

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ  
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ.  
ИСПЫТАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ**

**Лабораторные работы**



**Санкт-Петербург**

**2021**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет**

**промышленных технологий и дизайна»**

**Высшая школа технологии и энергетики**

**Кафедра процессов и аппаратов химической технологии**

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ.**

**ИСПЫТАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАСОСОВ**

**Лабораторные работы**

Методические указания для студентов всех форм обучения  
по направлениям подготовки:

18.03.01 – Химическая технология, 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие  
процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии,  
15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств,  
15.03.02 – Технологические машины и оборудование

Составители:

Н. П. Мидуков

М. В. Колосова

В. С. Куров

А. О. Никифоров

Санкт-Петербург

2021

Утверждено  
На заседании кафедры ПиАХТ  
19.02.2021 г., протокол № 3

Рецензент Борилкевич Б.Е.

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Процессы и аппараты» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 18.03.01 «Химическая технология», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 15.03.02 «Технологические машины и оборудование». В указаниях представлен порядок выполнения и оформления лабораторных работ. Приведены примеры расчета характеристик насосов.

Методические указания предназначены для бакалавров очной и заочной форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД  
в качестве методических указаний.

**Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю  
- Загл. с экрана.**

**Дата подписания к использованию: 27.04.2021 г. Рег.№ 16/21**

**Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб, ул. Ивана Черных, 4**

## Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1. Экспериментальное определение напорных характеристик насоса при различных частотах вращения.....	10
Лабораторная работа № 2. Экспериментальное определение кавитационных характеристик насоса при различных частотах вращения.....	17
Лабораторная работа № 3. Определение требуемого вращательного момента на валу насоса при различных режимах работы приводного вала.....	25
Лабораторная работа № 4. Определение мощностных характеристик электропривода и КПД насоса.....	29
Лабораторная работа № 5. Экспериментальное определение напорных характеристик при последовательном соединении насосов при различных частотах вращения вала одного из них.....	34
Лабораторная работа № 6. Экспериментальное определение напорных характеристик при параллельном соединении насосов при различных частотах вращения вала одного из них.....	38
Лабораторная работа № 7. Согласование характеристик насоса и сети.....	43
Библиографический список.....	46

## Введение

Центробежный насос представляет собой сложный механизм, но является лишь элементом более сложной системы. Повышение энергоэффективности зависит от многих факторов и отдельных элементов, но в конечном итоге всегда приходится анализировать всю систему полностью. Тщательное изучение профиля нагрузки оборудования также необходимо для оптимизации как существующих, так и проектируемых систем. Целью является выявление потенциала экономии и разработка мероприятий для его реализации. Так, в рамках проекта ReMain проведены исследования технического состояния более 80 центробежных насосов на крупном немецком химическом заводе. Оказалось, что только небольшая часть из них работает в оптимальном режиме. Часть из них была переразмечена и работала с недогрузками, а некоторые, напротив, в перегруженном режиме. Это приводило к повышению издержек и снижению общей эффективности производственных процессов.

Очевидно, что режим работы влияет не только на потери энергии, но и на надежность насоса. Исследования фирмы DuPont показали, что механические уплотнения и подшипники при работе в недогруженном или перегруженном режиме изнашиваются быстрее, чем в рабочей точке. При недогруженном режиме возникают рециркуляция перекачиваемой жидкости в рабочем колесе, кавитация, перегрев. В перегрузках также возможно возникновение кавитации. Снижается КПД насоса и происходит значительное увеличение потребляемой насосом мощности.

Задача оптимизации осложняется тем, что основные цели развития могут противоречить друг другу, так как решения конкретной проблемы могут давать отрицательный эффект для другой. Так, например, для достижения максимального КПД требуется иное конструктивное решение, чем для достижения максимальной надежности. Одним из способов примирить эти противоречия становится многофакторный анализ, требующий соответствующего инструментария.

Настоящие методические указания к лабораторным работам являются дополнением к учебно-методическому пособию для выполнения лабораторных работ 2016 г. издания.

Студенты всех направлений выполняют и оформляют одну лабораторную работу по указанию преподавателя.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 1, расшифровка условных обозначений – в табл. 1.

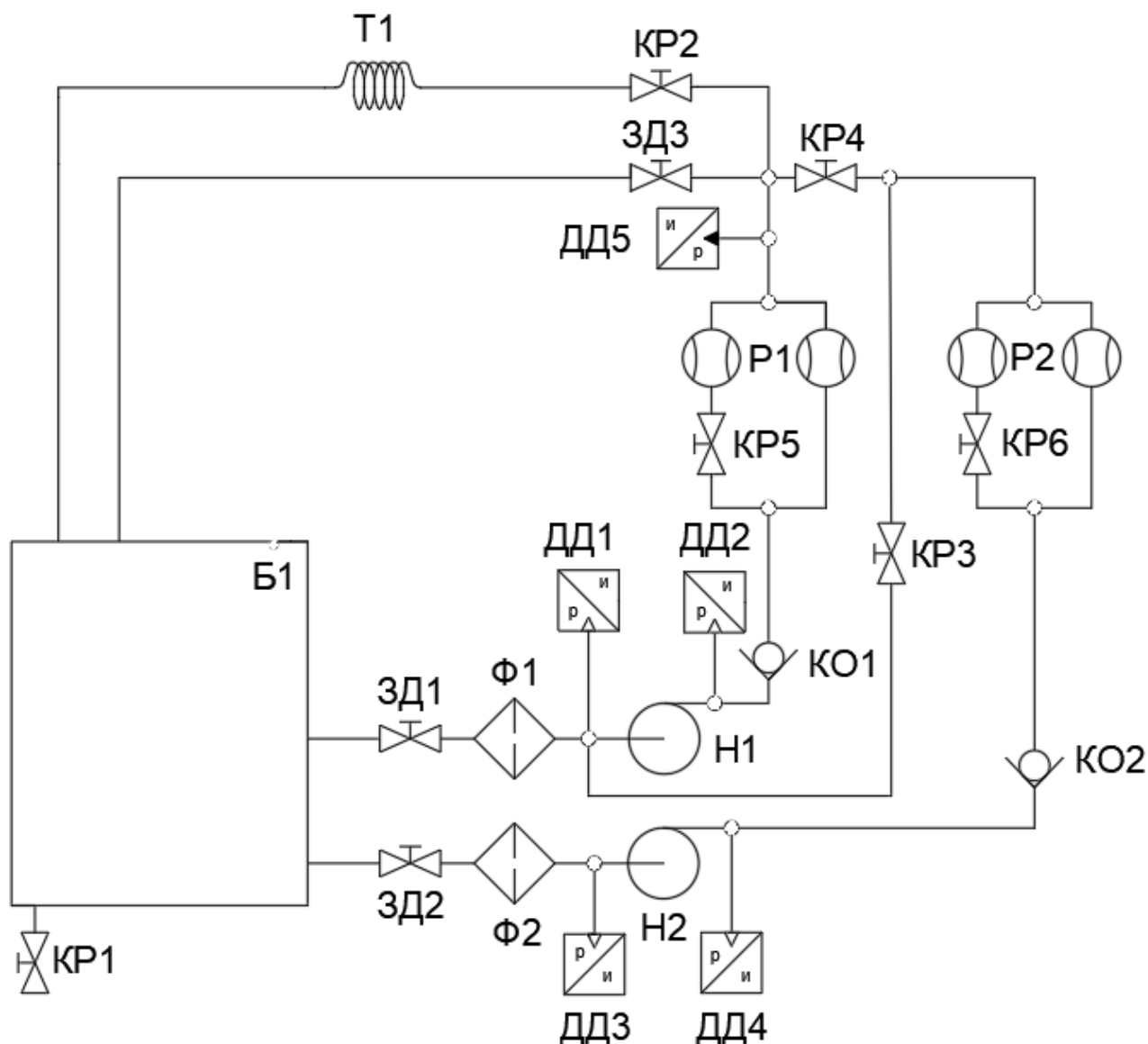


Рис. 1. Схема лабораторной установки «Испытание динамических насосов»

Таблица 1 – Условные обозначения

Обозначение	Наименование
Б1	Бак
Ф1, Ф2	Фильтр
Н1, Н2	Насос центробежный
Т1	Трубопровод исследуемый
Р1, Р2	Расходомер
КР1...КР6	Кран шаровой
КО1, КО2	Клапан обратный
ЗД1...ЗД3	Задвижка клиновая
ДД1...ДД5	Датчик давления

Стенд состоит из центробежных насосов, бака для хранения жидкости, запорной водопроводной арматуры, измерительных приборов и устройств, исследуемого трубопровода и соединительных трубопроводов, смонтированных на рамной конструкции и монтажной панели стенда.

Стенд предназначен для изучения методов испытания центробежных насосов и различных схем соединения.

Рабочая жидкость (вода) центробежными насосами Н1 и Н2 нагнетается из бака в систему. На всасывании насосов установлены задвижки ЗД1 и ЗД2, позволяющие создать дополнительное сопротивление на всасывании насосов. Запрещается включение насосов с закрытыми задвижками ЗД1 и ЗД2.

Для контроля давления в линиях всасывания и нагнетания насосов установлены датчики давления ДД1, ДД2, ДД3, ДД4. Датчик давления ДД5 измеряет давление на выходе насосной станции (на входе в исследуемый трубопровод).

Шаровые краны КР2...КР6 предназначены для изменения схемы подключения элементов и трубопроводов стенда. Краны КР3 и КР4 позволяют изменять схему подключения насосов (параллельно или последовательно). Для

включения в схему исследуемого трубопровода служит кран КР2. Кран КР1 служит для слива жидкости из бака.

Группы расходомеров Р1 и Р2, состоящие каждый из двух счетчиков количества воды СГВ-20 с цифровым выходом, позволяют определять подачу насосов. Краны КР5 и КР6 позволяют отключать один из расходомеров, входящих в группы Р1 и Р2, для повышения точности измерений при малых расходах.

Принцип работы и конструкция проточной части счетчика-расходомера с тангенциальной турбиной показаны на рис. 2. Принцип действия расходомера-счетчика основан на измерении скорости вращения потоком жидкости измерительной турбины. Для бесперебойной работы счетчиков необходимо отсутствие завихрений в потоке, поступающем на турбину.

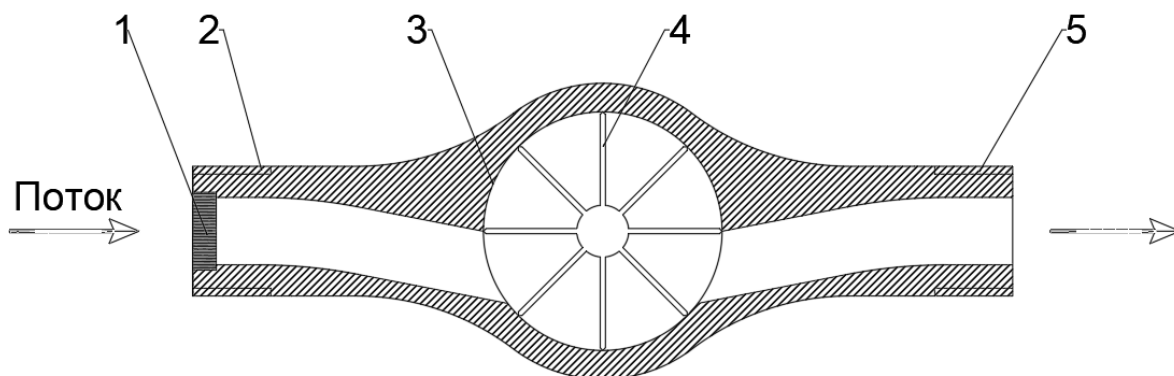


Рис. 2. Проточная часть счетчика-расходомера

Поток жидкости поступает в проточную часть корпуса через входной фильтр 1, выполняющий также функцию выпрямителя потока, размещенный во входном патрубке 2. Далее поток по касательной входит в цилиндрическую полость 3, где размещена турбина 4, и по касательной выходит в патрубок 5. Таким образом, количество оборотов, совершенное турбиной 4, пропорционально пройденному объему жидкости, а частота вращения – объемному расходу. Корпус проточной части счетчика выполнен из магнитно-проницаемого сплава, а на турбине 4 установлен постоянный магнит. На



счетном устройстве расположена вертушка с постоянным магнитом, таким образом, вращение турбины передается на вертушку за счет взаимодействия двух постоянных магнитов. Далее количество оборотов вертушки фиксируется многоразрядным цифровым барабанным счетчиком. Кроме того, в корпусе счетного устройства размещен датчик Холла, позволяющий фиксировать изменение магнитного поля от вращающегося постоянного магнита, что позволяет получать импульсный электрический выход для подсчета оборотов турбины. Затем количество оборотов турбины пересчитывается в значение расхода жидкости, проходящей через счетчик. Величина расхода при этом выводится на соответствующий электронный индикатор.

Погрешность показаний ротационных счетчиков обычно не превышает 1 % в пределах 10 – 100 % номинального расхода. Показания счетчика регулируют сменой шестерен в редукторе счетного механизма.

Перед измерением давления (снятием показаний с измерителей-индикаторов) следует дождаться окончания переходных процессов, возникающих при изменении перекрытий управляющих задвижек. Таким образом, замер давления следует делать по достижении его постоянного значения.

### **Меры предосторожности при работе**

К работе со стендом допускается персонал после ознакомления с руководством по эксплуатации ИДН-011-6ЛР-02-Р.000.000 РЭ и данным описанием по выполнению лабораторных работ.

Одновременно к выполнению лабораторных работ допускается группа учащихся под наблюдением преподавателя.

Во время работы и транспортировки стенда запрещается прикладывать внешние нагрузки на трубопроводы, измерительные приборы и бак (в том числе опираться на них или класть на них посторонние предметы), запрещена транспортировка стенда при наличии жидкости в баках.

Запрещается также сборка-разборка соединений, их подтяжка при работающих насосах или наличии воды в накопительном баке, трубопроводах.

Перед включением насосов убедиться в том, что:

- 1) задвижки ЗД1 и ЗД2 полностью открыты;
- 2) полностью закрыт кран КР1;
- 3) высота уровня воды в баке Б1 достаточна для нормальной работы;
- 4) трубопроводы и гибкие шланги не имеют внешних повреждений и нарушений целостности.

## Лабораторная работа № 1

### Экспериментальное определение напорных характеристик насоса при различных частотах вращения

Целью работы является экспериментальное построение напорных характеристик центробежного насоса в координатах напор-подача.

#### Методика проведения работы

1. Закрывать краны КР2, КР3, КР4.
2. Открыть задвижки ЗД1, ЗД3.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить питание ПЧ насоса 1 тумблером «Насос 1».
5. На панели частотного преобразователя 1 нажать кнопку «Auto On».
6. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 1, по часовой стрелке до упора.
7. Дождаться установившихся значений параметров насоса 1.
8. Записать в табл. 2 следующие значения: давление на входе насоса 1, давление на выходе насоса 1, подача насоса 1.
9. Плавно закрывая задвижку ЗД3, установить требуемую (см. табл. 2) величину давления  $p_{\text{вых1}}$  на выходе насоса 1.
10. Записать в табл. 2 следующие значения: давление на входе насоса 1, давление на выходе насоса 1, подача насоса 1.
11. Повторить действия по пунктам 9, 10 для всех значений давления  $p_{\text{вых1}}$ , соответствующих табл. 2.
12. Открыть задвижку ЗД3.
13. Повторить действия согласно пунктам 6 – 12 для значений частоты 40, 30 и 20 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты 1. Если на табло отображается величина, отличная от частоты питающего тока, включить её отображение клавишей ▼.

14. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 1.

15. Выключить питание ПЧ насоса 1.

16. Выключить питание системы управления.

17. Рассчитать давление, создаваемое насосом:

$$p_{H1} = p_{вых2} - p_{вх1}.$$

18. Рассчитать полезную мощность насоса:

$$N_n = p_{H1} \cdot Q_H.$$

19. По полученным данным построить график зависимости  $p_n = f(Q_H)$ .

20. Сделать выводы.

21. Повторить действия по пунктам 1 – 20 для насоса 2. Для работы с насосом 2 необходимо закрыть краны КР2 и КР3, открыть кран КР4 и задвижки ЗД2 и ЗД3. Полученные значения параметров вносить в табл. 2.

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 2 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 1 для первого насоса

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	50±1					
Давление на выходе насоса 1, кПа (изб.)		115	140	165	190	
Давление $p_{вх1}$ на входе насоса 1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H1}$ на насосе 1, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 1, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	40±1					
Давление на выходе насоса 1, кПа (изб.)		80	95	110	125	
Давление $p_{вх1}$ на входе насоса 1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{Н1}$ на насосе 1, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 1, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						
Частота питающего тока, Гц	30±1					
Давление на выходе насоса 1, кПа (изб.)		50	60	70	80	
Давление $p_{вх1}$ на входе насоса 1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{Н1}$ на насосе 1, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 1, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						
Частота питающего тока, Гц	20±1					
Давление на выходе насоса 1, кПа (изб.)		28	32	36	40	
Давление $p_{вх1}$ на входе насоса 1, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{Н1}$ на насосе 1, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 1, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						

Таблица 3 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 1 для второго насоса

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	50±1					
Давление на выходе насоса 2, кПа (изб.)		115	140	165	190	
Давление $p_{вх1}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						
Частота питающего тока, Гц	40±1					
Давление на выходе насоса 2, кПа (изб.)		80	95	110	125	
Давление $p_{вх2}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						
Частота питающего тока, Гц	30±1					
Давление на выходе насоса 2, кПа(изб.)		50	60	70	80	
Давление $p_{вх1}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	20±1					
Давление на выходе насоса 2, кПа(изб.)		28	32	36	40	
Давление $p_{вх2}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Полезная мощность $N_n$ , Вт						

По записанным в таблицу данным строятся рабочие характеристики насосов в программе «Excel», либо вручную на миллиметровке (рис. 3).

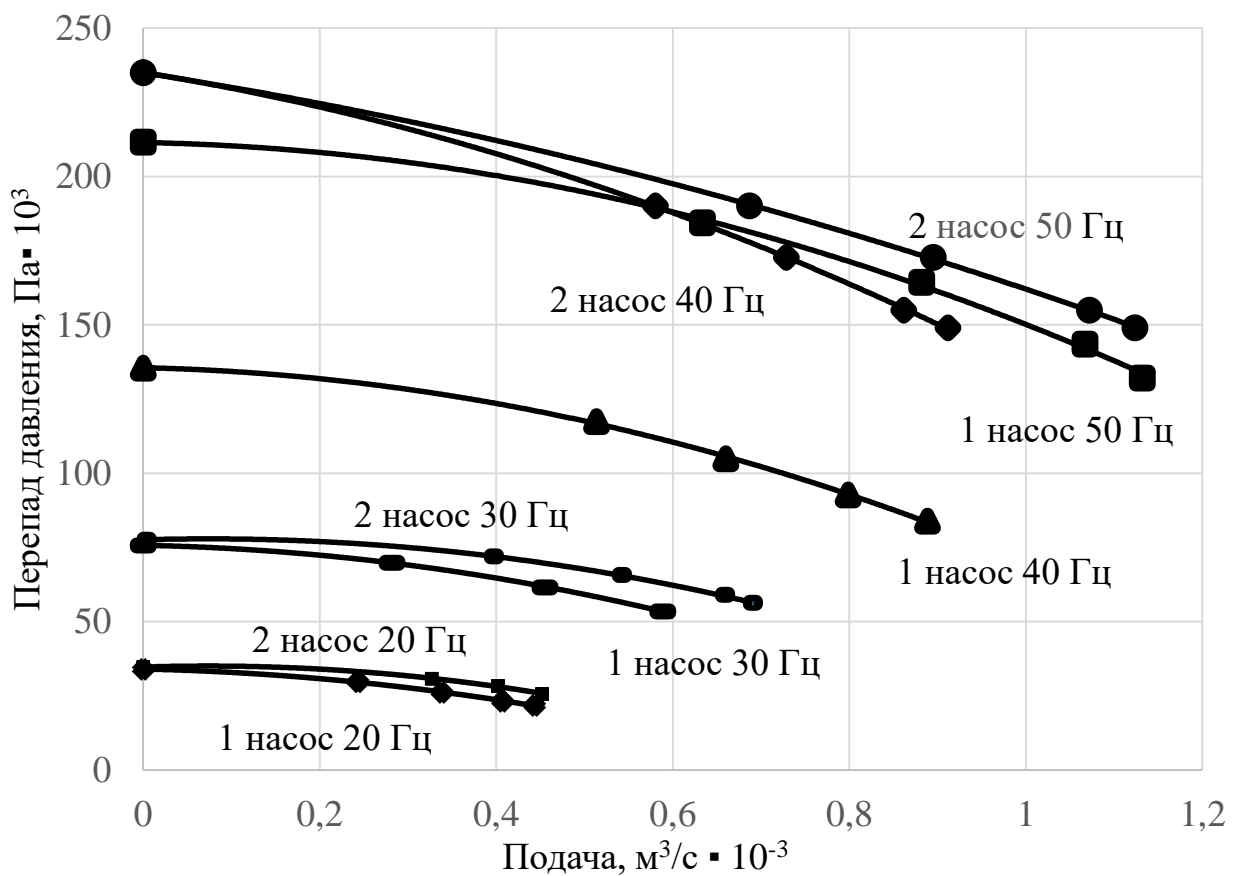


Рис. 3. График зависимости перепада давления от подачи

Закончив обработку экспериментальных данных, следует определить напор и КПД насоса, перекачивающего кислоту плотностью  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>. Производительность насоса  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч. Мощность на валу электродвигателя  $N$ , кВт. Показания манометра на нагнетательном трубопроводе  $p_m$ , кПа, вакуумметра на всасывающем трубопроводе  $p_v$ , кПа. Вертикальное расстояние между точками установки измерительных приборов  $h$ , м.

Таблица 4 – Индивидуальные задания к лабораторной работе № 1

№ варианта	Плотность жидкости $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Производительность насоса $Q$ , м <sup>3</sup> /ч	Мощность на валу $N$ , кВт	Показания манометра $p_m$ , кПа	Показания вакуумметра $p_v$ , кПа	Вертикальное расстояние $h$ , м
1	1000	150	7,5	150	10	0,25
2	1020	175	11	175	20	0,30
3	1040	200	15	200	30	0,35
4	1060	225	18,5	225	40	0,40
5	1080	250	22	250	50	0,45
6	1100	275	30	275	60	0,50
7	1120	300	37	300	70	0,55
8	1140	325	45	325	80	0,60
9	1160	350	45	350	90	0,65
0	1180	375	55	375	100	0,70

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1. По формуле (102) [3] рассчитывается полный напор насоса.
2. По формуле (103) [3] рассчитывается полезная мощность на валу насоса.



3. По формуле (104) [3] определяется коэффициент полезного действия (КПД). Принять мощность на валу электродвигателя равной действительной мощности на валу насоса.

### Пример

Центробежный насос перекачивает варочную кислоту плотностью  $\rho = 1180 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Производительность насоса  $Q = 375 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$ . Мощность на валу электродвигателя  $N_{\text{дв}} = 55$  кВт. Показания: манометра на нагнетательном трубопроводе  $p_{\text{м}} = 375$  кПа; вакуумметра на всасывающем трубопроводе –  $p_{\text{в}} = 100$  кПа. Вертикальное расстояние между точками установки измерительных приборов 0,70 м. Определить напор и КПД насоса.

### Решение

1. Расчет полного напора насоса:

$$H = \frac{(p_{\text{м}} + p_{\text{в}})}{\rho \cdot g} + H_0,$$

$$H = \frac{((375 + 100) \cdot 10^3)}{1180 \cdot 9,81} + 0,70 = 41,73 \text{ м.}$$

2. Расчет полезной мощности на валу насоса:

$$N_{\text{п}} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H;$$

$$N_{\text{п}} = \frac{375 \cdot 1180 \cdot 9,81 \cdot 41,73}{3600 \cdot 1000} = 50,32 \text{ кВт.}$$

3. Расчет КПД:

$$N_{\text{дн}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{н}}} = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1000 \eta_{\text{н}}}; \quad N_{\text{дн}} = N_{\text{дв}};$$

$$\eta_{\text{н}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{дв}}} = \frac{50,32}{55} = 0,91$$

## Лабораторная работа № 2

### Экспериментальное определение кавитационных характеристик насоса при различных частотах вращения

Целью работы является экспериментальное построение кавитационных характеристик центробежного насоса в координатах кавитационный запас-подача.

#### Методика проведения работы

1. Закрывать краны КР2, КР3, КР4.
2. Открыть задвижки ЗД1, ЗД3.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить питание насоса 1 тумблером «Насос 1».
5. На панели частотного преобразователя нажать кнопку «Auto On».
6. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 1, по часовой стрелке до упора.
7. Плавно закрывая задвижку ЗД3, установить значение расхода насоса 1, соответствующее табл. 6, при заданном значении частоты вращения вала приводного двигателя насоса.
8. Дождаться установившихся значений параметров насоса 1.
9. Записать в табл. 6 следующие значения: давление на входе насоса 1, давление на выходе насоса 1.
10. Постепенно закрывая задвижку ЗД1, уменьшить величину давления (увеличить разрежение) в линии всасывания насоса 1 на 5 – 8 кПа.
11. Плавно поворачивая рукоятку задвижки ЗД3, скорректировать значение расхода насоса 1 до значения, указанного в табл. 6.
12. Записать в табл. 6 следующие значения: давление на входе насоса 1, давление на выходе насоса 1.
13. Повторить пункты 10 – 12 до невозможности поддержания постоянного расхода. **Не допускать полного перекрытия задвижки ЗД1. При появлении характерного шума (треска) в насосе прекратить выполнение**

**работы и полностью открыть ЗД1. Продолжительная работа насоса с «голоданием» (в режиме кавитации) приведет к его быстрому износу и выходу из строя.**

14. Открыть полностью ЗД1 и ЗД3.

15. Повторить действия согласно пунктам 6 – 14 для значений частоты 42,5 и 35 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты. Если на табло отображается величина, отличная от частоты питающего тока, включить ее отображение клавишей ▼.

16. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 1.

17. Выключить питание ПЧ насоса 1.

18. Выключить питание системы управления.

19. Построить график зависимости подачи насоса  $Q_H$  от давления на выходе насоса  $p_{H1}$  при различных значениях  $p_{ВХ1}$  на входе насоса 1.

20. Рассчитать напор, создаваемый насосом:  $H_H = (p_{H1} - p_{ВХ1}) / (p \cdot g)$ , записать в табл. 6 ( $g=9,81 \text{ м/с}^2=9810 \text{ мм/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $\rho=10^3 \text{ кг/м}^3=10^{-6} \text{ кг/мм}^3$  – плотность рабочей жидкости (вода)).

21. Рассчитать кавитационный запас насоса при работе в заданном режиме:

$$\Delta p = \frac{p_{ВХ1} + p \frac{v_{ВХ1}^2}{2} - p_{НП}}{p \cdot g},$$

где  $v_{ВХ1}$  – скорость потока на входе в насос  $v_{ВХ1} = 4Q_H / (\pi d^2)$ ;

$d$  – диаметр входного патрубка  $d = 26 \text{ мм}$ ;

$p_{ВХ1}$  – абсолютное давление в линии всасывания насоса 1;

$p_{НП}$  – значение давления насыщенных паров жидкости, табл. 5.

22. Построить кавитационную характеристику  $\Delta p = f(Q_H)$  при различных значениях подачи насоса (рис. 4, 5).

23. Рассчитать вакуумметрическую высоту всасывания:

$$H_B = \frac{p_0 - p_{ВХ1} - p \frac{v_{ВХ1}^2}{2}}{p \cdot g},$$

где  $p_0$  – абсолютное давление на свободную поверхность жидкости в

приемном резервуаре, считать равным барометрическому, ориентировочно 99...101 кПа.

Таблица 5 – Значение давления насыщенных паров жидкости

t, °C	5	10	15	20	30	40	60	80	100
Давление насыщенных паров, кПа	0,32	1,21	1,69	2,34	4,24	7,37	20,2	48,2	103,3

24. Минимальное давление на всасывании при закрытой задвижке ЗД3:

$$p_{вх1} = \underline{\hspace{2cm}}$$

25. Сделать выводы.

26. Повторить действия по пунктам 1 – 25 для насоса 2. Для работы с насосом 2 необходимо закрыть краны КР2 и КР3, открыть кран КР4 и задвижки ЗД2 и ЗД3. Полученные значения параметров вносить в табл. 7.

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 6 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 2 по работе первого насоса

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	50					
Подача насоса 1, л/мин	50±1					
Давление на входе насоса 1, кПа						
Давление на выходе насоса 1, кПа						
Перепад давления на насосе 1, кПа						
Скорость потока на входе в насос 1, м/с						
Кавитационный запас, м						
Вакуумметрическая высота всасывания, м						
Напор насоса, м						

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	42,5					
Подача насоса 1, л/мин	40±1					
Давление на входе насоса 1, кПа						
Давление на выходе насоса 1, кПа						
Перепад давления на насосе 1, кПа						
Скорость потока на входе в насос 1, м/с						
Кавитационный запас, м						
Вакуумметрическая высота всасывания, м						
Напор насоса, м						
Частота питающего тока, Гц	35					
Подача насоса 1, л/мин	30±1					
Давление на входе насоса 1, кПа						
Давление на выходе насоса 1, кПа						
Перепад давления на насосе 1, кПа						
Скорость потока на входе в насос 1, м/с						
Кавитационный запас, м						
Вакуумметрическая высота всасывания, м						
Напор насоса, м						

Таблица 7 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 2 по работе второго насоса

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	50					
Подача насоса 2, л/мин	50±1					
Давление на входе насоса 2, кПа						
Давление на выходе насоса 2, кПа						
Перепад давления на насосе 2, кПа						
Скорость потока на входе в насос 2, м/с						
Кавитационный запас, м						
Вакуумметрическая высота всасывания, м						
Напор насоса, м						
Частота питающего тока, Гц	42,5					
Подача насоса 2, л/мин	40±1					
Давление на входе насоса 2, кПа						
Давление на выходе насоса 2, кПа						
Перепад давления на насосе 2, кПа						
Скорость потока на входе в насос 2, м/с						
Кавитационный запас, м						
Вакуумметрическая высота всасывания, м						
Напор насоса, м						

Частота питающего тока, Гц	35					
Подача насоса 2, л/мин	30±1					
Давление на входе насоса 2, кПа						
Давление на выходе насоса 2, кПа						
Перепад давления на насосе 2, кПа						
Скорость потока на входе в насос 2, м/с						
Кавитационный запас, м						
Вакуумметрическая высота всасывания, м						
Напор насоса, м						

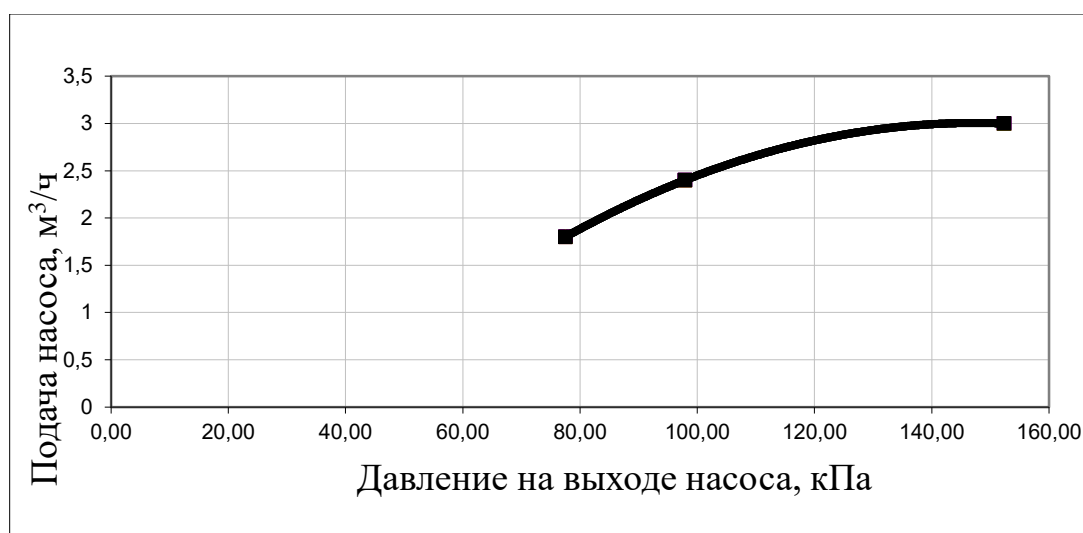


Рис. 4. Кавитационные характеристики для насоса 1

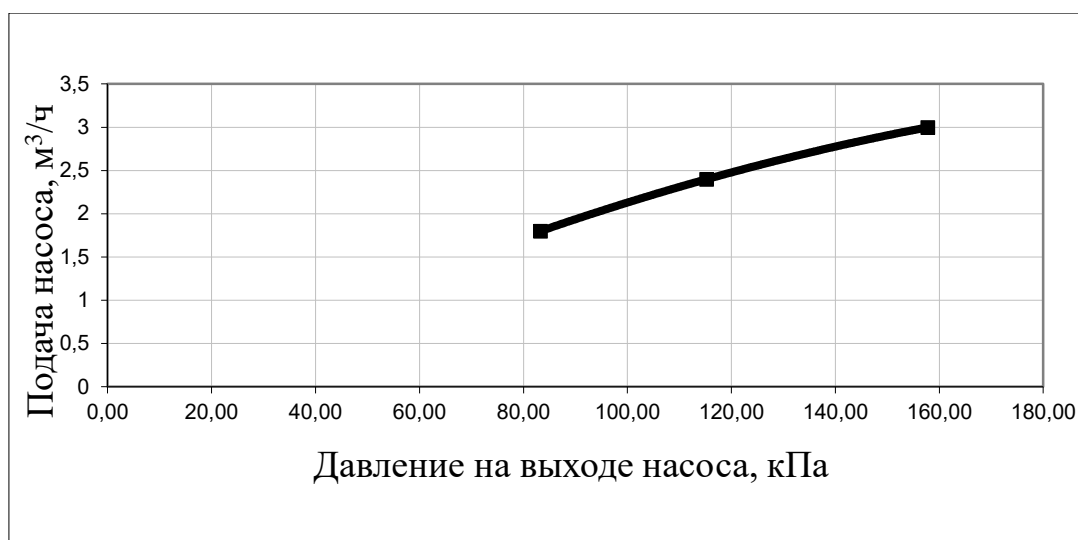


Рис. 5. Кавитационные характеристики для насоса 2

### Пример

Закончив обработку экспериментальных данных, следует определить, как изменятся указанные параметры насоса, если установить к нему электродвигатель с заданной частотой вращения  $n_2$ , мин<sup>-1</sup>? Какова должна быть мощность устанавливаемого электродвигателя при заданном значении  $\eta$  (КПД) насоса?

Центробежный массный насос 10БМ – 7 при работе на воде имеет следующие параметры: при частоте вращения колеса  $n_1$ , мин<sup>-1</sup>, производительность  $Q$ , м³/ч, и напор  $H$ , м.

Таблица 8 – Индивидуальные задания к лабораторной работе № 2

№ варианта	Наименование насоса	Производительность насоса $Q$ , м³/ч	Напор $H$ , м	Частота вращения $n_1$ , мин <sup>-1</sup>	Частота вращения $n_2$ , мин <sup>-1</sup>	КПД насоса $\eta$ , %
1	БМ 40-16	40	16	1450	900	60
2	БМ 56-31,5	56	31,5	1450	1000	63
3	БМ 67-22,4	67	22,4	1450	1200	66
4	БМ 80-15	80	15	1000	1450	69
5	БМ 118-31,5	118	31,5	1450	600	72
6	БМ 125-20	125	20	1000	750	75
7	БМ 190-45	190	45	1450	1800	78
8	БМ 236-28	236	28	1000	1450	81
9	БМ 315-15	315	15	1000	1200	84
0	БМ 355-63	355	63	1450	2100	87



Расчет выполняется в следующей последовательности:

1. По формуле (103) [3] рассчитывается полезная мощность  $N_{\text{п}}$ .
2. В соответствии с законами пропорциональности (126) [3] находятся значения  $Q_2, H_2, N_{\text{п}2}$ .
3. По формуле (108) [3] находится мощность устанавливаемого двигателя.

## Решение

1. Расчет полезной мощности:

$$N_{\text{п}1} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H ;$$

$$N_{\text{п}1} = \frac{355 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 63}{3600 \cdot 1000} = 60,94 \text{ кВт.}$$

2. В соответствии с законами пропорциональности:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}; \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2; \quad \frac{N_{\text{п}2}}{N_{\text{п}1}} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

$$Q_2 = 355 \cdot \left(\frac{2100}{1450}\right) = 514 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$H_2 = 63 \cdot (2100/1450)^2 = 132,14 \text{ м;}$$

$$N_{\text{п}2} = 60,94 \cdot (2100/1450)^3 = 185,12 \text{ кВт.}$$

3. Расчет мощности устанавливаемого двигателя:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{д}}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{н}}} = N_{\text{п}2} / \eta;$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{185,12}{0,87} = 212,78 \text{ кВт.}$$

### Лабораторная работа № 3

#### Определение требуемого вращательного момента на валу насоса при различных режимах работы приводного вала

Целью работы является экспериментальное определение зависимости потребного вращательного момента на валу центробежного насоса в зависимости от частоты вращения приводного вала.

#### Методика проведения работы

1. Закрыть краны КР2, КР3.
2. Открыть кран КР4 и задвижки ЗД2, ЗД3.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить питание ПЧ насоса 2 тумблером «Насос 2».
5. На панели преобразователя частоты 2 нажать кнопку «Auto On».
6. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 2, по часовой стрелке до упора.
7. Дождаться установившихся значений параметров насоса 2.
8. Записать в табл. 9 следующие значения: подача насоса 2, крутящий момент, частота вращения двигателя насоса 2.
9. Плавно закрывая задвижку ЗД3, уменьшить подачу насоса на 5-10 л/мин.
10. Записать в табл. 9 следующие значения: подача насоса 2, крутящий момент, частота вращения вала двигателя насоса 2.
11. Повторить действия по пунктам 9, 10 вплоть до закрытия ЗД3.
12. Открыть задвижку ЗД3.
13. Повторить согласно пунктам 6 – 12 для значений частоты 40, 30 и 20 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты 2. Если на табло отображается величина, отличная от частоты питающего тока, включить ее отображение клавишей ▼.
14. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 2.
15. Выключить питание ПЧ насоса 2.

16. Выключить питание системы управления.

17. По полученным данным построить график зависимости  $M_{\text{ПОТРmax}} = f(Q)$  для каждого значения частоты вращения вала приводного двигателя.

18. Определить максимальное значение  $M_{\text{ПОТР}}$  для каждого значения частоты вращения вала приводного двигателя. По полученным данным построить график зависимости  $M_{\text{ПОТРmax}} = f(n)$ .

19. Сделать выводы.

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 9 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 3 по работе второго насоса

Параметр	Номер опыта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Частота питающего тока, Гц	50(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								
Частота питающего тока, Гц	40(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								
Частота питающего тока, Гц	30(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								
Частота питающего тока, Гц	20(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								

Параметр	Номер опыта							
	9	10	11	12	13			
Частота питающего тока, Гц	50(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								
Частота питающего тока, Гц	40(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								
Частота питающего тока, Гц	30(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								
Частота питающего тока, Гц	20(n=_____об/с)							
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин								
Крутящий момент $M_H$ , Нм								
Частота вращения $n$ , об/с								

### Обработка экспериментальных данных

По полученным экспериментальным данным строятся графики зависимостей крутящих моментов от частоты питающего тока и подачи насоса (рис. 6 и 7).

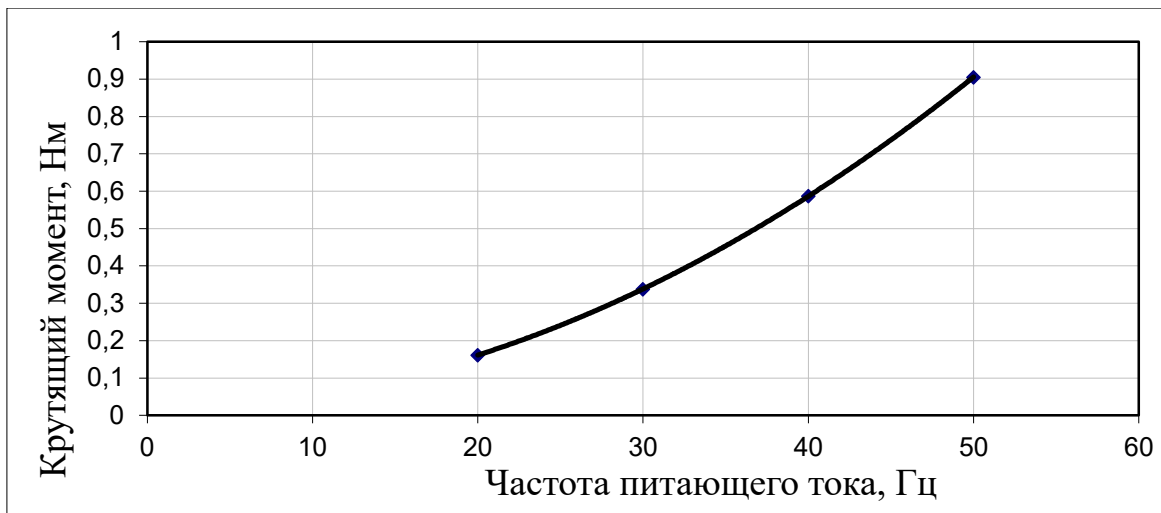


Рис. 6. График зависимости потребного вращательного момента на валу от частоты вращения приводного вала

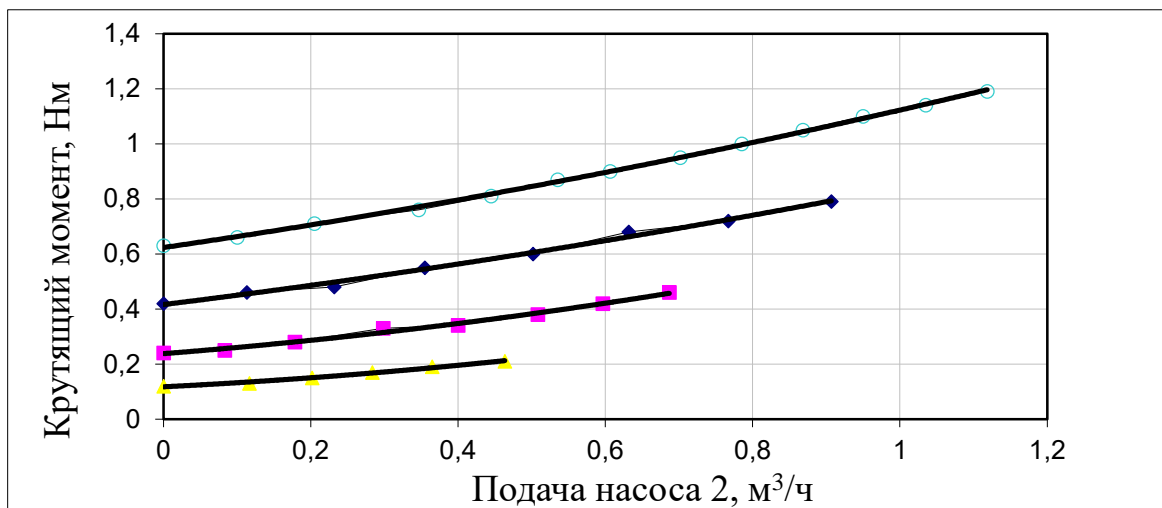


Рис. 7. График зависимости крутящего момента от подачи насоса

## Лабораторная работа № 4

### Определение мощностных характеристик электропривода и КПД насоса

Целью работы является экспериментальное определение КПД системы насос-электродвигатель в зависимости от частоты вращения вала.

#### Методика проведения работы

1. Закрывать краны КР2, КР3.
2. Открыть кран КР4 и задвижки ЗД2, ЗД3.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить питание ПЧ насоса 2 тумблером «Насос 2».
5. На панели преобразователя частоты 2 нажать кнопку «Auto On».
6. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 2, по часовой стрелке до упора.
7. Дождаться установившихся значений параметров насоса 2.
8. На табло панели преобразователя частоты 2 включить отображение значения затраченной мощности с помощью клавиши ▼ .
9. Записать в табл. 10 следующие значения: давление на входе насоса 2, давление на выходе насоса 2, подача насоса 2, затраченная мощность, крутящий момент, частота вращения вала двигателя насоса 2.
10. Плавно закрывая задвижку ЗД3, установить требуемую (см. табл. 10) величину давления  $p_{вых2}$  на выходе насоса 2.
11. Записать в табл. 10 следующие значения: давление на входе насоса 2, давление на выходе насоса 2, подача насоса 2, затраченная мощность, крутящий момент на валу приводного электродвигателя насоса 2.
12. Повторить действия по пунктам 10, 11 для всех значений давления  $p_{вых2}$ , соответствующих табл. 10, вплоть до закрытия ЗД3.
13. Открыть задвижку ЗД3.
14. На табло панели преобразователя частоты 2 включить отображение значения частоты с помощью клавиши ▼

15. Повторить действия согласно пунктам 6 – 14 для значений частоты 40, 30 и 20 Гц, значение контролировать по табло на панели преобразователя частоты 2.

16. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 2.

17. Выключить питание ПЧ насоса 2.

18. Выключить питание системы управления.

19. Рассчитать давление, создаваемое насосом:

$$p_{H2} = p_{\text{ВЫХ2}} - p_{\text{ВХ2}} \cdot$$

20. Рассчитать требуемую приводную мощность насоса

$$N_{\text{ПОТР}} = M_H \cdot \omega_H = M_H \cdot 2\pi n,$$

где  $\omega_H$  – угловая частота вращения, рад/с.

21. Рассчитать КПД системы насос-электродвигатель:

$$\eta_H = \frac{p_{H2} \cdot Q_{H2}}{N_{\text{ЗАТР}} \cdot 60},$$

где  $p_{H2}$  - давление, создаваемое насосом, кПа;

$Q_{H2}$  - подача насоса, л/мин;

$N_{\text{ЗАТР}}$  - затраченная мощность, Вт.

22. Рассчитать гидромеханический КПД насоса:

$$\eta_H = \frac{p_{H2} \cdot Q_{H2}}{N_{\text{ПОТР}} \cdot 60}$$

23. По полученным данным построить графики зависимости  $\eta_H = f(Q_{H2})$  и

$\eta_{\text{ГМ}} = f(Q_{H2})$  (рис. 8, 9).

24. Сделать выводы.

## Обработка экспериментальных данных

Таблица 10 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 4

Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	50 ( $n = \underline{\hspace{1cm}}$ об/с)					
Давление $p_{вых2}$ на выходе насоса 2, кПа (изб.)		115	140	165	190	115
Давление $p_{вх2}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Затраченная мощность $N_{ЗАТР}$ системой, Вт						
КПД $\eta_H$						
КПД $\eta_{ГМ}$						
Крутящий момент $M_H$ , Нм						
Частота вращения $n$ , об/с						
Приводная мощность $N_{ПОТР}$ , Вт						
Частота питающего тока, Гц	40 ( $n = \underline{\hspace{1cm}}$ об/с)					
Давление $p_{вых2}$ на выходе насоса 2, кПа (изб.)		80	95	110	125	
Давление $p_{вх2}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{H2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Затраченная мощность $N_{ЗАТР}$ системой, Вт						
КПД $\eta_H$						
КПД $\eta_{ГМ}$						
Крутящий момент $M_H$ , Нм						
Частота вращения $n$ , об/с						
Приводная мощность $N_{ПОТР}$ , Вт						



Параметр	Номер опыта					
	1	2	3	4	5	6
Частота питающего тока, Гц	30 ( $n = \underline{\hspace{1cm}}$ об/с)					
Давление $p_{вых2}$ на выходе насоса 2, кПа (изб.)		50	60	70	80	
Давление $p_{вх2}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{Н2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Затраченная мощность $N_{ЗАТР}$ системой, Вт						
КПД $\eta_H$						
КПД $\eta_{ГМ}$						
Крутящий момент $M_H$ , Нм						
Частота вращения $n$ , об/с						
Приводная мощность $N_{ПОТР}$ , Вт						
Частота питающего тока, Гц	20 ( $n = \underline{\hspace{1cm}}$ об/с)					
Давление $p_{вых2}$ на выходе насоса 2, кПа (изб.)		28	32	36	40	
Давление $p_{вх2}$ на входе насоса 2, кПа (изб.)						
Перепад давления $p_{Н2}$ на насосе 2, кПа						
Подача $Q_H$ насоса 2, л/мин						
Затраченная мощность $N_{ЗАТР}$ системой, Вт						
КПД $\eta_H$						
КПД $\eta_{ГМ}$						
Крутящий момент $M_H$ , Нм						
Частота вращения $n$ , об/с						
Приводная мощность $N_{ПОТР}$ , Вт						

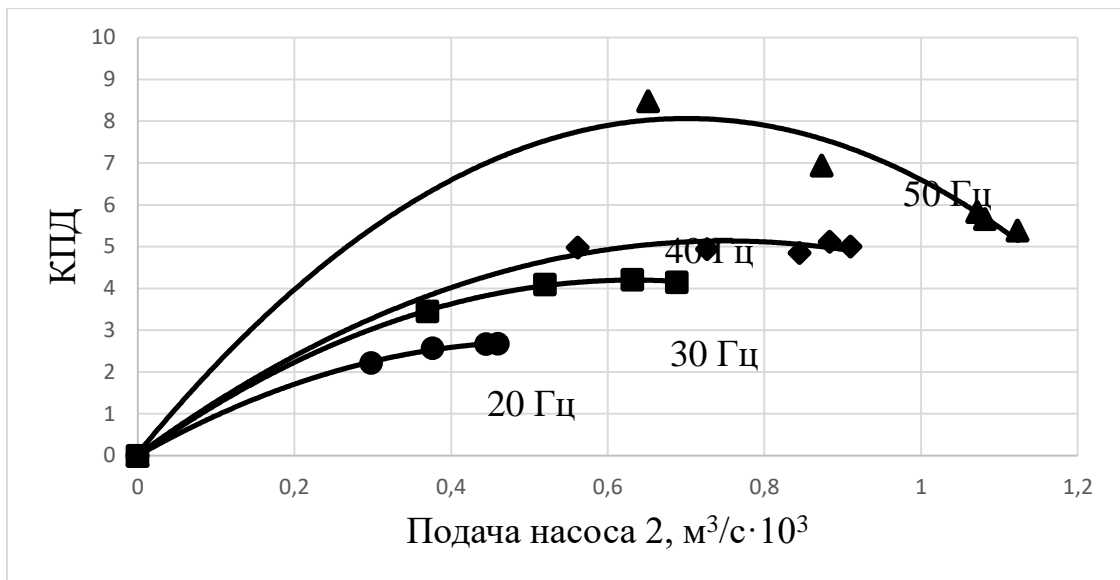


Рис. 8. Зависимость КПД системы насос-электродвигатель от поддачи насоса 2

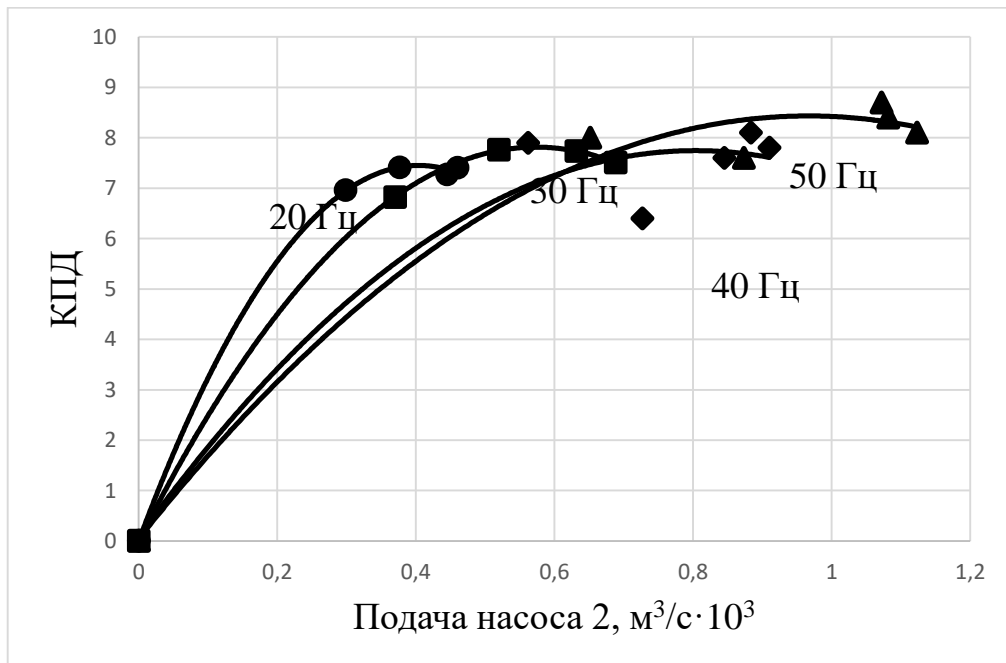


Рис. 9. Зависимость гидромеханического КПД от поддачи насоса 2

## Лабораторная работа № 5

### Экспериментальное определение напорных характеристик при последовательном соединении насосов при различных частотах вращения вала одного из них

Целью работы является экспериментальное построение характеристики совместной работы последовательно соединенных насосов 1 и 2 в координатах давление-подача.

#### Методика проведения работы

Для получения характеристики двух последовательно соединенных насосов можно использовать графический метод. Используя график зависимости  $P_{Hi}=f(Q_{Hi})$  (см. рис. 3 лабораторной работы № 1), графическим суммированием получаем график зависимости  $P_{Hc}(Q_H)=P_{H1}+P_{H2}$ . Пример характеристики при последовательной работе насосов приведен на рис. 10.

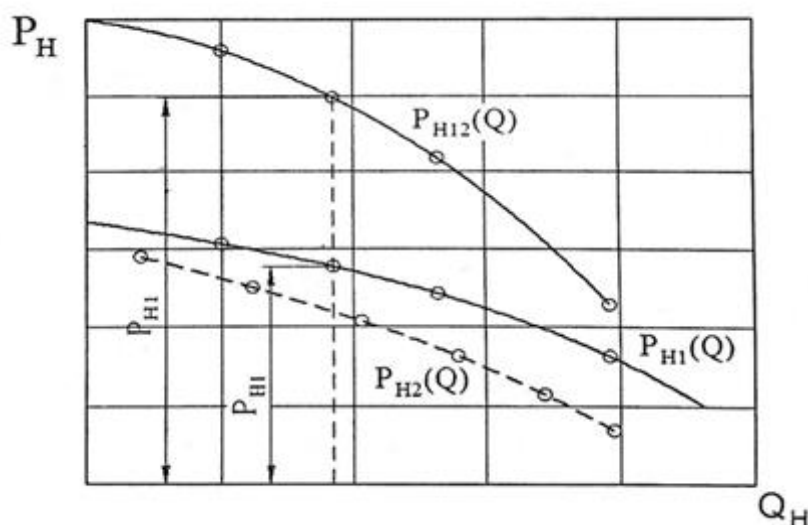


Рис. 10. Пример характеристики последовательной работы насосов

1. Закрывать краны КР2, КР4 и задвижку ЗД1.
2. Открыть кран КР3 и задвижки ЗД2, ЗД3.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить питание ПЧ насоса 1 тумблером «Насос 1».
5. Включить питание ПЧ насоса 2 тумблером «Насос 2».
6. На панели частотных преобразователей 1 и 2 нажать кнопку «Auto On».

7. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 2, по часовой стрелке до упора.

8. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 1, по часовой стрелке до упора.

9. Дождаться установившихся значений параметров насосов 1 и 2.

10. Записать в табл. 11 следующие значения: давление на выходе насоса 1 –  $p_{H1}$ ; подачу насосов на выходе первого насоса –  $Q_{H1}$  (при данной схеме подключения насосов подача на выходе насоса 2 равна подаче на выходе насоса 1).

11. Плавно поворачивая рукоятку задвижки ЗДЗ, увеличить сопротивление (давление) на выходе насоса 1 ( $p_{H1}$ ) на 40 – 50 кПа.

12. Записать в табл. 11 следующие значения: давление на выходе насоса 1 –  $p_{H1}$ ; подачу насосов на выходе первого насоса –  $Q_{H1}$ .

13. Повторить действия согласно пунктам 12, 13 до полного закрытия задвижки ЗДЗ.

14. Открыть задвижку ЗДЗ.

15. Повторить действия согласно пунктам 9 – 15 для значений частоты 40, 30 и 20 Гц для насоса 1, значение контролировать по табло преобразователя частоты 1. Если на табло отображается величина, отличная от частоты питающего тока, включить её отображение клавишей ▼.

16. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 1.

17. Выключить питание ПЧ насоса 1.

18. Нажать кнопку "Off/Reset" на панели управления частотного преобразователя 2.

19. Выключить питание ПЧ насоса 2.

20. Выключить питание системы управления.

21. Построить график зависимости  $P_{H1}=f(Q_{H1})$ , полученный экспериментальным путем (рис. 11).

22. Сравнить характеристики, полученные экспериментально и путем сложения графиков. Сделать выводы.

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 11 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 5

Параметр	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Частота питающего тока, Гц	50(H1), 50(H2)						
Давление $p_{HI}$ на выходе насоса 1, кПа (изб.)							
Подача насосов $Q_{HI}$ , л/мин							
Частота питающего тока, Гц	40(H1), 50(H2)						
Давление $p_{HI}$ на выходе насоса 1, кПа (изб.)							
Подача насосов $Q_{HI}$ , л/мин							
Частота питающего тока, Гц	30(H1), 50(H2)						
Давление $p_{HI}$ на выходе насоса 1, кПа (изб.)							
Подача насосов $Q_{HI}$ , л/мин							
Частота питающего тока, Гц	20(H1), 50(H2)						
Давление $p_{HI}$ на выходе насоса 1, кПа (изб.)							
Подача насосов $Q_{HI}$ , л/мин							

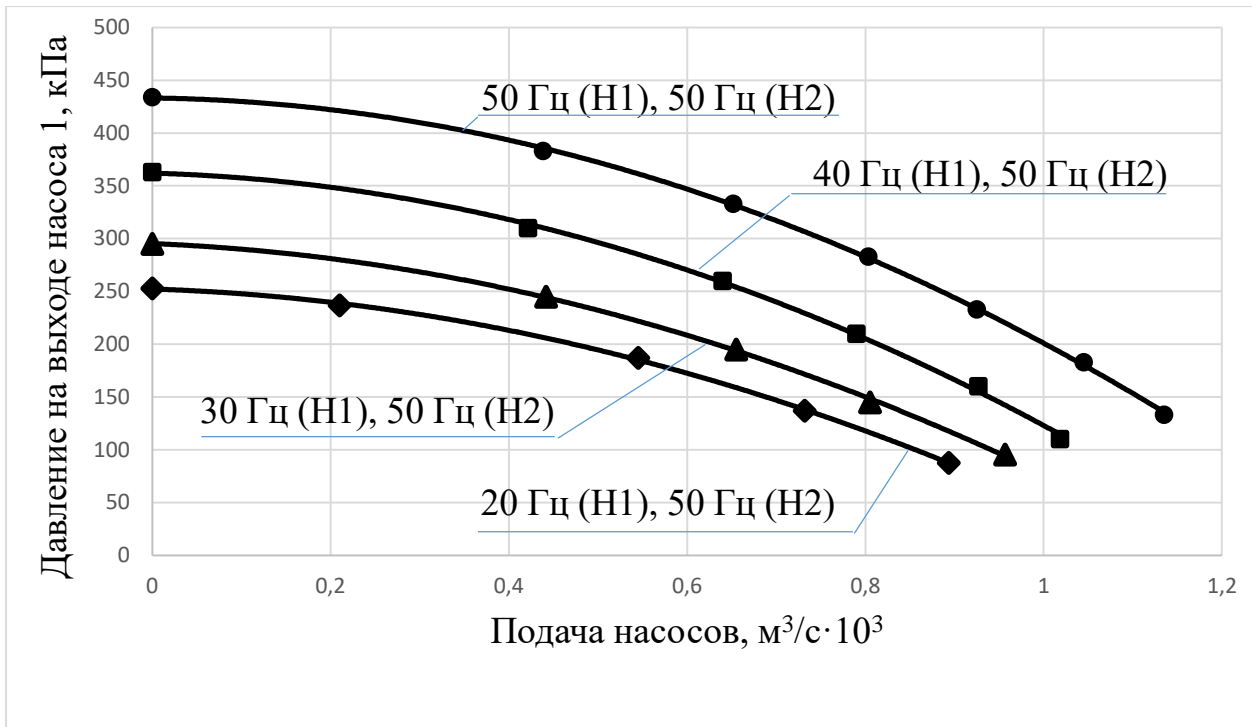


Рис. 11. График зависимости давления на выходе от подачи насоса 1

## Лабораторная работа № 6

### Экспериментальное определение напорных характеристик при параллельном соединении насосов при различных частотах вращения вала одного из них

Целью работы является экспериментальное построение характеристики совместной работы параллельно соединенных насосов 1 и 2 в координатах давление-подача.

#### Методика проведения работы

1. Для получения характеристики двух параллельно соединенных насосов можно использовать графический метод. Используя график зависимости  $P_{Hi} = f(Q_{Hi})$  (см. рис. 3 лабораторной работы № 1), графическим суммированием получаем график зависимости  $P_{Hi} = f(Q_{H1} + Q_{H2})$ . Пример характеристики при параллельной работе насосов приведен на рис. 12.

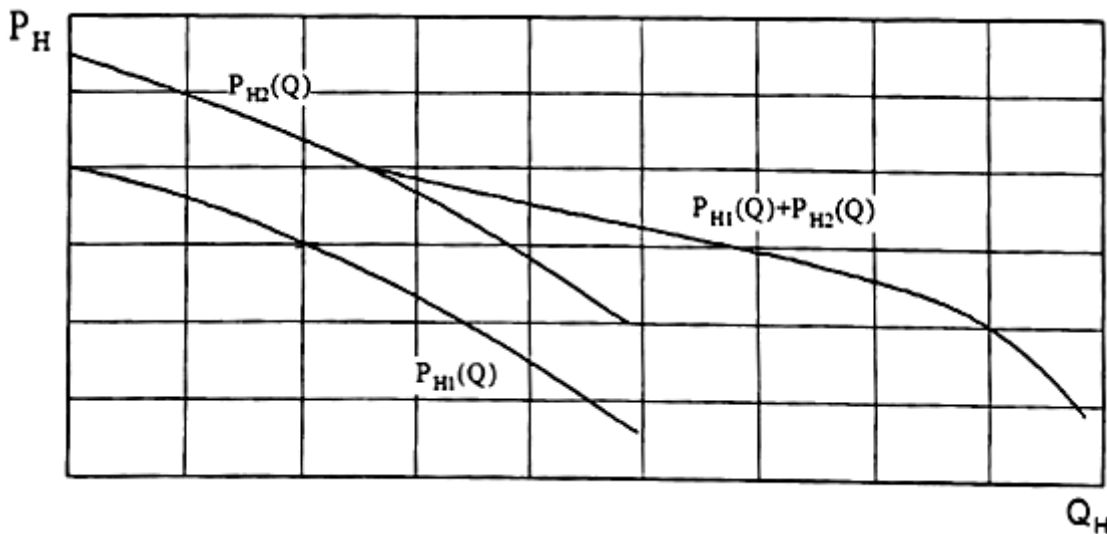


Рис. 12. Пример характеристики при параллельной работе насосов

2. Закрывать краны КР2, КР3.
3. Открыть кран КР4 и задвижки ЗД1, ЗД2, ЗД3.
4. Включить питание системы управления.
5. Включить питание ПЧ насоса 1 тумблером «Насос 1».
6. Включить питание ПЧ насоса 1 тумблером «Насос 2».
7. На панели частотных преобразователей 1 и 2 нажать «Auto On».

8. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 2, по часовой стрелке до упора.
9. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 1, по часовой стрелке до упора.
10. Дождаться установившихся значений параметров насосов 1 и 2.
11. Записать в табл. 15 следующие значения: давление на выходе насосной станции -  $p_{НС}$ ; суммарную подачу насосов -  $Q_{НС}$  (определяется как сумма показаний расходомеров P1 и P2).
12. Плавно поворачивая рукоятку задвижки ЗДЗ, увеличить сопротивление (давление) на выходе насосной станции ( $p_{НС}$ ) на 20 – 25 кПа.
13. Записать в табл. 12 следующие значения: давление на выходе насосной –  $p_{НС}$ ; суммарную подачу насосов –  $Q_{НС}$ .
14. Повторить действия согласно пунктам 12, 13 до полного закрытия задвижки ЗДЗ.
15. Открыть задвижку ЗДЗ.
16. Повторить действия согласно пунктам 9 – 15 для значения частоты 40, 30 и 20 Гц для насоса 1, значение контролировать по табло преобразователя частоты 1. Если на табло отображается величина, отличная от частоты питающего тока, включить ее отображение клавишей ▼.
17. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 1.
18. Выключить питание ПЧ насоса 2.
19. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 2.
20. Выключить питание ПЧ насоса 1.
21. Выключить питание системы управления.
22. Построить график зависимости  $P_{НС} = f(Q_{НС})$ , полученный экспериментальным путем (рис. 13, 14, 15).
23. Сравнить характеристики, полученные экспериментально и путем сложения графиков (рис. 16). Сделать выводы.



## Обработка экспериментальных данных

Таблица 12 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 6

Совместная работа насосов Н1 и Н2							
Параметр	Номер опыта						
	1	2	3	4	5	6	7
Частота питающего тока, Гц	50 (Н1), 50 (Н2)						
Давление $p_{НС}$ на выходе насосной станции, кПа (изб.)							
Суммарная подача двух насосов $Q_{НС}$ , л/мин							
Частота питающего тока, Гц	40 (Н1), 50 (Н2)						
Давление $p_{НС}$ на выходе насосной станции, кПа (изб.)							
Суммарная подача двух насосов $Q_{НС}$ , л/мин							
Частота питающего тока, Гц	30 (Н1), 50 (Н2)						
Давление $p_{НС}$ на выходе насосной станции, кПа (изб.)							
Суммарная подача двух насосов $Q_{НС}$ , л/мин							
Частота питающего тока, Гц	20 (Н1), 50 (Н2)						
Давление $p_{НС}$ на выходе насосной станции, кПа (изб.)							
Суммарная подача двух насосов $Q_{НС}$ , л/мин							

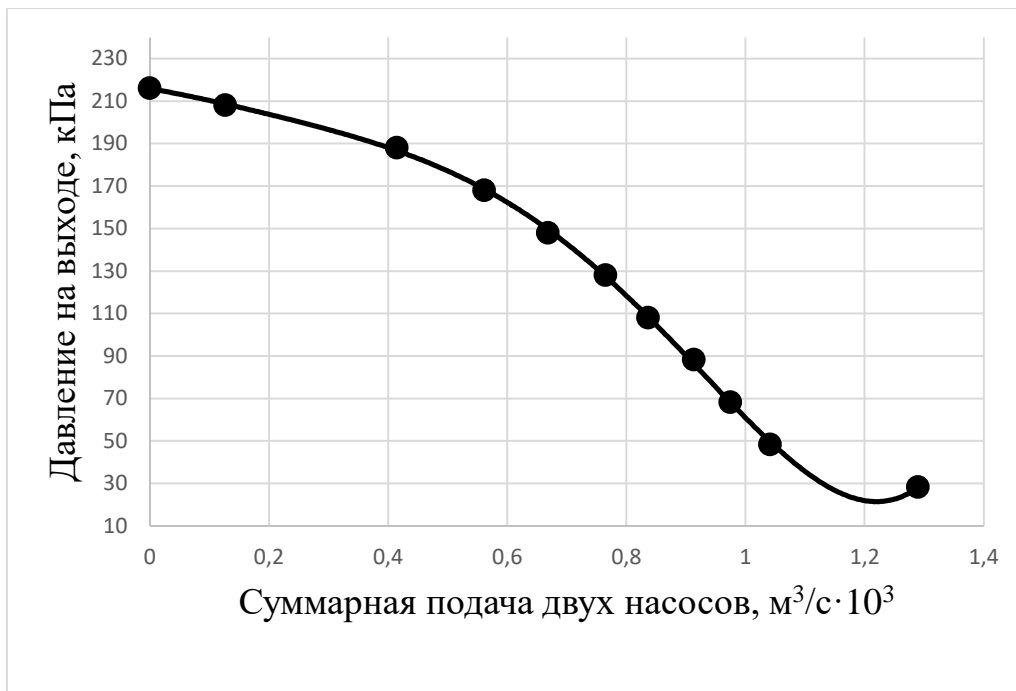


Рис. 13. График зависимости давления на выходе от суммарной подачи двух насосов при частоте питающего тока  $N_1 = 20$  Гц,  $N_2 = 50$  Гц

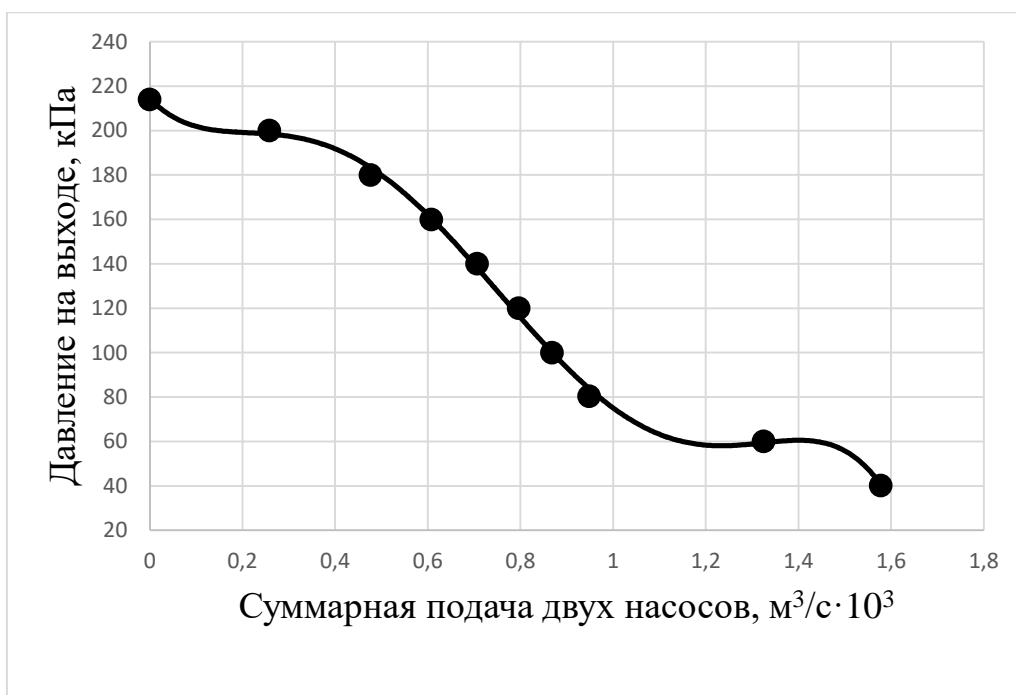


Рис. 14. График зависимости давления на выходе от суммарной подачи двух насосов при частоте питающего тока  $N_1 = 30$  Гц,  $N_2 = 50$  Гц

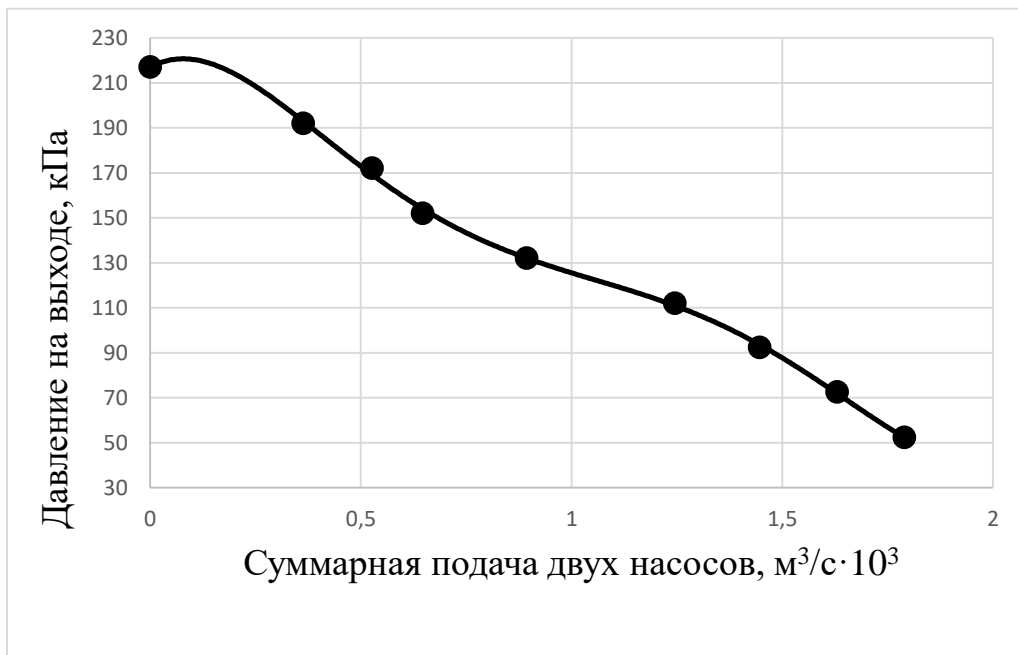


Рис. 15. График зависимости давления на выходе от суммарной подачи двух насосов при частоте питающего тока  $N_1 = 40$  Гц,  $N_2 = 50$  Гц

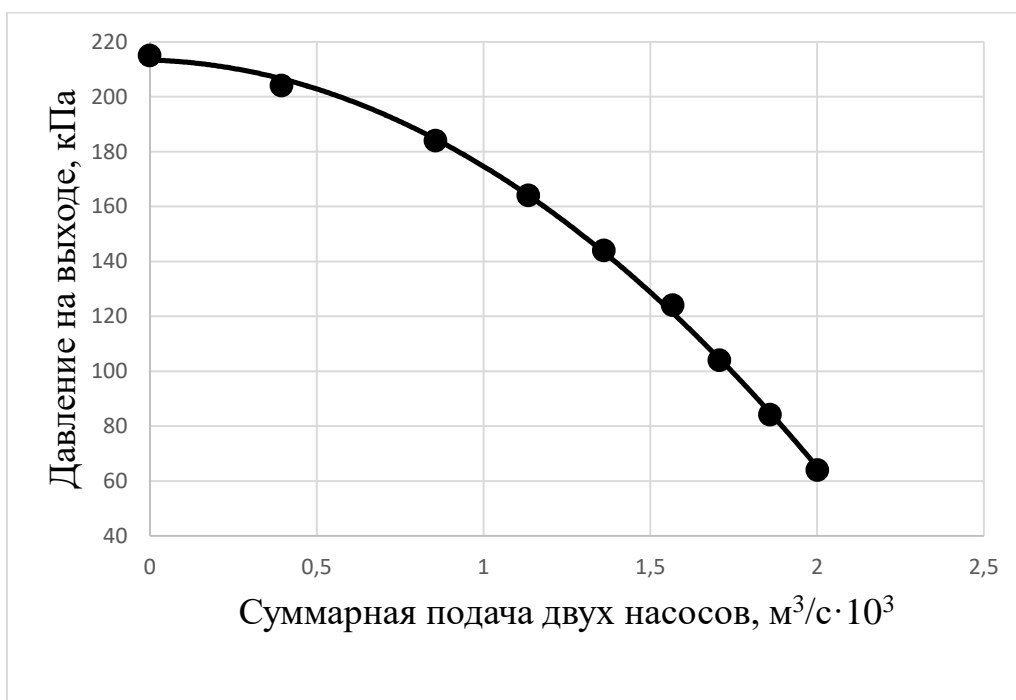


Рис. 16. График зависимости давления на выходе от суммарной подачи двух насосов при частоте питающего тока  $N_1 = 50$  Гц,  $N_2 = 50$  Г

## Лабораторная работа № 7

### Согласование характеристик насоса и сети

Целью работы является получение характеристики гидравлической системы, её согласование с характеристикой центробежного насоса и получение рабочей точки, которая соответствует текущему режиму работы насоса.

#### Методика проведения работы

Данная лабораторная работа может выполняться с использованием ноутбука или без него, измеряемые данные дублируются на электронных табло.

В качестве характеристики насоса использовать характеристику, полученную в лабораторной работе № 1.

1. Закрыть краны КР3, КР4 и задвижку ЗД3.
2. Открыть задвижку ЗД1 и кран КР2.
3. Включить питание системы управления.
4. Включить питание ПЧ насоса 1 тумблером «Насос 1».
5. На панели частотного преобразователя 1 нажать кнопку «Auto On».
6. Повернуть потенциометр, расположенный на панели блока управления и соответствующий насосу 1, по часовой стрелке до упора.
7. Дождаться установившихся значений параметров насоса 1.
8. Записать в табл. 13 следующие значения: давление на выходе насосной станции, подачу насоса 1.
9. Вращая ручку потенциометра, соответствующего насосу 1, уменьшить величину частоты на 5 Гц. При этом изменится подача насоса 1.
10. Записать в табл. 13 следующие значения: давление на выходе насосной станции, подачу насоса 1.

11. Повторить действия по пунктам 9 – 10 до прекращения подачи насоса 1.

12. Нажать кнопку «Off/Reset» на панели управления частотного преобразователя 1.

13. Выключить питание ПЧ насоса 1.

14. Выключить питание системы управления.

15. Построить график зависимости давления на выходе насосной станции от подачи насоса  $P_{НС} = f(Q_{НС})$  (рис. 17).

16. Изобразить в одной координатной плоскости характеристику насоса 1 (см. лабораторную работу № 1) и полученную характеристику системы. Режим работы насоса будет соответствовать давлению и подаче в точке пересечения этих характеристик. Сделать выводы.

### Обработка экспериментальных данных

Таблица 13 – Запись экспериментальных данных к лабораторной работе № 7

Параметр	Номер опыта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Давление на выходе насосной станции, кПа										
Подача насоса 1, л/мин										

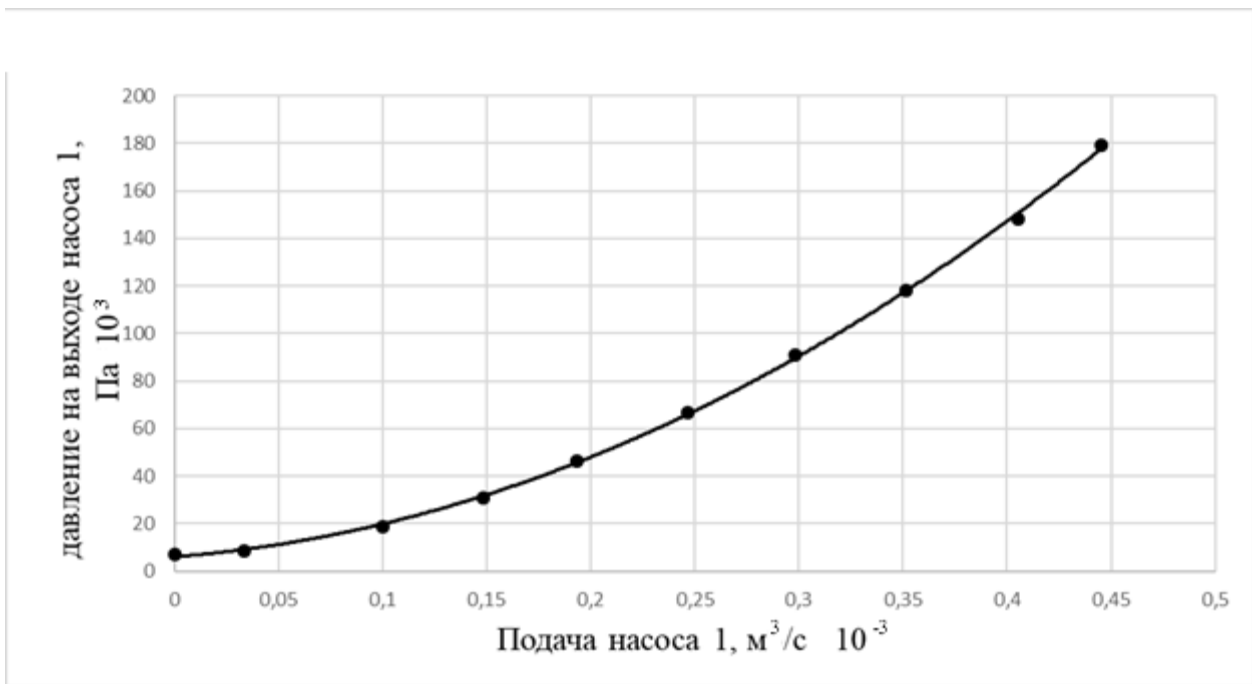


Рис. 17. График зависимости давления на выходе насосной станции от подачи насоса

## Библиографический список

### Рекомендуемая литература

1. Мидуков, Н.П. Процессы и аппараты [Текст]: учеб.- практ. пособие для выполнения лабораторных работ/ Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.О. Никифоров/ ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. – 108 с.: ил. 22. ISBN-978-5-91646-096-4

2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] учебник для вузов / А.Г. Касаткин/ 13 – е изд., стереотипное. – М.: ООО ИД «Альянс», 2006. – 753 с.

3. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии [Текст]: учеб. пособие для вузов /К.Ф.Павлов, П.Г.Романков, А.А.Носков/ 11 – е изд., перераб. и доп. – М.: РусМедиаконсалт, 2004. – 576 с.

---

Редактор и корректор Н.П. Новикова  
Компьютерная верстка М.В. Колосова

Темплан 2021 г., поз. 16

---

Подп. к публикации 27.04.21.

Издание электронное.  
Изд. № 16.

Уч. - изд.л. 3,0.

---

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД,  
198095, СПб, ул. Ивана Черных, 4.