

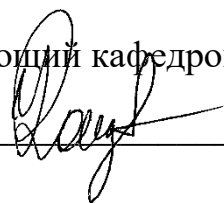
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт *горного дела и строительства*
Кафедра «Геотехнологии и строительство подземных сооружений»

Утверждено на заседании кафедры
«Геотехнологии и строительство подзем-
ных сооружений»
«24» января 2023 г., протокол № 6

Заведующий кафедрой



_____. Н.М. Качурин

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению лабораторных работ
по дисциплине (модулю)
«Эксплуатация насосных и компрессорных станций»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы бакалавриата

по направлению подготовки
21.03.01 Нефтегазовое дело

с направленностью (профилем)
Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения нефти,
газа и продуктов переработки

Форма обучения: очная

Идентификационный номер образовательной программы: 210301-01-23

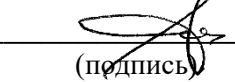
Тула 2023 год

Разработчики методических указаний

Ковалев Р.А., директор ИГДиС, д-р техн. наук, доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

Сарычев В.И., проф., д-р техн. наук, доц.
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)


(подпись)

СОДЕРЖАНИЕ

Описание стенда для исследования работы центробежных насосов	4
Лабораторная работа № 1. Построение характеристик центробежного насоса	9
Лабораторная работа № 2. Изучение влияния частоты вращения рабочего колеса на характеристики центробежных насосов	11
Лабораторная работа № 3. Определение характеристики сети	13
Лабораторная работа № 4. Совместная работа последовательно соединенных насосов, имеющих одинаковые характеристики	16
Лабораторная работа № 5. Совместная работа параллельно соединенных насосов, имеющих одинаковые характеристики	20
Лабораторная работа № 6. Совместная работа последовательно соединенных насосов, имеющих разные характеристики	24
Лабораторная работа № 7. Работа электронного циркуляционного насоса в режиме $\Delta p = \text{const}$	28
Лабораторная работа № 8. Работа электронного циркуляционного насоса в режиме $\Delta p = \text{variable}$	30
Список использованных источников	32

ОПИСАНИЕ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Схема лабораторного стенда для исследования работы центробежных насосов показана на рис. 1.

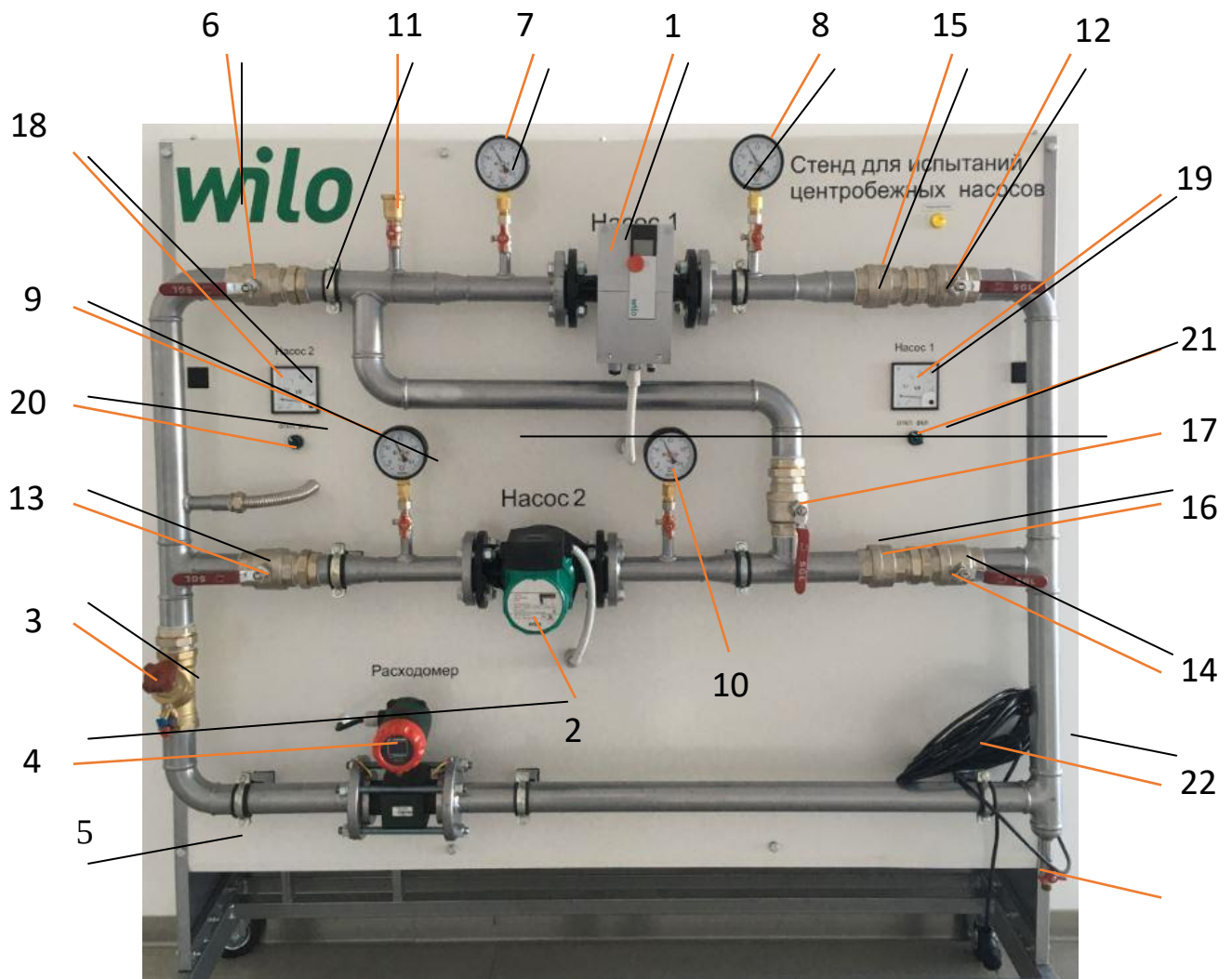


Рисунок 1 – Стенд для испытаний центробежных насосов

Установка представляет собой замкнутый контур, оснащенный мембранным баком для компенсации температурных расширений жидкости (смонтирован на задней стороне стенда). Трубопроводы заполняются (опорожняются) водой через патрубок с краном 5. Удаление воздуха происходит через автоматический воздухоотводчик 6. Для эффективного удаления остатков воздуха после заполнения системы рекомендуется произвести запуск насосов в разных режимах (по отдельности, параллельно, последовательно).

В системе установлено два центробежных циркуляционных насоса с мокрым ротором Wilo-Stratos 40/1-12 (1) и Wilo-TOP-S 40/10 (2). Первый насос относится к группе высокоэффективных насосов с бесступенчатым ре-

гулированием числа оборотов. Рабочие характеристики данного насоса показаны на рис. 2, 3 и 4.

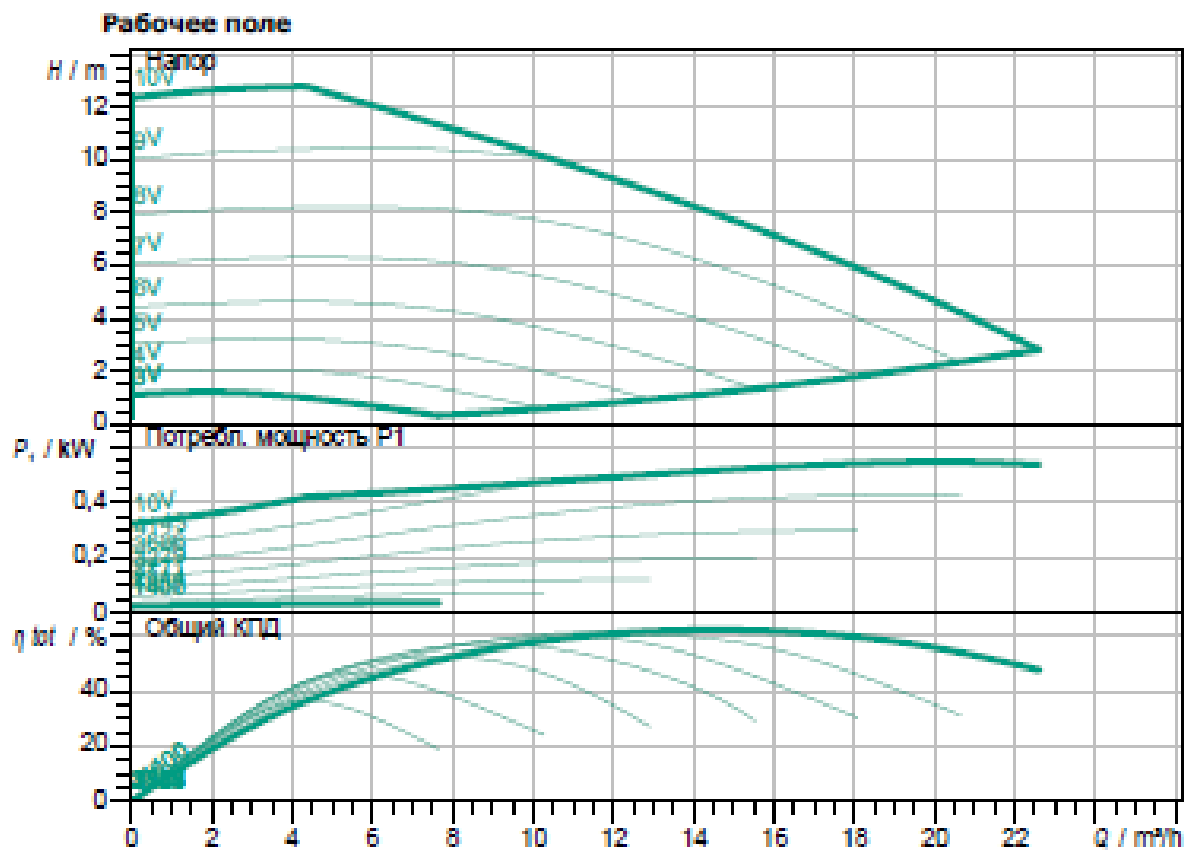


Рисунок 2 – Рабочие характеристики насоса Wilo-Stratos 40/1-12 в режиме ручного регулирования числа оборотов

Расшифровка обозначения:

Stratos – серия насоса;

40 – условный проход, мм;

1 – 12 – диапазон изменения напора, м.

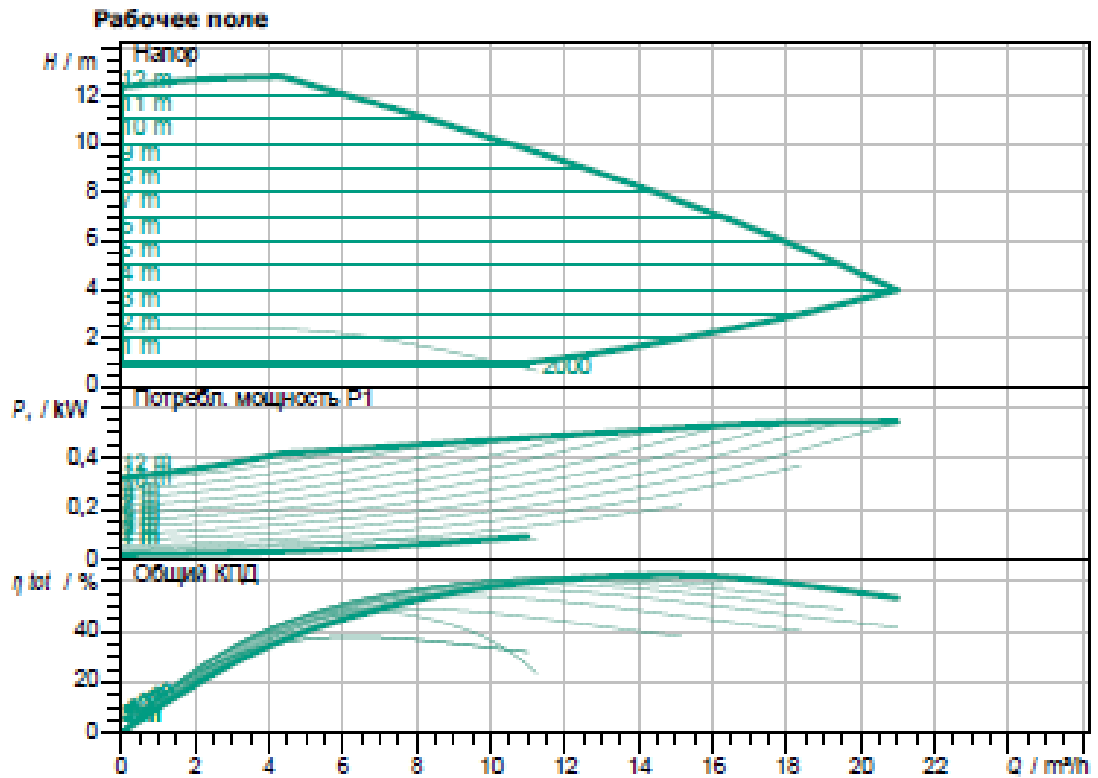


Рисунок 3 – Рабочие характеристики насоса Wilo-Stratos 40/1-12 в режиме $\Delta P = \text{constant}$

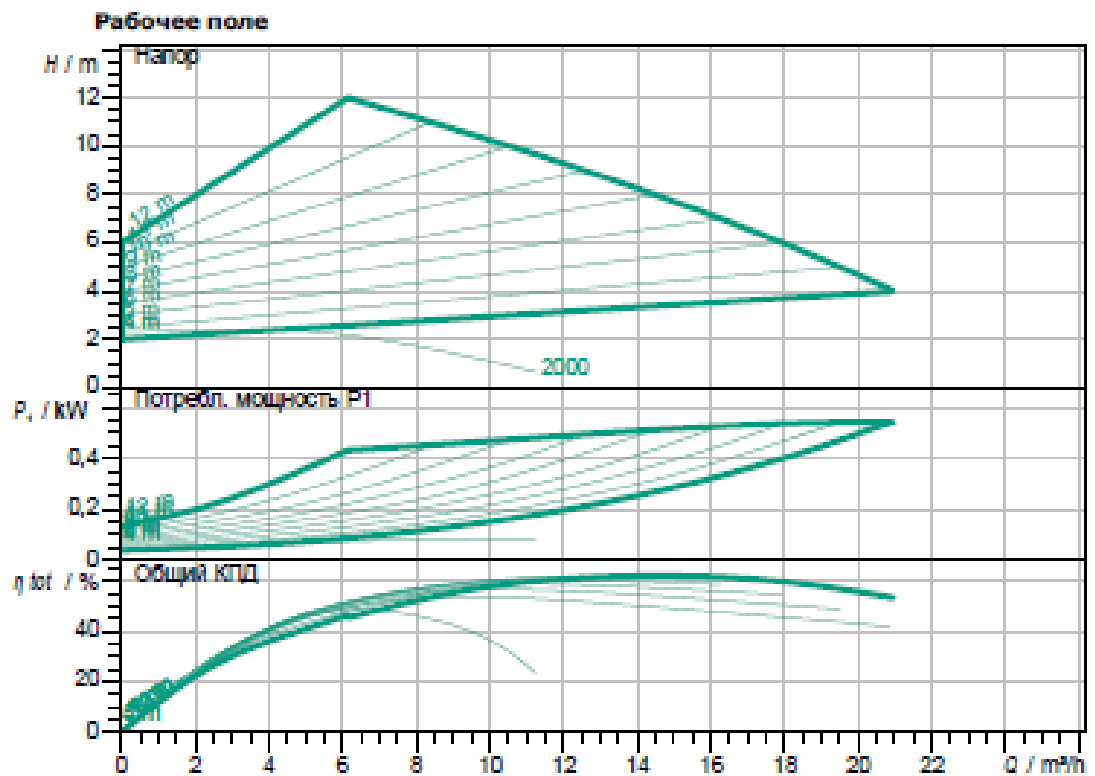


Рисунок 4 – Рабочие характеристики насоса Wilo-Stratos 40/1-12 в режиме $\Delta P = v$

Второй насос относится к группе стандартных насосов и имеет 3 скорости вращения ротора. Рабочие характеристики данного насоса показаны на рис. 5.

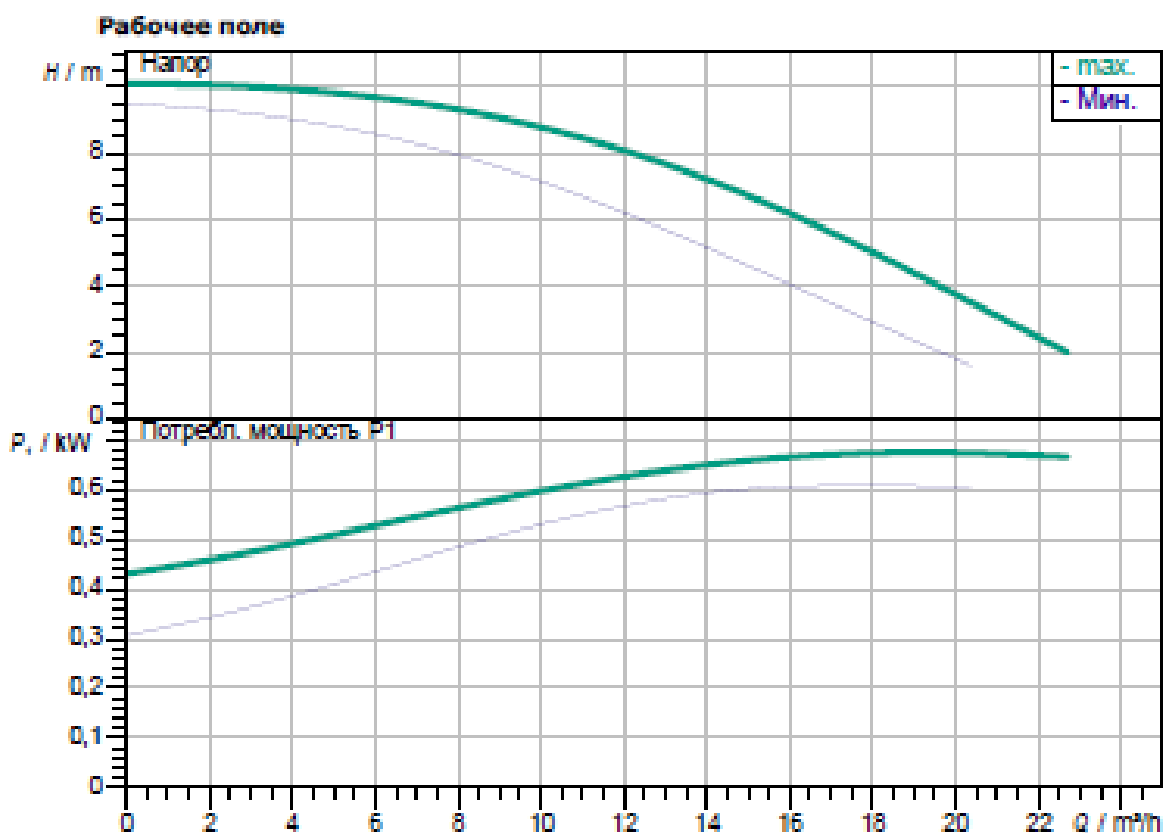


Рисунок 5 – Рабочие характеристики насоса Wilo-TOP-S 40/10

Расшифровка обозначения:

TOP-S – серия насоса;

40 – условный проход, мм;

10 – максимальный напор при нулевой подаче, м.

Каждый насос оборудован манометрами для измерения избыточного статического давления до и после насоса (7-10), запорной арматурой (11–14) и обратными клапанами 15, 16. Обвязка насосов позволяет осуществлять как параллельное, так и последовательное их подключение. Для последовательного соединения служит перепускной трубопровод с запорным вентилем 17.

Каждый насос оснащен ваттметром 18, 19 для измерения потребляемой из сети мощности.

Включение/выключение насосов осуществляется переключателями 20 и 21. Подключение питания стенда (однофазное напряжение 220 В) осуществляется кабелем с вилкой 22 через автоматический выключатель, расположенный справа на боковой поверхности стенда.

Изменение сопротивления сети (расхода воды) осуществляется регулятором расхода 3. Расход жидкости в сети измеряется расходомером 4.

В общем случае напор H , м, создаваемый насосом, определяется по формуле:

$$H = (p_{п2} - p_{п1}) / \rho g, \quad (1)$$

где $p_{п2}$ – полное избыточное давление после насоса, Па; $p_{п1}$ – полное избыточное давление до насоса, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³ (в процессе выполнения работ вода в контуре нагревается, и ее плотность можно принять в среднем равной 990 кг/м³); g – ускорение свободного падения, м/с².

Поскольку в данной системе диаметры всасывающего и напорного трубопроводов в точках измерения одинаковы, соответственно прирост динамического давления равен нулю и формулу (1) можно переписать в виде:

$$H = (p_{ст2} - p_{ст1}) / \rho g, \quad (2)$$

где $p_{ст2}$ – статическое избыточное давление после насоса, Па; $p_{ст1}$ – статическое избыточное давление до насоса, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³ (в процессе выполнения работ вода в контуре нагревается, и ее плотность можно принять в среднем равной 990 кг/м³); g – ускорение свободного падения, м/с².

Потери напора на участках между контрольными точками (манометрами) и насосом очень малы, поэтому при расчете напора насоса в лабораторных работах ими можно пренебречь.

Статическое избыточное давление до и после насоса измеряется манометрами.

Полезная мощность $N_{пол}$, Вт, развиваемая насосом, рассчитывается по формуле:

$$N_{пол} = \rho Q H / 367, \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³ (в процессе выполнения работ вода в контуре нагревается, и ее плотность можно принять в среднем равной 990 кг/м³); Q – производительность насоса, м³/ч; H – напор насоса, м.

Мощность, потребляемая из электросети P_1 , кВт, определяется по показаниям ваттметров. Мощность на валу P_2 для насосов с мокрым ротором не выделяется, поскольку мотор и гидравлическая часть насоса представляют собой единое целое. В каталогах на насосы с мокрым ротором так же приводятся значения P_1 .

КПД насоса с мокрым ротором (насосного агрегата) можно посчитать по формуле:

$$\text{КПД} = N_{пол} / P_1. \quad (4)$$

При изменении числа оборотов рабочего колеса центробежного насоса с n_1 до n_2 , его характеристики изменяются согласно следующим зависимостям:

$$H_2 = H_1 (n_2 / n_1)^2, \quad (5)$$

$$Q_2 = Q_1 (n_2 / n_1), \quad (6)$$

$$P_{1(2)} = P_{1(1)} (n_2 / n_1)^3, \quad (7)$$

КПД насоса при этом изменяется незначительно.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является изучение взаимосвязи между основными параметрами центробежных машин на основе опытных данных, полученных при испытании центробежного насоса.

Графически выраженные зависимости между напором, мощностью, коэффициентом полезного действия и производительностью называют индивидуальными характеристиками нагнетателя. Совокупность индивидуальных характеристик, построенных на одном графике, называется полной характеристикой.

Характеристики нагнетателей определяются экспериментально.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Произвести запуск насоса 2 при закрытом кране 14 на напорном трубопроводе и открытом кране 13 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 11, 12 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при максимальном числе оборотов рабочего колеса. Установка числа оборотов проводится в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации насоса.

2. Полностью открыть кран 14. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 9; давления после насоса манометром 10; мощности, потребляемой электродвигателем, ватт-метром 8.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. По экспериментальным данным рассчитать параметры насоса H , $N_{\text{пол}}$, КПД.

5. Опытные и расчетные данные занести в таблице.

6. На основании экспериментальных и расчетных данных построить характеристики центробежного насоса $H = f(Q)$, $P_1 = f(Q)$, КПД = $f(Q)$.

7. Сравнить полученные характеристики с данными каталога, построив их на одном графике.

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Положение регулирующего органа							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность насоса	Q	$\text{м}^3/\text{ч}$								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст1}}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст2}}$	Па								
Напор, создаваемый насосом	H	м								
Полезная мощность насоса	$N_{\text{пол}}$	Вт								
Мощность, потребляемая из электросети	P_1	Вт								
КПД насоса	КПД	—								

3. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется полной характеристикой нагнетателя?
2. Какие приборы необходимы для определения напора насоса?
3. Возможно ли теоретическое определение характеристик центробежного нагнетателя?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является проведение испытаний центробежного насоса при различной частоте вращения рабочего колеса с целью выявления зависимости его характеристик от числа оборотов.

В процессе работы измеряются напор, производительность, мощность и коэффициент полезного действия (КПД) при двух значениях числа оборотов рабочего колеса.

2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при числе оборотов рабочего колеса $n_1=4100$ об/мин. Установка числа оборотов проводится в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации насоса.

2. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 19.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. По экспериментальным данным рассчитать параметры насоса H , $N_{\text{пол}}$, КПД.

5. Опытные и расчетные данные занести в таблице.

6. Выполнить пункты 2–5 при меньшем числе оборотов рабочего колеса $n_2=3500$ об/мин.

7. На основании экспериментальных и расчетных данных построить характеристики центробежного насоса $H = f(Q)$, $P_1 = f(Q)$, КПД = $f(Q)$ при обоих числах оборотов на одном графике.

8. На том же графике построить характеристики насоса при $n=3500$ об/мин, полученные путем теоретического пересчета рабочих характеристик для $n=4100$ оборотов по формулам (5) – (7).

9. Сравнить полученные практическим и теоретическим путем характеристики при снижении числа оборотов с n_1 до n_2 .

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Положение регулирующего органа							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Экспериментальное определение рабочих характеристик при частоте вращения n_1										
Производительность насоса	Q	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст1}}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст2}}$	Па								
Напор, создаваемый насосом	H	м								
Полезная мощность насоса	$N_{\text{пол}}$	Вт								
Мощность, потребляемая из электросети	P_1	Вт								
КПД насоса	КПД	–								
Экспериментальное определение рабочих характеристик при частоте вращения n_2										
Производительность насоса	Q	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст1}}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст2}}$	Па								
Напор, создаваемый насосом	H	м								
Полезная мощность насоса	$N_{\text{пол}}$	Вт								
Мощность, потребляемая из электросети	P_1	Вт								
КПД насоса	КПД	–								
Теоретически рассчитанные по формулам (5) – (7) параметры для n_2										
Производительность насоса	$Q^{\text{теор}}$	м ³ /ч								
Напор, создаваемый насосом	$H^{\text{теор}}$	м								
Мощность, потребляемая из электросети	$P_1^{\text{теор}}$	Вт								

3. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменяются характеристики центробежных насосов при уменьшении числа оборотов рабочего колеса?
2. Какие существуют способы для изменения числа оборотов рабочего колеса центробежного насоса?
3. Как изменяется КПД центробежного насоса при уменьшении числа оборотов рабочего колеса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является ознакомление с методами построения характеристики сети, а также определение влияния отдельных факторов на вид характеристики.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сетью называется совокупность всасывающих и нагнетательных трубопроводов, арматуры, отопительных приборов, насосов и т.д. В общем случае при перемещении среды давление, создаваемое нагнетателем, затрачивается на подъем жидкости, преодоление разности давлений во всасывающей и напорной емкостях, на преодоление сопротивления сети и создание динамического давления потока среды на выходе из сети. Из этого следует, что величина создаваемого нагнетателем давления и его производительность зависят не только от самой гидравлической машины, но и от свойств сети, которую обслуживает нагнетатель.

Зависимость потерь давления в сети Δp от расхода среды Q через нее называется характеристикой сети. Характеристика сети может быть выражена графически и аналитически. В общем случае уравнение характеристики сети имеет вид:

$$\Delta p = kQ^n, \quad (1)$$

где k – коэффициент гидроаэродинамического сопротивления.

Показатель степени n изменяется в диапазоне $1 \leq n \leq 2$. Его величина определяется режимом течения жидкости. Для турбулентного режима, который наиболее часто реализуется на практике, $n = 2$ и характеристика сети для замкнутого циркуляционного контура представляет собой квадратичную параболу, исходящую из начала координат:

$$\Delta p = kQ^2. \quad (2)$$

Поскольку в замкнутом отопительном контуре все давление, создаваемое циркуляционным насосом, расходуется на преодоление сопротивления сети, то полная потеря давления в сети соответствует давлению, создаваемому циркуляционным насосом, P_n

$$\Delta p = p_{ст2} - p_{ст1}. \quad (3)$$

Коэффициент гидроаэродинамического сопротивления для каждого опыта определяется по формуле:

$$k_i = \frac{\Delta p}{Q^2}, \quad (4)$$

где Q – расход жидкости в сети, м³/ч.

Средняя величина коэффициента гидроаэродинамического сопротивления:

$$k_{\text{ср}} = \frac{\sum k_i}{m}, \quad (5)$$

где m – количество опытов в серии.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос запускается при максимальном числе оборотов рабочего колеса. Установка числа оборотов проводится в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации насоса.

2. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8.

3. Изменяя характеристику насоса путем изменения числа оборотов от максимального (4600 об/мин) до минимального (1400 об/мин), провести все измерения 8 раз.

4. По экспериментальным данным рассчитать величины Δp , k_i , $k_{\text{ср}}$.

5. Опытные и расчетные данные занести в таблице.

6. Увеличить сопротивление сети путем частичного закрытия регулятора расхода 3 и выполнить пункты 2-5.

7. На основании экспериментальных и расчетных данных по уравнению $\Delta p = k_{\text{ср}} Q^2$ построить характеристику сети, задавшись произвольными значениями расхода Q .

8. Все эксперименты провести для двух типов сетей – с малым и большим сопротивлением. Увеличить сопротивление сети можно путем частичного закрытия регулятора расхода 3.

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Опыты													
			сеть №1							сеть №2						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Расход воды в сети	Q	$\text{м}^3/\text{ч}$														
Статическое давление на выходе из насоса	$p_{\text{ст}2}$	Па														
Статическое давление на входе в насос	$p_{\text{ст}1}$	Па														
Потеря давления в сети	Δp	Па														
Коэффициент гидроаэродинамического сопротивления	k_i															
Средняя величина коэффициента гидроаэродинамического сопротивления	$k_{\text{ср}}$															

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие факторы оказывают влияние на параметры характеристики сети?
2. Какую кривую описывает точка пересечения характеристики сети и характеристики нагнетателя при изменении угловой скорости вращения рабочего колеса нагнетателя?
3. Какую кривую описывает рабочая точка при изменении сопротивления сети?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ НАСОСОВ, ИМЕЮЩИХ ОДИНАКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является исследование особенности совместной работы последовательно соединенных центробежных насосов и построение суммарной характеристики насосов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Последовательное соединение насосов применяется с целью увеличения давления (напора) в сети. Такой способ соединения применяется, если один из имеющихся насосов не может преодолеть сопротивление сети при заданной производительности. Для построения совместной характеристики последовательно работающих насосов необходимо сложить напоры нагнетателей при одинаковой производительности.

Работа состоит из двух этапов. Первый этап – построение теоретической суммарной характеристики двух последовательно соединенных насосов, имеющих одинаковые характеристики.

По результатам замеров и необходимых расчетов на одном графике строятся рабочие характеристики $H = f(Q)$ каждого насоса, работающего в отдельности (при правильном проведении эксперимента, полученные характеристики должны практически совпадать).

Допускается использовать характеристики насосов, полученные в лабораторных работах № 1 и № 2 при указанных числах оборотов.

Далее строится теоретическая суммарная характеристика двух последовательно соединенных насосов (на том же графике). Для построения суммарной характеристики последовательно работающих насосов выбирают ряд значений расхода воды в сети. Складывая для каждого из выбранных расходов соответствующие значения напоров, развиваемых каждым насосом в отдельности (для насосов, имеющих одинаковые характеристики, производится удвоение напора, создаваемого одним насосом), получаем ряд точек суммарной характеристики. Соединяя полученные точки плавной линией, получаем суммарную характеристику.

Второй этап - построение суммарной характеристики (практической) двух последовательно работающих насосов по результатам лабораторных измерений. При последовательном включении насосов весь расход жидкости последовательно проходит через каждый из нагнетателей.

Поскольку в перемычке между насосами будут возникать существенные потери, при расчете напора последовательно работающих насосов необходимо их учесть по разнице показаний манометров 7 и 10, а так как данные манометры расположены на разных уровнях (разность отметок установки

манометров $Z = 0,5$ м), к показаниям верхнего манометра нужно добавить давление столба жидкости высотой Z , Па.

Кроме того, поскольку манометры 8 и 9 расположены на разных уровнях, при расчете напора необходимо учесть геометрическую высоту подъема жидкости Z , м.

Таким образом, суммарный напор в данной системе при последовательном соединении определяется по формуле:

$$H = (p_{\text{ст}8} - p_{\text{ст}9})/\rho g + (p_{\text{ст}10} - (p_{\text{ст}7} + \rho g Z))/\rho g + Z, \quad (1)$$

3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Первый этап.

1. Произвести запуск насоса 2 при закрытом кране 14 на напорном трубопроводе и открытом кране 13 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 11, 12 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при максимальном числе оборотов рабочего колеса. Установка числа оборотов проводится в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации насоса.

2. Полностью открыть кран 14. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 9; давления после насоса манометром 10; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 8.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. Отключить питание насоса 1 с помощью переключателя 21.

5. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при числе оборотов рабочего колеса $n_1=4100$ об/мин.

6. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 19.

7. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

8. По экспериментальным данным рассчитать создаваемые насосами напоры H .

9. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

10. На основании экспериментальных и расчетных данных на одном графике построить характеристики центробежных насосов $H_1 = f(Q_1)$, $H_2 = f(Q_2)$.

Второй этап.

1. Произвести запуск насосов 1 и 2 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 13 на всасывающем трубопроводе краны 11 и 14 при этом должны быть закрыты. Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос 1 запускается при максимальном числе оборотов рабочего колеса, а насос 2 при числе оборотов $n_1=4100$ об/мин.

2. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления до насосов манометром 9; давления после насосов манометром 8; давления до и после переключки манометрами 10 и 7 соответственно.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. По экспериментальным данным рассчитать создаваемый суммарный напор H по формуле (13).

4. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

5. На основании экспериментальных данных построить характеристику центробежных насосов при последовательной работе $H = f(Q)$ на одном графике с первым этапом.

6. Сравнить суммарные характеристики, полученных на первом и втором этапах.

Наименование величин	Обозна- чение	Размер- ность	Положение регулирующего органа							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1 этап										
Насос №1										
Производительность	Q_1	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{сг11}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{сг12}$	Па								
Напор	H_1	м								
Насос №2										
Производительность	Q_2	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{сг21}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{сг22}$	Па								
Напор	H_2	м								
2 этап										
Производительность при после- довательно работающих насосах	Q	м ³ /ч								
Давление на нагнетании	$p_{сг8}$	Па								
Давление на всасывании	$p_{сг9}$	Па								
Давление до перемычки	$p_{сг10}$	Па								

Давление после переключки	$p_{ст7}$	Па								
Напор при последовательно работающих насосах	H	м								

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяются параметры насосов, работающих в сети последовательно?
2. При какой характеристики сети целесообразно последовательное включение нагнетателей?
3. В каких системах используется последовательно соединение насосов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ НАСОСОВ, ИМЕЮЩИХ ОДИНАКОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является исследование особенности совместной работы параллельно соединенных центробежных насосов и построение суммарной характеристики насосов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Параллельное соединение насосов применяется для увеличения расхода жидкости в сети. При параллельном соединении насосы подают жидкость в общую сеть, причем через каждый насос проходит половина общего расхода (при работе насосов с одинаковыми характеристиками). В месте соединения потоков устанавливается некоторое общее для обоих потоков давление, а расход будет равен сумме расходов обоих нагнетателей.

Отсюда следует, что при построении суммарной характеристики параллельно соединенных насосов суммируются производительности насосов при одинаковых напорах.

Работа состоит из двух этапов. На первом этапе строятся характеристики каждого насоса, работающего отдельно и теоретическая суммарная характеристика двух параллельно соединенных насосов.

По результатам замеров и необходимых расчетов на одном графике строятся рабочие характеристики $H = f(Q)$ каждого насоса, работающего в отдельности (при правильном проведении эксперимента, полученные характеристики должны практически совпадать). Допускается использовать характеристики насосов, полученные в лабораторных работах № 1 и № 2 при указанных числах оборотов.

На том же графике, используя данные первого этапа, строится теоретическая суммарная характеристика двух параллельно соединенных насосов. Для построения суммарной характеристики параллельно работающих насосов выбирают ряд значений напора. Складывая для каждого из выбранных значений напора соответствующие значения расходов (для одинаковых насосов производится удвоение расхода), получаем ряд точек суммарной характеристики. Соединяя полученные точки плавной линией, получаем суммарную характеристику.

На втором этапе, на том же графике, строится суммарная характеристика (практическая) двух параллельно работающих насосов по результатам лабораторных измерений.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Первый этап.

1. Произвести запуск насоса 2 при закрытом кране 14 на напорном трубопроводе и открытом кране 13 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 11, 12 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при максимальном числе оборотов рабочего колеса. Установка числа оборотов проводится в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации насоса.

2. Полностью открыть кран 14. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 9; давления после насоса манометром 10; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 8.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. Отключить питание насоса 1 с помощью переключателя 21.

5. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при числе оборотов рабочего колеса $n_1=4100$ об/мин.

6. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 19.

7. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

8. По экспериментальным данным рассчитать создаваемые напоры насосов H .

9. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

10. На основании экспериментальных и расчетных данных на одном графике построить характеристики центробежных насосов $H_1 = f(Q_1)$, $H_2 = f(Q_2)$.

Второй этап.

1. Произвести запуск насосов 1 и 2 при закрытых кранах 12 и 14 на напорном трубопроводе и открытых кранах 11 и 13 на всасывающем трубопроводе, кран 17 на перемычке при этом должен быть закрыт. Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос 1 запускается при макси-

мальном числе оборотов рабочего колеса, а насос 2 при числе оборотов $n_1=4100$ об/мин.

2. Полностью открыть краны 12 и 14. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления на входе в установку манометром 9; давления на выходе из установки манометром 10.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. Опытные данные занести в таблицу.

5. На основании экспериментальных данных построить характеристику центробежных насосов при параллельной работе $H = f(Q)$ на одном графике с первым этапом.

6. Сравнить суммарные характеристики, полученных на первом и втором этапах.

Наименование величин	Обозна- чение	Размер- ность	Положение регулирующего ор- гана							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1 этап										
Насос №1										
Расход	Q_1	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст}11}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст}12}$	Па								
Напор	H_1	м								
Насос №2										
Расход	Q_2	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст}21}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст}22}$	Па								
Напор	H_2	м								
2 этап										
Производительность при па- раллельно работающих насосах	Q	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст}1}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст}2}$	Па								
Напор при параллельно рабо- тающих насосах	H	м								

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как определяются параметры насосов, работающих в сети параллельно?
2. При какой характеристики сети целесообразно параллельное включение насосов?
3. С какой целью применяется параллельное включение насосов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. СОВМЕСТНАЯ РАБОТА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ НАСОСОВ, ИМЕЮЩИХ РАЗНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является исследование особенности совместной работы последовательно соединенных центробежных насосов, имеющих разные характеристики, и построение суммарной характеристики насосов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Последовательное соединение насосов с разными характеристиками находит частое применение на практике. При этом существует опасность выхода насосов из строя при работе в области характеристики, находящейся за критической точкой. Построение совместной характеристики последовательно работающих разных насосов аналогично построению совместной характеристики одинаковых насосов.

Работа состоит из двух этапов. Первый этап – построение теоретической суммарной характеристики двух последовательно соединенных насосов, имеющих разные характеристики.

По результатам замеров и необходимых расчетов на одном графике строятся рабочие характеристики $H = f(Q)$ каждого насоса, работающего в отдельности (при правильном проведении эксперимента, полученные характеристики должны практически совпадать).

Допускается использовать характеристики насосов, полученные в лабораторных работах № 1 и № 2 при указанных числах оборотов.

Далее строится теоретическая суммарная характеристика двух последовательно соединенных насосов (на том же графике). Для построения суммарной характеристики последовательно работающих насосов выбирают ряд значений расхода воды в сети. Складывая для каждого из выбранных расходов соответствующие значения напоров, развиваемых каждым насосом в отдельности (для насосов, имеющих одинаковые характеристики, производится удвоение напора, создаваемого одним насосом), получаем ряд точек суммарной характеристики. Соединяя полученные точки плавной линией, получаем суммарную характеристику.

Второй этап - построение суммарной характеристики (практической) двух последовательно работающих насосов по результатам лабораторных измерений. При последовательном включении насосов весь расход жидкости последовательно проходит через каждый из нагнетателей.

В связи с гидравлическими потерями, возникающими при протекании жидкости через перемычку, суммарный напор в данной системе при последовательном соединении определяется по формуле (1, см. лаб. работу № 4).

3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Первый этап.

1. Произвести запуск насоса 2 при закрытом кране 14 на напорном трубопроводе и открытом кране 13 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 11, 12 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при максимальном числе оборотов рабочего колеса. Установка числа оборотов проводится в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации насоса.

2. Полностью открыть кран 14. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 9; давления после насоса манометром 10; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 8.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. Отключить питание насоса 1 с помощью переключателя 21.

5. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении. Насос исследуется при числе оборотов рабочего колеса $n_1=2000$ об/мин.

6. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 19.

7. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

8. По экспериментальным данным рассчитать создаваемые насосами напоры H .

9. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

10. На основании экспериментальных и расчетных данных на одном графике построить характеристики центробежных насосов $H_1 = f(Q_1)$, $H_2 = f(Q_2)$ и теоретическую суммарную характеристику $H_{\text{сумм}} = f(Q_{\text{сумм}})$

Второй этап.

1. Произвести запуск насосов 1 и 2 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 13 на всасывающем трубопроводе краны 11 и 14 при этом должны быть закрыты. Регулятор расхода 3 в полностью от-

крытом положении. Насос 1 запускается при максимальном числе оборотов рабочего колеса, а насос 2 при числе оборотов $n_1=2000$ об/мин.

2. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления до насосов манометром 9; давления после насосов манометром 8; давления до и после переключки манометрами 10 и 7 соответственно.

3. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз.

4. По экспериментальным данным рассчитать создаваемый суммарный напор H по формуле (1, см. лаб. работу № 4).

4. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

5. На основании экспериментальных данных построить характеристику центробежных насосов при последовательной работе $H = f(Q)$ на одном графике с первым этапом.

6. Сравнить суммарные характеристики, полученных на первом и втором этапах. Анализ совместной работы насосов за критической точкой.

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Положение регулирующего органа							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1 этап										
Насос №1										
Производительность	Q_1	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст}11}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст}12}$	Па								
Напор	H_1	м								
Насос №2										
Производительность	Q_2	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст}11}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст}12}$	Па								
Напор	H_2	м								
2 этап										
Производительность при последовательно работающих насосах	Q	м ³ /ч								
Давление на нагнетании	$p_{\text{ст}8}$	Па								
Давление на всасывании	$p_{\text{ст}9}$	Па								
Давление до перемычки	$p_{\text{ст}10}$	Па								
Давление после перемычки	$p_{\text{ст}7}$	Па								
Напор при последовательно работающих насосах	H	м								

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимают под «критической точкой» при последовательном соединении насосов, имеющих разные характеристики?
2. Чем отличается методика построения совместной характеристики разных насосов от применяемой методики для одинаковых насосов?
3. Приведите пример системы, в которой применяется последовательное соединение насосов с разными характеристиками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. РАБОТА ЭЛЕКТРОННОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА В РЕЖИМЕ $\Delta p = \text{CONST}$

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является исследование особенности работы электронного циркуляционного насоса для систем отопления в режиме поддержания постоянного перепада давления $\Delta p = \text{const}$.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Режим поддержания постоянного перепада давления широко используется во всех типах систем отопления, оборудованных термостатическими клапанами. При работе насоса в указанном режиме происходит экономия потребляемой насосом электроэнергии и исключается возможность появления шумов в элементах системы.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Исследование режима $\Delta p = \text{const}$ производится на насосе Wilo-Stratos. Второй насос должен быть отключен. На дисплее насоса Wilo-Stratos задать режим $\Delta p = \text{const}$ и установить величину поддерживаемого напора – 5 м (в соответствие с инструкцией по монтажу и эксплуатации).

2. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении.

3. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 19.

4. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз. Между каждым изменением сопротивления сети и проведением замеров необходимо выдерживать паузу 90 с, необходимую для адаптации электронного насоса к изменившимся внешним условиям.

5. По экспериментальным данным рассчитать параметры насоса H , $N_{\text{пол}}$, КПД.

6. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

7. На основании экспериментальных и расчетных данных построить характеристики электронного насоса для режима $\Delta p = \text{const}$: $H = f(Q)$, $P_1 = f(Q)$, КПД = $f(Q)$.

8. Сравнить полученные характеристики с данными каталога, построив их на одном графике.

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается электронный насос от стандартного?
2. Какие режимы работы применяются в циркуляционных электронных насосах для систем отопления?
3. При каком режиме происходит меньшее потребление электроэнергии насосом: $\Delta p = \text{const}$ или $\Delta p = \text{variable}$?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. РАБОТА ЭЛЕКТРОННОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА В РЕЖИМЕ $\Delta p = \text{VARIABLE}$

1. ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Целью работы является исследование особенности работы электронного циркуляционного насоса для систем отопления в режиме поддержания переменного перепада давления $\Delta p = \text{variable}$.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Режим поддержания переменного перепада давления $\Delta p = v$ широко используется во всех типах систем отопления, оборудованных термостатическими клапанами. При работе насоса в указанном режиме происходит дополнительная экономия потребляемой насосом электроэнергии относительно режима $\Delta p = c$ и исключается возможность появления шумов при глубоком регулировании.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Исследование режима $\Delta p = \text{variable}$ производится на насосе Wilo-Stratos. Второй насос должен быть отключен. На дисплее насоса Wilo-Stratos задать режим $\Delta p = \text{variable}$ и установить величину поддерживаемого напора – 5 м (в соответствии с инструкцией по монтажу и эксплуатации).

2. Произвести запуск насоса 1 при закрытом кране 12 на напорном трубопроводе и открытом кране 11 на всасывающем трубопроводе. Второй насос при этом должен быть отключен от системы при помощи запорной арматуры на всасывающем и напорном трубопроводах (вентили 13, 14 и 17 закрыты). Регулятор расхода 3 в полностью открытом положении.

3. Полностью открыть кран 12. Провести измерения: расхода жидкости расходомером 4; давления перед насосом манометром 7; давления после насоса манометром 8; мощности, потребляемой электродвигателем, ваттметром 19.

4. Уменьшая расход жидкости от максимального до нулевого путем постепенного закрытия регулятора расхода 3, провести все измерения минимум 8 раз. Между каждым изменением сопротивления сети и проведением замеров необходимо выдерживать паузу 90 с, необходимую для адаптации электронного насоса к изменившимся внешним условиям.

5. По экспериментальным данным рассчитать параметры насоса H , $N_{\text{пол}}$, КПД.

6. Опытные и расчетные данные занести в таблицу.

7. На основании экспериментальных и расчетных данных построить характеристики электронного насоса для режима $\Delta p = \text{variable}$: $H = f(Q)$, $P_1 = f(Q)$, КПД = $f(Q)$.

8. Сравнить полученные характеристики с данными каталога, построив их на одном графике.

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Положение регулирующего органа							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Производительность насоса	Q	м ³ /ч								
Давление на всасывании	$p_{ст1}$	Па								
Давление на нагнетании	$p_{ст2}$	Па								
Напор, создаваемый насосом	H	м								
Полезная мощность насоса	$N_{пол}$	Вт								
Мощность, потребляемая из электросети	P_1	Вт								
КПД насоса	КПД	—								

4. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Отчет по лабораторной работе оформляется в виде сброшюрованной записки, выполненной на листах формата А4 машинописным текстом.

Отчет должен содержать: титульный лист; задание с исходной информацией; краткое изложение основных теоретических положений; результаты; графическую интерпретацию результатов; выводы по работе.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются режимы $\Delta p = \text{const}$ и $\Delta p = \text{variable}$?
2. В каких случаях целесообразно выбирать тот или иной режим регулирования ($\Delta p = \text{const}$ или $\Delta p = \text{variable}$)?
3. Если при настройке насоса в режиме $\Delta p = \text{variable}$ задать напор 6 м, какой напор будет поддерживать насос при нулевой подаче?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

При подготовке работы использованы материалы:

1. Ковалев Р.А., Сперанский П.В. Исследования работы центробежных насосов: Учебно-методическое пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2023. 33 с.