов природообустройства и водопользования, являющихся основой для решения профессиональных задач.

Цель лабораторного практикума – формирование знаний о принципах действия и конструкциях различных типов насосов.

Задача лабораторного практикума – формирование профессиональных навыков эксплуатации центробежных и вихревых насосов; освоение обучаемыми способов экспериментального получения характеристик насосов.

После выполнения лабораторных работ студент должен:

- знать

возможность использования центробежных и вихревых насосов при эксплуатации объектов природообустройства и водопользования; внедрять энергоэффективные технологии подачи воды в сеть;

- уметь

пользоваться справочной, научно-технической литературой и применять знания, полученные при выполнении лабораторных работ, для выбора насосов по их основным экспериментальным характеристикам;

- владеть

навыками разработки эффективных технологий эксплуатации насосного оборудования; основными современными методами регулирования характеристик насосов.

Техника безопасности при проведении лабораторных работ

1. При выполнении лабораторной работы необходимо строго соблюдать дисциплину и четко выполнять указания преподавателей – руководителей работы.

2. Приступая к работе, нужно убедиться, что лабораторное оборудование находится в исправном состоянии (электрические приборы заземлены, нет оголенных проводов и т.д.).

3. Включать двигатели насосных агрегатов можно только с разрешения и в присутствии преподавателей – руководителей работы.

4. 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.);
- д) открывать и закрывать задвижки и краны, не предусмотренные методикой выполнения данной работы;

5. После окончания работы на стенде необходимо отключить электроэнергию, воду.

Лабораторная работа № 1

Кинематика жидкости в рабочем колесе центробежного насоса.

Определение теоретической подачи и напора центробежного насоса

Цель лабораторного занятия

Изучить конструкцию рабочего колеса центробежного насоса; определить теоретическую подачу и напор насоса, используя кинематические характеристики, полученные по параллелограмму скоростей.

План проведения занятия

1. Сообщение темы и цели занятия.
2. Проверка преподавателем теоретической подготовки студентов к занятию.
3. Инструктирование студентов по выполнению ими лабораторной работы.
4. Выполнение студентами лабораторных исследований.
5. Оформление отчета по проделанной лабораторной работе.
6. Обсуждение итогов выполненной работы.
7. Защита студентами лабораторной работы.

Используемое оборудование и материалы

Рабочие колесо закрытого типа центробежного насоса, штангенциркули, линейка, транспортир, карандаши, бумага, циркуль.

Алгоритм проведения эксперимента

1. По натурному варианту рабочего колеса центробежного насоса, имеющемуся в лаборатории, составить его эскиз на миллиметровке в масштабе 1:1. При составлении эскиза использовать информацию, приведенную в Приложении А.

2. На эскиз нанести следующие размеры рабочего колеса:

D_2 – наружный диаметр колеса, м;

d_1 – внутренний диаметр колеса;

Z – число лопастей;

δ_2 – толщину лопасти на выходе из колеса, мм;

b_2 – ширину канала на выходе из колеса, мм.

Схема типового рабочего колеса центробежного насоса с односторонним входом воды приведена на рисунке 1.1.

3. По результатам измерений и вычислений построить в масштабе параллелограммы скоростей частицы жидкости на выходе из колеса для трех значений частоты вращения вала насоса (рис.1.1).

4. Используя параллелограмм скоростей, определить скоростные составляющие частицы жидкости на выходе из колеса.

5. Вычислить теоретическое значение подачи насоса.

6. Вычислить величину теоретического напора.

9. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.1.

Алгоритм обработки экспериментальных данных

Расчетные формулы и обозначения на параллелограммах скоростей приведены ниже.

Индексом 1 обычно обозначают скорости и углы на входе в рабочее колесо, индексом 2 – на выходе из него.

Для построения параллелограмма скоростей необходимо знать:

модуль окружной скорости на выходе из рабочего колеса и ее направление;

α_2 – угол между вектором абсолютной скорости и касательной к окружности в точке схода частицы жидкости с лопасти (для спирального отвода $\alpha_2=10...15^\circ$, задаем сами из указанного диапазона);

β_2 – угол между вектором относительной скорости w и касательной к окружности в точке схода частицы жидкости с лопасти (измеряем при построении плана скоростей).

Далее достроить параллелограмм скоростей, используя его свойства как геометрической фигуры.

Окружная скорость на выходе из рабочего колеса, м/с:

$$u_2 = \frac{\pi n D_2}{60}, \quad (1.1)$$

где n – частота вращения (число оборотов колеса в 1 мин), задается преподавателем.

Вектор u_2 перпендикулярен диаметру D_2 и направлен в сторону вращения вала насоса.

Радиальная составляющая абсолютной скорости (меридиональная скорость), м/с:

$$v_{2r} = v \sin \alpha_2 \quad (1.2)$$

где v – абсолютная скорость движения частицы жидкости;

Окружная составляющая абсолютной скорости:

$$v_{2u} = v \cos \alpha_2 \quad (1.3)$$

По построенному в масштабе параллелограмму скоростей измерить все скорости, указанные в таблице 1.1., затем определить теоретическую подачу и напор центробежного насоса.

Теоретическая подача центробежного насоса, м³/с:

$$Q_T = F_2 v_{2r} = (\pi D_2) \cdot b_2 \cdot v_{2r}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (1.4)$$

где F_2 – площадь поперечного сечения потока на выходе из колеса.

Приближенная формула Эйлера для определения теоретического напора при радиальном входе потока ($\alpha_1 = 90^\circ$) в колесо:

$$H_T = \frac{U_2 \cdot v_{2u}}{g}, \text{ м}. \quad (1.5)$$

Таблица 1.1 – Результаты измерений и вычислений

D_2	v_{2u}	δ_2	b_2	α_2	β_2	n	u_2	v_2	v_{2r}	w_2	Q_T	H_T
м	м/с	м	м	град	град	Об/мин	м/с	м/с	м/с	м/с	м ³ /с	м
				15		3000						
				15		1500						
				15		900						

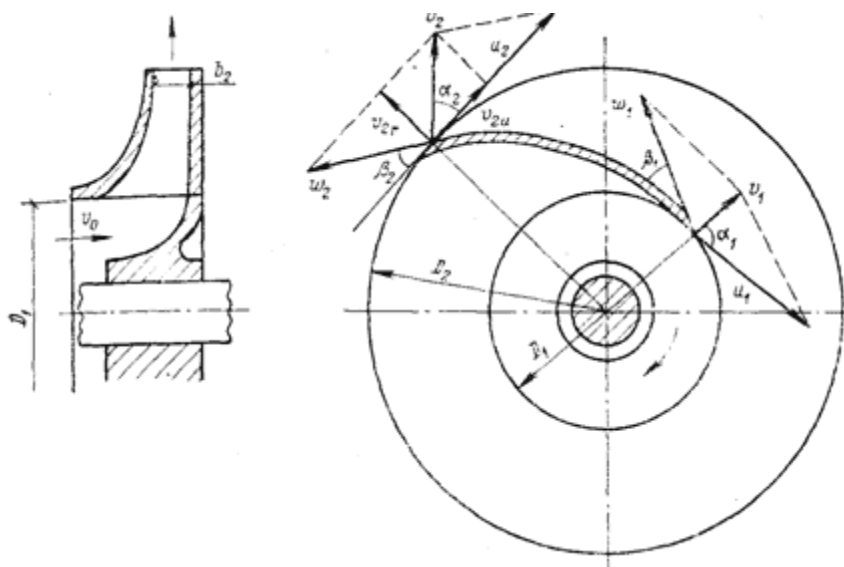


Рисунок 1.1 – Параллелограммы скоростей потока на входе в рабочее колесо центробежного насоса и на выходе из него

Сравнительный анализ результатов опыта и заключение

Для проверки правильности расчетов теоретической подачи и напора можно использовать зависимость основных параметров работы центробежного насоса от числа оборотов рабочего колеса:

напор, развиваемый насосом, изменяется пропорционально квадрату числа оборотов рабочего колеса - $\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$; (1.8)

подача насоса изменяется пропорционально числу оборотов рабочего колеса - $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$. (1.9)

Полученные по формулам (1.8 и 1.9) напоры и подачи сравнить со значениями из таблицы 1.1. Сделать заключение о точности эксперимента.

Форма отчета по лабораторному занятию

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- эскиз рабочего колеса центробежного насоса в натуральную величину;
- планы скоростей, вычерченные на эскизе рабочего колеса;
- заполненную таблицу 1.1;
- результаты сравнения напоров и подач, полученные с помощью планов скоростей, и по формулам подобия (1.8 и 1.9);
- заключение;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какое движение совершают частицы жидкости потока в колесе центробежного насоса?
2. Как называются составляющие абсолютной скорости?
3. По какой формуле можно вычислить теоретическую подачу насоса?
4. По какой формуле можно вычислить теоретический напор насоса?
5. По каким причинам действительный напор насоса меньше теоретического?

Лабораторная работа №2

Разработка гидравлической схемы испытательного стенда трубопровода с насосной подачей

Цель работы

Изучить испытательный стенд трубопровода с насосной подачей и составить его гидравлическую схему.

План проведения занятия

1. Сообщение темы и цели занятия.
2. Проверка преподавателем теоретической подготовки студентов к занятию.
3. Инструктирование студентов по выполнению ими лабораторной работы.
4. Выполнение студентами лабораторных исследований.
5. Оформление отчета по проделанной лабораторной работе.
6. Обсуждение итогов выполненной работы.
7. Защита студентами лабораторной работы.

Используемое оборудование и материалы

Испытательный стенд включает: два электронасосных агрегата с вихревыми насосами Leo AP m 37; циркуляционный контур, заполненный пресной водой; емкость для воды; запорную арматуру; трубопровод и комплектующее оборудование; контрольно-измерительные приборы (см. рисунки 2.1-2.3). Для измерения диаметров и длин трубопровода нужны штангенциркуль, линейка.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Ознакомиться с натурным испытательным стендом трубопровода с насосной подачей и установить номенклатуру приборов и устройств в системе.
2. Определить количество однотипных приборов и устройств. Всем приборам и устройствам присвоить буквенные обозначения и номера.
3. По результатам исследований заполнить таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Приборы и устройства испытательного стенда трубопровода с насосной подачей

Насосы	Расходомеры	Манометр	Вакуумметр	Вентиль	Краны	Емкость с водой	№

Алгоритм обработки опытных данных

1. В каталоге насосов Leo AP найти конструкцию насоса Leo AP m37.
 2. Технические характеристики насоса Leo AP m37 взять в Приложении Б или в каталоге.
 3. Начертить гидравлическую схему испытательного стенда с простановкой всех линейных размеров участков труб и их диаметров.
 4. Указать, какие номера кранов необходимо перекрывать, чтобы на гидравлическую сеть работал только один насос (вариантов два).
 5. Указать, какие краны необходимо перекрывать, чтобы на сеть работали параллельно подключенные оба насоса.
 6. Указать, какие краны необходимо перекрывать, чтобы на сеть работали последовательно подключенные два насоса.
 7. Определить все местные сопротивления гидравлической системы и выписать из справочника их коэффициенты местных сопротивлений.
 8. Вычертить гидравлическую схему согласно нормам ЕСКД с указанием информации об элементах схемы.
- Схему гидравлической экспериментальной установки необходимо вычертить в двух вариантах:
- Вариант 1 – схема для простановки всех линейных размеров системы;
- Вариант 2 – схема с указанием всех приборов, арматуры, насосов и фурнитуры на установке.
- На рисунке 2.4 приведен пример выполнения гидравлической схемы.



e

Рисунок 2.1 – Фронтальный вид гидравлической установки с насосами



Рисунок 2.2 – Аксонометрическая проекция гидравлической установки



Рисунок 2.3 – Емкость с водой и трубопроводами

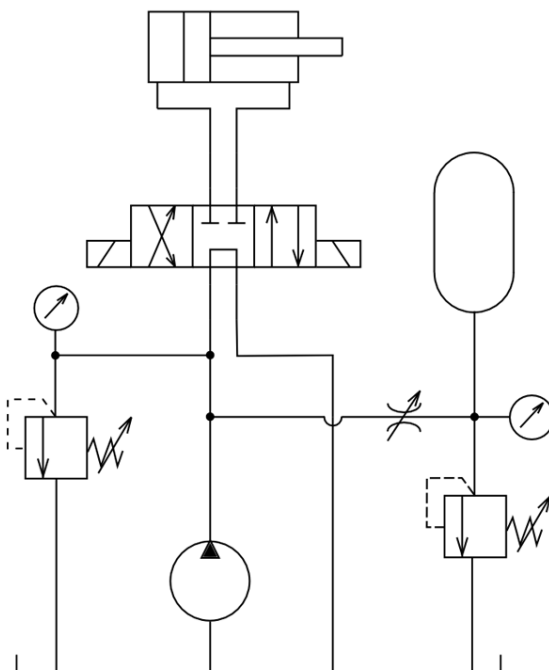


Рисунок 2.4 – Пример вычерчивания гидравлической схемы

Методические указания к составлению гидравлической схемы экспериментальной установки приведены в Приложении В.

Выводы и заключение

Два насоса в экспериментальной установке являются вихревыми. Тип насоса Leo AP m37.

По последней классификации вихревые насосы относятся к насосам трения и инерции.

В выводах перечислить всю измерительную аппаратуру и указать цену деления каждого прибора.

В заключении указать недостатки и достоинства вихревых насосов (см. Приложение Г).

Форма отчета по лабораторному занятию

Отчет по лабораторному занятию должен содержать:

- конструктивную схему вихревого насоса;
- гидравлическую схему установки с размерами;
- гидравлическую схему установки с измерительной и запорной арматурой;
- перечень местных сопротивлений и их гидравлические коэффициенты сопротивления, взятые из справочной литературы (составить таблицу);
- заполненную таблицу 2.1;
- заключение по типу гидравлической сети, по типу измерительной аппаратуры и ее назначению, по типу запорной арматуры;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Как на гидравлических схемах обозначают краны?
2. Как на гидравлических схемах обозначают насосы (общее обозначение)?
3. Обозначение манометров и расходомеров на гидравлических схемах.
4. Насосы какой марки использованы на лабораторном стенда?
5. Вид основной характеристики используемых насосов.
6. Единицы измерения величин приборов, входящих в схему экспериментальной установки.

Лабораторная работа №3
Испытание вихревого насоса LEO APm37. Экспериментальное
определение его главной технической характеристики
Цель работы

Экспериментальное определение рабочих характеристик вихревого насоса LEO APm37 по измерительным приборам установки.

План проведения занятия

1. Сообщение темы и цели занятия.
2. Проверка преподавателем теоретической подготовки студентов к занятию.
3. Инструктирование студентов по выполнению ими лабораторной работы.
4. Выполнение студентами лабораторных исследований.
5. Оформление отчета по проделанной лабораторной работе.
6. Обсуждение итогов выполненной работы.
7. Защита студентами лабораторной работы

Используемое оборудование и материалы

Лабораторная работа проводится на том же стенде трубопровода с насосной подачей, что и лабораторная работа №2.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Определить, какие краны необходимо закрыть на стенде, чтобы в системе использовался для перекачки воды только один насос.
2. Начертить полученную схему трубопровода с одним насосом и открытыми кранами.
3. Включить электропитание стенда и снять начальные показания ваттметра, амперметра, тахометра.
4. Полностью открыть вентиль системы для пропуска максимального расхода воды.
5. Снять показания вакуумметра, установленного перед насосом во всасывающей ветви трубопровода.
6. Снять показания манометра, установленного за насосом в напорной ветви трубопровода.
7. По секундомеру определить время, за которое через расходомер пройдет объем воды $W = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.
8. Снять показания со стенда электропитания.

9. Выполнить пункты задания с 5-го по 11-й еще пять раз для других величин расходов, пропускаемых через трубопровод. Расходы регулировать вентилем системы в сторону уменьшения.

10. Результаты измерений записать в таблицу 3.1.

11. Получить начальную точку графической характеристики насоса при $Q=0$ (общий вентиль подачи воды закрыт) при закрытой задвижке на напорном трубопроводе. Снять показания манометра и вакуумметра.

Алгоритм обработки экспериментальных данных

1. Определить объемный расход воды

Объемный расход жидкости:

$$Q = \frac{W}{\tau}, \quad (3.1)$$

где W – объем воды, м^3 ; τ – время, с.

2. По показаниям приборов определить манометрический напор насоса

Манометрический напор по показаниям приборов:

$$H_{\text{ман}} = \frac{P_M + P_B}{\rho g} + (Z_M - Z_B), \quad (3.2)$$

где P_M и P_B – показания манометра и вакуумметра соответственно;

Z_M – расстояние от оси насоса до места установки манометра по высоте;

Z_B – расстояние от оси насоса до места установки вакуумметра по высоте.

3. Определить полезную мощность насоса

Полезная мощность насоса:

$$N_{\text{п}} = \rho g \cdot Q \cdot H, \quad (3.3)$$

где ρ – плотность воды;

g – ускорение свободного падения.

4. Мощность, потребляемая насосом от электродвигателя, и коэффициент полезного действия насоса

Мощность, потребляемая насосом от электродвигателя:

$$N = \eta_{\text{эд}} \cdot N_{\text{эд}}, \quad N_{\text{эд}} = I \cdot U, \quad (3.4)$$

где I – сила тока, а; U – напряжение, в; $\eta_{\text{эд}}$ – КПД электродвигателя (принять постоянным $\eta_{\text{эд}} = 0,8$).

Коэффициент полезного действия КПД насоса:

$$\eta_{\text{эд}} = N_{\text{п}}/N.$$

В Приложении Б приведены из каталога графические характеристики вихревых насосов серии АРм. Главная характеристика насоса – зависимость манометрического напора от подачи: $H_M = f(Q)$.

Таблица 3.1 – Опытные данные и результаты обработки эксперимента

№	Pв,Мпа	Pм,Мпа	W,м ³	τ, с	Q,м ³ /с	Q, м ³ /ч	Hман	U,в	I,а	N,кВт	Nп,кВт
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Сравнительный анализ результатов эксперимента

Нанести экспериментальные точки на паспортную характеристику насоса LEO APm37: $H_{ман} = f_1(Q)$.

Сравнить экспериментальные характеристики с паспортными, приведенными в каталоге или в Приложении Б. Вычислить относительные погрешности для двух точек: $H_{ман} = f(Q = 0)$ и $H_{ман} = f(Q = Q_{max})$.

Выводы и заключение

Полученные опытные данные считаются удовлетворительными, если относительная погрешность меньше 12%. Если больше, то необходимо выполнить дополнительные замеры.

В заключении следует отметить форму главной характеристики вихревого насоса и область применения вихревых насосов.

Вихревой насос LEO APm37 - предназначен для перекачивания или подачи воды из водоёмов, скважин, накопительных резервуаров. Как правило, он используется там, где необходимо обеспечить значительный напор при малых объёмах. Перекачиваемая жидкость не должна содержать механических примесей. Насосы данного типа устанавливаются в системах автоматического водоснабжения, применяются в оросительных комплексах для сельского хозяйства. В химической промышленности они используются для подачи различных жидкостей, в том числе агрессивных, легколетучих, насыщенных газом.

Материалы, используемые для конструктивных элементов насосов:

- корпус насоса - сталь, чугун, пластик
- рабочее колесо изготовлено из высокопрочного износостойкого материала NORYL

- вал: нержавеющая сталь
- класс изоляции: В.
- класс защиты: IP 44.

Форма отчета по лабораторному занятию

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- схему трубопровода с насосной подачей с обозначением всех используемых приборов при проведении опытов;
- заполненную таблицу 3.1;
- рисунок графических характеристик насосов серии APm с нанесенными на него экспериментальными точками;
- определение точности экспериментальных данных по двум вышеуказанным точкам для насоса APm37;
- заключение;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какими приборами и устройствами оборудован стенд для определения подачи насоса?
2. Как в работе определяется манометрический напор, создаваемый насосом?
3. Какие требования предъявляются к жидкостям, перекачиваемым вихревыми насосам?
4. От каких параметров зависит полезная мощность насоса?
5. Какие рабочие характеристики насосов вы знаете?

Лабораторная работа №4
Испытания насосной установки с двумя одинаковыми вихревыми
насосами LEO APm37, параллельно работающими на одну
гидравлическую систему
Цель работы

Получить навыки составления на испытательном стенде гидравлической системы при параллельной работе двух одинаковых насосов на один трубопровод; определить экспериментально суммарную характеристику насосов и каждого насоса отдельно.

План проведения занятия

1. Сообщение темы и цели занятия.
2. Проверка преподавателем теоретической подготовки студентов к занятию.
3. Инструктирование студентов по выполнению ими лабораторной работы.
4. Выполнение студентами лабораторных исследований.
5. Оформление отчета по проделанной лабораторной работе.
6. Обсуждение итогов выполненной работы.
7. Защита студентами лабораторной работы

Используемое оборудование и материалы

Лабораторная работа проводится на том же стенде трубопровода с насосной подачей, что и лабораторная работа №3.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Начертить гидравлическую схему испытательного стенда трубопровода с насосной подачей, разработанную в лабораторной работе №2.
2. Определить, какие клапаны необходимо закрыть на стенде, чтобы два насоса работали параллельно на один трубопровод.
3. Выполнить построение суммарной характеристики $H-Q$ двух одинаковых насосов, включенных в гидравлическую систему параллельно по паспортным данным насосов. Пример построения суммарной характеристики приведен в Приложении Д.
4. Включить электропитание стенда и снять начальные показания ваттметра, амперметра, тахометра.
5. Полностью открыть вентиль системы для пропускания максимального расхода воды Q_{max} .
6. Снять показания вакуумметра, установленного перед насосами во всасывающей ветви трубопровода.

7. Снять показания манометра, установленного за насосами в общей напорной ветви трубопровода, и показания манометров в напорных ветвях каждого насоса.

8. По секундомеру определить время, за которое через расходомеры пройдут объемы воды $W = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

9. Начальную точку суммарной графической характеристики насосов определить при расходе $Q=0$ по показаниям манометра, установленного на общем трубопроводе, при закрытой задвижке на нем.

10. Результаты измерений записать в таблицу 4.1.

Алгоритм обработки экспериментальных данных

1. Определить объемный расход воды в магистральной общей трубе и в трубопроводах каждого из насосов

Объемный расход жидкости:

$$Q = \frac{W}{\tau}, \quad (4.1)$$

где W – объем воды, м^3 ; τ – время, с.

2. По показаниям приборов определить манометрический (полный) напор насосов для двух точек общего трубопровода ($H_{\text{ман}} = f(Q = 0)$ и $H_{\text{ман}} = f(Q = Q_{\text{max}})$) и каждого насоса отдельно.

Манометрический напор по показаниям приборов:

$$H_{\text{ман}} = \frac{P_M + P_B}{\rho g} + (Z_M - Z_B), \quad (4.2)$$

где P_M и P_B – показания манометра и вакуумметра соответственно;

Z_M – расстояние от оси насоса до места установки манометра по высоте;

Z_B – расстояние от оси насоса до места установки вакуумметра по высоте.

3. Определить полезную мощность насоса и мощность, потребляемую насосом от электродвигателя, и коэффициент полезного действия насоса

Полезная мощность насоса:

$$N_{\text{п}} = \rho g \cdot Q \cdot H, \quad (4.3)$$

где ρ – плотность воды;

g – ускорение свободного падения.

Мощность, потребляемая насосом от электродвигателя:

$$N = \eta_{\text{эд}} \cdot N_{\text{эд}}, \quad N_{\text{эд}} = I \cdot U, \quad (4.4)$$

где I – сила тока, а; U – напряжение, в; $\eta_{\text{эд}}$ – КПД электродвигателя (принять постоянным $\eta_{\text{эд}} = 0,8$).

Коэффициент полезного действия КПД насоса:

$$\eta_{\text{эд}} = N_{\text{п}}/N. \quad (4.5)$$

Таблица 4.1 – Опытные данные и результаты обработки эксперимента

№	Рв,Мпа	Рм,Мпа	W,м ³	τ, с	Q,м ³ /с	Q, м ³ /ч	Нман	U,в	I,а	N,кВт	Нп,кВт
1											
2											
3											
4											
5											
6											

Сравнительный анализ результатов эксперимента

Нанести опытные точки на характеристики параллельной работы двух одинаковых вихревых насосов, построенных в п.3.

Вычислить относительные погрешности для двух точек суммарной характеристики: $H_{ман} = f(Q = 0)$ и $H_{ман} = f(Q = Q_{max})$.

Выводы и заключение

Полученные опытные данные считаются удовлетворительными, если относительная погрешность меньше 12%. Если больше, то необходимо выполнить дополнительные замеры.

Форма отчета по лабораторному занятию

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- гидравлическую схему трубопровода с двумя подключенными параллельно насосами с указанием открытых запорных кранов и измерительной аппаратурой;
- построенную суммарную характеристику $H_{ман} - Q$ параллельно работающих насосов с нанесенными на нее опытными точками;
- заполненную таблицу 4.1;
- расчеты относительных погрешностей по двум контрольным точкам;
- выводы и заключение по работе гидравлического стенда;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назвать номера манометров и расходомеров, по которым снимаются показания при параллельной работе насосов на сеть.
2. Как можно регулировать подачу в системе с двумя параллельно работающими насосами?
3. Какие требования предъявляются к жидкостям, перекачиваемым вихревыми насосам?

4. Как влияет частота вращения вала насоса на подачу насоса?
5. По какой причине может быть прекращена подача перекачиваемой жидкости?
6. С какой целью используют параллельную работу насосов на сеть? Какая характеристика насосов увеличивается?

Лабораторная работа №5

Испытания насосной установки с двумя последовательно работающими в системе вихревыми насосами LEO APm37

Цель работы

Получить навыки составления гидравлической системы при последовательной работе двух одинаковых насосов на один трубопровод и определить экспериментально суммарную характеристику насосов, работающих последовательно.

План проведения занятия

1. Сообщение темы и цели занятия.
2. Проверка преподавателем теоретической подготовки студентов к занятию.
3. Инструктирование студентов по выполнению ими лабораторной работы.
4. Выполнение студентами лабораторных исследований.
5. Оформление отчета по проделанной лабораторной работе.
6. Обсуждение итогов выполненной работы.
7. Защита студентами лабораторной работы

Используемое оборудование и материалы

Лабораторная работа проводится на том же стенде трубопровода с насосной подачей, что и лабораторная работа №2.

Алгоритм проведения эксперимента

1. Начертить принципиальную схему испытательного стенда трубопровода с насосной подачей, разработанную в лабораторной работе №2.
2. Определить, какие клапаны необходимо закрыть на стенде, чтобы два насоса работали последовательно на одну систему.
3. Выполнить построение суммарной характеристики $H-Q$ двух одинаковых насосов, включенных в гидравлическую систему последовательно по паспортным данным насосов. Пример построения суммарной характеристики приведен в Приложении Е.
4. Включить электропитание стенда и снять начальные показания ваттметра, амперметра, тахометра.

5. Полностью открыть вентиль системы для пропуска максимального расхода воды.
6. Снять показания вакуумметра, установленного перед первым насосом во всасывающей ветви трубопровода.
7. Снять показания манометра, установленного за насосом в общей напорной ветви трубопровода.
8. По секундомеру определить время, за которое через расходомер пройдет объем воды $W = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.
9. Снять показания со стенда электропитания.
10. Выполнить пункты задания с 5-ого по 11-ый еще пять раз для других величин расходов, пропускаемых через трубопровод. Расходы регулировать вентилем системы в сторону уменьшения.
11. Результаты измерений записать в таблицу 5.1.
12. Начальную точку суммарной графической характеристики насосов определить при расходе $Q=0$ по показаниям манометра, установленного на общем трубопроводе, при закрытой задвижке на нем.

Алгоритм обработки экспериментальных данных

1. Определить объемный расход воды

Объемный расход жидкости:

$$Q = \frac{W}{\tau}, \quad (4.1)$$

где W – объем воды, м^3 ; τ – время, с.

2. По показаниям приборов определить манометрический (полный) напор насосов для двух точек общего трубопровода ($H_{\text{ман}} = f(Q = 0)$ и $H_{\text{ман}} = f(Q = Q_{\text{max}})$) и каждого насоса отдельно.

Манометрический напор по показаниям приборов:

$$H_{\text{ман}} = \frac{P_M + P_B}{\rho g} + (Z_M - Z_B), \quad (4.2)$$

где P_M и P_B – показания манометра и вакуумметра соответственно;

Z_M – расстояние от оси насоса до места установки манометра по высоте;

Z_B – расстояние от оси насоса до места установки вакуумметра по высоте.

3. Определить полезную мощность насоса и мощность, потребляемую насосом от электродвигателя, и коэффициент полезного действия насоса

Полезная мощность насоса:

$$N_{\text{п}} = \rho g \cdot Q \cdot H, \quad (4.3)$$

где ρ – плотность воды;

g – ускорение свободного падения.

Мощность, потребляемая насосом от электродвигателя:

$$N = \eta_{\text{эд}} \cdot N_{\text{эд}}, \quad N_{\text{эд}} = I \cdot U, \quad (4.4)$$

где I – сила тока, а; U – напряжение, в; $\eta_{эд}$ – кпд электродвигателя (принять постоянным $\eta_{эд} = 0,8$).

Коэффициент полезного действия КПД насоса:

$$\eta_{эд} = N_{п}/N. \quad (4.5)$$

Таблица 5.1 – Опытные данные и результаты обработки эксперимента

№	$P_{в}, \text{Мпа}$	$P_{м}, \text{Мпа}$	$W, \text{м}^3$	$\tau, \text{с}$	$Q, \text{м}^3/\text{с}$	$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	$H_{ман}$	$U, \text{в}$	$I, \text{а}$	$N, \text{кВт}$	$N_{п}, \text{кВт}$
1											
2											
3											
4											
5											
6											

4. Построить на одном рисунке графические характеристики насоса LEO APm37, суммарную экспериментальную характеристику двух последовательно включенных насосов: $H_{ман} = f_1(Q), N = f_2(Q), \eta = f_3(Q)$. На этом же рисунке точками показать опытные данные.

Сравнительный анализ результатов эксперимента

По опытным точкам на характеристике последовательной работы двух одинаковых вихревых насосов вычислить относительные погрешности для двух точек суммарной характеристики: $H_{ман} = f(Q = 0)$ и $H_{ман} = f(Q = Q_{max})$.

Выводы и заключение

Полученные опытные данные считаются удовлетворительными, если относительная погрешность меньше 12%. Если больше, то необходимо выполнить дополнительные замеры.

Форма отчета по лабораторному занятию

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- гидравлическую схему трубопровода с двумя подключенными последовательно насосами с указанием открытых запорных кранов и измерительную аппаратуру;
- построенную суммарную характеристику $H_{ман} - Q$ последовательно работающих насосов с нанесенными на нее опытными точками;
- заполненную таблицу 5.1;
- расчеты относительных погрешностей по двум контрольным точкам;

- выводы и заключение по работе гидравлического стенда;
- ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Назвать номера манометров и расходомеров, по которым снимаются показания при последовательной работе насосов на сеть.
2. Как можно регулировать напор в системе с двумя последовательно работающими насосами?
3. Какие требования предъявляются к жидкостям, перекачиваемым вихревыми насосам?
4. В каком случае насосы включаются последовательно в систему?
5. По какой причине может быть прекращена подача перекачиваемой жидкости?

Список использованных источников

1. ГОСТ 2.782-96. Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации. Обозначения условные графические. Машины гидравлические и пневматические (введен в действие Постановлением Госстандарта РФ от 07.04.1997 N 123) (с изменениями и дополнениями). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
2. ГОСТ 10428-89. Государственный стандарт Союза ССР. Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Основные параметры и размеры. (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 15.06.1989 N 1622) (с изменениями и дополнениями). – Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
3. ГОСТ 10392-89. Государственный стандарт Союза ССР. Насосы вихревые и центробежно-вихревые. Типы и основные параметры. (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 22.02.1989 N 298) (с изменениями и дополнениями). - Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс. – Текст: электронный.
4. Афанасьев, В.В. Лабораторный практикум по дисциплинам «Насосы и насосные станции», «Гидравлика и гидропривод», «Гидравлика и гидропневмопривод»/: для студентов специальности 280302.65-Комплексное использование и охрана вод. ресурсов / В.В. Афанасьев; Калининград. гос. техн. ун-т. – Калининград: КГТУ, 2007.- 66 с.
5. Дячек, П.И. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. пособие / П.И. Дячек. – Москва: АСВ, 2011. – 432 с.

Приложение А

Основные детали центробежного насоса и их назначение

К основным деталям центробежных насосов относятся рабочее колесо, направляющий аппарат, корпус насоса, вал, подшипники и сальники.

Рабочее колесо – важная деталь насоса. Оно предназначено для передачи энергии от вращающегося вала насоса жидкости. Существуют рабочие колеса с односторонним и двусторонним входом воды, открытые и закрытые. На рисунке ПА.1 изображено колесо закрытого типа с односторонним входом воды. Очертания и размеры внутренней части колеса определяются гидродинамическим расчетом.

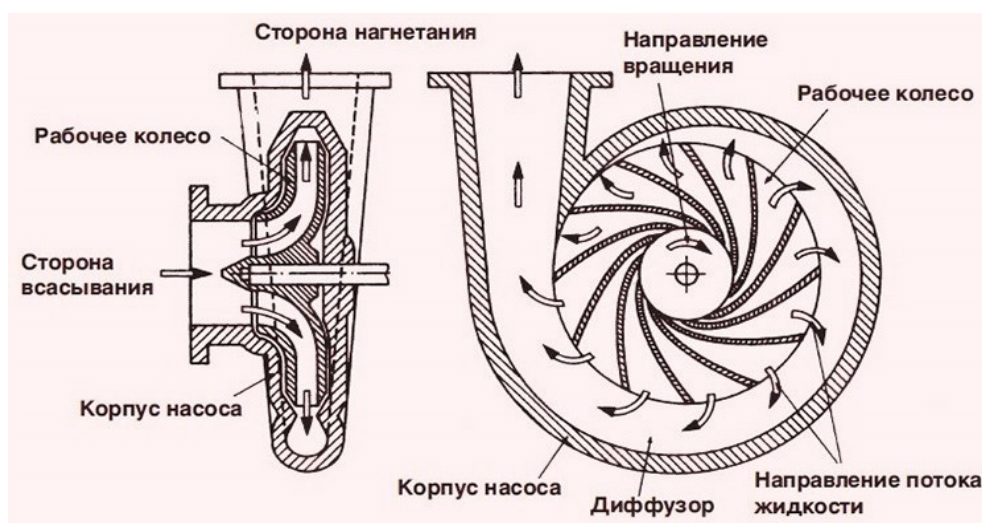


Рисунок ПА.1 - Схема движения жидкости в рабочем колесе центробежного насоса

Корпус насоса объединяет узлы и детали, предназначенные для подвода жидкости к рабочему колесу и отвода ее в напорный трубопровод (рисунок ПА.2). На корпусе насоса монтируют подшипники, сальники и другие детали насоса.

Корпус сделан в форме спирали с уменьшающимся радиусом, похожим на раковину улитки. Полость этого корпуса не остается одной и той же везде. Площадь проходного сечения увеличивается при приближении к напорному патрубку.



Рисунок ПА.2 – Корпус насоса

Направляющий аппарат (рисунок ПА.3) представляет собой два кольцевых диска, между которыми размещены направляющие лопасти, изогнутые в сторону, противоположную направлению изгиба лопастей рабочего колеса.

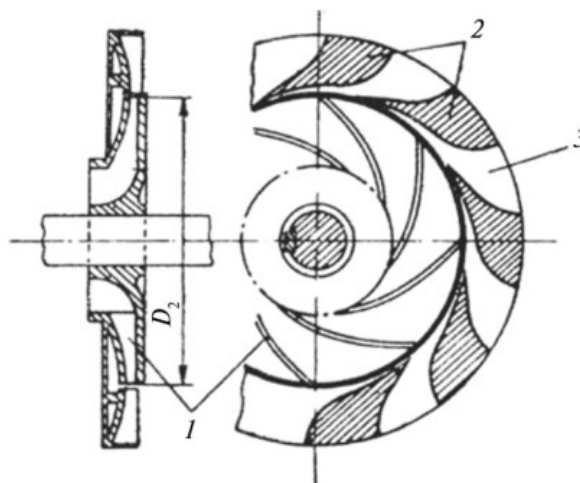


Рисунок ПА.3 – Рабочее колесо с направляющим аппаратом
 1 – лопасти рабочего колеса; 2 – лопасти направляющего аппарата;
 3 – каналы направляющего аппарата

Сальники служат для уплотнения отверстий в корпусе насоса, через которые проходит вал. Сальник, расположенный со стороны нагнетания, должен предотвращать утечку воды из насоса, а сальник со стороны всасывания – предупреждать поступление воздуха в насос.

Жидкость подводится к рабочему колесу центробежного насоса в направлении оси вала со скоростью v_0 . В рабочем колесе направление струй

жидкости изменяется от осевого до радиального, перпендикулярного оси вала (рисунок 1.1 и ПА.1). В каналы рабочего колеса (т.е. в пространство между лопастями) жидкость поступает со скоростью v_1 . В каналах эта скорость увеличивается и на выходе из колеса достигает значения v_2 .

Перемещаясь по каналу рабочего колеса, частицы жидкости совершают сложное движение: вращательное - вместе с колесом с окружной скоростью u и поступательное – относительно поверхности лопасти со скоростью w . Относительная скорость w направлена по касательной к поверхности лопасти в данной точке, а окружная скорость u – по касательной к окружности, на которой лежит эта точка.

Абсолютная скорость движения жидкости равна геометрической сумме ее составляющих:

$$\vec{v} = \vec{w} + \vec{u} \quad (\text{ПА.1})$$

Действительный напор, развиваемый насосом, меньше теоретического, так как реальные условия работы насоса отличаются от идеальных. Напор, развиваемый насосом, уменьшается главным образом из-за того, что при конечном числе лопастей рабочего колеса не все частицы жидкости отклоняются равномерно от лопасти, а это уменьшает абсолютную скорость. Кроме того, часть напора расходуется на преодоление гидравлических сопротивлений. Действительный напор можно определить по формуле:

$$H = k\eta_r \cdot \frac{U_2 \cdot v_{2u}}{g}, \quad (\text{ПА.2})$$

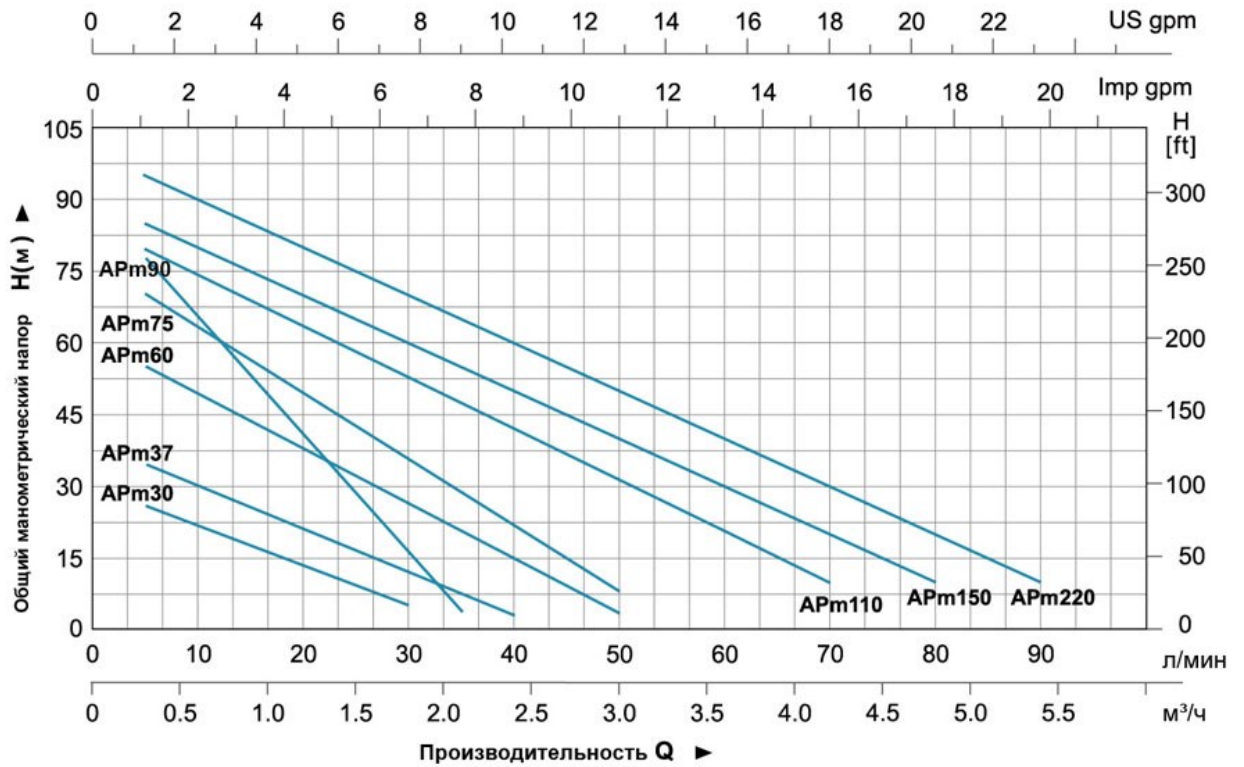
где k - коэффициент, учитывающий число лопастей в колесе,

η_r – гидравлический коэффициент полезного действия.

η_r находится в пределах 0,8-0,95, а $k = 0,75-0,9$ при числе лопастей от 6 до 10.

Приложение Б

Графические характеристики вихревых насосов серии APm



Приложение В

Методические указания к составлению гидравлической схемы стенда

Гидравлическая схема представляет собой элемент технической документации, на котором с помощью условных обозначений показана информация об элементах гидравлической системы и взаимосвязи между ними. Согласно нормам ЕСКД гидравлические схемы обозначаются в шифре основной надписи литерой «Г».

На гидравлической схеме условно показывают элементы, которые связаны между собой трубопроводами - обозначенными линиями. Чтобы правильно читать гидравлическую схему нужно знать, как обозначается тот или иной элемент на схеме. Условные обозначения элементов указаны в ГОСТ 2.781-96.

Основным элементом любой схемы являются линии разных типов. Чаще всего встречаются сплошные черные линии, которые называют основными или базовыми. Данный тип линии используют при начертании основных символов, а также для обозначения напорных (высокого давления), сливных (низкого давления) и всасывающих магистралей.

Особое внимание следует обращать на пересечения и соединения линий:

1) - не все скрещенные линии являются соединением (отличительной особенностью соединения является точка на пересечении);

2) - не все пересекающиеся линии на схеме пересекаются в реальной гидросистеме.

Пересечение линий



Соединение линий



Кроме трубопроводов основная линия задействована в начертании фигур основных компонентов гидравлических схем. Наиболее распространены три фигуры: круг, квадрат и ромб. В основе графического изображения гидромотора, гидронасоса, а также измерительных приборов лежит круг. Квадрат распространен в начертании клапанов и распределителей. Ромб используют для фильтров и теплообменников.

В гидравлике наиболее часто используются следующие **измерительные приборы**: манометр, расходомер, указатель уровня. Обозначение этих приборов показано ниже:



Манометр



Указатель уровня



Расходомер

Кран на схеме изображается следующим образом:



Для обозначения ручного управления на кране схематично изображают ручку:



Трубопровод испытательного стенда содержит большое количество тройников. Примеры обозначения тройников приведены в таблице ПБ.1

Таблица ПБ.1 – Обозначения тройников на гидравлической схеме в зависимости от способа соединения с другими элементами трубопровода

Способ соединения			
резьбовой			
муфтовый	штуцерный	фланцевый	эластичный

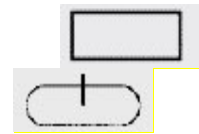
Другие детали соединений, а также компенсаторы и вставки следует обозначать по аналогии с примерами обозначения тройника.

Обозначение емкостей:

1 – бак открытого типа (атмосферное давление)

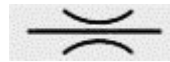


2 - бак с избыточным давлением (закрытого типа)

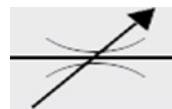


Обозначение дросселей:

1 – дроссель нерегулируемый

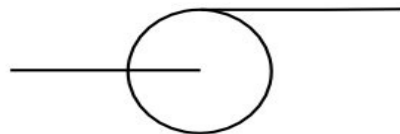


2 – дроссель регулируемый

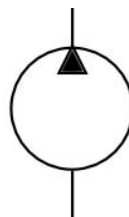


Обозначение насосов

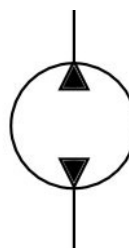
Центробежные насосы, обычно изображают в виде окружности, в центр которой подведена линия всасывания, а к периметру окружности линия нагнетания:



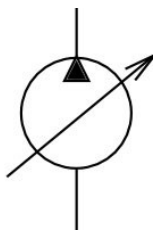
Объемные (шестеренные, поршневые, пластинчатые и т.д) насосы обозначают окружностью с треугольником-стрелкой, обозначающей направление потока жидкости. Это же обозначение является и общим обозначением насоса:



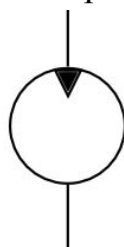
Если на насосе показаны две стрелки, значит этот агрегат обратимый и может качать жидкость в обоих направлениях.



Если обозначение перечеркнуто стрелкой, значит насос регулируемый, например, может изменяться объем рабочей камеры.



Обозначение гидромотора похоже на обозначение насоса, только треугольник-стрелка развернуты. В данном случае стрелка показывает направление подвода жидкости в гидромотор.



Один и тот же насос может работать в различных гидравлических сетях, как показано на рисунке ПБ.1

На схеме “а” насос поднимает жидкость на высоту h ; на схеме “б” перемещает жидкость по горизонтальному трубопроводу; на схеме “в” поднимает жидкость в цилиндр, на поршень которого действует сила R ; на схеме “г” перемещает жидкость в закрытый резервуар, расположенный ниже оси насоса с избыточным давлением на свободной поверхности.

Установить тип гидравлической схемы, используемой на испытательном стенде.

На фотографиях (см. 2.1, 2.2 лабораторная работа №2) показана гидравлическая установка испытательного стенда с двумя одинаковыми насосами, измерительной аппаратурой, различными фитингами и запорной арматурой.

Емкость с водой приведена на фотографии 2.3. По натурной испытательной установке и фотографиям определить, какой трубопровод является всасывающим, а какой напорным. Обозначить их.

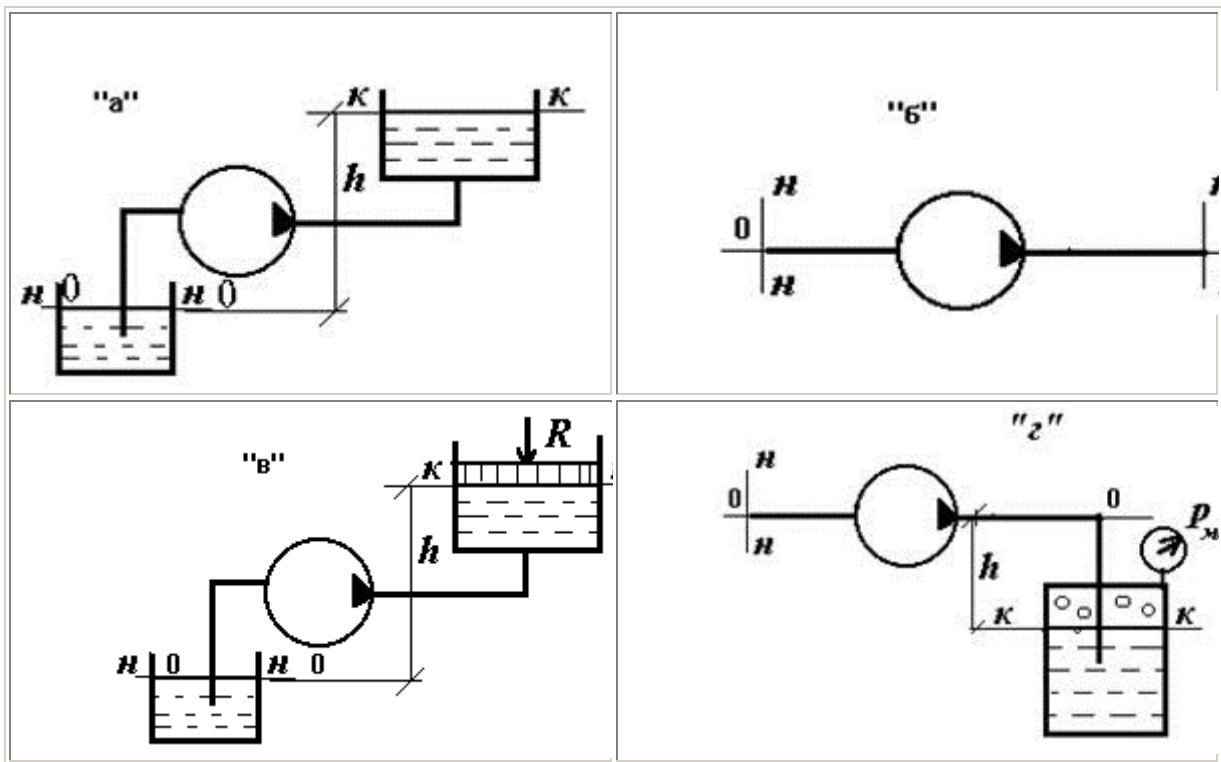


Рисунок ПБ.1 - Иллюстрация включения насоса в различные гидравлические сети

Приложение Г

Принцип работы вихревых насосов

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

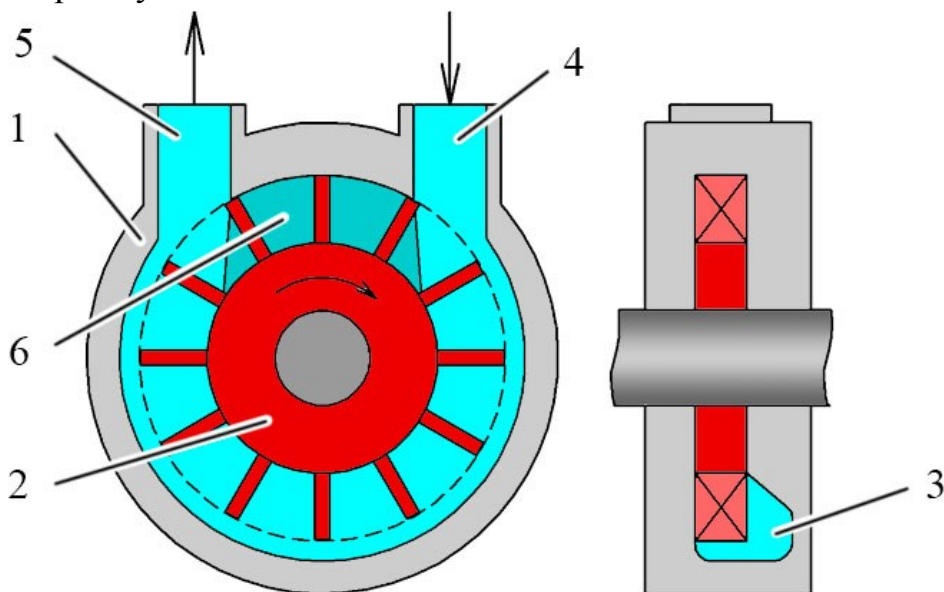


Рисунок ПГ.1 – Схема устройства вихревого насоса

Принцип действия вихревых насосов подобно центробежным основан на использовании центробежной силы, возникающей при вращении рабочего колеса. Однако в их работе имеются и некоторые особенности. При вращении рабочего колеса насоса некоторый объем жидкости из всасывающего трубопровода поступает в пазы рабочего колеса и движется от периферии к центру, то есть иначе, чем в центробежных насосах. Затем этот объем жидкости под воздействием центробежной силы начинает двигаться вдоль лопатки, от центра к периферии насоса, и, получив скоростную энергию, отбрасывается в отливной канал. В канале скоростная энергия объема жидкости переходит в энергию давления. Под действием давления и подсосывающего действия лопаток колеса этот объем жидкости снова попадает на лопатки, и цикл повторяется. Таким образом, за полный оборот рабочего колеса указанный цикл повторяется многократно, причем каждый раз происходит приращение энергии

и, следовательно, напора. Благодаря этому вихревой насос развивает напор в 2-4 раза больший, чем центробежный насос с таким же диаметром рабочего колеса.

Недостатки этих насосов: сравнительно невысокий кпд (20-50 %) и быстрый износ зазора при подъеме воды, содержащей песок. Поскольку минимальный зазор между рабочим колесом и корпусом не должен превышать 0,15-0,2 мм, вихревые насосы предназначены для перекачки жидкостей, не содержащих абразивных примесей.

Вихревые насосы выпускаются производительностью от 1 до 37 м³/ч с напором от 14 до 190 метров в соответствии с ГОСТ 10392-89 «Насосы вихревые и центробежно-вихревые. Типы и основные параметры.» Центробежно-вихревые насосы являются комбинированными: в одном корпусе размещаются колеса центробежного и вихревого типов. Эти насосы отличаются лучшим кпд.

Приложение Д

Построение суммарной характеристики Н-Q двух одинаковых насосов, включенных в гидравлическую систему параллельно

Параллельной называют совместную одновременную работу нескольких насосов на один общий напорный водовод или на одну общую систему.

Для того чтобы построить суммарную характеристику двух одинаковых насосов АР m37 при параллельной работе, необходимо удвоить абсциссы кривой Q-H одного насоса при одинаковых ординатах (напорах).

Построение суммарной характеристики Н-Q двух одинаковых параллельно включенных в систему насосов показано на примере центробежных (рисунок ПД.1). Проводим ряд прямых, параллельных горизонтальной оси Q и пересекающих напорную характеристику одного насоса. На этой прямой откладываем отрезок $A_{1,2}A = H_{1,2}$ $A_{1,2}$ и ставим точку А. Точка А принадлежит суммарной характеристике двух насосов. Аналогично строят остальные точки суммарной характеристики. С помощью параллельного включения насосов в систему можно увеличить подачу Q без изменения напора в системе. Параллельное включение насосов и отключение одного из них позволяет ступенчато регулировать подачу в системе при максимальном и минимальном водопотреблении.

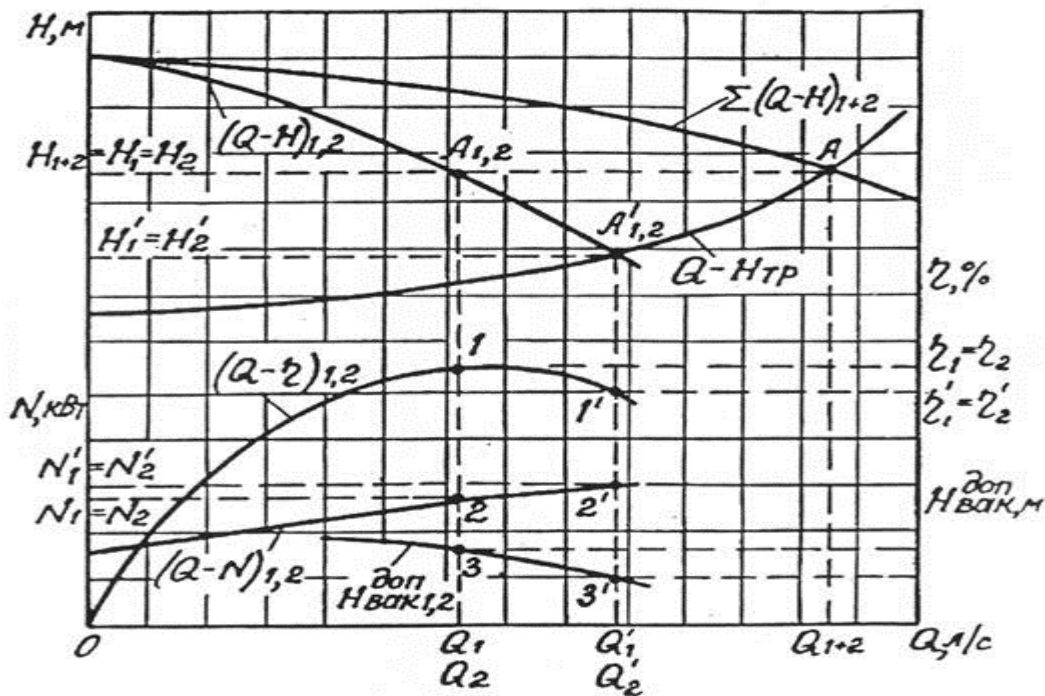


Рисунок ПД.1- Построение суммарной характеристики Н-Q двух одинаковых насосов, включенных в гидравлическую систему параллельно

В Приложении Б приведены из каталога графические характеристики вихревых насосов серии АРm.

Приложение Е

Построение суммарной характеристики Н-Q двух одинаковых насосов, включенных в гидравлическую систему последовательно

Последовательной называют совместную работу насосов, когда один насос подает жидкость во всасывающий патрубок другого, который подает ее далее в напорную систему.

Насосы включают в одну систему последовательно в тех случаях, когда напор, развиваемый одним насосом, недостаточен для подачи жидкости на заданную высоту, или в тех случаях, когда последовательное включение насосов позволяет обеспечить подачу расчетного расхода при заданной характеристике системы.

Для построения суммарной характеристики последовательно работающих насосов необходимо сложить ординаты характеристик Q-H этих насосов при одной и той же подаче, так как напор, развиваемый последовательно работающими насосами, равен сумме напоров каждого из этих насосов. В случае последовательной работы двух насосов с одинаковыми характеристиками ординаты (при данной подаче) удваиваются.

На рисунке ПЕ.1 показано построение суммарной графической характеристики двух одинаковых последовательно включенных в систему насосов. Отрезок $Q_{1+2}A_{1,2} = A_{1,2}A$. Точка А принадлежит суммарной характеристике двух насосов. При последовательном включении насосов подача остается прежней, а напор увеличивается. При последовательной работе насосов необходимо отслеживать прочность второго в цепочке подачи насоса. Последовательная работа насосов по времени не должна быть продолжительной.

В Приложении Б приведены из каталога графические характеристики вихревых насосов серии АРm.

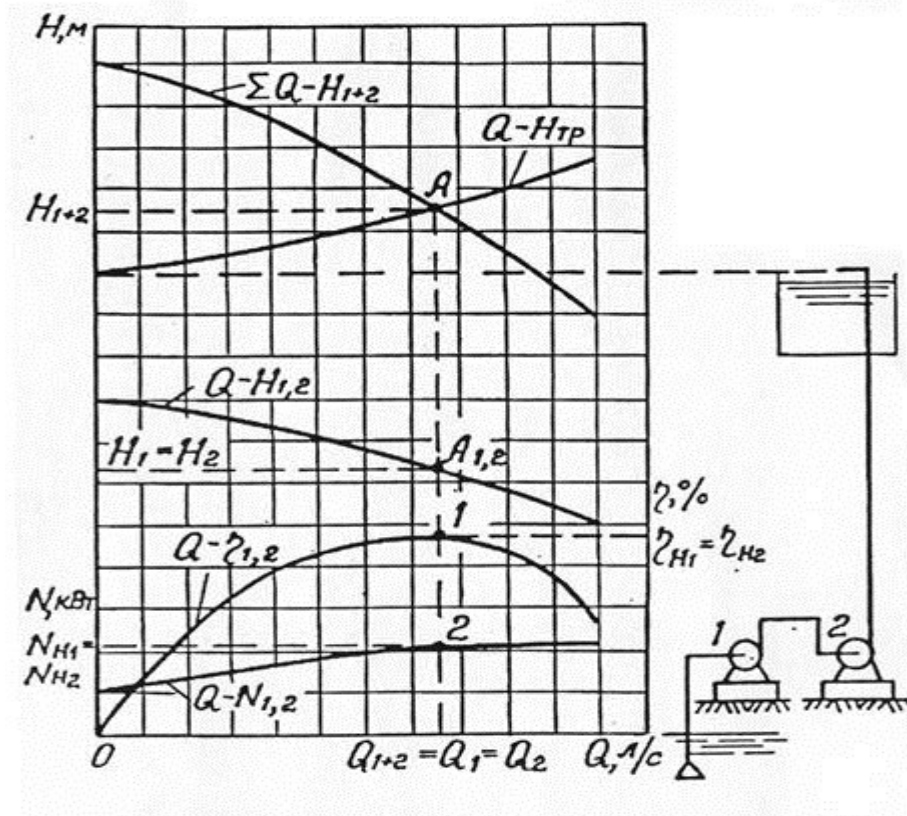


Рисунок ПЕ.1 – Построение суммарной характеристики H-Q последовательно включенных в систему двух одинаковых центробежных насосов

Локальный электронный методический материал

Алла Владимировна Кикот

НАСОСЫ И НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 2,7. Печ. л. 2,5.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1