МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Водоснабжения и водоотведения

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

Методические указания к выполнению
лабораторных работ для студентов направления
подготовки 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Казань
2013

УДК 628.12:628.292
ББК 38.761.1:38.71.2
А29

А29 Насосные и воздуходувные станции: Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» / Сост.: А.Б. Адельшин, А.В. Бусарев, А.С. Селюгин, В.А. Дубяго. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2013. – 32 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях представлен порядок проведения лабораторных работ по дисциплине «Насосные и воздуходувные станции», дано описание лабораторных установок, методик проведения лабораторных работ и экспериментальных исследований, обработка полученных опытных данных.

Данные методические указания разработаны для проведения лабораторных работ со студентами направления подготовки 270800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение» дневной и заочной форм обучения.

Рецензент
Доцент кафедры металлоконструкций и ИС Казанского государственного архитектурно-строительного университета
Д.М. Хусаинов

УДК 628.12:628.292
БКК 38.761.1:38.71.2

© Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2013

© Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Селюгин А.С., Дубяго В.А., 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1
Изучение конструкции центробежного насоса……4
Лабораторная работа №2
Определение теоретических подачи и напора центробежного
насоса по размерам его рабочего колеса……..6
Лабораторная работа №3
Испытание центробежного насоса……9
Лабораторная работа №4
Параллельная работа двух насосов на один водовод……..13
Лабораторная работа №5
Последовательная работа двух насосов на один водовод……...16
Лабораторная работа №6
Изучение изменений характеристик центробежных насосов
при изменении частоты вращения рабочего колеса……..18
Лабораторная работа №7
Изучение способов заливки и пуска центробежных насосов……23
Лабораторная работа №8
Испытание воздуходувки……..27
Лабораторная работа №9
Изучение конструкции и определение основных параметров
поршневых насосов……..29
Список литературы……31

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

1 Общие положения

Центробежные насосы относятся к числу лопастных насосов. Их работа основана на силовом взаимодействии лопастей рабочего колеса с обтекающим их потоком перекачиваемой жидкости.

На рис. 1 приведена схема одноколесного центробежного насоса. Внутри неподвижного корпуса 1 помещено рабочее колесо 2, закрепленное на валу 3.

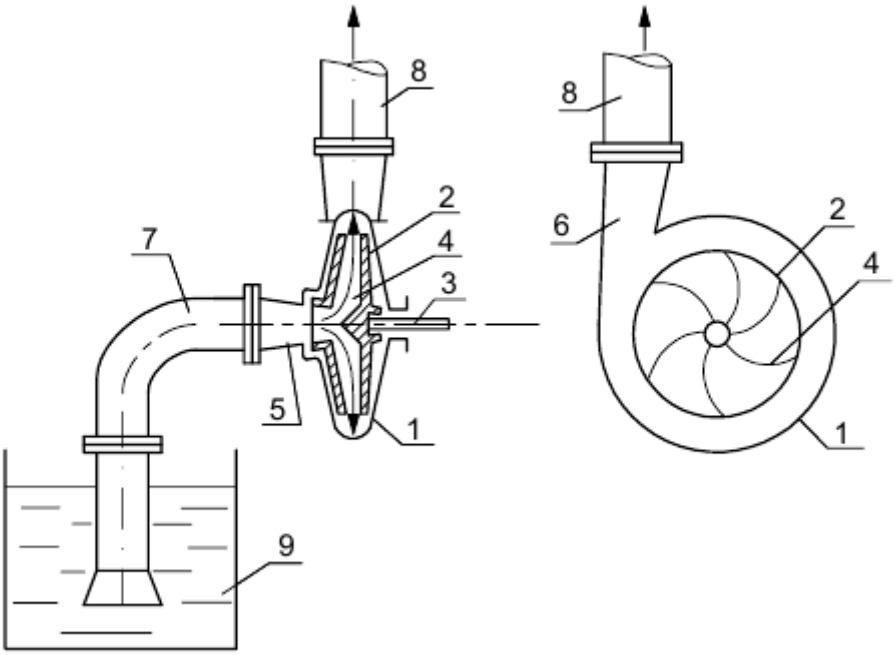

Рис. 1. Схема центробежного насоса

Рабочее колесо состоит из двух дисков (переднего и заднего), отстоящих на некотором расстоянии друг от друга. Между дисками, соединяя их в единую конструкцию, находятся лопасти 4, плавно изогнутые в сторону, противоположную направлению вращения колеса. Внутренние поверхности дисков и поверхности лопастей образуют межлопастные каналы колеса, которые при работе насоса заполнены перекачиваемой жидкостью. Корпус насоса патрубками 5 и 6 соединен, соответственно, с всасывающим 7 и напорным 8 трубопроводами.

Если всасывающий трубопровод и корпус насоса заполнить жидкостью, а затем привести во вращение рабочее колесо, то жидкость, заполняющая его, под действием центробежной силы будет отбрасываться от центра колеса к периферии. Далее жидкость попадает через напорный патрубок в напорный трубопровод. При этом у входа в рабочее колесо создается разрежение, и

жидкость из приемного резервуара 9 под действием атмосферного давления поднимается по всасывающему трубопроводу в насос, где она поступает в рабочее колесо. Таким образом, в насосе обеспечивается неразрывность потока жидкости, что является необходимым условием для нормальной его работы.

В зависимости от требуемых параметров и условий работы центробежные насосы имеют различные конструкции, но все они имеют общие детали: корпус, рабочее колесо, вал, подшипники и сальники.

Корпус насоса предназначен для подвода жидкости к рабочему колесу и отвода ее в напорный трубопровод. На корпусе монтируются подшипники, сальники и другие детали насоса. Корпус насоса может быть с торцевым или осевым разъемом. Конструктивно насосы изготавливают с осевым, боковым и двухсторонним входом. Корпус насоса имеет расширяющийся канал для отвода жидкости от рабочего колеса. В этом канале осуществляется преобразование кинетической энергии в потенциальную. В зависимости от конфигурации каналы бывают спиральные, полуспиральные, двухзавитковые и кольцевые [1].

Рабочее колесо служит для передачи жидкости энергии от вращающегося вала насоса. Рабочие колеса бывают с односторонним и двухсторонним входом жидкости, открытые и закрытые. Рабочие колеса водопроводных насосов имеют 6ч8 лопастей, а насосов для перекачки загрязненных жидкостей – 2ч4 лопасти. Материал рабочего колеса зависит от коррозионных свойств перекачиваемой жидкости [1].

Вал насоса служит для передачи вращения от двигателя к рабочему колесу. Колеса закрепляют на валу при помощи шпонок и установочных гаек. Вал обычно изготавливается из стали [1].

Подшипники служат опорами для вала. Применяются шариковые подшипники и подшипники скольжения. По расположению подшипниковых опор различают насосы с выносными и внутренними опорами [1].

Сальники служат для уплотнения отверстий в корпусе насоса, через которые проходит вал. Сальник, расположенный со стороны напорного патрубка, предотвращает утечку воды из насоса, а сальник со стороны всасывающего патрубка – попадание воздуха в насос. Сальники изготавливаются из мягкого волокнистого материала (хлопок, пенька, асбест), пропитанного специальной гидрофобной смазкой.

2. Цель работы

Целью данной работы является – ознакомление с конструкцией центробежного насоса.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь:
а) центробежный насос; б) рабочее колесо насоса; в) штангенциркуль; г) линейку или рулетку; д) каталоги центробежных насосов [2; 3].

4. Порядок проведения работы

Порядок проведения работы следующий:

а) зарисовать общий вид и разрез центробежного насоса; измерить и нанести на чертеж его габаритные размеры;
б) зарисовать рабочее колесо центробежного насоса;
в) измерить диаметры всасывающего и напорного патрубков насоса, диаметр рабочего колеса, ширину канала на выходе из колеса, а также толщину его лопастей. Результаты измерений заносятся в табл. 1.

Таблица 1

Тип насоса	Частота вращения рабочего колеса, n, об/мин	Диаметр, м			Ширина канала b_2, м	Число лопастей, z, шт	Толщина лопасти, δ_2, м
		всасывающего патрубка, $d_{вс}$	напорного патрубка, $d_н$	рабочего колеса, D			
1	2	3	4	5	6	7	8

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДАЧИ И НАПОРА ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПО РАЗМЕРАМ ЕГО РАБОЧЕГО КОЛЕСА

1. Общие положения

Подача насоса – это объем жидкости, подаваемой насосом в единицу времени. Теоретическое значение подачи может быть определено по размерам рабочего колеса и скорости движения жидкости на выходе из него (рис. 2) [1].

Жидкость поступает в каналы рабочего колеса центробежного насоса со скоростью v_1, а выходит из него – со скоростью v_2. Проходя через каналы

колеса частицы жидкости совершают сложное движение: наряду с вращательной скоростью u (переносная скорость) они перемещаются вдоль лопастей с относительной скоростью w. Таким образом, вектор абсолютной скорости $\bar{v}$ можно получить сложением векторов $\bar{u}$ и $\bar{\omega}$. Графически абсолютная скорость – это диагональ параллелограмма, выстроенного на составляющих u и w [1].

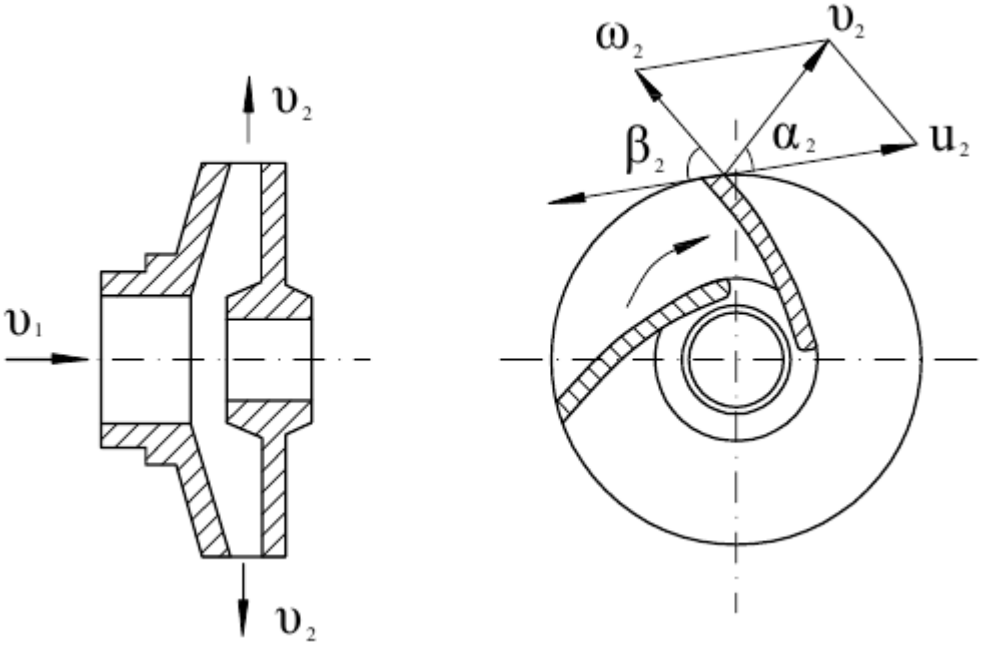

Рис. 2. Кинематика движения жидкости в рабочем колесе центробежного насоса

Угол между направлением векторов $\bar{v}$ и $\bar{u}$ обозначается α, а угол между направлением вектора $\bar{\omega}$ и обратным направлением вектора $\bar{u}$ обозначается β (рис. 2). Теоретическая подача $Q_т$, м^3/с определяется по формуле [1]:

$$Q_T = F_2 v_{2r} = (\pi D - z\delta) b_2 v_{2r} \ , \qquad (2.1)$$

где F_2 – площадь канала на выходе из рабочего колеса; v_{2r} – радиальная составляющая абсолютной скорости, нормальная к площади F_2 , м/с.

Величина v_{2r} , м/с определяется по формуле [1]:

$$v_{2r} = v_2 \cdot \sin\alpha_2 \ . \qquad (2.2)$$

<u>Напор насоса</u> – это приращение энергии перекачиваемой насосом жидкости. Теоретический напор H_T , м определяется по формуле Эйлера [1]:

$$H_T = \frac{u_2 v_2 \cdot \cos\alpha_2}{g} K \,, \qquad (2.3)$$

где u_2 – переносная скорость жидкости на выходе из рабочего колеса, м/с; K=0,75 – коэффициент, учитывающий конечное число лопастей рабочего колеса.

Величина u_2 , м/с определяется по формуле [1]:

$$u_2 = \frac{\pi D n}{60} \,, \qquad (2.4)$$

где n – частота вращения рабочего колеса, об/мин.

2. Цель работы

Целью данной работы является – научиться вычислять теоретические подачу и напор по геометрическим характеристикам рабочего колеса.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь: а) штангенциркуль; б) калькулятор.

4. Порядок проведения работы

Все необходимые для расчетов данные представлены в табл. 1.

5. Вычисление и обработка результатов работы

Вычисление и обработка результатов работы следующая:

а) принимается угол α_2 (10–15^0);

б) по формуле (2.4) определяется величина u_2;

в) из параллелограмма скоростей, построенного в соответствующем масштабе, определяется угол β_2;

г) величина v_2 , м/с определяется по формуле [1]:

$$v_2 = u_2 \cdot \sin\beta_2 \,. \qquad (2.4)$$

д) по формуле (2.2) определяется величиной радиальной составляющей абсолютной скорости;

е) по формуле (2.3) определяется теоретический напор.

Результаты расчетов заносятся в табл. 2.

Таблица 2

Тип насоса	α_2, град	β_2, град	Переносная скорость u_2, м/с	Радиальная составляющая абсолютной скорости v_{2r} ,м/с	Абсолютная скорость v_2, м/с	Теоретическая подача, Q_T,м^3/ч	Теоретический напор H_T , м
1	2	3	4	5	6	7	8

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

1. Общие положения

Рабочими характеристиками центробежного насоса называется графическая зависимость напора, мощности и коэффициента полезного действия (КПД) этого насоса от его подачи при постоянной частоте вращения. Для получения рабочих характеристик изменяют при постоянной частоте вращения рабочего колеса напор, подачу и потребляемую мощность. Изменение режима работы насоса производится путем дросселирования (изменения степени открытия задвижки на напорном трубопроводе). При этом охватывается полное значение подачи от нуля (задвижка закрыта) до максимального значения (задвижка полностью открыта).

Напор, развиваемый насосом Н (м), определяется по формуле [4]:

$$H = \frac{P_{ман} + P_{вак}}{\rho \cdot g} + \frac{v_н^2 - v_{вс}^2}{2g} + \Delta z \,, \qquad (3.1)$$

где $P_{ман}$ и $P_{вак}$ – показания, соответственно, манометра и вакуумметра, Па; ρ=1000 кг/м^3 – плотность воды; g=9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения; $v_н$– скорость движения воды в напорном трубопроводе, м/с; $v_{вс}$ – скорость движения воды во всасывающем трубопроводе; Δz – разность отметок манометра и вакуумметра, м.

Величина $v_н$ (м/с) определяется по формуле [4]:

$$v_н = \frac{4Q}{\pi d_н^2} \,, \qquad (3.2)$$

где Q – подача насоса, м^3/с; $d_н$– диаметр напорного трубопровода, м.

Величина $v_{вс}$ (м/с) определяется по формуле [4]:

$$v_{вс} = \frac{4Q}{\pi d_{вс}^2}, \tag{3.3}$$

где $d_{вс}$ – диаметр всасывающего трубопровода.

КПД насоса η определяется по формуле [1]:

$$\eta = \frac{N}{N_{пот}}, \tag{3.4}$$

где N – полезная мощность, кВт; $N_{пот}$ – потребляемая мощность, кВт.

Величина N, кВт, определяется по формуле [1]:

$$N = \frac{QH\rho g}{1000}, \tag{3.5}$$

Потребляемая мощность $N_{пот}$ (кВт) определяется по формуле [4]:

$$N_{пот} = \eta_{дв} \frac{\sqrt{3UI}}{1000} \cos\varphi, \tag{3.6}$$

где $\eta_{дв}$=0,85– КПД электродвигателя [4]; U – показания вольтметра, В; I – показания амперметра, А; cosφ=0,9 – коэффициент мощности [4].

2. Цель работы

Цель данной работы – научиться измерять рабочие параметры насоса и строить его рабочие характеристики.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения лабораторной работы необходимо иметь: а) центробежный насос; б) вакуумметр; в) манометр; г) амперметр; д) вольтметр; е) штангенциркуль; ж) рулетку; з) секундомер.

4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 3. Она состоит из приемной емкости 1, центробежного насоса Н–1, соединенного с электродвигателем 2, вакуумметра ВК–1, манометра М–1,

амперметра 3, вольтметра 4, водомера 5, мерного бака 6, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

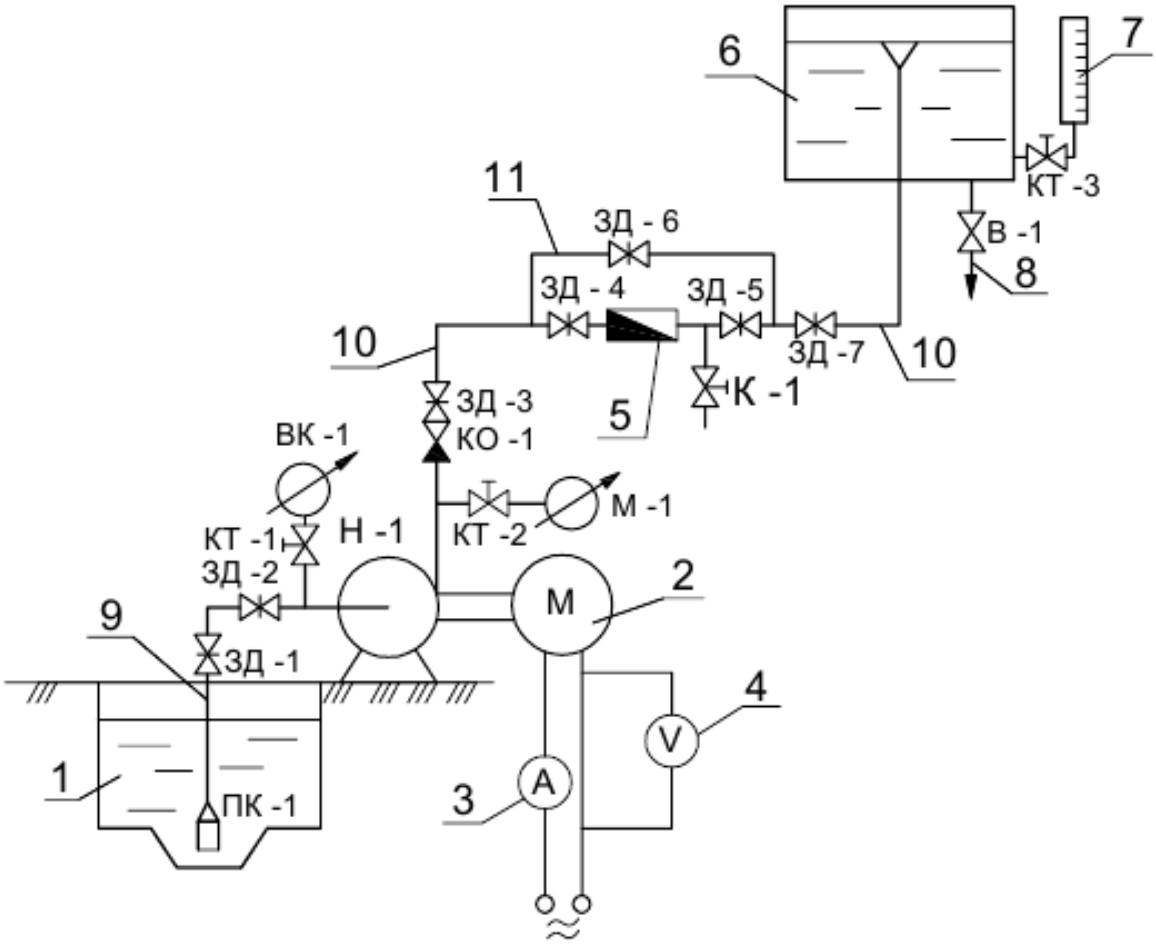

Рис. 3. Схема лабораторной установки

Всасывающий трубопровод 9 оборудован приемным клапаном ПК–1 с сеткой. Напорный трубопровод 10 подает воду в мерный бак 6, который имеет водомерное стекло 7, соединенное с баком через трехходовой кран КТ–3, и сливной трубопровод 8 для опорожнения бака 6, оборудованный вентилем В–1. На напорном трубопроводе установлен обратный клапан КО–1, запорно-регулирующая арматура и водомер 5. За водомером в трубопровод врезан сливной кран К–1, с помощью которого можно проверить наличие воды в трубопроводе 10. Для отключения водомера (в случае его неисправности) имеется байпасная (обводная) линия 11.

Для определения давления служит вакуумметр ВК–1, установленный на всасывающем трубопроводе 9, и манометр М–1, установленный на напорном трубопроводе 10. Манометр и вакуумметр присоединены к трубопроводам через трехходовые краны КТ–1 и КТ–2, а их показания выводятся на щит управления. Показания вольтметра и амперметра тоже выведены на щит управления. Конструкцией лабораторной установки предусмотрено

определение подачи насоса при различных режимах его работы как при помощи водомера 5, так и объемным способом при помощи мерной емкости 6 и секундомера. Объемный способ более точен.

5. Порядок проведения работы

Порядок проведения работы следующий:

а) открыть задвижки ЗД–6 и ЗД–7 при закрытых задвижках ЗД–4 и ЗД–5 (выключение водомера 5 из работы);

б) открыть задвижки ЗД–1 и ЗД–2 на всасывающем трубопроводе и залить насос водой из автономного трубопровода;

в) включить электродвигатель насоса при полностью открытой задвижке ЗД–3 на напорном трубопроводе;

г) записать показания вольтметра, амперметра, манометра и вакуумметра, а также определить подачу насоса по показаниям водомера или объемным способом;

д) последующие изменения режима работы насоса осуществляются с помощью задвижки ЗД–3, которая постепенно закрывается;

е) при каждом новом режиме работы насоса повторяются описанные выше измерения технологических параметров;

ж) общее число режимов должно быть не менее пяти; последнее испытание насоса осуществляется при полностью закрытой задвижке ЗД–3;

з) измеряются диаметры всасывающего и напорного трубопроводов, а также разность отметок относительно пола лаборатории манометра и вакуумметра;

и) по формулам (3.2) и (3.3) определить скорость движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах;

к) по формуле (3.1) определить напор, развиваемый насосом;

л) определить подачу насоса (при использовании объемного метода) Q, (л/с) по формуле [4]:

$$Q = W / T \,, \qquad (3.7)$$

где W – объем воды, подаваемый насосом в мерный бак, л; T – время работы насоса, с;

м) результаты измерений заносятся в табл. 3;

н) по формуле (3.5) определить полезную мощность, по формуле (3.6) – потребляемую, а по формуле (3.4) – КПД насоса;

о) результаты расчетов заносятся в таблицу 4;

п) по данным табл. 4 строятся характеристики насоса Q–H, Q–N и Q–η;

р) на Q-H характеристике насоса указать границы области его применения, исходя из допущения снижения его КПД на 10% от его наибольшего значения.

Таблица 3

Тип насоса / Тип электродвигателя	Подача, Q, (л/с)	Диаметр трубопровода, м		Скорость воды в трубопроводе, м/с		Δz, м	Показания, ПаЧ 10^5		Напор Н(м)	Напряжение, U(В)	Сила тока, I(А)	$\eta_{дв}$, %
		всасывающего	напорного	всасывающем	напорном		манометра	вакуумметра				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 4

Тип насоса / Тип электродвигателя	Подача, Q, л/с	Напор, H, м	Полезная мощность, N (кВт)	Потребляемая мощность, $N_{потр}$, (кВт)	КПД насоса, η (%)
1	2	3	4	5	6

Лабораторная работа № 4

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ДВУХ НАСОСОВ НА ОДИН ВОДОВОД

1. Общие положения

Для увеличения подачи воды применяют параллельную совместную работу двух или более насосов на один водовод. Для определения производительности параллельно работающих на один водовод насосов строится их совместная *Q-H* характеристика. Ее построение можно осуществить графоаналитическим методом, путем суммирования подач насосов при одинаковом давлении [1].

Совместная подача нескольких параллельно работающих насосов меньше их суммарной подачи при отдельной работе, что объясняется увеличением сопротивления водовода при параллельной работе насосов [1; 4].

2. Цель работы

Целью данной работы является – построение опытным путем *Q–H* характеристики двух параллельно работающих насосов на один водовод.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения лабораторной работы необходимо иметь:
а) два одинаковых центробежных насоса; б) вакуумметры; в) манометры; г) штангенциркуль; д) линейка или рулетку; е) секундомер.

4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 4. Установка состоит из приемной емкости 1, двух одинаковых центробежных насосов Н–1 и Н–2, мерной емкости 2 с водомерным стеклом 3, водомеров 4 и 5, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

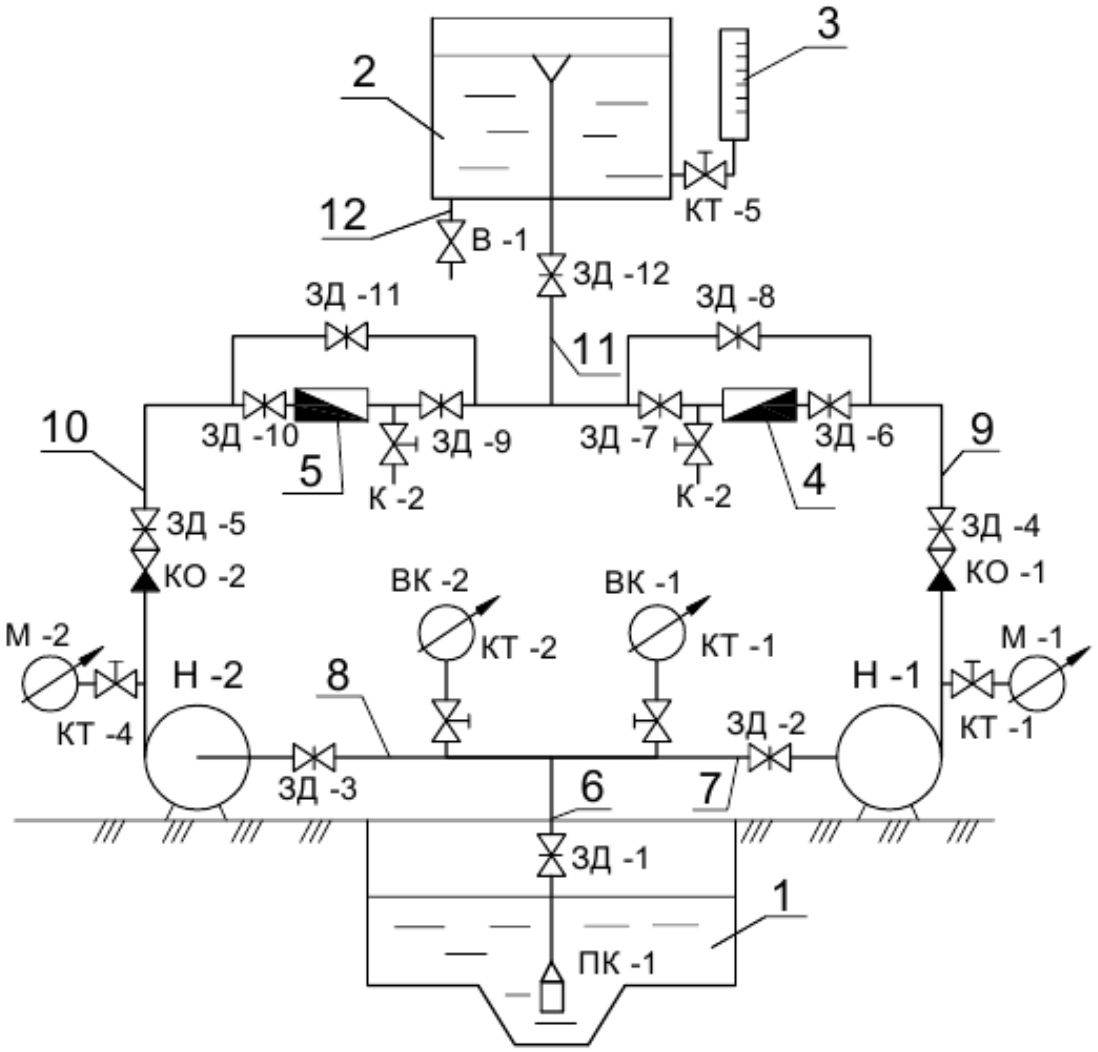

Рис. 4. Схема лабораторной установки

Насосы Н–1 и Н–2 имеют всасывающие линии одинаковой длины и диаметра. Всасывающие линии 7 и 8 соединяются в общую линию 6, которая заканчивается приемным клапаном ПК–1. Вода забирается из приемной емкости 1. На всасывающей линии каждого насоса имеются задвижки ЗД–2 и ЗД–3 и через трехходовые краны КТ–1 и КТ–2 к этим линиям подключены вакуумметры ВК–1 и ВК–2. Напорные трубопроводы 9 и 10 оборудованы обратными клапанами КО–1 и КО–2, задвижками ЗД–4 и ЗД–5, манометрами М–1 и М–2, подключенными через трехходовые краны КТ–3 и КТ–4 и водомерами 4 и 5. Напорная линия каждого насоса подключена к общему трубопроводу 11, который через задвижку ЗД–12 подает воду в мерный резервуар 2, к которому при помощи трехходового крана КТ–5 присоединено водомерное стекло 3 со шкалой.

5. Порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы следующий:

а) закрыть задвижки ЗД–6, ЗД–7, ЗД–9, ЗД–10 и открыть задвижки ЗД–1, ЗД–2, ЗД–3, ЗД–4, ЗД–5, ЗД–8, ЗД–11;

б) залить насосы Н–1 и Н–2 водой из автономного трубопровода;

в) включить насос Н–1, а затем и Н–2;

г) изменяя режим работы насосов с помощью задвижки ЗД–12 на линии 11 записать показания манометра и вакуумметра, а также определить подачу двух параллельно работающих насосов объемным методом;

д) определить напор, развиваемый двумя параллельно работающими насосами по формуле (3.1) (лабораторная работа № 3), занести результаты измерений и вычислений в табл. 5.

Таблица 5

Тип насоса / Тип электродвигателя	Подача, Q (л/с)	Диаметр трубопровода, м		Скорость в трубопроводе, м/с		Δz, м	Показания, ПаЧ10^5		Напор, H (м)
		всасывающего	напорного	всасывающем	напорном		манометра	вакуумметра	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

е) построить в координатах Q-H характеристики одного насоса (лабораторная работа № 3) и двух параллельно работающих насосов по данным табл. 5;

ж) определить при полностью открытой задвижке ЗД–12 коэффициент параллельности работы двух насосов K_n по формуле [4]:

$$K_n = \frac{Q_{1H}}{Q_{2H}} n \,, \qquad (4.1)$$

где n=2 шт – число параллельно работающих насосов; Q_{1H} – подача одного насоса, л/с; Q_{2H} – подача двух параллельно работающих насосов.

Лабораторная работа № 5

Последовательная работа двух насосов на один водовод

1. Общие положения

Для увеличения напора применяют последовательную работу двух или трех одинаковых насосов на один водовод [1]. Для построения графо-аналитическим методом *Q-H* характеристики последовательно работающих насосов суммируется напор при одинаковых подачах [1].

2. Цель работы

Целью данной лабораторной работы является – построение опытным путем *Q-H* характеристики двух последовательно работающих насосов на один водовод.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь:
а) два одинаковых центробежных насоса: б) манометры; в) вакуумметры; г) штангенциркуль; д) линейку или рулетку; е) секундомер.

4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 5. Установка состоит из приемной емкости 1, мерного бака 2 с водомерным стеклом 3, водомера 4, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

В насос Н–1 поступает вода по всасывающему трубопроводу 5 из приемного резервуара 1 через приемный клапан ПК–1 и открытую задвижку ЗД–1. Вода из насоса Н–1 по соединительному трубопроводу 6 подается во всасывающий патрубок насоса Н–2, после которого вода проходит через обратный клапан КО–1, задвижки ЗД–3, ЗД–6 и ЗД–7 и трубопроводу 7 поступает в мерный бак 2. Для определения напора, развиваемого насосами Н–1 и Н–2, служат вакуумметр ВК–1, присоединяемый к всасывающему

трубопроводу через трехходовой кран КТ–1 и манометры М–1 и М–2, присоединенные к напорным трубопроводам 6 и 7 через трехходовые краны КТ–2 и КТ–3.

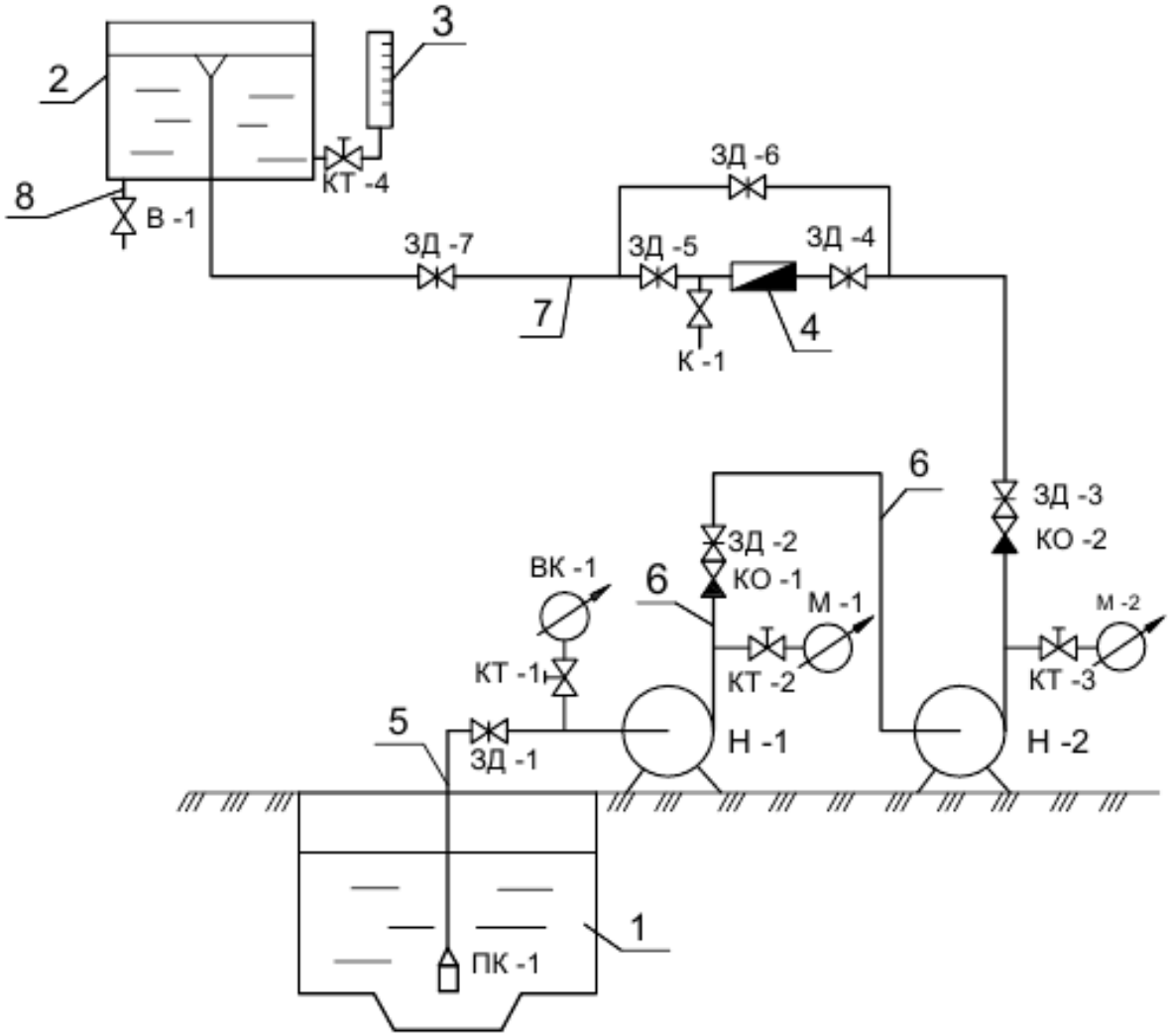

Рис. 5. Схема лабораторной установки

5. Порядок проведения работы

Порядок проведения работы следующий:

а) открыть задвижку ЗД–1 и залить насос Н–1 водой из напорного автономного трубопровода;

б) открыть задвижки ЗД–3 и ЗД–6 при закрытых задвижках ЗД–4 и ЗД–5;

в) включить насос Н–1;

г) полностью открыть задвижку ЗД–2 на трубопроводе 6 и включить насос Н–2; задвижка ЗД–7 на трубопроводе 7 полностью закрыта;

д) меняя режим работы насосов с помощью задвижки ЗД–7, записать показания манометра и вакуумметра, а также определить подачу двух после-

довательно работающих насосов объемным методом;

е) определить по формуле (3.1) (лабораторная работа № 3) напор двух последовательно работающих насосов и занести результаты измерений и вычислений в табл. 6.

ж) построить в одних Q–H координатах Q–H характеристики одного насоса (лабораторная работа № 3) и двух последовательно работающих насосов по данным табл. 6.

Таблица 6

Тип насоса / Тип электродвигателя	Подача, Q (л/с)	Диаметр трубопровода, м		Скорость в трубопроводе, м/с		Δz, м	Показания, ПаЧ10^5		Напор, H (м)
		всасывающего	напорного	всасывающем	напорном		манометра	вакуумметра	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ РАБОЧЕГО КОЛЕСА

1. Общие положения

Наиболее экономичным методом регулирования режима работы центробежных насосов является изменение частоты вращения рабочего колеса. Изменение частоты вращения колеса ведет к изменению энергетических характеристик насоса [1].

Исходя из законов подобия насосов, имеем [1]:

$$\begin{cases} Q_2 = Q_1 \dfrac{n_2}{n_1} \\ H_2 = H_1 \left(\dfrac{n_2}{n_1} \right)^2 \\ N_2 = N_1 \left(\dfrac{n_2}{n_1} \right)^2 \end{cases} \qquad (6.1)$$

где Q_1, N_1 – соответственно подача, напор и мощность данного насоса при частоте вращения n_1; Q_2, N_2 – соответственно, подача, напор и мощность данного насоса при частоте вращения n_2.

Изменение частоты вращения рабочего колеса осуществляется при помощи [1]:

А) двигателей с переменной частотой вращения (двигателей внутреннего сгорания, паровых или газовых турбин, электродвигателей постоянного тока, электродвигателей переменного тока с переключением обмотки на различное число пар полюсов);

б) введения сопротивления (реостата) в цепь фазного ротора электродвигателей переменного тока;

в) регулируемых гидромуфт или электромагнитных муфт скольжения;

г) каскадного соединения фазных асинхронных электродвигателей с другими машинами;

д) асинхронных электродвигателей, имеющих обмотку на статоре, которая переключается во время работы на работы на различное число пар полюсов;

е) изменения частоты тока.

Изменение частоты вращения асинхронного электродвигателя при помощи изменения частоты, питающего его электрического тока является наиболее эффективным методом. На основе данного метода работает статический тиристорный преобразователь частоты переменного тока марки ТПРТ–10–400, изменяющий частоту в пределах от 5 до 50 Гц [5].

2. Цель работы

Целью данной работы является – построение *Q-H* характеристики насоса после изменения частоты его вращения

3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной лабораторной работы необходимо иметь:

а) центробежный насос; б) тиристорный преобразователь частоты переменного тока; в) вакуумметр; г) манометр; д) штангенциркуль; е) рулетку; ж) секундомер.

4 Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 6. Она состоит из приемной емкости 1, центробежного насоса Н–1, соединенного с электродвигателем 2, преобразователя частоты переменного тока 3, вакуумметра ВК–1, манометра М–1, водомера 4, мерного бака 5,

соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры. Всасывающий трубопровод 6 оборудован приемным клапаном ПК–1. Напорный трубопровод 7 подает воду в мерный бак 5, который оборудован водомерным стеклом 8, соединенным с баком 5 через трехходовой кран КТ–3, и сливным трубопроводом 9, предназначенным для опорожнения бака 5. На трубопроводе 7 установлен обратный клапан КО–1 и водомер 4. За водомером в напорный трубопровод 7 врезан сливной кран К–1 для проверки наличия воды в этом трубопроводе.

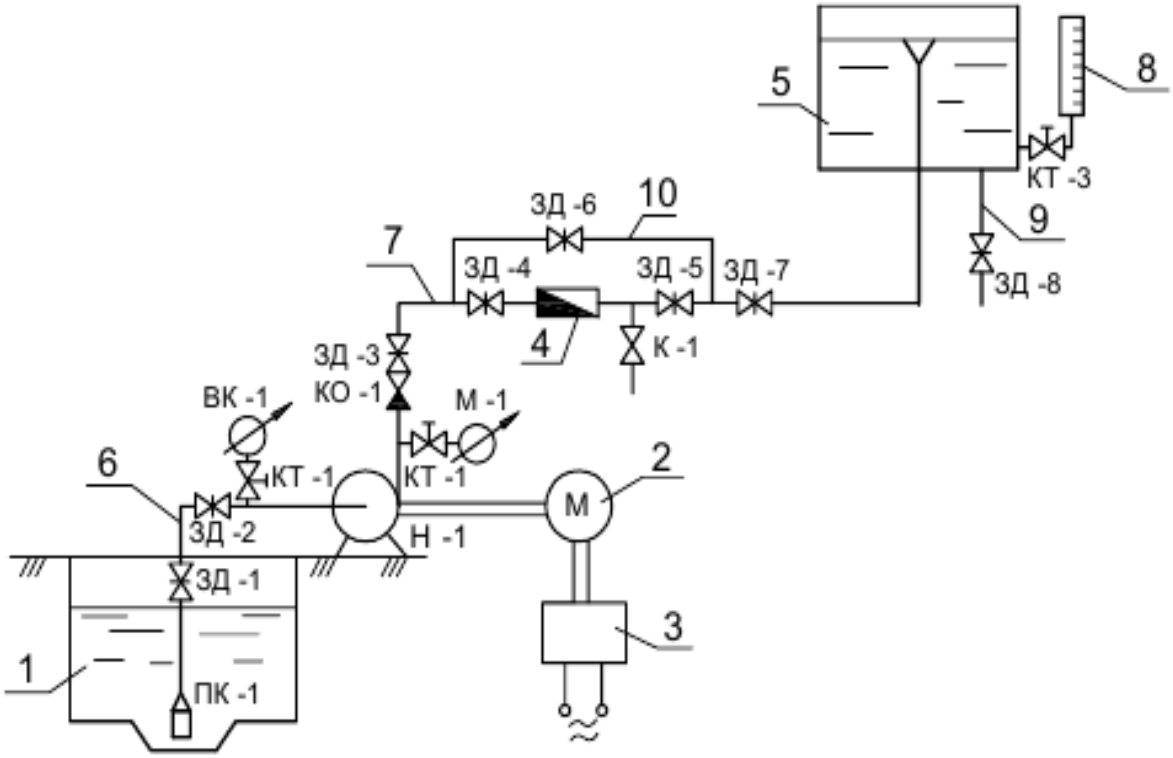

Рис. 6. Схема лабораторной установки

При неисправности водомера 4 он отключается, а вода поступает в бак 5 по обводному (байпасному) трубопроводу 10. Для определения напора служит вакуумметр ВК–1, установленный на трубопроводе 6, и манометр М–1, установленный на трубопроводе 7. Вакуумметр и манометр присоединены к трубопроводам через переходные краны КТ–1 и КТ–2.

Изменение частоты вращения рабочего колеса насоса осуществляется с помощью тиристорного преобразователя частоты переменного тока ТПРТ–10–400, который включается между источником питания и статорной обмоткой электродвигателя [5].

Преобразователь ТПРТ–10–400 состоит из трехфазного управляемого выпрямителя, индукционно-емкостного фильтра, автономного инвертора АИН и ячейки задания импульса (ЯЗИ) [5]. В выпрямителе, который

управляется блоком СУВ (схемой управления выпрямителя) используются полупроводниковые тиристоры [5]. Выпрямитель преобразует переменное напряжение в постоянное. Индукционно-емкостный фильтр служит для сглаживания пульсаций напряжений постоянного тока. Постоянное напряжение подается в инвертор, управляемый блоком СУИН (схема управления инвертора) [5].

С помощью ЯЗИ, основным элементом которого является потенциометр, можно регулировать работу тиристоров, а значит и преобразователя в целом, получая на выходе из него необходимую частоту и напряжение переменного тока, т.е. необходимую частоту вращения электродвигателя [5].

Лабораторная установка позволяет измерять подачу насоса как с помощью водомера, так и объемным методом.

5 Порядок проведения работы

Порядок проведения работы следующий:

а) открыть задвижки ЗД–6 и ЗД–7, а задвижки ЗД–4 и ЗД–5 закрыть;

б) открыть задвижки ЗД–1, ЗД–2 и залить насос водой из автономного напорного водопровода;

в) включить насос Н–1 при полностью закрытой задвижке ЗД–3 на напорном трубопроводе;

г) приоткрыть задвижку ЗД-3; снять показания вакуумметра и манометра; а также определить подачу насоса Н–1 объемным методом (лабораторная работа № 3);

д) замерить диаметры всасывающего и напорного трубопроводов, а также разность отметок вакуумметра и манометра относительно пола лаборатории;

е) скорость движения воды во всасывающем трубопроводе $v_{вс}$ (м/с) определяется по формуле [5]:

$$v_{вс} = \frac{4Q}{\pi d_{вс}^2}, \qquad (6.2)$$

где Q – подача насоса, м^3/с; $d_{вс}$ – диаметр всасывающего трубопровода, м;

ж) скорость движения воды в напорном трубопроводе $v_н$ (м/с) определяется по формуле [5]:

$$v_н = \frac{4Q}{\pi d_н^2}, \qquad (6.3)$$

где $d_н$ – диаметр напорного трубопровода, м;

з) напор насоса H (м) определяется по формуле [5]:

$$H = \frac{P_{ман} + P_{вак}}{\rho \cdot g} + \frac{v_н^2 - v_{вс}^2}{2g} + \Delta z \ , \qquad (6.4)$$

где $P_{ман}$ и $P_{вак}$ – показания, соответственно, манометра и вакуумметра, Па; ρ=1000 кг/м^3 – плотность воды; g=9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения; Δz – разность отметок манометра и вакуумметра относительно пола лаборатории, м;

и) мощность насоса N (кВт) определена по формуле [5]

$$N = \frac{QH\rho g}{1000\eta_н} \ , \qquad (6.5)$$

где $\eta_н$– КПД насоса;

к) с помощью задвижки ЗД–3 устанавливается новый режим работы насоса Н–1; проводятся описанные выше измерения и вычисления; общее число режимов работы насоса Н–1 должно быть не меньше пяти, причем последний режим соответствует полностью открытой задвижке ЗД–3;

л) результаты опытов заносятся в табл. 7;

Таблица 7

Тип насоса / Тип электродвигателя	Диаметр трубопровода, м		Скорость в трубопроводе, м/с		Δz, м	Показания, ПаЧ10^5		Частота вращения, n (об/мин.)
	всасывающего	напорного	всасывающем	напорном		манометра	вакуумметра	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Подача насоса, *Q* (л/с)	Напор, *H* (м)	Мощность, *N* (кВт)
10	11	12

м) по данным табл. 7 строятся *Q-H* и *Q-N* характеристики насоса при номинальной частоте вращения;

н) с помощью преобразователя частоты переменного тока частота вращения электродвигателя снижается вдвое; проводятся действия описанные выше с целью получения *Q-H* и *Q-N* характеристики при пониженной частоте вращения; результаты этих опытов также заносятся в

табл. 7; с помощью системы (6.1) строятся теоретические *Q-H* и *Q-N* характеристики насоса при уменьшенной частоте вращения; результаты расчетов заносятся в табл. 8;

Таблица 8

Частота вращения, об/мин		Подача насоса, л/с		Напор, м		Мощность, кВт	
n_1	n_2	Q_1	Q_2	H_1	H_2	N_1	N_2
1	2	3	4	5	6	7	8

п) в одних координатах по полученным данным строится опытные и теоретические Q-H и Q-N характеристики при различных частотах вращения рабочего колеса.

Лабораторная работа № 7

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБА ЗАЛИВКИ И ПУСКА ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

1. Общие положения

Центробежный насос, заполненный воздухом, не способен создавать достаточное разряжение для поступления жидкости в рабочее колесо, поэтому перед пуском его необходимо залить перекачиваемой жидкостью.

С целью облегчения заливки насосов следует стремиться устанавливать их с подпором, т.е. ниже наименьшего уровня жидкости в приемном резервуаре. В этом случае после открытия задвижки на всасывающей линии и крана для выпуска воздуха, установленного в верхней точке корпуса насоса, происходит заполнение его корпуса перекачиваемой жидкостью. Однако заглубленное расположение насосов приводит к удорожанию строительства насосных станций.

В тех случаях, когда центробежный насос установлен выше уровня воды, в приемном резервуаре необходима заливка насоса, которая возможна [1]:

а) с помощью струйного насоса, создающего вакуум в корпусе заливаемого насоса и его всасывающей линии; струйный насос, работающий от напорного трубопровода или автономного источника, присоединяется к верхней части корпуса насоса; перед пуском струйного насоса необходимо плотно закрыть задвижку на напорном трубопроводе заливаемого насоса;

б) из напорного трубопровода при наличии обводной трубы, соединяющей напорный трубопровод с корпусом насоса и всасывающим трубопроводом; при данном способе заливки необходим приемный клапан на всасывающем трубопроводе;

в) из напорного автономного трубопровода; при данном способе заливки необходим приемный клапан на всасывающем трубопроводе;

г) с помощью вакуум-насоса, создающего разряжение во всасывающем трубопроводе.

Залитый центробежный насос запускается при закрытой задвижке на напорном трубопроводе, т.к. при этом пусковой ток имеет наименьшее значение, что позволяет значительно продлить работоспособность электродвигателя [4].

При заливке центробежного насоса с помощью вакуум-насоса его подача $Q_{в.н.}$ м^3/мин, определяется по формуле [4]:

$$Q_{в.н.} = \frac{(W_{вс} + W_н) H_A}{T(H_A - H_{г.в.})} K_з \ , \qquad (7.1)$$

где $W_{вс}$ – объем воздуха во всасывающем трубопроводе, м^3; $W_н$=0,4 м^3– объем воздуха в корпусе насоса [4]; H_A – атмосферное давление; $K_з=1,1$ – коэффициент запаса, учитывающий утечку воздуха через неплотности сальников [4]; T=5 мин – время заливки насоса [4]; $H_{г.в.}$– геометрическая высота всасывания, м.

Объем воздуха во всасывающем трубопроводе$W_{вс}$ (м^3) определяется по формуле [4]:

$$W_{вс} = \frac{\pi d_{вс}^2}{4} L_{вс} \ , \qquad (7.2)$$

где $d_{вс}^2$– диаметр всасывающего трубопровода, м; $L_{вс}$ – длина всасывающего трубопровода, м.

2. Цель работы

Целью данной работы является – изучение способов заливки и пуска центробежных насосов.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной работы необходимо иметь:
а) центробежный насос; б) вакуум-насос; в) штангенциркуль; г) измерительную рулетку; д) манометр; е) каталоги центробежных насосов и вакуум-насосов.

4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 7. Установка состоит из приемной емкости 1, центробежного насоса Н–1, вакуум-насоса Н–2, циркуляционного бачка 2, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

По трубопроводу 3 вода из емкости 1 поступает в насос Н–1 (всасывающий трубопровод). По трубопроводу 4 во всасывающую линию насоса Н-1 и вакуум-насос Н–2 подается водопроводная вода. По трубопроводу 5 вода насосом Н–1 подается в емкость 1 (напорный трубопровод). По трубопроводу 6 в вакуум-насос Н–2 поступает воздух. Трубопровод 7 служит для подачи воды в циркуляционный бачок 2, оборудованный патрубками 8 для выпуска воздуха и 9 для слива воды из бачка, а также мерным стеклом 10. По трубопроводу 11 воздух из вакуум-насоса Н-2 поступает в циркуляционный бачок 2.

Всасывающий трубопровод 3 оборудован приемным клапаном ПК–1. На трубопроводе 5 установлены обратный клапан КО–1 и манометр М–1, а на трубопроводе 6 обратный клапан КО–2.

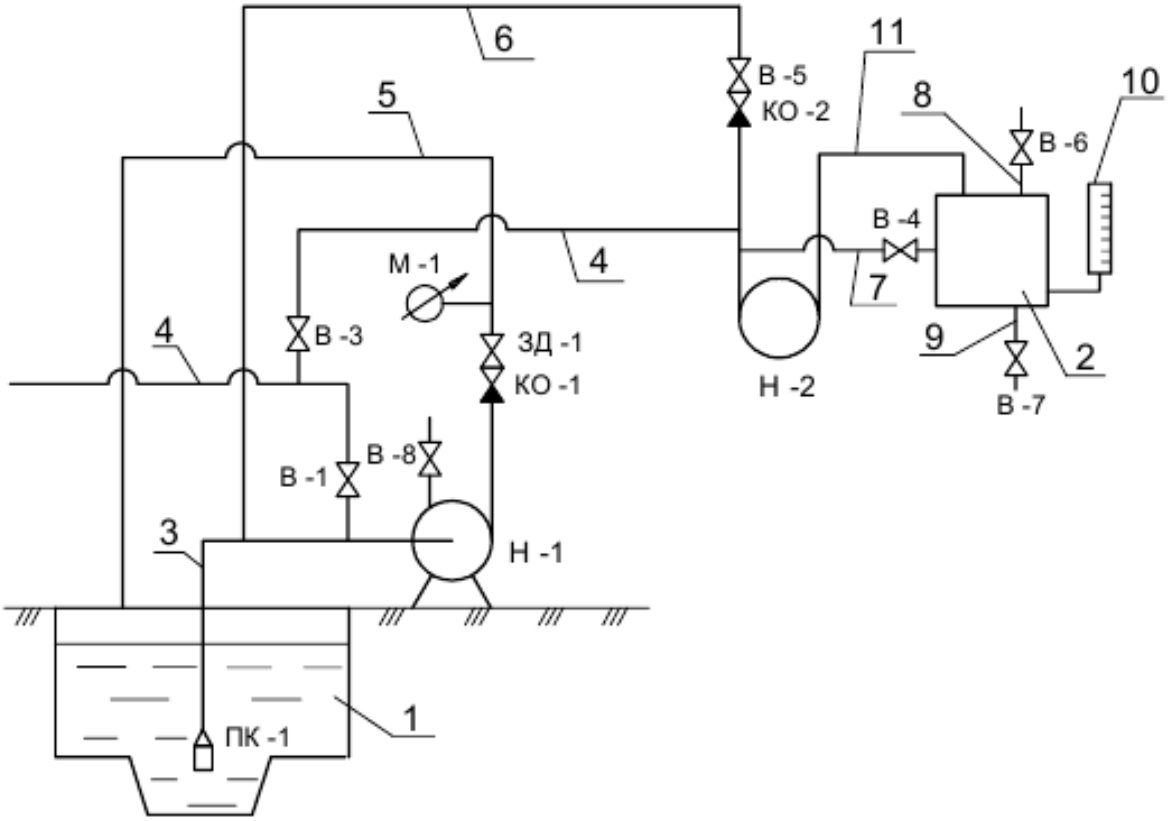

Рис. 7. Схема лабораторной установки

5. Порядок проведения работы

5.1. Заливка насоса из автономного напорного трубопровода (водопровода)

а) открыть задвижку ЗД–1, а также вентили В–1 и В–8;

б) когда из вентиля В–8 начинает поступать вода, закрываются вентили В–1 и В–2 и включается насос Н–1;

в) открывается задвижка ЗД–1 на напорном трубопроводе.

5.2. Заливка центробежного насоса при помощи вакуум-насоса

Порядок проведения работы следующий:

а) закрыть задвижку ЗД–1;

б) залить вакуум насос Н–2 из автономного напорного трубопровода (водопровода);

в) открыть вентили В–4, В–5 и В–6;

г) включить вакуум насос Н–2;

д) вентилем В–4 регулировать поступление воды в циркуляционный бачок 2; после заполнения насоса Н–2 водой, по трубопроводам 6 и 7 она начинает поступать в бачок 2, о чем судят по показаниям мерного стекла 10;

е) выключить вакуум-насос Н–2;

ж) включить насос Н–1 и открыть задвижку ЗД–1;

з) по показаниям манометра М–1 с помощью задвижки ЗД–1 установить требуемое давление в напорном трубопроводе.

5.3. Определение подачи и подбор вакуум-насоса

Порядок проведения работы следующий:

а) измерить диаметр всасывающего трубопровода;

б) измерить длину этого трубопровода, а также $H_{г.в.}$ (расстояние от поверхности воды в резервуаре 1 до оси насоса Н–1);

в) по формуле (7.2) определить величину $W_{вс}$;

г) по формуле (7.1) определить подачу вакуум-насоса $Q_{в.н.}$;

д) по справочнику [6] определить марку вакуум-насоса по его подаче;

е) результаты расчетов заносятся в табл. 9.

Таблица 9

Диаметр всасывающего трубопровода, $d_{вс}$ (м)	Длина всасывающего трубопровода, $L_{вс}$ (м)	$W_{вс}$, м^3	$H_{г.в.}$, м	Подача вакуум-насоса $Q_{в.н.}$, м^3/мин	Тип вакуум-насоса
1	2	3	4	5	6

Лабораторная работа № 8

ИСПЫТАНИЕ ВОЗДУХОДУВКИ

1. Общие положения

Сжатый воздух широко применяется в системах водоснабжения и водоотведения (ВиВ): для перемешивания реагентов, аэрации сточных вод, очистки стоков во флотаторах, окисления органических веществ, осадков в аэробных стабилизаторах, регенерации загрузки скорых и сверхскорых фильтрах и т.п. [7].

Сжатый воздух подается в системы ВиВ из воздуходувных станций, в которых устанавливаются компрессоры или воздуходувки (нагнетатели). Нагнетатели забирают воздух из атмосферы и под избыточным давлением подают его по воздуховодам к потребителям [1].

Конструктивные различия между компрессорами и воздуходувками незначительны. Компрессорами называются нагнетатели, на выходе из которых давление сжатого воздуха превышает 0,3 МПа. Давление сжатого воздуха на выходе из воздуходувок достигает не более 0,3 МПа [7]. Основными технологическими параметрами нагнетателей являются объемная подача (Q, л/с) и давление воздуха на выходе из нагнетателя (P, Па) [7].

Испытания воздуходувок проводятся с целью получения зависимостей конечного давления от подачи (рабочих характеристик). При испытаниях изменяют режим работы нагнетателей, определяя их подачу и конечное давление. Изменение режима работы производится путем дросселирования (изменением степени открытия вентиля на напорном воздуховоде) [7].

2. Цель работы

Целью данной работы является – построение рабочей характеристики воздуходувки.

3. Лабораторное оборудование

Для проведения данной работы необходимо иметь:
а) воздуходувку; б) манометры; в) ротаметр.

4. Описание лабораторной установки

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рис. 8. Данная установка состоит из воздуходувки В–1, приводимой в действие электродвигателем 1, ресивера 2, манометра М–1, ротаметра 3, соединительных трубопроводов и запорно-регулирующей арматуры.

По воздуховоду 4, сжатый воздух от воздуходувки В–1 поступает в ресивер 2, который представляет собой напорную емкость цилиндрической

формы. Ресивер 2 оборудован манометром М–2. По воздуховоду 5 сжатый воздух поступает к ротаметру 3. Ротаметр 3 представляет собой стеклянную трубку, в которой под напором воздуха перемещается либо поплавок, либо столбик жидкости (обычно подкрашенный спиртовой раствор).

Перед употреблением производится тарировка ротаметра, т.е. определяется положение поплавка или верхнего уровня жидкости при определенных, заранее известных, расходах воздуха. По воздуховоду 6 сжатый воздух отводится в атмосферу.

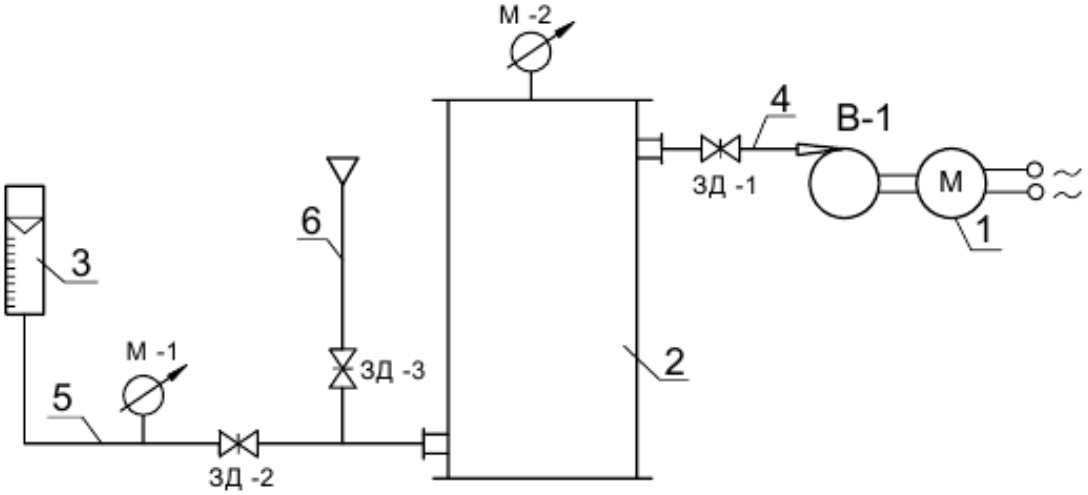

Рис. 8. Схема лабораторной установки

5. Порядок проведения работы

Порядок проведения работы следующий:

а) полностью открывается задвижка ЗД-1 и включается воздуходувка В–1;

б) сжатый воздух поступает в ресивер 2; заполнение ресивера 2 фиксируется по показанием манометра М–1;

в) полностью открывается задвижка ЗД–2;

г) по показаниям ротаметра 3 определяется объемная подача воздуходувки В–1, а по показаниям манометра М–1 – давление сжатого воздуха;

д) частично открывается задвижка ЗД–3; при этом часть сжатого воздуха по воздуховоду 6 сбрасывается в атмосферу; определяются подача воздуходувки В–1 и давление сжатого воздуха;

е) открывая задвижку ЗД–3 все больше и больше определяем подачу воздуходувки В–1 и давление сжатого воздуха еще трижды;

ж) результаты измерений заносятся в табл. 10;

Таблица 10

№ опыта	Тип воздуходувки	Подача воздуходувки, л/с	Давление воздуха, Па $\times 10^5$
1	2	3	4

з) по данным табл. 10 строится рабочая характеристика воздуходувки.

Лабораторная работа № 9

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОРШНЕВЫХ НАСОСОВ

1. Общие положения

Поршневые насосы относятся к объемным насосам, в которых передача энергии жидкости происходит путем изменения объема рабочей камеры при возвратно-поступательном движении вытеснителя (поршня или плунжера).

По конструктивному признаку поршневые насосы делятся на две группы: собственно поршневые и плунжерные. В поршневых насосах основными деталями являются цилиндр и двигающийся в нем дисковый поршень, который плотно прилегает к цилиндру и скользит внутри него. В плунжерных (скальчатых) насосах вместо поршня двигается цилиндрический плунжер, который через сальник входит внутрь насосной камеры, являющейся в этом случае цилиндром насоса [1].

По характеру действия поршневые насосы делятся на [4]:

а) простого (ординарного) действия – когда за два хода поршня осуществляется одно нагнетание;

б) двойного действия – когда за каждый ход поршня происходит нагнетание жидкости;

в) дифференциального действия – когда насос один раз всасывает, а подает жидкость двумя порциями.

По расположению осей цилиндров поршневые насосы бывают горизонтальные и вертикальные [4].

По способу приведения в действие поршневые насосы бывают [4]:

а) прямодействующие (паровые), у которых поршень насосного цилиндра непосредственно общим штоком связан с поршнем паровой машины;

б) приводные – от отдельно расположенного двигателя, соединенные с насосом какой-либо передачей;

в) ручные – приводимые в действие мускульной силой.

2. Цель работы

Целью данной работы является изучение принципа действия и конструкции поршневых насосов, а также определение их подачи, напора и полезной мощности.

3. Описание лабораторной установки

Схема поршневого ручного насоса простого действия представлена на рис. 9. Внутри насосного цилиндра 2 движется поршень 1, приводимый в

движение штоком 3 от рукоятки. Клапаны насоса (всасывающие 4,5 и нагнетательные 6,7) расположены в общей клапанной коробке сверху цилиндра. Вода поступает в цилиндр через всасывающий патрубок 8 и выталкивается в напорный трубопровод через патрубок 9.

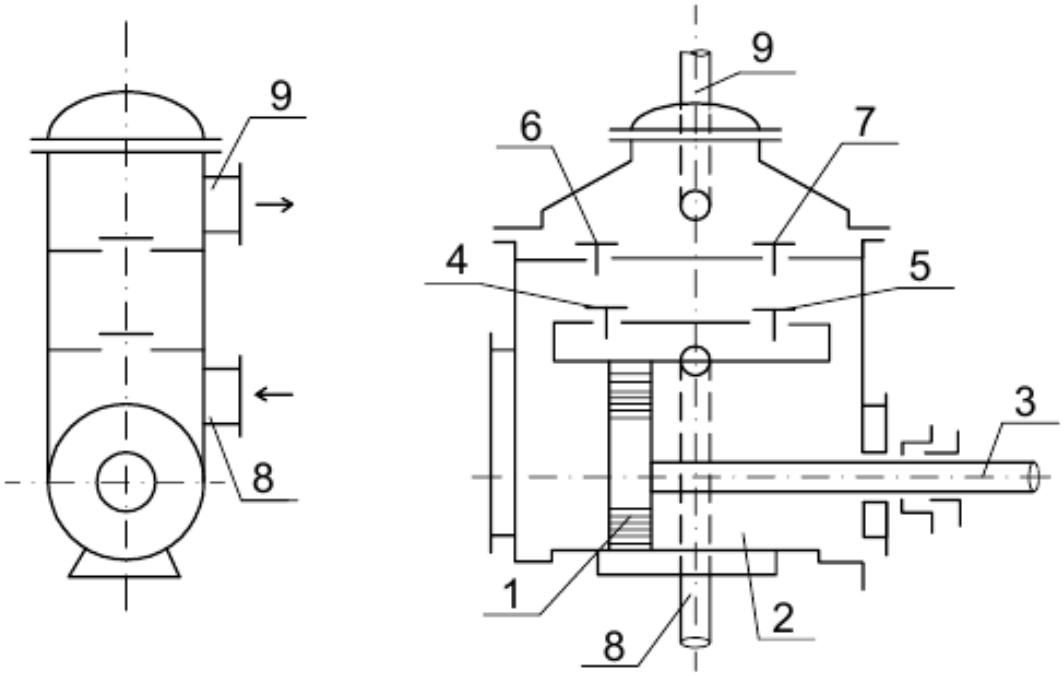

Рис. 9. Схема ординарного поршневого насоса

4. Порядок проведения работы

Порядок проведения работы следующий:

а) определяется теоретическая подача поршневого ординарного насоса $Q_т$ (м^3/с) по формуле [4]:

$$Q_T = i \cdot F \cdot S \cdot n \,, \tag{9.1}$$

где i=1 – число действий ординарного насоса [4]; F – площадь сечения цилиндра, м^2; S = 0,05 м – длина хода поршня; n=2 – число двойных ходов поршня в секунду;

б) определяется площадь сечения цилиндра F (м^2) по формуле [4]:

$$F = \frac{\pi D_ц}{4} \,, \tag{9.2}$$

где $D_ц$=0,06 м – диаметр цилиндра;

в) определяется действительная подача ординарного поршневого насоса $Q_д$ (м^3/с) по формуле [4]:

$$Q_Д = \frac{W}{T}, \qquad (9.3)$$

где W – объем воды, поданный насосом за время T; T = 60 с – время работы ординарного насоса;

г) определяется объемный КПД ординарного поршневого насоса $\eta_{об}$ (%) по формуле [4]:

$$\eta_{об} = \frac{Q_Д}{Q_T} 100\%; \qquad (9.4)$$

д) определяется напор ординарного поршневого насоса H (м) по формуле [4]:

$$H = \frac{P_{ман} + P_{вак}}{\rho g} + \Delta z, \qquad (9.5)$$

где $P_{ман}$ – показания манометра, Па, $P_{вак}$ – показания вакуумметра, Па; Δz – разность отметок вакуумметра и манометра относительно пола лаборатории, м;

е) определяется полезная мощность ординарного поршневого насоса N_n (кВт) по формуле [1]:

$$N_n = Q_Д \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad ; \qquad (9.6)$$

ж) результаты расчетов заносятся в табл. 11.

Таблица 11

Подача, м^3/с		Напор H, м	Объемный КПД, $\eta_{об}$ (%)	Полезная мощность, N_n (кВт)
теоретическая, Q_T	действительная, $Q_Д$			
1	2	3	4	5

Список литературы

1. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. – М.: Бастет, 2009. – 257 с.

2. Динамические насосы для сточных жидкостей: каталог. – М.: ЦНТИ – ХИМНЕФТЕМАШ, 1986. – 32 с.
3. Центробежные насосы двухстороннего входа: каталог. – М.: ЦНТИ – ХИМНЕФТЕМАШ, 1986. – 24 с.
4. Насосы и насосные станции: Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 290800 III курса дневной и IV курса заочной форм обучения / Сост.: А.Б. Адельшин [и др]. – Казань: КГАСА, 1999. – 34 с.
5. Изучение изменений характеристик центробежных насосов при изменении частоты вращения рабочего колеса: Методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 290800 III курса дневной и IV курса заочной форм обучения / Сост.: А.Б. Адельшин [и др.]. – Казань: КГАСА, 2001. – 10 с.
6. Оборудование водопроводно-канализационных сетей и сооружений. Учебник для вузов / под ред. Дерюшева Л.Г. – М.: ООО «ИД «Бастет», 2011. – 296 с.
7. Испытания воздуходувки: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 290800 «Водоснабжение и водоотведение III курса дневной и IV курса заочной форм обучения / Сост.: А.Б. Адельшин [и др]. – Казань: КГАСА, 2002. – 6 с.

НАСОСНЫЕ И ВОЗДУХОДУВНЫЕ СТАНЦИИ

Методические указания к выполнению
лабораторных работ для студентов направления
подготовки 270800.62 «Строительство»,
профиль «Водоснабжение и водоотведение»

Составители: Адельшин Азат Билялович, Бусарев Андрей Валерьевич,
Селюгин Александр Сергеевич, Дубяго Владимир Александрович