

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра транспортно-технологических процессов
и машин**

ГИДРАВЛИКА

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

УДК 656(073)

ГИДРАВЛИКА: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *С.Л. Сержан, Р.Б. Кускильдин*. СПб, 2020. 35 с.

Приведены методические указания для выполнения лабораторных работ по гидравлике, выполняемые на стационарных стендах. Для каждой лабораторной работы даны описания установок, основные расчетные формулы, порядок выполнения и обработки полученных данных.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», специализаций «Горные машины и оборудование» и «Транспортные системы горных предприятий».

Научный редактор проф. *В.И. Александров*

Рецензент канд. техн. наук *В.П. Пироженко* (Научно-производственная компания «Провита»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

ГИДРАВЛИКА

***Методические указания к лабораторным работам
для студентов специальности 21.05.04***

Сост. *С.Л. Сержан, Р.Б. Кускильдин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
транспортно-технологических процессов и машин

Ответственный за выпуск *С.Л. Сержан*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 30.06.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 2,1. Усл.кр.-отт. 2,1. Уч.-изд.л. 1,9. Тираж 50 экз. Заказ 488.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

Введение

Цель предлагаемых лабораторных работ - изучить проявления основных законов гидравлики, ознакомиться на практике с характеристиками гидравлических машин, встречающихся в горном производстве, а также получить элементарные навыки по экспериментальному изучению гидравлических процессов, включая знакомство с основными измерительными приборами и способами обработки экспериментальных данных.

Количество работ, выполняемых студентами различных специальностей, определяется соответствующей образовательной программой, и доводится до сведения студентов руководителем лабораторных работ.

До начала работы студент должен усвоить её содержание, ознакомиться с описанием лабораторной установки и понять физические процессы, происходящие в ней, а также заготовить бланк отчёта, в котором должны быть приведены: схема лабораторной установки, её основные параметры, необходимые для последующих расчётов, расчётные формулы и таблица для записи величин с обязательным указанием единиц измерения.

После проверки готовности студента к лабораторной работе, преподаватель дает разрешение на её проведение.

Лабораторные работы выполняются бригадой, бригадир которой обеспечивает распределение обязанностей среди членов бригады и руководство замерами, получает у учебного мастера измерительные приборы и инструменты, а также отвечает за соблюдение правил техники безопасности.

После завершения работы на лабораторной установке студенты приступают к определению основных, вытекающих непосредственно из замеров, величин.

В отчёте следует объяснять отклонения полученных результатов эксперимента от известных опытных данных.

Необходимую консультацию можно получить у преподавателя.

Лабораторная работа № 1

Изучение конструкции лабораторной установки

Цель работы: изучение конструкции и принципа действия лабораторной установки.

Описание лабораторного стенда

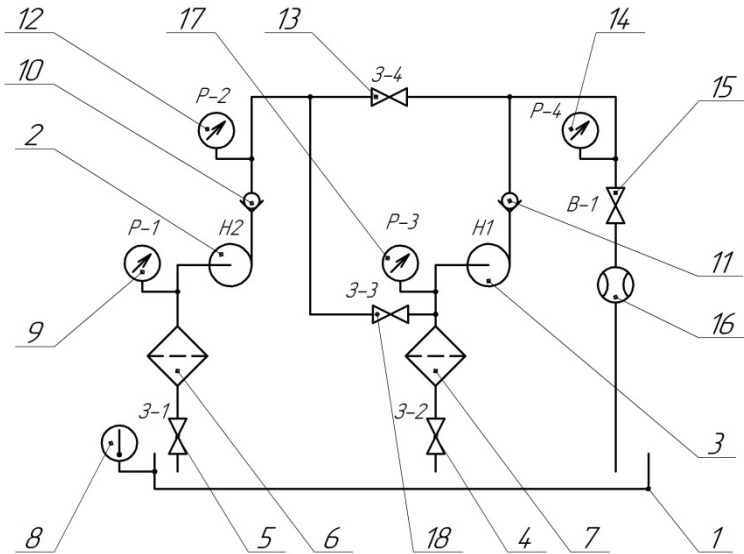


Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Лабораторный стенд (рис.1) состоит из расходного бака 1, заполняемого водой, двух центробежных насосов 2 и 3, приводимых в движение электрическими двигателями, и системы трубопроводов с запорной и измерительной аппаратурой. Вода из расходного бака 1 подается в один из насосов 2 или 3 (либо в оба насоса одновременно) по всасывающему трубопроводу через соответственно шаровые краны 5, 4 и фильтры 6, 7, далее по напорному трубопроводу, через обратные клапаны 10, 11, вентиль игольчатый 15 и расходомер 16 обратно в бак.

Для измерения давления во всасывающих линиях, соответственно перед насосами 2 и 3, в системе установлены датчики давления 9 и 17, а для измерения давления в напорной линии, после насосов и используются датчики давления 12 и 17.

Регулирование подачи центробежных насосов может осуществляться двумя способами: дросселированием потока с помощью, установленного в напорном трубопроводе вентиля игольчатого 15 или частотным способом – изменением частоты вращения валов приводных электродвигателей.

Для контроля температуры в расходном баке предусмотрен датчик температуры 8.

Для измерения расхода воды в трубопроводе в лабораторном стенде предусмотрен расходомер 16.

Очистка воды в системе осуществляется фильтрами грубой очистки, позиции 6 и 7.

Для возможности работы центробежных насосов по отдельности в системе предусмотрены обратные клапана 10 и 11.

Лабораторный стенд позволяет исследовать работу каждого из насосов по отдельности и их совместную работу. Так, для реализации последовательной и параллельной работы в системе имеются два шаровых крана 13 и 18.

Вся информация по давлению, расходу и температуре в системе выводится на табло пульта управления, на котором так же расположены кнопки включения/выключения насосов, а так же органы управления частотой вращения приводных электродвигателей (диапазон регулирования составляет от 0 до 100%, где 100% - 2800 об/мин).

Стенд позволяет выполнять следующие лабораторные работы:

- №2 – Конструкция и принцип действия центробежного насоса;

- №3 – Построение действительной индивидуальной характеристики центробежного насоса;
- №4 - Построение напорных характеристик центробежного насоса при различных частотах вращения рабочего колеса;
- №5 - Построение напорной характеристики при последовательной работе центробежных насосов;
- №6 - Построение напорной характеристики при параллельной работе центробежных насосов.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе №1 не предусмотрен. При защите лабораторной работы необходимо знать устройство, работу и назначение каждого элемента лабораторного стенда. Все студенты должны ознакомиться с правилами безопасности при работе на данной установке и расписаться в журнале инструктажа по технике безопасности.

Контрольные вопросы

1. Расскажите общее устройство лабораторного стенда.
2. Укажите измерительную аппаратуру, имеющуюся на лабораторном стенде. Каково ее назначение?
3. Каково назначение всех шаровых кранов?
4. Какие способы регулирования подачи гидравлической машины возможны на лабораторном стенде?
5. Какие лабораторные работы позволяет выполнить лабораторный стенд?

Лабораторная работа № 2

Конструкция и принцип действия центробежного насоса

Цель работы: изучение конструкции, принципа действия и классификации центробежных насосов.

Краткие теоретические сведения

Насос представляет собой гидравлическую машину, преобразующую механическую энергию приводного двигателя (крутящий момент, частота вращения) в гидравлическую энергию транспортируемой жидкости (объемный расход, давление).

Насосный агрегат – агрегат, состоящий из насоса (или несколько насосов) и приводящего двигателя, соединенных друг с другом.

Насосная установка – насосный агрегат с трубопроводом и комплектующим оборудованием, смонтированным по определенной схеме, обеспечивающей работу насоса.

По принципу действия насосы классифицируются на два вида:

- **динамические** – жидкость движется под силовым воздействием в камере постоянного объема, сообщающейся с подводными и отводящими устройствами. В зависимости от вида силового воздействия на жидкость динамические насосы делятся на лопастные насосы и насосы трения

- **объемные** – работают по принципу вытеснения жидкости из камеры за счет уменьшения ее объема.

Центробежные насосы относятся к группе динамических насосов, а именно - к лопастным, в которых преобразование энергии основано на силовом взаимодействии лопастной системы и перекачиваемой жидкости. В центробежном насосе поток жидкости имеет в области лопастного колеса радиальное направление и перемещается в поле действия центробежных сил.

Центробежный насос состоит из корпуса и вращающегося в нем лопастного колеса. При вращении колеса в потоке жидкости возникает разность давлений по обе стороны каждой лопасти и силовое взаимодействие потока с лопастным колесом, вследствие

чего происходит приращение механической энергии потока жидкости.

Общий вид центробежного насоса представлен на рис. 2.

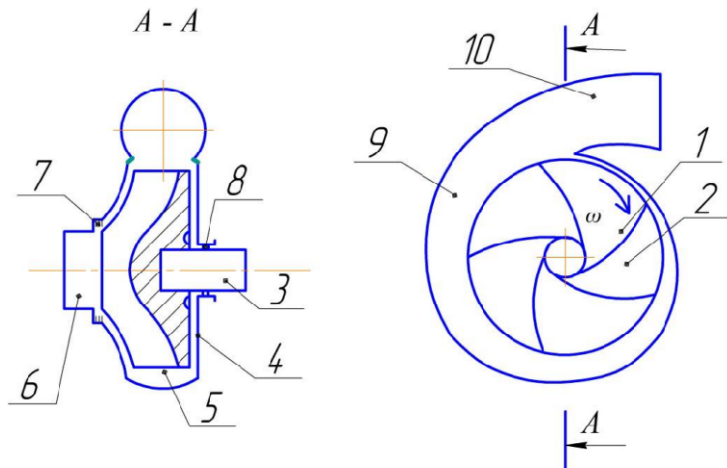


Рис. 2. Схема центробежного насоса. 1 – рабочее колесо; 2 – лопасть; 3 – вал; 4 – корпус; 5 – рабочая камера; 6 – всасывающий патрубок; 7, 8 – уплотнение; 9 – спиральный отвод; 10 – напорный патрубок

Основным рабочим органом центробежного насоса является свободно вращающееся внутри корпуса колесо, насаженное на вал. Рабочее колесо состоит из двух дисков (переднего и заднего), отстоящих на некотором расстоянии друг от друга. Между дисками, соединяя их в единую конструкцию, находятся лопасти, плавно изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Внутренние поверхности дисков и поверхности лопастей образуют межлопастные каналы колеса, которые при работе насоса заполнены перекачиваемой жидкостью.

При вращении колеса на каждую часть жидкости, находящейся в межлопастном канале будет действовать центробежная сила. Под действием этой силы жидкость выбрасывается из рабочего колеса, в результате чего в центре колеса

создается разрежение, а в периферийной его части – повышенное давление.

Жидкость поступает в насос через отверстие в переднем диске рабочего колеса по всасывающему патрубку и всасывающему трубопроводу. Движение жидкости по всасывающему трубопроводу происходит вследствие разности давлений над свободной поверхностью жидкости в приемном бассейне (атмосферное) и в центральной области колеса (вакуум).

Для отвода жидкости в корпусе насоса имеется расширяющаяся спиральная камера («улитка») куда поступает жидкость, выбрасываемая из рабочего колеса. Спиральная камера переходит в короткий диффузор, образующий напорный патрубок, соединенный с напорным трубопроводом.

Центробежные насосы классифицируются по следующим признакам:

1. По числу рабочих колес:
 - одноступенчатые
 - многоступенчатые (рис.3).

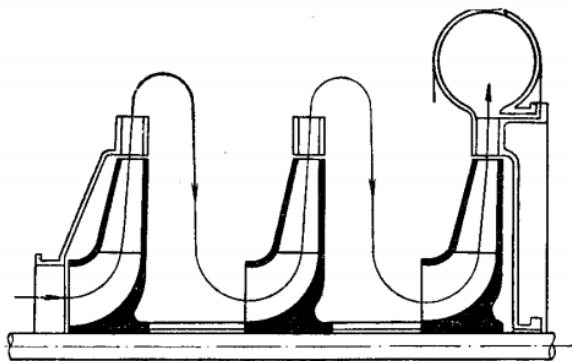


Рис. 3. Схема многоступенчатого расположения колес

2. По способу подвода жидкости к рабочему колесу:
 - с односторонним подводом
 - с двусторонним подводом (рис.4)

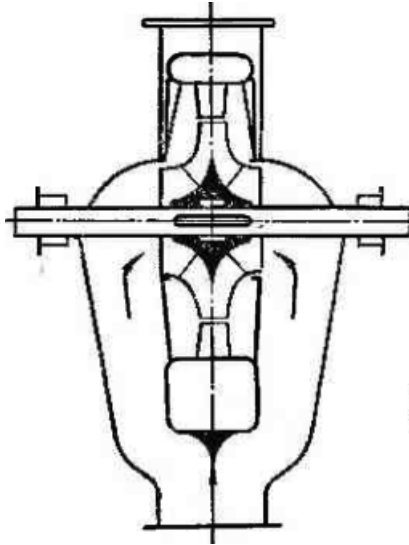


Рис. 4. Схема насоса с двухсторонним подводом

3. По способу отвода жидкости из рабочего колеса:

- со спиральным отводом (рис. 5а)
- с кольцевым отводом (рис. 5б)
- с направляющим аппаратом (рис. 5в).

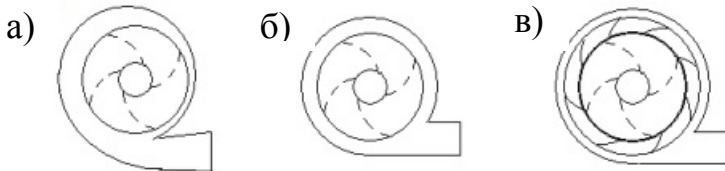


Рис. 5. Виды отвода рабочей жидкости от рабочего колеса

4. По числу потоков:

- однопоточные
- многопоточные (рис.6).

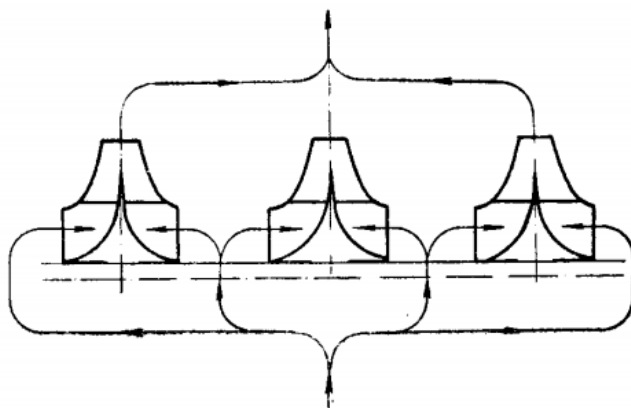


Рис. 6. Схема многопоточного расположения колес

5. По конструкции рабочего колеса:
 - с закрытым рабочим колесом (с двумя дисками)
 - с полуоткрытым рабочим колесом (с одним диском)
 - с открытым рабочим колесом (без дисков).
6. По компоновке насосного агрегата (расположению вала):
 - горизонтальные
 - вертикальные
7. По способу соединения с двигателем
 - приводные
 - соединенные непосредственно с двигателем
 - моноблочные

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе №2 не предусмотрен. При защите лабораторной работы необходимо знать краткие теоретические сведения о конструкции, принципе действия и классификации центробежных насосов.

Контрольные вопросы

1. Расскажите общее устройство центробежного насоса.

2. На какие виды делятся насосы по принципу действия?
3. Опишите принцип работы центробежного насоса?
4. В чем отличие насосного агрегата от насосной установки?
5. Какие конструкции рабочих колес бывают у центробежных насосов?
6. В чем отличие динамических насосов от объемных?
7. Назовите основные элементы конструкции центробежного насоса.
8. В чем функциональное назначение рабочего колеса?
9. В чем отличие одноступенчатого насоса от многоступенчатого?

Лабораторная работа № 3

Построение действительной индивидуальной характеристики центробежного насоса

Цель работы: определение технических параметров центробежного насоса; опытное построение действительной индивидуальной характеристики центробежного насоса.

Краткие теоретические сведения

Основными техническими параметрами, характеризующими работу насоса, являются: **подача, напор, полезная мощность, КПД и высота всасывания.**

Объемная подача насоса Q_n ($\text{м}^3/\text{с}$) – объем жидкости, подаваемый во внешнюю сеть в единицу времени.

Напор насоса H_n (м) – приращение полной удельной механической энергии, получаемое единицей веса жидкости, проходящей через насос, т.е. напор насоса, представляет собой разность полных гидродинамических напоров жидкости в сечениях потока после насоса и перед ним:

$$H_H = (Z_H - Z_{BC}) + \frac{P_H - P_{BC}}{\rho g} + \frac{v_H^2 - v_{BC}^2}{2g}, \quad (1.1)$$

где: H_H – полный гидродинамический напор (полная удельная механическая энергия жидкости), м; P_H – абсолютное давление в нагнетательном трубопроводе на выходе из насоса, Па; P_{BC} – абсолютное давление во всасывающем трубопроводе перед входом в насос, Па; $(Z_H - Z_{BC})$ – разность высот между точками измерения в нагнетательном и всасывающем трубопроводах, м; v_H – скорость потока в нагнетательном трубопроводе, м/с; v_{BC} – скорость потока во всасывающем трубопроводе, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³.

Сумма первых двух членов уравнения 1.16 называется манометрическим напором, тогда:

$$H_H = H_M + \frac{v_H^2 - v_{BC}^2}{2g}, \quad (1.2)$$

где: H_M – манометрический напор, создаваемый насосом для преодоления разности геометрических высот нагнетания и всасывания, а так же для преодоления разности давлений на выходе и на входе в насос, м. Манометрический напор можно определить по следующей формуле:

$$H_M = \frac{P_M}{\rho g} \pm \frac{P_B}{\rho g} + h_M, \quad (1.3)$$

где: P_M – показания манометра на нагнетательном патрубке насоса, Па; P_B – показания вакуумметра, Па; h_M – разница высот подключения вакуумметра и манометра, м.

Насос, в зависимости от положения относительно резервуара, из которого всасывается жидкость, может работать с подпором или разряжением во всасывающем трубопроводе. При разряжении во всасывающем трубопроводе (насос установлен выше уровня воды в резервуаре) в формуле 1.18 ставится знак « + »; при подпоре (уровень воды в резервуаре выше установки насоса) – знак « - ».

Центробежные насосы относятся к высоконапорным машинам, поэтому в них кинетическая энергия составляет весьма малую величину, которой обычно пренебрегают (т.к. $v_{H.max} = 5 м/с$, $v_{BC.min} = 1 м/с$, а $\frac{v_{H.max}^2 - v_{BC.min}^2}{2g} < 1 м$). Тогда можно считать, что $H_M \approx H_H$.

Полезная мощность насоса N_{Π} (Вт) – приращение полной удельной механической энергии, получаемой жидкостью, проходящей через насос в единицу времени:

$$N_{\Pi} = \rho g Q_H H_H \quad (1.4)$$

Коэффициент полезного действия насоса η_n – отношение полезной мощности насоса N_{Π} к потребляемой мощности насоса N (мощность на валу насоса):

$$\eta_n = \frac{N_{\Pi}}{N} \quad (1.5)$$

Обычно η_n выражается в процентах и характеризует суммарные потери энергии в насосе.

Потребляемая мощность насоса N всегда больше полезной мощности, т.к. в насосах механическая энергия привода в неполной мере преобразуется в механическую энергию перекачиваемой

жидкости. В насосах различают отдельные виды потерь энергии, характеризующиеся соответствующими коэффициентами полезного действия (КПД). Выделяют следующие потери энергии:

- на вихреобразование и преодоление гидравлических сопротивлений – **гидравлические потери**, характеризующиеся гидравлическим КПД η_{Γ}

- на образование внутренних утечек – **объемные потери**, характеризующиеся объемным КПД η_0

- на трение в подшипниковых узлах и уплотнительных устройствах – **механические потери**, характеризующиеся механическим КПД η_M .

Полный КПД насоса учитывает все виды потерь, поэтому может быть определен как произведение трех вышеуказанных КПД:

$$\eta_H = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_0 \cdot \eta_M \quad (1.6)$$

Вакууметрическая высота всасывания $H_{\text{ВАК}}$ – приведенная высота всасывания, определяемая геометрической высотой всасывания $H_{\Gamma,BC}$, потерями напора Σh_B во всасывающем трубопроводе и скоростным напором $\frac{v_{BC}^2}{2g}$ во всасывающем трубопроводе.

$$H_{\text{ВАК}} = H_{\Gamma,BC} + \Sigma h_B + \frac{v_{BC}^2}{2g} \quad (1.7)$$

Геометрическая высота всасывания насоса $H_{\Gamma,BC}$ – высота расположения центра входного отверстия насоса относительно свободной поверхности жидкости в открытом резервуаре, из которого производится всасывание жидкости.

Допустимая геометрическая высота всасывания насоса

$H_{Г.ВС}^{ДОП}$ – наибольшее расстояние установки насоса над уровнем воды в видеоисточнике.

$$H_{Г.ВС}^{ДОП} = H_{ВАК} - \sum h_B - \frac{v_{ВС}^2}{2g} \quad (1.8)$$

Допустимая вакууметрическая высота всасывания

$H_{Г.ВС}^{ДОП}$ - вакууметрическая высота всасывания, при которой обеспечивается работа насоса без изменения основных технических показателей, связанных с возникновением в насосе явления кавитации.

В практике эксплуатации насосов помимо технических параметров насосов, рассматривают также характеристики насосов, которые для оценки эксплуатационных качеств наиболее удобны.

Характеристики насосов – это выраженные аналитически или графически взаимосвязи между зависимыми и независимыми параметрами насосов. Различают теоретические и действительные характеристики насосов. Теоретические характеристики насосов получают без учета потерь, поэтому они существенно отличаются от действительных. Построить точные действительные характеристики центробежного насоса расчетным путем крайне трудоемко, ввиду необходимости учета множества факторов, поэтому их строят по результатам испытания насоса.

По результатам испытания насоса можно получить несколько видов характеристик насосов, однако, наиболее важная – действительная индивидуальная характеристика насоса – графическая зависимость основных технических параметров H , N , η от подачи Q_n при постоянной частоте вращения вала насоса, вязкости и плотности перекачиваемой жидкости (рис.7).

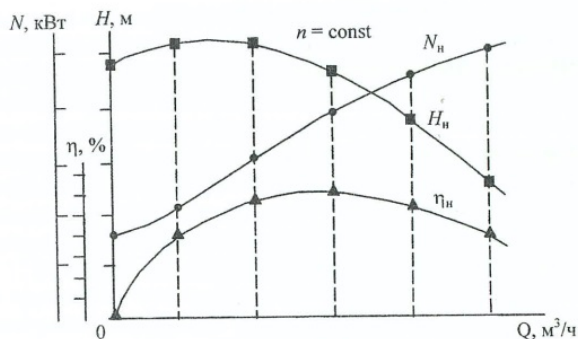


Рис. 7. Опытная действительная индивидуальная характеристика насоса

Показатели работы машины при транспортировании текучего определяются только внешними условиями – расходом энергии потребителем и сопротивлением трубопровода. Потребители и трубопроводы имеют свои характеристики, а их алгебраическая сумма, с учетом уровней расположения машины, потребителей и трубопроводов, образуют характеристику внешней сети конкретной насосной установки.

Как отмечалось ранее, насосы преобразуют механическую энергию от лопастей рабочего колеса в энергию потока, подаваемого во внешнюю сеть в том количестве, которое может быть в ней израсходовано. Тогда, для получения семейства точек на кривых напора, мощности и КПД необходимо изменять внешние условия, т.е. характеристику внешней сети. Каждая точка на индивидуальной характеристике насоса может быть получена при включении ее на неизменную внешнюю сеть с заданной характеристикой. Точка пересечения напорной характеристики насоса $H=f(Q)$ и характеристики этой внешней сети называется рабочей точкой или режимом работы установки.

Сохраняя постоянство частоты вращения вала рабочего колеса насоса, но при различных характеристиках внешней сети,

можно получить ряд режимов работы, установки в виде точек на индивидуальной характеристике насоса при производительности от нуля до максимума, которая ограничивается лишь сопротивлением сети. Соединив опытные точки плавной кривой, получают индивидуальную характеристику насоса.

На рис. 2.6 представлен способ получения опытной индивидуальной характеристики насоса. Точка a_1 соответствует наименьшему возможному сопротивлению внешней сети R_1 . При этом достигается наибольшая производительность (подача) насоса Q_1 , соответствующая ей мощность N_1 на валу насоса и его КПД η_1 . Остальные точки на характеристике насоса a_i получают изменением всех необходимых величин при ступенчатом переходе на новые характеристики внешней сети с возрастающим сопротивлением $R_2 > R_1$ и т.д. Сопротивление $R_i = \infty$ соответствует положению полностью закрытой задвижки, при этом характеристика внешней сети совпадает с осью ординат при производительности насоса $Q=0$.

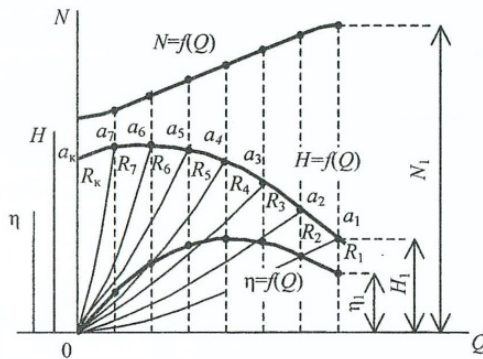


Рис. 8. Построение кривых индивидуальной характеристики насоса

Напорную кривую индивидуальной характеристики насоса $H=f(Q)$ получают непосредственно из эксперимента. Кривая мощности $N=f(Q)$ может быть получена через измеренную

электрическую мощность на зажимах электродвигателя или путем измерения момента на валу. Кривая КПД насоса $\eta=f(Q)$ определяется расчетным путем.

Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде (рис.1) бригадой студентов из четырех человек: один записывает в протокол испытаний показания всех измерительных приборов, второй студент фиксирует показания датчиков давлений, температуры и расходомера четвертый руководит бригадой и регулирует режим с помощью вентиля игольчатого 15.

Протокол испытания (табл.1, только экспериментально измеренные величины), выполненный на отдельном листе, и подписанный бригадой, после окончания экспериментальной части работы подписывается преподавателем.

1. Включите главный автоматический выключатель «СЕТЬ». Загоревшийся индикатор просигнализирует о наличии напряжения.

2. Все краны должны быть закрыты. Открываем кран 3-2 (позиция 4 на рис. 1).

3. Запускаем Насос-1 (позиция 3 на рис. 1) нажатием на ручку регулировки насоса и поворотом по часовой стрелке.

4. Отрываем полностью вентиль В-1(позиция 15 на рис. 1) и определить максимальный расход с помощью турбинного расходомера Q по показаниям на цифровом табло.

5. Закрываем вентиль В-1(позиция 15 на рис. 1). Отключаем Насос-1.

6. Определить шаг измерений (необходимо 7-8 точек).

7. Вновь запускаем Насос-1. Плавно открывая вентиль В-1 последовательно снимаем показания давления Р-3(позиция 17 на рис. 1) на входе насоса и на выходе Р-4 (позиция 14 на рис. 1) при

соответствующих показаниях расходомера Q. Показания заносим в таблицу 1.

Таблица 1

Протокол испытания центробежного насоса

№	P-3, кПа	P-4, кПа	Q, л/мин	H, м	N _п , Вт	N, Вт	η
1							
2							
....							
8							

8. Выключаем Насос-1. Закрываем все вентили и краны.

9. Отключаем от сети стенд.

10. Строим напорную характеристику $H=f(Q)$ в осях H, м (напор в метрах водного столба) и Q, м³/ч (расход куб. м. в час). При этом напор H определяем по формуле 1.3, полезную мощность – по формуле 1.4, КПД – по формуле 1.5.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе №3 должен содержать:

- схему лабораторного стенда с указанием всех приборов и оборудования, используемых в работе;
- краткую теоретическую информацию;
- протокол испытаний (заготовка) заполненный бригадой студентов и подписанный;
- заполненный протокол испытаний, включая все расчетные величины, сведенные в табл 1.;
- пример расчета всех величин, входящих в табл.1;
- графики индивидуальной действительной характеристики центробежного насоса;
- общие выводы по работе и заключение.

Контрольные вопросы

1. Что такое насос? Опишите принцип работы центробежного насоса.
2. Назовите основные технические параметры насоса?
3. Что такое напор насоса? Как его определить?
4. Какие потери энергии существуют в центробежном насосе? Чем они характеризуются?
5. Что такое характеристика насоса?
6. Что такое действительная индивидуальная характеристика насоса? Как она строится?
7. Что такое режим работы насосной установки?

Лабораторная работа № 4

Построение напорных характеристик центробежного насоса при различных частотах вращения рабочего колеса

Цель работы: получение напорных характеристик центробежного насоса при различной частоте вращения опытным и теоретическим способом

Краткие теоретические сведения

Регулирование насосной установки – это изменение параметров рабочих режимов

Принципиально регулировать насосную установку можно двумя способами:

- регулировать напорную характеристику сети
- регулировать напорную характеристику насоса.

Регулирование насоса принципиально может осуществляться двумя способами: обточкой рабочего колеса и **изменением частоты вращения вала насоса.**

При изменении частоты вращения насоса в ограниченных пределах КПД центробежного насоса на сходственных режимах почти не изменяется. Это особенность объясняется тем, что при

изменении оборотов вала сохраняется геометрическое и кинематическое подобие насоса.

Таким образом, при рассмотрении подобных режимов работы одного и того же насоса при различных частотах вращения рабочего колеса для пересчета основных параметров можно воспользоваться законами пропорциональности:

$$\begin{aligned}\frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{n_1}{n_2} \\ \frac{H_1}{H_2} &= \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \\ \frac{N_1}{N_2} &= \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3\end{aligned}\tag{1.9}$$

Если известна напорная характеристика центробежного насоса при данной частоте вращения (n_1) пересчет расхода, напора и мощности при новой частоте вращения (n_2) осуществляется по следующим формулам:

$$\begin{aligned}Q_2 &= Q_1 \frac{n_2}{n_1} \\ H_2 &= H_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \\ N_2 &= N_1 \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3\end{aligned}\tag{1.10}$$

Семейство действительных напорных характеристик насоса, построенных для различных частот вращения вала насоса,

называется полем действительных напорных характеристик насоса (рис.9).

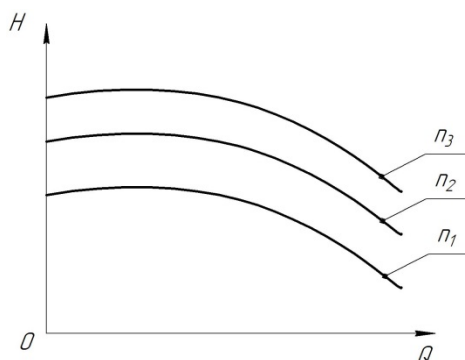


Рис. 9. Поле действительных напорных характеристик насоса

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите описание лабораторного стенда.
2. Проверьте подключение стенда к шине защитного заземления.
3. Проверьте наличие воды в баке.
4. Включите главный автоматический выключатель «СЕТЬ». Загоревшийся индикатор просигнализирует о наличии напряжения.
5. Все краны должны быть закрыты. Открываем кран 3-2(позиция 4 на рис.1).
6. Запускаем Насос-1 (позиция 3 на рис.1) нажатием на ручку регулировки насоса и поворотом по часовой стрелке.
7. Устанавливаем требуемую частоту вращения, которая задана преподавателем.
8. Отрываем полностью вентиль В-1(позиция 15 на рис.1) и определяем максимальный расход с помощью турбинного расходомера Q (позиция 16 на рисунке 1).
9. Закрываем вентиль В-1(позиция 15 на рис.1). Отключаем Насос-1(позиция 3 на рис.1).
10. Определить шаг измерений (необходимо 7-8 точек).

11. Вновь запускаем Насос-1(позиция 3 на рис.1). Устанавливаем требуемую частоту вращения и, плавно открывая вентиль В-1(позиция 15 на рис.1), последовательно снимаем показания давления Р-3 на входе насоса и на выходе Р-4 при соответствующих показаниях расходомера Q. Показания заносим в таблицу 2.

12. Для последующих частот вращения пункты 3-8 необходимо повторить.

13. Строим напорные характеристики для разных частот вращения на одном графике в осях Н, м (напор в метрах водного столба) и Q, м³/ч (расход куб. м. в час).

14. Строим теоретические кривые для напорных характеристик центробежного насоса по формулам 1.10. Построение теоретических кривых производится относительно напорной характеристики при номинальной частоте вращения вала насоса.

Таблица 2

Протокол испытания центробежного насоса

Частота вращения, об/мин	№	Р-3, кПа	Р-4, кПа	Н, м	Q, м ³ /час	Н _{теор} , м	Q _{теор} , м ³ /час
n _{ном}	1						
	2						
	...						
	8						
n ₁	1						
	2						
	...						
	8						
n ₂	1						
	2						
	...						
	8						
n ₃	1						
	2						
	...						
	8						

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе №4 должен содержать:

- краткую теоретическую информацию;
 - протокол испытаний (заготовка) заполненный бригадой студентов и подписанный;
 - заполненный протокол испытаний, включая все расчетные величины, сведенные в табл 2.;
 - пример расчета всех величин, входящих в табл.2;
 - графики индивидуальных действительных характеристик центробежного насоса полученных опытным путем;
 - графики индивидуальных действительных характеристик центробежного насоса полученных теоретическим (расчетным) путем.
- общие выводы по работе и заключение.

Контрольные вопросы

1. Как изменится напорная характеристика насоса при снижении частоты вращения вала центробежного насоса?
2. Каким образом можно регулировать подачу центробежного насоса?
3. Как изменяется КПД насоса при изменении частоты вращения?
4. Как получить напорную характеристику насоса при другой частоте вращения, если имеется напорная характеристика насоса при номинальной частоте вращения насоса?
5. Как изменится потребляемая мощность насоса при снижении частоты вращения насоса?
6. Как изменится напор насоса при увеличении частоты вращения центробежного насоса?
7. Как определить подачу насоса при сниженной частоте вращения насоса?

Лабораторная работа № 5

Построение напорной характеристики при последовательной работе центробежных насосов

Цель работы: получить напорную характеристику при последовательной работе насосов опытным и теоретическим путем

Краткие теоретические сведения

Последовательная работа применяется в тех случаях, когда один насос не может обеспечить потребного напора. При последовательном включении центробежных насосов жидкость, прошедшая через один насос и получившая в ней приращение удельной энергии, поступает в следующий. Схема соединения центробежных насосов показана на рис.10а.

Из уравнения неразрывности потока следует, что при отсутствии отбора жидкости между первым насосом и вторым выполняется условие:

$$Q_1 = Q_2, \quad (1.11)$$

где Q_1 и Q_2 - подача соответственно первого и второго центробежного насоса.

В соответствии с законом сохранения энергии напор, передаваемый потоку жидкости от двух насосов, определяется:

$$H = H_1 + H_2, \quad (1.12)$$

где H_1 и H_2 - напор соответственно первого и второго центробежного насоса.

Если потеря напора в трубопроводе, соединяющим насосы можно пренебречь, то считается, что центробежные насосы расположены в непосредственной близости.

Построение суммарной напорной характеристики проводится сложением напоров насосов при одинаковых подачах (рис.10б).

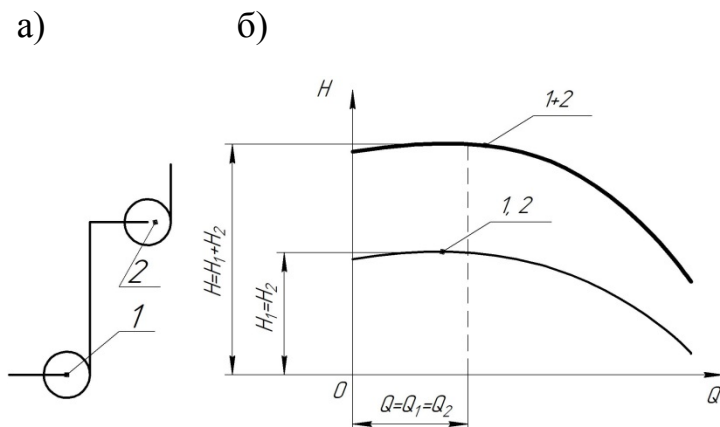


Рис. 10. Схема последовательного подключения центробежных насосов (а); напорная характеристика двух одинаковых центробежных насосов, подключенных последовательно (б).

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите описание лабораторного стенда.
2. Проверьте подключение стенда к шине защитного заземления.
3. Проверьте наличие воды в баке.
4. Включите главный автоматический выключатель «СЕТЬ». Загоревшийся индикатор просигнализирует о наличии напряжения.
5. Все краны должны быть закрыты. Открываем краны 3-1 (позиция 5 на рис.1), 3-3 (позиция 18 на рис.1).

6. Запускаем Насос-2 (позиция 2 на рис.1) нажатием на ручку регулировки насоса и поворотом по часовой стрелке устанавливаем максимальную частоту вращения.

7. Запускаем Насос-1 (позиция 3 на рис.1) нажатием на ручку регулировки насоса и поворотом по часовой стрелке устанавливаем максимальную частоту вращения.

8. Отрываем полностью вентиль В-1 (позиция 15 на рис.1) и определить максимальный расход с помощью турбинного расходомера Q.

9 . Закрываем вентиль В-1(позиция 15 на рис.1). Отключаем насосы.

10. Определить шаг измерений (необходимо 7-8 точек).

11. Вновь запускаем насосы. Плавно открывая вентиль В-1(позиция 15 на рис.1) последовательно снимаем показания давления Р-1 на входе насоса-1 и на выходе Р-4 при соответствующих показаниях расходомера Q. Показания заносим в таблицу 3.

12. Отключаем насосы и закрываем все краны и вентиль. Отключаем стенд от сети.

13. Строим напорную характеристику одного насоса по данным из 1-й лабораторной работы, теоретическую напорную характеристику последовательной работы 2-х насосов и опытную напорную характеристику последовательной работы насосов на одном графике в осях Н, м (напор в метрах водного столба) и Q, м³/ч (расход куб. м. в час).

Таблица 3

Протокол испытания последовательной работы насосов

№	Р-1, кПа	Р-4, кПа	Q, м ³ /час	Н, м	Н _{теор.} М
1					
2					
....					
8					

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе №5 должен содержать:

- краткую теоретическую информацию;
- протокол испытаний (заготовка) заполненный бригадой студентов и подписанный;
- заполненный протокол испытаний, включая все расчетные величины, сведенные в табл.3.;
- пример расчета всех величин, входящих в табл.3;
- график индивидуальной напорной характеристики центробежного насоса и график напорной характеристики последовательной работы насосов полученных опытным путем;
- график напорной характеристики последовательной работы насосов полученных теоретическим (расчетным) путем.
- общие выводы по работе и заключение.

Контрольные вопросы

1. Каким образом следует организовать последовательную работу насосов?
2. Как измениться подача последовательно соединенных насосов?
3. Как измениться напор последовательно соединенных насосов?
4. Как получить теоретическую напорную характеристику последовательной работы насосов, зная индивидуальные характеристики центробежных насосов?

Лабораторная работа № 6

Построение напорной характеристики при параллельной работе центробежных насосов

Цель работы: получить напорную характеристику при параллельной работе насосов опытным и теоретическим путем

Краткие теоретические сведения

Параллельная работа применяется в тех случаях, когда один насос не может обеспечить потребного расхода. Схема соединения центробежных насосов показана на рис.11а.

Расход в общем участке сети при параллельном включении центробежных насосов:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1.13)$$

где Q_1 и Q_2 - подача соответственно первого и второго центробежного насоса.

При этом напор двух параллельно подключенных центробежных насосов определяется как разность напоров во входном и выходном сечениях потока:

$$H = H_1 = H_2, \quad (1.14)$$

где H_1 и H_2 - напор соответственно первого и второго центробежного насоса.

При работе двух одинаковых центробежных насосов, подключенных параллельно, построение суммарной напорной характеристики проводится сложением подач насосов при одинаковых напорах (рис.11б).

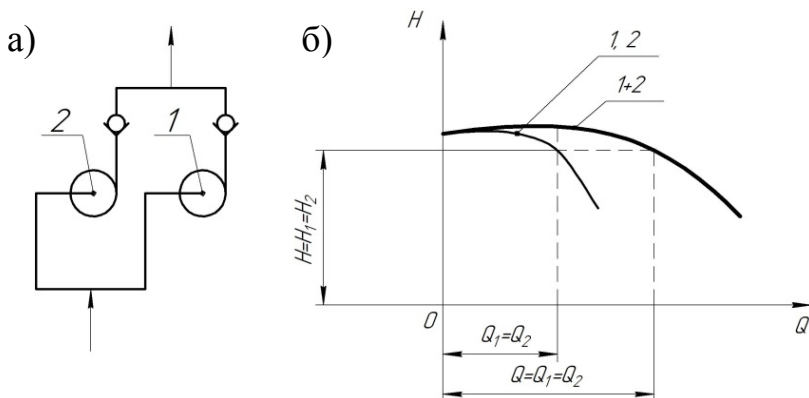


Рис. 11. Схема параллельного подключения центробежных насосов (а); напорная характеристика двух одинаковых центробежных насосов, подключенных параллельно (б).

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите описание лабораторного стенда.
2. Проверьте подключение стенда к шине защитного заземления.
3. Проверьте наличие воды в баке.
4. Включите главный автоматический выключатель «СЕТЬ». Загоревшийся индикатор просигнализирует о наличии напряжения.
5. Все краны должны быть закрыты. Открываем краны 3-1 (позиция 5 на рис.1), 3-2 (позиция 4 на рис.1), 3-4 (позиция 13 на рис.1).
6. Запускаем Насос-2 (позиция 2 на рис.1) нажатием на ручку регулировки насоса и поворотом по часовой стрелке устанавливаем максимальную частоту вращения.
7. Запускаем Насос-1 (позиция 3 на рис.1) нажатием на ручку регулировки насоса и поворотом по часовой стрелке устанавливаем максимальную частоту вращения.

8. Отрываем полностью вентиль В-1(позиция 15 на рис.1) и определить максимальный расход с помощью турбинного расходомера Q.

9. Закрываем вентиль В-1(позиция 2 на рис.1). Отключаем насосы.

10. Определить шаг измерений (необходимо 7-8 точек).

11. Вновь запускаем насосы указанным выше способом (пункты 4 -7). Плавно открывая вентиль В-1 последовательно снимаем показания давления на выходе Р-4 при соответствующих показаниях расходомера Q. Давления на входе обоих насосов примем условно равным 0. Показания заносим в таблицу 4.

12. Отключаем насосы и закрываем все краны и вентиль. Отключаем стенд от сети.

13. Строим напорную характеристику одного насоса по данным из 1-й лабораторной работы, теоретическую напорную характеристику параллельной работы 2-х насосов и опытную напорную характеристику параллельной работы насосов на одном графике в осях Н, м (напор в метрах водного столба) и Q, м³/ч (расход куб. м. в час).

Таблица 4

Протокол испытания параллельной работы насосов

№	Р-4, кПа	Н, м	Q, м ³ /час	Q _{теор.} , м ³ /час
1				
2				
....				
8				

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе №6 должен содержать:

- краткую теоретическую информацию;
- протокол испытаний (заготовка) заполненный бригадой студентов и подписанный;

- заполненный протокол испытаний, включая все расчетные величины, сведенные в табл.4.;
- пример расчета всех величин, входящих в табл.4;
- график индивидуальной напорной характеристики центробежного насоса и график напорной характеристики параллельной работы насосов полученных опытным путем;
- график напорной характеристики параллельной работы насосов полученных теоретическим (расчетным) путем.
- общие выводы по работе и заключение.

Контрольные вопросы

1. Каким образом следует организовать параллельную работу насосов?
2. Как измениться подача параллельно соединенных насосов?
3. Как измениться напор параллельно соединенных насосов?
4. Как получить теоретическую напорную характеристику параллельной работы насосов, зная индивидуальные характеристики центробежных насосов?

Библиографический список

1. *Гейер В.Г.* Гидравлика и гидропривод / В.Г. Гейер, В.С. Дулин, А.Н. Заря. М.: Недра, 1981, 295 с.
2. *Соловьев В.С.* Водоотливные и вентиляторные установки / В.С. Соловьев, А.Б. Незаметдинов. СПб.: СПГГИ (ТУ), 2006, 51 с.
3. *Кошман В.С.* Гидравлика / В.С. Кошман, И.П. Машкарева. Пермь: Пермская ГХСА, 2013, 152 с.
4. *Богомолов А.И.* Гидравлика / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. М.: Стройиздат, 1972, 648 с.
5. *Кошман В.С.* Основы теории и особенности подбора насосов / В.С. Кошман, И.П. Машкарева. Пермь: Пермская ГХСА, 2011, 140 с.
6. *Вильнер Я.М.* Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я.Т. Ковалев, Б.Б. Некрасов. Мн.: Выш. шк., 1985, 382 с.
7. *Сошников Е.В.* Центробежные насосы. Испытания насосов: практикум / Е.В. Сошников, О.В. Акимов, Ю.М. Акимова. Хабаровск: ДВГУПС, 2013, 82 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции лабораторной установки.....	4
Лабораторная работа №2. Конструкция и принцип действия центробежного насоса.....	7
Лабораторная работа №3. Построение действительной индивидуальной характеристики центробежного насоса.....	12
Лабораторная работа №4. Построение напорных характеристик центробежного насоса при различных частотах вращения рабочего колеса.....	22
Лабораторная работа №5. Построение напорной характеристики при последовательной работе центробежных насосов.....	27
Лабораторная работа №6. Построение напорной характеристики при параллельной работе центробежных насосов.....	31
Библиографический список.....	35