

Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный университет

Кафедра водоснабжения и водоотведения

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

Факультет экологии.

Направления: 270800 (08.03.01) – строительство;
280100 (20.03.02) – природообустройство
и водопользование

Вологда
2015

УДК 621.65.03(076)

Насосные и воздухоудувные станции : методические указания к выполнению лабораторных работ / сост. В.И. Лукьянов, А.В. Зенков. – Вологда : ВоГУ, 2015 – 23 с.

Представлены описание комплексной экспериментальной установки и общие положения, раскрывающие физическую сущность каждой лабораторной работы, порядок выполнения и обработки полученных данных.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составители: В. И. Лукьянов, канд. техн. наук, доцент.
А. В. Зенков, канд. техн. наук, доцент.

Рецензент: С. М. Чудновский, канд. техн. наук, доцент кафедры КИОПР

ВВЕДЕНИЕ

Насосом называется гидравлическая машина для создания потока жидкой среды.

Работу любого насоса принято характеризовать техническими параметрами, к числу которых относятся: подача Q , напор H , потребляемая мощность N , коэффициент полезного действия (КПД) η и допустимый кавитационный запас $\Delta h_{\text{доп}}$.

Из теоретического курса известны условия запуска насоса в работу, получение рабочих характеристик и виды совместной работы насосов на сеть.

Целью данных лабораторных работ является закрепление студентами теоретического материала в реальных условиях, а также дальнейшее развитие навыков постановки экспериментов и обработки полученных результатов.

Данные лабораторные работы предназначены для студентов направлений 270800 и 280100.

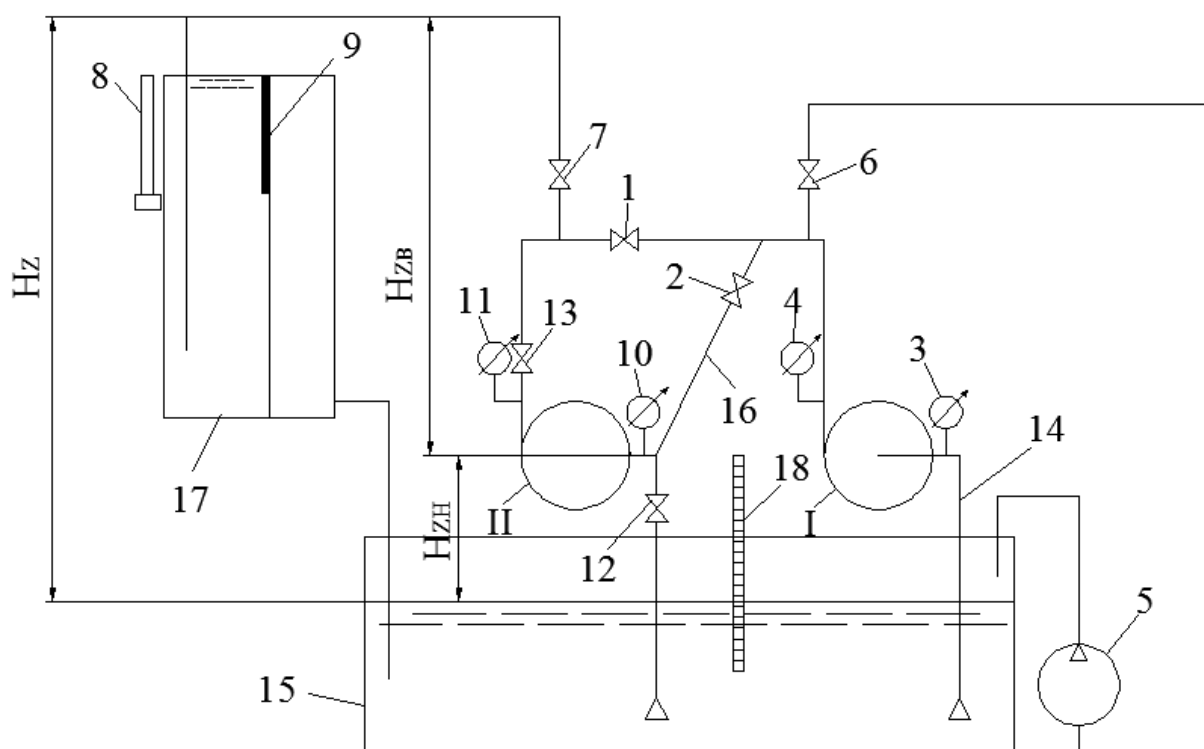


Рис. 1. Схема комплексной экспериментальной установки:

- I, II – насос центробежный типа 1,5К-8/19; 5 – компрессор типа УК-1М;
1, 2, 7, 12 и 13 – вентиль; 6 – кран; 3 – вакуумметр; 4, 11 – манометр;
8 – пьезометр; 9 – водослив; 10 – мановакуумметр; 15 – приемный резервуар;
16 – трубопровод; 17 – напорный бак; 18 – измерительная линейка

ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторные работы выполняются на комплексной экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Она состоит из двух центробежных насосов I и II типа 1,5К-8/19, приводимых в движение трехфазными асинхронными электродвигателями. Насосные агрегаты установлены на приемном резервуаре 15 и имеют индивидуальные всасывающие линии. Напорные трубопроводы (того же диаметра, что и всасывающие) соединены таким образом, что позволяют проводить исследования как одиночной работы насосов, так и совместной (параллельной или последовательной). Для этого предусмотрены вентили 1, 2, 7, 12 и 13. В зависимости от задачи исследования производят соответствующее их переключение. Для измерения расхода воды предусмотрен напорный бак 17, снабженный треугольным водосливом 9 и пьезометром 8 для измерения величины напора H на водосливе. Для измерения вакуума и давления, развиваемого насосами, установлены вакуумметр 3, мановакуумметр 10, манометры 4 и 11. Эти приборы снабжены трехходовыми проливочными кранами, предназначенными для отключения приборов во время пуска насосов и для периодического выпуска воздуха из трубок манометров во время работы.

Линейка 18 на приемном резервуаре 15 служит для определения геометрической высоты всасывания насосов.

Для заливки насоса I перед пуском в работу применяется компрессор 5 типа УК-ІМ, позволяющий через гибкий шланг и кран 6 отсасывать воздух из корпуса насоса и трубопроводов. При этом вентили 1 и 2 перекрываются.

Измерение потребляемой мощности электродвигателей производится по показанию трехфазного ваттметра, который снабжен переключателем на каждый из электродвигателей.

Частоту вращения валов электродвигателей и КПД электродвигателей определяют по тарировочным графикам, которые построены по результатам испытаний электродвигателей на специальном стенде.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Комплексная экспериментальная установка для испытания центробежных насосов выполнена с учетом максимальных удобств при выполнении лабораторных работ. С целью создания безопасных условий для здоровья и жизни исследователей предусмотрены следующие мероприятия.

Помещение имеет хорошее освещение, чтобы гарантировать возможность безопасного и правильного обслуживания установки.

Электрическая часть установки имеет надежную изоляцию, заземление и защиту от перегрузки.

Эластичные муфты, соединяющие электродвигатели насосов, ограждены съемными кожухами, выполненными из листовой стали.

Вентили, трехходовые краны, трубопроводы и измерительная аппаратура содержатся в полной исправности.

Для предотвращения возможных несчастных случаев при выполнении лабораторных работ студенты должны помнить и неукоснительно выполнять следующие основные положения техники безопасности:

1. Приступая к испытаниям, каждый студент должен проверить состояние своей одежды, помня о том, что свешивающийся шарф, галстук или какая-либо развевающаяся часть его одежды при обслуживании агрегатов может быть зацеплена и затянута валом машины.

2. Перед пуском в ход насосного агрегата необходимо проверить исправность всех доступных для осмотра частей насоса, электродвигателя, измерительных приборов и арматуры, а также всех ограждающих устройств.

Обо всех обнаруженных неисправностях студенты должны немедленно сообщить преподавателю, под руководством которого проводятся испытания.

3. Пуск в работу насосных агрегатов производится при соблюдении строгой последовательности всех предварительных операций, указанных в каждой лабораторной работе, и только с разрешения преподавателя.

4. Категорически воспрещается производить на ходу подтягивание болтов, разборку, чистку, смазку и ремонт насосных агрегатов, приборов и арматуры.

5. Категорически воспрещается касаться вращающихся частей агрегата, случайно оголившихся электродов, облакачиваться или опираться на ограждающие кожуха муфт, приборы и арматуру.

6. При проведении лабораторных работ следует избегать излишней суетливости и категорически воспрещается какое бы то ни было нарушение трудовой дисциплины.

Испытание центробежного насоса

Цель работы:

1. Построить энергетические характеристики первого центробежного насоса $Q - H$, $Q - N$ и $Q - \eta$.
2. Построить характеристику трубопровода $Q - h_w$.
3. Определить энергетические параметры насоса в оптимальном режиме его работы.
4. Определить КПД насосного агрегата.

Общие положения

Центробежные насосы, изготовленные насосостроительными заводами, подвергаются испытаниям в соответствии с ИСО 9906:1999, ГОСТ 6134-2007.

На основании опытных измерений подачи Q и напора H на входе и выходе, а также потребляемой мощности N и вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{вас}}$ вычисляют напор, приведенный к оси насоса, полезную мощность $N_{\text{п}}$ и коэффициент полезного действия η при постоянной частоте вращения n . Полученные значения напора, мощности, коэффициента полезного действия и допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ для ряда значений подачи можно представить в виде системы точек в координатах H , N , η , $\Delta h_{\text{доп}}$ и Q . Соединяя соответствующие точки плавными линиями, получают графически выраженные зависимости рассматриваемых параметров от подачи насоса при постоянной частоте вращения для данного диаметра рабочего колеса (рис. 2).

Полученные кривые $Q - H$, $Q - N$, $Q - \eta$ и $Q - \Delta h_{\text{доп}}$ называются энергетическими характеристиками центробежного насоса и вписываются в паспорт насоса.

Порядок проведения работы

Лабораторная работа №1 выполняется на насосе I комплексной экспериментальной установки, схема которой представлена на рис. 1.

Перед пуском в ход насосного агрегата необходимо удостовериться в исправном состоянии двигателя, насоса, приборов, арматуры и предохранительных устройств.

В табл. 1 журнала для лабораторных работ заносятся паспортные данные насоса Q , H , η , $H_{\text{вас}}^{\text{доп}}$ и N , а также размеры: z – расстояние между точками замера вакуума вакуумметром и давления манометром, y – расстояние обточки замера вакуума до оси насоса. $H_{\text{г.в.}}$ и $H_{\text{г.н.}}$ – геометрические высоты всасывания и нагнетания.

Таблица 1

Сведения о насосной установке

Марка насоса	Q, л/с	H, м. вод. ст.	$H_{\text{вак.}}^{\text{доп.}}$, м. вод. ст.	N, кВт	η , %	z, м	y, м	H _{г.в.}	H _{г.н.}
1,5К-8/19	1,66 – 3,86	20 - 14	6	1,7	44 - 53	0,5	0,025		1,575

Порядок пуска в ход насосного агрегата следующий:

- закрывают вентили 1 и 2;
- включают вакуумметр 3 и манометр 4 при помощи трехходовых проливочных кранов (чтобы не испортить приборы при пуске насоса);
- производят заливку насоса I с помощью компрессора 5. Для этого открывают кран 6 на воздушной линии и включают в работу компрессор 5. Как только компрессор откачает воздух из корпуса насоса и трубопроводов и начнет подавать воду, закрывают кран 6 и включают в работу электродвигатель насоса I. После этого выключают компрессор 5;
- открывают полностью вентили 1 и 7;
- включают вакуумметр 3;
- с помощью трехходового крана удаляют воздух из соединительной трубки манометра 4, а затем переводят манометр 4 в рабочее положение. Насос I готов к испытаниям.

При испытаниях плотно закрывают вентиль 1, снимают показания вакуумметра 3, манометра 4, ваттметра (на схеме не показан) и пьезометра 8 на водосливе 9 при нулевой подаче Q насоса I и заносят в табл. 2 лабораторного журнала.

Увеличивая открытие вентиля 1 на определенную величину в пределах от нуля до полного, аналогичным образом производят 12 опытов. При этом удобно пользоваться манометром 4: при каждом последующем открытии вентиля 1 давление на выходе из насоса 1 снижают на 0,1 кгс/см² по сравнению с предыдущим. Последний двенадцатый опыт проводят при полностью открытом вентиле.

Таблица 2

Показание прибора	Размерность	Опыт											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вакуумметр 3													
Манометр 4													
Ваттметр													
Пьезометр 8													

1. Напор насоса H определяется по формуле

$$H = h_{\text{вак}} - y + h_{\text{мон}} + z, \quad \text{м}, \quad (1)$$

где $h_{\text{вак}}$ и $h_{\text{мон}}$ – показания вакуумметра, выраженные в м вод. ст.

2. Подача насоса Q определяется по тарировочному графику $H = f(Q)$, где H – уровень воды в пьезометре 8.

3. Потребляемая насосом мощность N определяется по формуле

$$N = N_{\text{дв}} \times \eta_{\text{дв}}, \quad \text{кВт}, \quad (2)$$

где $\eta_{\text{дв}}$ – КПД электродвигателя, определяемый по тарировочному графику $\eta_{\text{дв}} = f(N_{\text{дв}})$.

4. Выбирается любое постоянное число оборотов вала насоса $n_{\text{п}}$, не выходящее за пределы диапазона изменения чисел оборотов в опытах.

5. Полученные значения Q , H и N насоса пересчитываются на постоянное число оборотов $n_{\text{п}}$ по формулам

$$Q_n = Q \frac{n_n}{n}, \quad \text{л/с}; \quad (3)$$

$$H_n = H \left(\frac{n_n}{n} \right)^2, \quad \text{м}; \quad (4)$$

$$N_n = N \left(\frac{n_n}{n} \right)^3, \quad \text{кВт}. \quad (5)$$

$Q_{\text{п}}$, $H_{\text{п}}$, $N_{\text{п}}$ – подача, напор и мощность, потребляемая насосом, пересчитанные на постоянное число оборотов вала насоса;

Q , H и N – подача, напор и мощность, потребляемая насосом, полученные в опытах;

$n_{\text{п}}$ – постоянное число оборотов вала насоса;

n – число оборотов вала насоса в опытах.

6. Полезная мощность насоса, пересчитанная на постоянное число оборотов вала насоса, определяется по формуле

$$N_{\text{пн}} = \frac{\rho g Q_n H_n}{1000}, \quad \text{кВт}, \quad (6)$$

где ρ – плотность воды;

g – ускорение свободного падения.

7. Коэффициент полезного действия насоса определяется по формуле

$$\eta = \frac{N_{\text{пн}}}{N_n} \times 100\%. \quad (7)$$

8. Результаты обработки данных заносят в лабораторный журнал (табл. 3).

9. Строят характеристики насоса $H_n = f_1(Q_n)$, $N_n = f_2(Q_n)$ и $\eta = f_3(Q_n)$ при постоянном числе оборотов вала насоса (рис. 2).

10. На графике откладывают геометрическую высоту подъема воды H_r и определяют численное значение потерь напора h_w при максимальной подаче насоса $Q_{\max}$.

11. Определяют сопротивление трубопровода S

$$h_w = SQ_{\max}^2, \quad \text{м};$$

$$S = \frac{h_w}{Q_{\max}^2}, \quad \text{с}^2/\text{м}^5. \quad (8)$$

12. Задаваясь различными значениями подачи Q_n , строят характеристику трубопровода $h_w = f_4(Q_n)$ по формуле

$$H = H_r + SQ_n^2, \quad \text{м}. \quad (9)$$

Точка А пересечения характеристик $Q - H$ и $Q - h_w$ называется рабочей точкой насоса.

13. На графике отмечают параметры насоса $Q_{\text{опт}}$, $H_{\text{опт}}$ и $N_{\text{опт}}$ при максимальном значении КПД $\eta_{\max}$. Режим работы насоса при $\eta_{\max}$ называется оптимальным. Этому режиму соответствует рабочая точка $A_{\text{опт}}$. Характеристику трубопровода $Q - h_{w1}$ можно получить путем прикрытия вентиля 1.

14. Определяют коэффициент полезного действия насосного агрегата для рабочих точек А и $A_{\text{опт}}$ по формуле

$$\eta_a = \eta_n \times \eta_{\text{дв}}. \quad (10)$$

15. Результаты вычислений заносят в лабораторный журнал (табл. 3).

Таблица 3

Лабораторный журнал

Показатель	Опыт											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Напор насоса H , м. вод. ст.												
2. Подача насоса Q , л/с												
3. КПД электродвигателя $\eta_{\text{дв}}$, %												
4. Число оборотов вала насоса n , об/мин												
5. Потребляемая насосом мощность N , кВт												
6. Постоянное число оборотов n_p , об/мин												
7. Подача насоса пересчитанная Q_p , л/с												
8. Напор насоса пересчитанный H_p , м												

9. Потребляемая насосом мощность пересчитанная $N_{п}$, кВт												
10. Полезная мощность насоса пересчитанная $N_{пп}$, кВт												
11. КПД насоса η , %												
12. Сопротивление трубопровода S , c^2/m^5												
13. Потери напора SQ^2 , м												
14. КПД насосного агрегата:												
- для раб. точки А, %												
- для раб. точки $A_{опт}$, %												

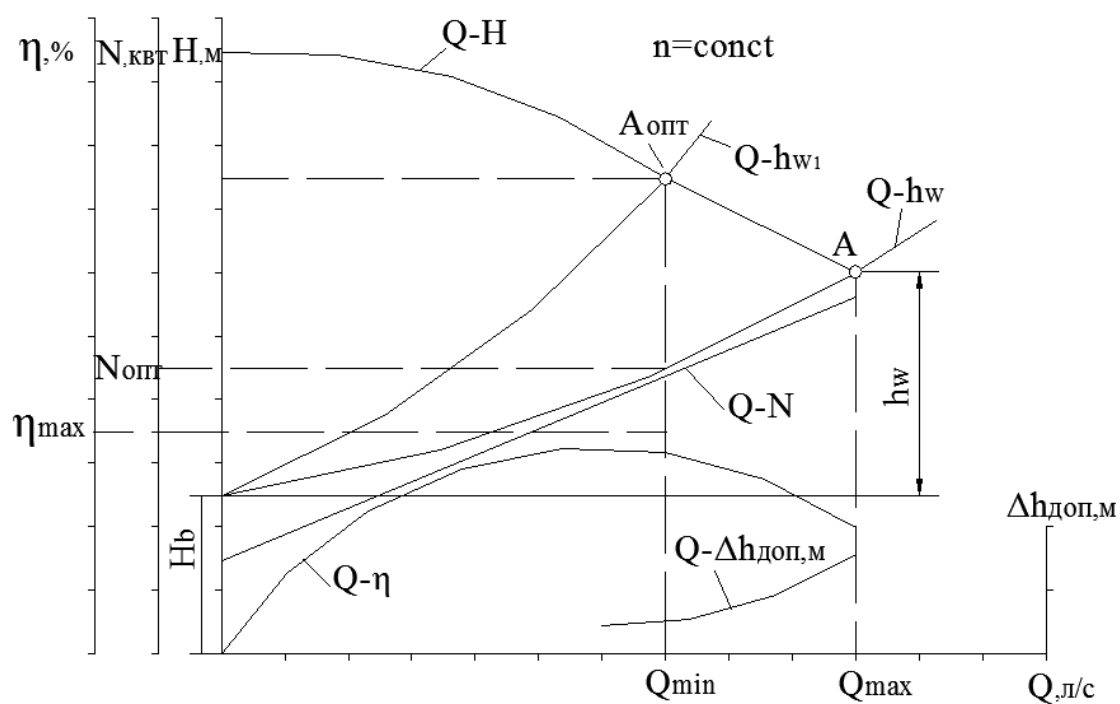


Рис. 2. Характеристика центробежного насоса

Исследование параллельной работы центробежных насосов

Одновременная подача нескольких насосов в общий напорный трубопровод называется параллельной работой насосов. Параллельная работа центробежных насосов широко применяется для увеличения подачи насосной станции.

Цель работы

1. Провести испытания и построить энергетические характеристики $Q - H$, $Q - N$ и $Q - \eta$ второго центробежного насоса.
2. Провести испытания и построить энергетическую характеристику $Q - H_{(I+II)}$ двух центробежных насосов, работающих параллельно на общий трубопровод.
3. Построить характеристику трубопровода $Q - h_w$ при максимальной подаче $Q_{(I+II)}^{\max}$ двух центробежных насосов, работающих параллельно, и определить их энергетические параметры.
4. Определить КПД насосной станции при максимальной подаче двух насосов, работающих параллельно.

Порядок проведения работы

Лабораторная работа № 2 выполняется на комплексной экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1. Установка осматривается, проверяется наличие и исправность необходимых приборов.

Испытания проводят в следующем порядке:

- с помощью трехходовых проливочных кранов включают вакуумметр 3, манометр 4, мановакуумметр 10 и манометр 11;
- плотно закрывают вентили 7, 1, 2, 12 и 13;
- открывают кран 6 и включают в работу компрессор 5;
- после заливки насоса I закрывают кран 6, включают в работу насос I и выключают компрессор 5;
- открывают полностью вентили 2 и 12 и включают насос II в работу;
- закрывают вентиль 2 и выключают насос I;
- открывают полностью вентили 13 и 7;
- включают мановакуумметр 10 и манометр 11, предварительно удалив воздух из его трубки через проливочный кран. Насос II готов к испытаниям.

При испытаниях плотно закрывают вентиль 13, снимают показания вакуумметра 10, манометра 11, ваттметра и пьезометра 8 на водосливе 9 при нулевой подаче Q насоса II и заносят в табл. 4 лабораторного журнала. Увеличивая сте-

пень открытия вентиля 13 на определенную величину в пределах от нуля до полного, производят 12 опытов аналогично, как а лабораторной работе №1.

Таблица 4

Показание прибора	Размерность	Опыт											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Мановакуумметр 10													
2. Манометр 11													
3. Ваттметр													
4. Пьезометр 8													

Аналитическую обработку данных, полученных при испытаниях центробежного насоса II, производят так же, как и в лабораторной работе №1. Результаты вычислений заносят в табл. 5 лабораторного журнала.

После испытаний центробежного насоса II приступают к испытаниям насосов I и II, работающих параллельно. Испытания проводятся в следующем порядке:

- запускаются в работу вначале насос I, а затем насос II с соблюдением последовательности всех операций, указанных выше;
- закрывают вентиль 2, а вентили 1, 12, 13 и 7 полностью открывают;
- включают вакуумметр 3, манометр 4, мановакуумметр 10 и манометр 11, предварительно удалив из манометрических трубок воздух с помощью проливочных трехходовых кранов;
- закрывают плотно вентиль 7. При таком положении получают первую точку наблюдений, для которой снимают показания мановакуумметра 10, манометра 11, потребляемую электродвигателем мощность насоса II. Можно снимать данные и с приборов насоса I, так как в точке объединения трубопроводов напоры насосов будут одинаковыми.

Затем вентиль 7 приоткрывают и после установления режима производят определение подачи насосов Q по уровню воды в пьезометре 8 и тарифовочному графику. Снимают показания остальных приборов.

Таблица 5

Показатель	Опыт											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Напор насоса H, м. вод. ст.												
2. Подача насоса Q, л/с												
3. КПД электродвигателя $\eta_{дв}$, %												
4. Число оборотов вала насоса n, об/мин												
5. Потребляемая насосом мощность N, кВт												
6. Постоянное число оборотов n_p , об/мин												

7. Подача насоса пересчитанная Q_n , л/с												
8. Напор насоса пересчитанный H_n , м												
9. Потребляемая насосом мощность пересчитанная N_n , кВт												
10. Полезная мощность насоса пересчитанная N_{np} , кВт												
11. КПД насоса η , %												

Аналогичным образом постепенно открывают вентиль 7 до полного и выполняют 10-12 опытов.

Опытные данные заносят в табл. 6 лабораторного журнала.

Аналитическая обработка данных

Обработку опытных данных ведут аналогично, как и в лабораторной работе №1. Обработанные данные заносят в табл. 7 лабораторного журнала.

На миллиметровой бумаге в начале строят энергетические характеристики $Q - H$, $Q - N$ и $Q - \eta$ обоих насосов при их отдельной работе, а затем строят характеристику $Q - H_{(I+II)}$ при совместной параллельной работе этих насосов (рис. 3). Для построения характеристик первого насоса берутся данные из лабораторной работы №1.

Таблица 6

Показание прибора	Размерность	Опыт											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Вакуумметр 3													
2. Мановакуумметр 4													
3. Ваттметр													
4. Пьезометр 8													

Таблица 7

Показатель	Опыт											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Напор насосов H , м. вод. ст.												
2. Подача насосов Q , л/с												
3. Число оборотов вала насоса n , об/мин												

4. Постоянное число оборотов вала насоса n_n , об/мин												
5. Подача насосов пересчитанная Q_n , л/с												
6. Напор насосов пересчитанный H_n , м												
7. Сопротивление трубопровода S , c^2/m^5												
8. Потери напора SQ^2 , м												

Характеристику трубопровода $Q - h_w$ строят аналогичным образом, как в лабораторной работе №1. Получают рабочую точку А при параллельной работе двух центробежных насосов (см. рис. 3). Далее из точки А проводят горизонтальную линию (на рис. 3 пунктирная линия) до пересечения ее с характеристиками $Q - H$ каждого из насосов, работающих отдельно. Получают точки 1 и 2. Из этих точек на горизонтальную шкалу графиков опускают перпендикуляры, которые пересекают графики $Q - N$ и $Q - \eta$ в точках 1', 1'', 2' и 2''. Полученные таким образом точки 1, 1', 1'' и 2, 2', 2'' выражают собой напор H , подачу Q , потребляемую мощность N и КПД η каждого насоса, работающего параллельно с другим насосом.

Коэффициент полезного действия насосной станции определяют по формуле

$$\eta_{н.ст} = \frac{Q_{(I+II)}^{\max}}{\frac{Q_I}{\eta_{aI}} + \frac{Q_{II}}{\eta_{aII}}}, \quad (11)$$

где $Q_{(I+II)}^{\max}$ - максимальная подача двух насосов, работающих параллельно;

Q_I и Q_{II} - подачи первого и второго насосов, работающих параллельно;

$\eta_{aI} = \eta_{nI} \times \eta_{обI}$ - КПД первого насосного агрегата при параллельной его работе со вторым;

$\eta_{aII} = \eta_{nII} \times \eta_{обII}$ - КПД второго насосного агрегата при параллельной его работе с первым.

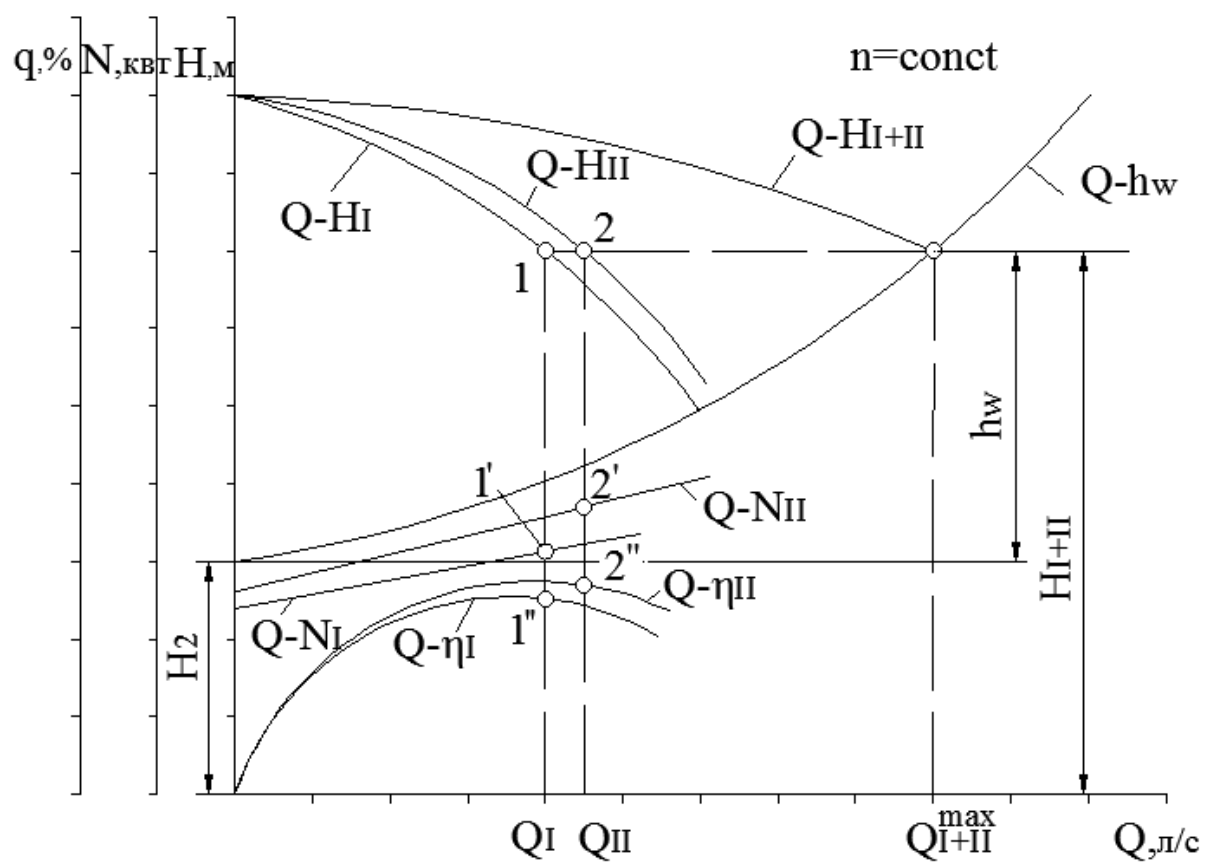


Рис. 3. Характеристики насосов при параллельной работе

Исследование последовательной работы центробежных насосов

Последовательной называется работа насосов, при которой один насос (первая ступень) подает перекачиваемую жидкость во всасывающий патрубок (иногда во всасывающий трубопровод) другого насоса (вторая ступень), а последний подает ее в напорный трубопровод.

Последовательное соединение двух (или нескольких) насосов применяется при необходимости получить напор больше того, который может быть создан одним насосом. На этом принципе построены все многоступенчатые насосы.

Цель работы

1. Построить характеристики $Q - H$ и $Q - \eta$ двух центробежных насосов, работающих отдельно, используя при этом результаты лабораторных работ № 1 и 2.
2. Провести испытания и, используя полученные данные, построить характеристику $Q - H_{(I+II)}$ двух центробежных насосов, работающих последовательно.
3. Построить характеристику трубопровода $Q - h_w$ при последовательной работе насосов.
4. Определить КПД насосной станции при максимальной подаче двух насосов, работающих последовательно.

Порядок проведения работы

Работа проводится на комплексной установке, схема которой приведена на рис. 1.

Перед началом испытаний нужно построить (на миллиметровой бумаге) частные характеристики $Q - H$ и $Q - \eta$ первого и второго насосов, полученные в предыдущих лабораторных работах (рис.4).

Подготавливают насосную установку к работе.

При последовательной работе насос I забирает воду всасывающей трубой 14 из приемного резервуара 15 и по наклонной трубе 16 подает во всасывающий патрубок насоса II. Вода, получив от насоса II дополнительную энергию, поступает в напорный бак 17. Такой путь движения воды обеспечивается закрытием вентилей 2, 13 и 7.

Испытания проводятся в следующей последовательности:

- выключают вакуумметр 3, мановакуумметр 10, манометр 4 и II при помощи трехходовых проливочных кранов;
- производят заливку насоса I, выполняя все операции, указанные в лабораторных работах № 1 и 2;
- включают насос I в работу;
- открывают полностью вентиль 2;
- включают в работу насос II;
- открывают полностью вентили 13 и 7;
- с помощью трехходовых кранов включают вакуумметр 3, мановакуумметр 10, манометры 4 и 11. Насосная установка готова к испытаниям.

Испытания начинают при полностью закрытом вентиле 13, то есть при нулевой подаче насосов. Такое положение дает первую точку наблюдений, для которой снимают показания вакуумметра 3, манометра 4, мановакуумметра 10, манометра 11 и потребляемую электродвигателем (любым) мощность.

Дальнейшее регулирование подачи осуществляется вентилем 13 с таким расчетом, чтобы получить не менее 12 опытов. Полученные при испытаниях данные заносят в табл. 8.

Таблица 8

Показание прибора	Размерность	Опыт											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Вакуумметр 3													
2. Манометр 4													
3. Мановакуумметр 10													
4. Манометр 11													
5. Ваттметр													
6.. Пьезометр 8													

Аналитическая обработка данных

Суммарный напор, создаваемый двумя последовательно соединенными насосами, определяется по формуле

$$H = h_{\text{вак}3} - y + h_{\text{ман}11} + z + h_{\text{тр}}, \quad (12)$$

где $h_{\text{тр}}$ – потери напора на участке напорного трубопровода от манометра 4 до мановакуумметра 10:

$$h_{\text{тр}} = h_{\text{ман}4} - h_{\text{ман}10}.$$

Остальные данные обрабатываются аналогично, как в лабораторной работе №1.

Обработанные данные заносятся в табл. 9.

Таблица 9

Показатель	Опыт											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Суммарный напор насосов H , м. вод. ст.												
2. Расход Q , л/с												
3. Число оборотов вала насоса n , об/мин												
4. КПД электродвигателя $\eta_{дв}$, %												
5. Постоянное число оборотов n_n , об/мин												
6. Подача насосов пересчитанная Q_n , л/с												
7. Напор насосов пересчитанный H_n , м												
8. Сопротивление трубопровода S , c^2/m^5												
9. Потери напора SQ^2 , м												

Пересчитанные на постоянное число оборотов n_n параметры насосов Q_n и H_n в виде характеристики $Q - H_{(I+II)}$ наносят на миллиметровую бумагу.

Характеристику трубопровода $Q - h_w$ аналогичным образом, как в лабораторной работе №1. Получают рабочую точку А при последовательной работе.

Коэффициент полезного действия насосной станции определяют по формуле

$$\eta_{н.ст} = \frac{H_I + H_{II}}{\frac{H_I}{\eta_{aI}} + \frac{H_{II}}{\eta_{aII}}}, \quad (13)$$

где H_I и H_{II} – напоры первого и второго насосов, работающих последовательно при максимальной подаче;

$\eta_{aI} = \eta_{nI} \times \eta_{двI}$ - КПД первого насосного агрегата (используются сведения из лабораторной работы №1);

$\eta_{aII} = \eta_{nII} \times \eta_{двII}$ - КПД второго насосного агрегата (используются сведения из лабораторной работы №2).

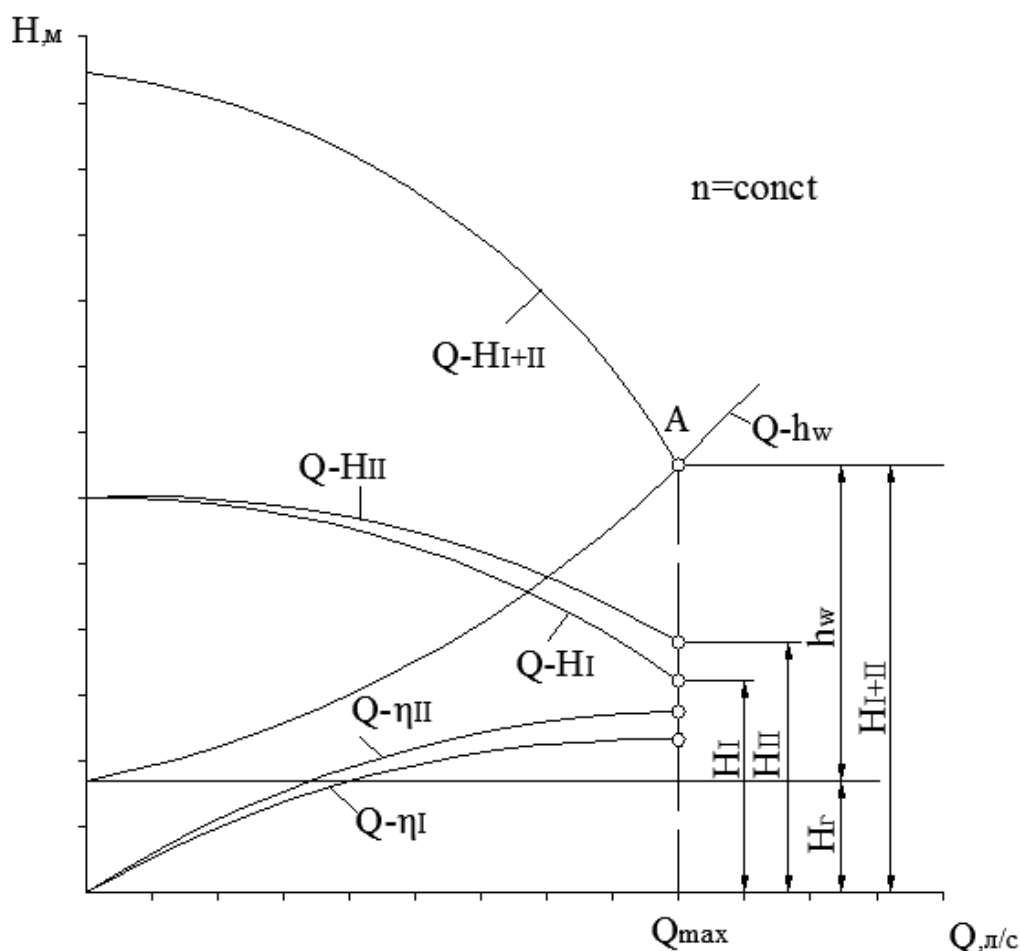


Рис. 4. Характеристики насосов, работающих последовательно

Лабораторная работа №4

Кавитационные испытания центробежного насоса

Цель работы

1. Получить кавитационную характеристику центробежного насоса – зависимость кавитационного запаса от подачи.

Порядок проведения работы

Лабораторная работа №4 выполняется на насосе II комплексной экспериментальной установки, схема которой представлена на рис. 1. Установка осматривается, проверяется наличие и исправность необходимых приборов.

Испытания проводятся в следующем порядке:

- заливают насос II и включают его в работу, соблюдая всю последовательность операций, описанных в лабораторной работе №2;
- открывают полностью вентили 13 и 7;

- включают мановакуумметр 10 и манометр 11, предварительно удалив воздух из его трубки через проливочный кран. Насос II готов к кавитационным испытаниям.

Испытания проводят при постоянном напоре H насоса. Для этого в первом опыте с помощью вентиля 13 устанавливают давление насоса, равное, например, $1,7 \text{ кгс/см}^2$, а с помощью вентиля 12 – вакуумметрическое давление, равное, например, $0,2 \text{ кгс/см}^2$. При этих значениях давлений производят замеры подачи насоса Q , потребляемой мощности электродвигателя насоса II, частоты вращения вала и КПД электродвигателя. Во втором и последующих опытах с помощью вентиля 13 устанавливают давление $1,6; 1,5; 1,4 \text{ кгс/см}^2$ и т.д., а с помощью вентиля 12 – вакуумметрическое давление, равное соответственно $0,3; 0,4; 0,5 \text{ кгс/см}^2$ и т.д. Испытания заканчиваются при полном срыве потока, о чем свидетельствует резкое снижение подачи Q и потребляемой мощности электродвигателя насоса.

Опытные данные заносят в табл. 10 лабораторного журнала. Следует указать, что первый опыт может быть проведен и при другом давлении насоса, например, $1,5$ или $1,2 \text{ кгс/см}^2$. Обязательным является лишь то, чтобы опыты проводились при постоянном напоре.

Таблица 10

Показатель	Опыт											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Мановакуумметр 10												
2. Манометр 11												
3. Ваттметр												
4. Пьезометр 8												

Следует вблизи кавитационного режима ($p_{\text{вак}} \approx 0,7 \text{ кгс/см}^2$) и при кавитации снимать точки с малыми интервалами давлений, что дает возможность установить на характеристике более точное начало кавитации.

Аналитическая обработка данных

По данным испытаний, опытное значение кавитационного запаса (в метрах) подсчитывают по формуле

$$h_{\text{кр}} = h_{\text{ат}} - h_{\text{вак}} - h_{\text{пар}} + z - y + \frac{V^2}{2g}, \text{ м}, \quad (14)$$

где $h_{\text{ат}}$ – атмосферное давление, м вод. ст.;

$h_{\text{вак}}$ – показания мановакуумметра, м вод. ст.;

$h_{\text{пар}}$ – давление насыщенного пара воды, м вод. ст. (выбирается по табл. 11);

$\frac{V^2}{2g}$ – скоростной напор воды в сечении трубопровода, где измеряется вакуумметрическое давление, м.

Скорость потока V определяется по формуле

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \text{ м/с}, \quad (15)$$

где Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

d – диаметр всасывающего трубопровода: $d = 50$ мм.

Таблица 11

Температура $t, ^\circ\text{C}$	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$h_{\text{пар}}, \text{ м. вод. ст.}$	0,09	0,12	0,24	0,43	0,75	1,25	2,02	3,17	4,82	7,14	10,33

Опытное значение кавитационного запаса приводится к постоянной частоте вращения вала насоса по формуле

$$\Delta h = \Delta h_{\text{он}}(h_n/n)^2. \quad (16)$$

Обработку опытных данных ведут аналогично, как и в лабораторной работе № 1.

Обработанные данные заносят в лабораторный журнал (табл. 12). По полученным данным строят график зависимости кавитационного запаса от подачи насоса (рис. 5). На графике Q_n отмечают точку А снижения подачи на 1...2% от ее постоянного значения, а затем из точки А опускают перпендикуляр на шкалу Δh . В результате этого получают критический кавитационный запас $\Delta h_{\text{кр}}$, при котором наступает кавитация в насосе при данной подаче.

Таблица 12

Показатель	Опыт											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Напор насоса $H, \text{ м. вод. ст.}$												
2. Подача насоса $Q, \text{ л/с}$												
3. КПД электро- двигателя $\eta_{\text{дв}}, \%$												
4. Число оборо- тов вала насоса $n, \text{ об/мин}$												
5. Потребляемая насосом мощ- ность $N, \text{ кВт}$												

6. Постоянное число оборотов n_p , об/мин												
7. Подача насоса пересчитанная Q_p , л/с												
8. Напор насоса пересчитанный H_p , м												
9. Потребляемая насосом мощность пересчитанная N_p , кВт												
10. Полезная мощность насоса пересчитанная $N_{пп}$, кВт												
11. КПД насоса η , %												
12. Кавитационный запас опытный $\Delta h_{оп}$, м												
13. Кавитационный запас пересчитанный Δh , м												

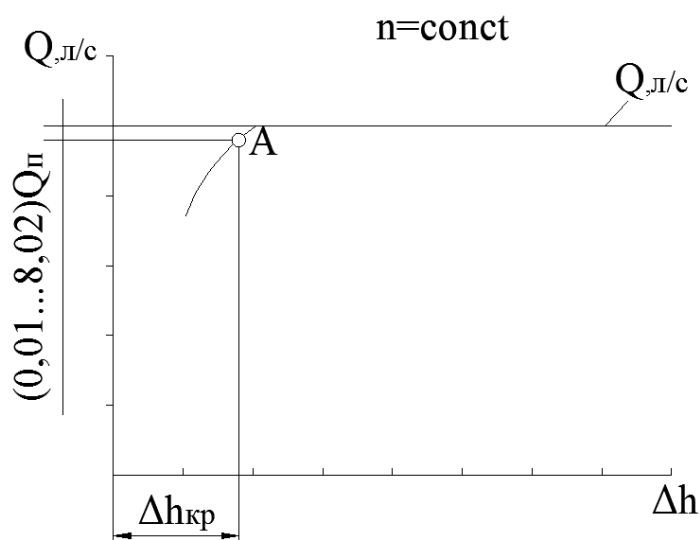


Рис. 5. Зависимость кавитационного запаса от подачи насоса

ЛИТЕРАТУРА

1. Насосы динамические . Методы испытаний. ISO 9906:1999. Rotodynamic pumps - Hydraulic performance acceptance tests - Grades 1 and 2 (MOD). – Москва : Стандартиформ, 2008.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Описание комплексной экспериментальной установки	4
Техника безопасности при испытании центробежных насосов.....	4
Лабораторная работа № 1. Испытание центробежного насоса	6
Лабораторная работа № 2. Исследование параллельной работы центробежных насосов	11
Лабораторная работа № 3. Исследование параллельной работы центробежной работы насосов	16
Лабораторная работа № 4. Кавитационные испытания центробежного насоса	19
Литература	23

Подписано в печать 23.12.2014.	Усл. печ. л. 1,44	Тираж	экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ № ____.	

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6