

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой»



А. М. Нияковский

## **НАСОСЫ, ВЕНТИЛЯТОРЫ И КОМПРЕССОРЫ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 7-07-0732-02 «Инженерные сети,  
оборудование зданий и сооружений»

*Текстовое электронное издание*

Новополоцк  
Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой

2026

**УДК 621.63+621.65+621.51(075.4)**

Одобрено и рекомендовано к изданию  
кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции (протокол № 8 от 12.06.2025 г.)

Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

Приведены общие указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Насосы, вентиляторы и компрессоры», «Насосные и воздухоподводящие станции» в которых содержатся, краткие теоретические сведения по темам лабораторных работ, порядок их выполнения, содержание отчета и контрольные вопросы по теме, список основной и рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов специальностей 7-07-0732-02 «Инженерные сети, оборудование зданий и сооружений» (профилизация «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна») и профилизации «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»).

Для создания текстового электронного издания «Насосы, вентиляторы и компрессоры» А. М. Нияковского использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

НИЯКОВСКИЙ Александр Мечиславович

## **НАСОСЫ, ВЕНТИЛЯТОРЫ И КОМПРЕССОРЫ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 7-07-0732-02 «Инженерные сети,  
оборудование зданий и сооружений»

Редактор *И. Н. Чапкевич*

---

Подписано к использованию 12.05.2026.  
Объем издания: 1,5 Мб. Заказ 223.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой».

Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 27.05.2004.

211440, ул. Блохина, 29,  
г. Новополоцк,  
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44  
<http://www.psu.by>

## Содержание

ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ОБ ИХ ВЫПОЛНЕНИИ .....	5
Лабораторная работа № 1 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА РАДИАЛЬНЫХ (ЦЕНТРОБЕЖНЫХ) И ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	8
Лабораторная работа № 2 ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ПРИ РАБОТЕ НА СЕТЬ .....	10
Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НТЦ-11.60 .....	15
Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ И КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА.....	18
Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИИ НАСОСОВ .....	23
Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИИ НАСОСОВ.....	26
Лабораторная работа № 7 СОГЛАСОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСА И СЕТИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ .....	29
ЛИТЕРАТУРА .....	33

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ОБ ИХ ВЫПОЛНЕНИИ

Выполнение лабораторных работ предусматривает изучение студентом литературных источников, приведенных в конце методических указаний. Прежде, чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен определить план действий, подготовить необходимые измерительные приборы, а также формы для записи результатов проводимых испытаний. По окончании каждой лабораторной работы готовится отчёт о ее выполнении.

### **Отчёт должен содержать:**

- 1) название работы;
- 2) цели и задачи проводимого исследования, его краткое теоретическое изложение;
- 3) схему лабораторной установки и краткое описание её технических характеристик (если используется установка);
- 4) краткое изложение методики испытаний с описанием характеристик использованных измерительных приборов;
- 5) расчетные формулы;
- 6) таблицу регистрации измеряемых параметров и рассчитываемых данных;
- 7) графики, построенные на основе результатов исследований;
- 8) выводы по работе, описание выполняемых вычислений и математической обработки полученных данных;
- 9) список использованных источников.

Если в процессе выполнения лабораторной работы изучается лишь устройство оборудования (без проведения испытаний и измерений), то вместо подразделов 3–8 в отчете излагаются сведения о назначении, сфере применения, описание соответствующего оборудования, даются его эскизы, фотографии, чертежи, включая детализированные, приводятся технические характеристики и принятые обозначения.

**Схема лабораторной установки** составляется в соответствии с фактическим исполнением установки на лабораторном стенде. Она должна отображать подвергаемое испытаниям оборудование (насосы, вентиляторы), а также соединительные трубопроводы, фасонные части, шиберы, поворотные заслонки, вентили, краны, контрольно-измерительную аппаратуру. Основным элементам схемы должен быть присвоен номер экспликации, расшифрованный в подписи. На схеме указываются длины и диаметры участков трубопроводов или воздухопроводов.

**Технические характеристики установки** включают буквенно-цифровое обозначение испытываемого нагнетателя, используемой измерительной аппа-

ратуры, диаметры трубопроводов (воздуховодов); длины расчетных участков; сведения о характере тока, питающего электропривод; КПД электропривода (при наличии такой информации); коэффициенты участвующих в расчете местных сопротивлений ( $\xi$ ); пределы измерения, класс точности и цену деления измерительных приборов; сведения о тарировке датчиков и т.п.

**Краткое изложение методики испытаний** содержит сведения о режиме работы оборудования (включено, выключено), положении регулирующих органов (закрыты, открыты, положение меняется в процессе испытаний), перечень измеряемых параметров и последовательность действий студентов-испытателей.

В разделе **«Расчетные формулы»** представляются все формулы, необходимые для определения искомых параметров по результатам измерений. Промежуточные преобразования опускаются.

**Таблица регистрации измеряемых параметров и рассчитываемых данных** составляется студентом самостоятельно в произвольной форме. Она должна содержать наименование измеряемых параметров, их обозначение в соответствии с расчетными формулами и размерность; наименования, обозначения и единицы измерения всех вычисляемых данных, как промежуточных, так и итоговых. В приложении к таблице представляются число оборотов рабочего колеса, вид жидкости, её температура, плотность и др. При испытании вентиляторов дополнительно измеряется влажность и барометрическое давление воздуха.

**Графики результатов исследований** строятся на основе таблиц данных. Построение графиков осуществляется с использованием соответствующих инструментов Microsoft Excel. При этом, выбирая масштаб осей графиков, следует стремиться к тому, чтобы минимальные и максимальные значения осей находились в пределах поля графиков, ограничивая его.

В **выводах** и **описаниях вычислений** полученных опытных данных должно содержаться обсуждение полученных результатов: сведения о характере изменения исследуемых параметров; соответствие (или несоответствие) полученных кривых приведенным в литературе; анализ влияния определяющих факторов на исследуемые величины; статистическая оценка полученных данных (выполняется по заданию преподавателя).

**Список использованных источников** должен содержать перечень использованных при выполнении лабораторной работы и подготовке отчета литературы и программных продуктов, оформленный в соответствии с библиографическими правилами. В тексте отчета в обязательном порядке должны содержаться ссылки на эти источники.

Отчет о выполнении работы **составляется для каждой лабораторной работы.**

После завершения прохождения всего лабораторного практикума отчеты по отдельным работам сводятся в электронный **итоговый отчет**, который распечатывается, сшивается, снабжается титульной страницей и на бумажном носителе сдается на проверку преподавателю.

Текст итогового отчета набирается на листах формата А4, шрифтом Times New Roman размером 12–14 пт с одинарным интервалом, абзацный отступ – 1,25 см. Допускается перенос слов по слогам. Текст разбивается на отдельные разделы. Отчет по каждой лабораторной работе является разделом итогового отчета. В пределах разделов создаются подразделы, отражающие структуру, установленную требованиями к содержанию отчета по лабораторной работе. Поля: верхнее – 2 см; нижнее – 2 см; справа – 1,5 см; слева – 3 см. Оформление формул, рисунков – в соответствии с общими требованиями к оформлению курсовых и дипломных проектов.

Отчет должен содержать необходимый текстовый, табличный и графический материал, а также список использованных источников.

# Лабораторная работа № 1

## ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА РАДИАЛЬНЫХ (ЦЕНТРОБЕЖНЫХ) И ОСЕВЫХ ВЕНТИЛЯТОРОВ

**Цель работы:** изучить устройство и принцип работы радиального (центробежного) и/или осевого вентилятора (по заданию преподавателя), его основные составные части, их назначение и взаимодействие.

### Содержание и порядок выполнения работы

При выполнении работы студент самостоятельно ведет поиск информации о видах и конструктивных особенностях различных радиальных и осевых вентиляторов, используя ТНПА (ГОСТ, СТБ и др.), каталоги заводов-изготовителей и интернет-ресурсы. В результате фиксируются следующие сведения:

- наличие нормативной базы, регламентирующей требования к конструкции вентиляторов;
- буквенно-цифровое обозначение вентилятора, включая информацию о размере рабочего колеса;
- эскиз нагнетателя с детализацией основных составных элементов, опорной конструкции, всасывающего и нагнетающего патрубка;
- выкопировку из графиков (таблиц) характеристик вентилятора;
- назначение нагнетателя, технические условия применения (включая краткую характеристику перемещаемой среды);
- конструктивное исполнение (по способу передачи вращательного момента от привода к рабочему колесу);
- особенности конструктивного исполнения рабочего колеса;
- особенности конструкции узла прохода вала через корпус;
- положение корпуса и вращение рабочего колеса;
- крепление корпуса к опорной конструкции;
- размеры осевого и радиального зазоров и их оценка (только для радиальных вентиляторов);
- статическую устойчивость рабочего колеса, наличие динамической балансировки (или ее отсутствие);
- сопротивление подшипников прокрутке рабочего колеса;
- краткие сведения о приводе вентилятора.

Преподаватель может дать студентам дополнительное задание на изучение конкретных типов и марок вентиляторов.

При выполнении работы следует использовать источники [1; 2; 3] списка литературы.

### Отчет о выполнении работы

По результатам собранной и обобщенной информации студент в качестве отчета составляет доклад-презентацию PowerPoint объемом 8–10 слайдов, которая по решению преподавателя может быть заслушана на занятиях.

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите основные конструктивные элементы радиального (центробежного) вентилятора и поясните их назначение (рабочее колесо, спиральный кожух, всасывающий и нагнетательный патрубки).
2. В чём принципиальное отличие принципа действия осевого вентилятора от радиального? Поясните с помощью схемы направления потока воздуха и сил, действующих на лопатки.
3. Какие типы лопаток применяются в центробежных вентиляторах (загнутые вперёд, назад, радиальные)? Как форма лопаток влияет на напор, расход, КПД и область применения?
4. Объясните, почему осевые вентиляторы обычно имеют более высокий КПД при больших расходах воздуха, а радиальные – при высоком давлении. Приведите численные примеры (Па, м<sup>3</sup>/ч) из типовых характеристик.
5. Сравните схемы привода №1 и №5 для радиальных вентиляторов. Как они влияют на габариты, ремонтпригодность и передачу мощности?
6. Перечислите основные маркировки радиальных вентиляторов (ВР 80-75, ВЦ 4-75, ВЦ 14-46) и расшифруйте, что означают цифры и буквы. Укажите тип давления (низкое, среднее, высокое) для каждой серии.

## Лабораторная работа № 2

### ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИАЛЬНОГО ВЕНТИЛЯТОРА ПРИ РАБОТЕ НА СЕТЬ

**Цель работы:** получение зависимости полного давления, развиваемого вентилятором, от расхода воздуха, подаваемого им на сеть воздухопроводов, при постоянном числе оборотов его рабочего колеса. В процессе выполнения работы необходимо освоить методику испытаний вентиляторов, получить навыки обращения с измерительным оборудованием и приборами.

#### Краткие теоретические сведения

При оценке работы нагнетателей, к которым, безусловно, относятся вентиляторы, пользуются полными и универсальными характеристиками.

*Полной характеристикой нагнетателя* называется совокупность графиков зависимостей (рисунок 2.1) развиваемого полного давления  $P$ , потребляемой мощности  $N$  и коэффициента полезного действия  $\eta$  от производительности (расхода перемещаемой нагнетателем среды)  $L$  при заданном (фиксированном) числе оборотов его рабочего колеса,  $n$ .

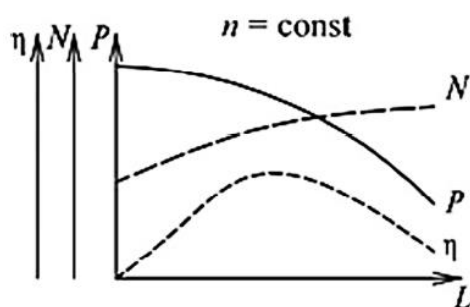


Рисунок 2.1. – Вид полной характеристики радиального нагнетателя

Источник: [1].

Совокупность указанных характеристик, полученных не для конкретного значения числа оборотов рабочего колеса нагнетателя  $n = \text{const}$ , а для нескольких заданных значений числа оборотов ( $n_i = \text{var}$ ), называется *универсальной характеристикой нагнетателя*.

Взаимосвязь полного давления  $P$ , развиваемого нагнетателем, и расхода перемещаемой им среды  $L$  называется *расходно-напорной характеристикой нагнетателя*. Другое название этой характеристики – *аэродинамическая характеристика вентилятора*.

При перемещении потока среды по трубопроводам (воздуховодам) нагнетателю необходимо преодолеть *потери давления в сети*, обусловленные действием силы внутреннего трения в потоке, а также силы трения перемещаемой среды о стенки трубопроводов и проточные части местных сопротивлений.

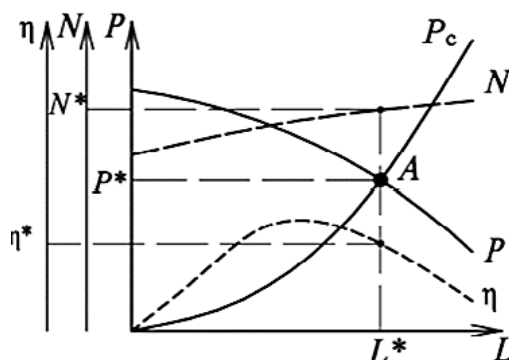
В случае турбулентного режима течения среды величина потерь давления в сети может быть выражена квадратичным *уравнением характеристики сети*:

$$P_c = s \cdot L^2, \quad (1)$$

где  $s$  – постоянный коэффициент, называемый удельной характеристикой сопротивления сети.

Удельная характеристика сопротивления сети зависит от протяженности этой сети, диаметров её отдельных участков, конфигурации (схемы потокораспределения) и степени открытия/закрытия запорной арматуры на отдельных участках сети.

Точка  $A$  пересечения графиков характеристики сети  $P_c$  и расходно-напорной характеристики нагнетателя  $P$  называется *рабочей (режимной) точкой* системы нагнетатель – сеть (рисунок 2.2).



**Рисунок 2.2.** – Построение рабочей точки  $A$  путем наложения характеристики сети  $P_c$  на полную характеристику нагнетателя

Источник: [1].

Точка  $A$  одновременно удовлетворяет условиям нагнетателя и сети, характеризуя параметры их совместной работы  $P^*$ ,  $L^*$ ,  $N^*$  и  $\eta^*$ .

При работе нагнетателя на сеть различают следующие **виды давлений**:

– *динамическое давление*, обусловленное скоростью потока

$$P_{\text{дин.}} = \rho \cdot \omega^2 / 2, \text{ Па}; \quad (2.2)$$

– *полное давление*, необходимое для преодоления нагнетателем сопротивления сети, на которую он работает

$$P_{\text{полн.}} = P_{\text{ст.}} + P_{\text{дин.}}, \text{ Па}; \quad (2.3)$$

– *статическое давление*  $P_{\text{ст.}}$ , действующее по нормали (под прямым углом) на стенки трубопровода или воздухопровода, параллельные направлению потока перемещаемой среды и представляющее собой разность между полным и динамическим давлением

$$P_{\text{ст.}} = P_{\text{полн.}} - P_{\text{дин.}}, \text{ Па}. \quad (2.4)$$

где  $\rho$  – плотность перемещаемой по сети среды, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – скорость перемещения среды в точке поперечного сечения трубопровода (воздуховода), где производится измерение динамического давления, м/с.

Для измерения всех видов давлений, развиваемых нагнетателем, достаточно непосредственно измерить полные и статические давления в его всасывающем и нагнетательном патрубке с помощью пьезометрических (пневмометрических) трубок. Динамическое давление определяется как их разность. Методика измерений с помощью пневмометрических трубок изложена в специальной литературе [1, с. 12–17].

Скорость движения перемещаемой среды по трубопроводам (воздуховодам) может быть измерена непосредственно с помощью анемометра или вычислена с использованием уравнения (2.2):

$$\omega = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{\text{дин.}}}{\rho}}, \text{ м/с.} \quad (2.5)$$

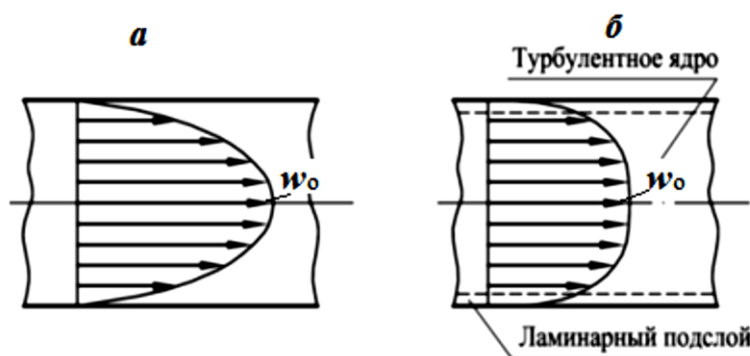
Производительность нагнетателя (расход перемещаемой им среды)  $L$  может быть определена с помощью уравнения неразрывности:

$$L = \omega_{\text{ср}} \cdot F, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.6)$$

где  $\omega_{\text{ср}}$  – средняя по поперечному сечению трубопровода (воздуховода) скорость перемещения среды, м/с;

$F$  – площадь поперечного сечения трубопровода (воздуховода), в котором определена скорость  $\omega_{\text{ср}}$ , м<sup>2</sup>.

Средняя по сечению трубопровода скорость  $\omega_{\text{ср}}$ , **не может быть измерена непосредственно**, так как в разных точках поперечного сечения скорость будет разной (рисунок 2.3): максимальной на оси потока и минимальной вблизи стенок трубопровода (воздуховода). Для определения средней скорости  $\omega_{\text{ср}}$  существуют специальные методики [1, с. 19–21].



$\omega_0$  – скорость в центре сечения, на оси потока

Рисунок 2.3. – Эпюра скоростей перемещаемой среды в трубопроводе (воздуховоде)

Источник: [1].

Для преодоления потерь давления в сети нагнетательная установка потребляет энергию, величина которой характеризуется *общей потребляемой мощностью*  $N$ . Часть этой мощности передается перемещаемой среде в виде *полезной*

мощности  $N_{\text{п}}$ , а оставшаяся часть энергии безвозвратно теряется внутри нагнетателя и его привода, представляя собой *потери мощности*  $\Delta N$ .

Величина полезной мощности определяется формулой

$$N_{\text{п}} = P_{\text{полн.}} \times L, \text{ Вт}, \quad (2.5)$$

где давление выражено в Па, а производительность нагнетателя (расход перемещаемой среды) – в м<sup>3</sup>/с.

Отношение полезной мощности к потребляемой извне называется *общим коэффициентом полезного действия* нагнетательной установки, который определяется по формуле:

$$\eta_o = N_{\text{п}}/N. \quad (2.5)$$

Более подробные сведения о работе нагнетателя в сети изложены в [1–14].

### Содержание и порядок выполнения работы

Согласно действующим стандартам (ГОСТ 10921-2017, ISO 5801, AMCA 210) аэродинамические (расходно-напорные) характеристики вентиляторов строятся по развиваемому ими полному давлению  $P$  в зависимости от объёмного расхода (подачи) воздуха  $L$ .

Требуется построить расходно-напорную характеристику радиального вентилятора. Для этого необходимо найти положение рабочих точек  $A_i$  для различных значений удельной характеристики сопротивления сети  $s_i$  при постоянной частоте вращения рабочего колеса вентилятора  $n$ .

Изменение удельной характеристики сопротивления сети  $s$  может быть достигнуто путем ступенчатого изменения степени закрытия/открытия шиберов на пути следования воздуха из вентилятора в сеть. По мере открытия шиберов величина  $s$  будет снижаться, следовательно, точка  $A$  будет перемещаться вдоль графика расходно-напорной характеристики  $P_c$  вправо от положения  $A_1$  (шибер полностью закрыт) до положения  $A_N$  (шибер полностью открыт), «вычерчивая» соответствующий график характеристики вентилятора  $P_c$ . Каждая точка  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_N$  соответствует определенной степени открытия/закрытия шиберов (рисунок 2.4).

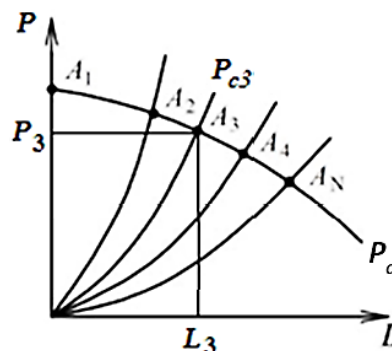


Рисунок 2.4. – Построение расходно-напорной характеристики нагнетателя  
Источник: [1].

Таким образом, для построения расходно-напорной характеристики вентилятора необходимо измерить *расход* подаваемого вентилятором в сеть воздуха и развиваемое им при этом *полное давление* при различной степени закрытия/открытия запорно-регулирующего органа (шибера), сохраняя постоянной частоту вращения рабочего колеса нагнетателя.

Сначала при полностью закрытом шибере, когда  $L_1 = 0$ , определяется полное давление нагнетателя  $P_1$  в точке  $A_1$  (см. рисунок 2.4). Затем измеряются параметры  $P_N$  и  $L_N$  при полностью открытом шибере (точка  $A_N$ ). После чего диапазон расходов перемещаемой среды на оси  $L$  между точками  $A_1$  и  $A_N$  разбивается на приблизительно одинаковые отрезки с таким расчетом, чтобы количество вариантов значений производительности вентилятора  $L_i$  и соответствующих им значений полного давления  $P_i$  позволило бы построить расходно-напорную характеристику. Обычно, для этого достаточно 4–5 замеров  $P_i$  при разных расходах  $L_i$ .

Для измерения расхода воздуха и давлений необходимо использовать соответствующие методики, изложенные в [1, раздел 2.5], а также измерительные приборы, описанные в [1, раздел 2.5].

#### **Контрольные вопросы:**

1. Опишите пошагово процесс построения расходно-напорной характеристики ( $L$ - $P$ -кривой) радиального вентилятора по результатам лабораторных измерений. Какие параметры измеряют и как рассчитывают  $P_{\text{полн}}$ ?
2. Как правильно построить на одном графике  $L$ - $P$  характеристику вентилятора и характеристику сети? Укажите последовательность действий и формулу для кривой сети.
3. Как экспериментально построить характеристику вентилятора при работе на сеть, изменяя положение заслонки? Сколько точек необходимо снять и как распределить их по диапазону  $L$ ?
4. Объясните, как по полученной  $L$ - $P$  характеристике построить кривые мощности ( $L$ - $N$ ) и КПД ( $L$ - $\eta$ ). Запишите формулы, используемые при построении, и укажите единицы измерения.
5. Как графически определить рабочую точку при совместном построении характеристики вентилятора и сети? Опишите построение и назовите координаты точки ( $L$ ,  $P$ ).
6. Как построить характеристику того же вентилятора при другой частоте вращения (например,  $n = 1200$  об/мин), используя формулы пересчёта? Запишите эти формулы и опишите порядок построения новой  $L$ - $P$ -кривой.

## Лабораторная работа № 3 ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА НТЦ-11.60

**Цель работы:** изучение устройства и принципа работы учебно-исследовательского лабораторного стенда НТЦ-11.60, предназначенного для экспериментальных исследований центробежных насосов в последующих лабораторных работах.

### Краткие сведения о лабораторном стенде НТЦ-11.60

Стенд предназначен для экспериментальных исследований центробежных насосов. Он позволяет определять:

- рабочие и кавитационные характеристики центробежного насоса;
- характеристики двух насосов при их параллельном и последовательном соединении;
- наиболее выгодные режимы работы насоса на сеть.

Принципиальная гидравлическая схема стенда приведена на рисунке 3.1.

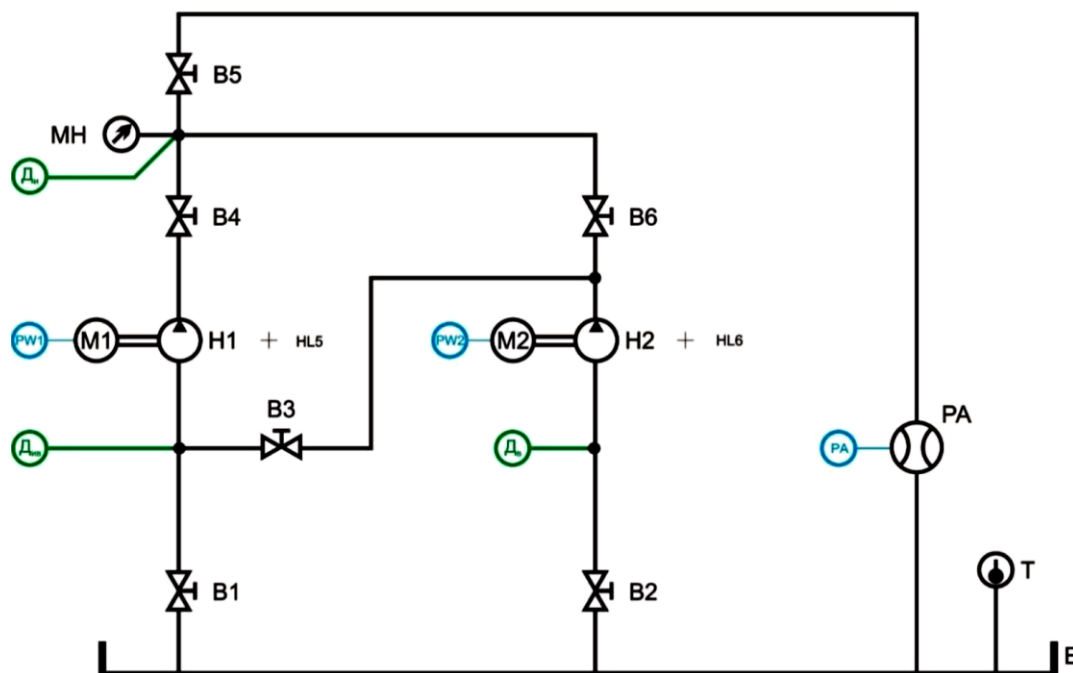


Рисунок 3.1 – Принципиальная гидравлическая схема стенда

Источник: [3].

**Гидравлическая схема стенда** выполнена с замкнутой циркуляцией рабочей жидкости, в качестве которой используется вода. В состав стенда входят:

- гидробак Б;
- два одинаковых насосных агрегата, включающих электродвигатели М1 и М2 и насосы Н1 и Н2;
- соединительная и запорно-регулирующая арматура, включающая шесть шаровых вентилях В1 – В6 и четыре вентиля  $d_y = 15$  мм;
- информационно-измерительная система.

На стенде установлены центробежные насосы консольного типа марки 1К 8/18 (символы в обозначении насоса означают: 1 – номер модернизации, 8 – подача насоса на номинальном режиме, м<sup>3</sup>/ч, 18 – напор, м). Для привода насосов используются асинхронные трехфазные электродвигатели типа АИР 80А2 (мощность 1,5 кВт, частота вращения 3000 об/мин).

**Информационно-измерительная система стенда** позволяет измерять:

- давление на входах насосов (Див и Дв) и давление на выходе (Ди);
- мощность, потребляемую электродвигателями (РW1 и РW2);
- расход воды, перемещаемой насосами.

Для контроля давления на выходе насосов установлен манометр МН. Для измерения расхода воды на стенде установлен счетчик МТК Ду-50, оснащенный электронной платой с импульсным выходным сигналом. Кроме перечисленных устройств, на стенде установлены 4 вентиля ( $d_v = 15$  мм), один из которых используется для слива или заправки бака водой, а три остальных установлены в линиях подключения микропроцессорных датчиков давления. Предусмотрена цифровая индикация результатов измерения давлений, расхода воды и мощностей, потребляемых электродвигателями. Все устройства стенда установлены на общей раме (рисунок 3.2). Пульт стенда установлен на специальном кронштейне, который крепится к верхней стенке гидробака. Ниже на трубопроводе установлен расходомер.

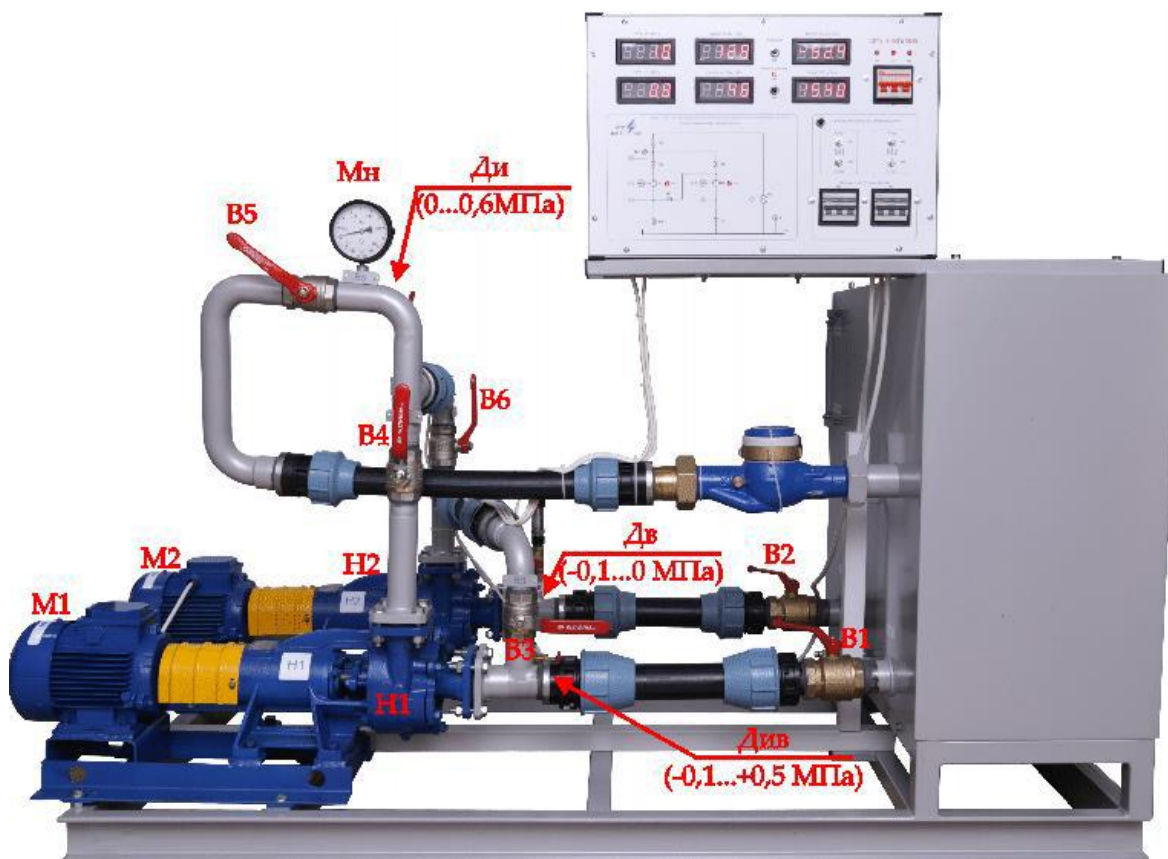


Рисунок 3.2 – Общий вид стенда

Источник: [3].

**Запуск насосов** осуществляется с соблюдением общих технических требований к насосному оборудованию и правил эксплуатации электроустановок.

**Перед пуском насосов необходимо:**

1) закрыть вентили в напорной линии насосов и открыть вентили на входе насосов В1 и В2;

2) удалить воздух из тракта насосов (для удаления воздуха достаточно вывернуть пробки в верхней части корпусов насосов. После удаления воздуха пробки необходимо завернуть);

3) далее, включить двигатель и дать ему возможность набрать необходимую частоту вращения.

4) открыть задвижки в напорной линии насоса до получения требуемого напора.

**Лабораторные работы, выполняемые на стенде:**

– Лабораторная работа № 4. Определение рабочих и кавитационных характеристик центробежного насоса.

– Лабораторная работа № 5. Исследование характеристик насосной установки при последовательном включении насосов.

– Лабораторная работа № 6. Исследование характеристик насосной установки при параллельном включении насосов.

– Лабораторная работа № 7. Согласование характеристик насоса и сети. Определение оптимального режима работы.

При их написании частично использованы текст и рисунки, приведенные в [3].

**Содержание и порядок выполнения работы**

В процессе выполнения работы следует изучить устройство стенда [3], научиться подготавливать его к работе и производить безопасный запуск насосов, приобрести навыки манипулирования запорной арматурой, научиться снимать показания датчиков давления и расхода воды.

**Контрольные вопросы:**

1. Назовите основные конструктивные элементы стенда НТЦ-11.60 и опишите их назначение в процессе исследования гидравлических характеристик насосов.

2. Объясните принцип работы стенда НТЦ-11.60 при построении характеристик работы насосов.

3. Какие измерительные приборы и датчики применяются на стенде НТЦ-11.60 для определения гидравлических параметров насоса? Укажите их диапазоны и точность (примерные значения).

4. Опишите схему гидравлического контура стенда НТЦ-11.60.

5. Перечислите меры безопасности и последовательность действий при работе со стендом НТЦ-11.60 и его пуске.

## Лабораторная работа № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ И КАВИТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

**Цель работы:** изучение устройства, основных технических показателей и характеристик центробежного насоса; экспериментальное определение рабочих и кавитационных характеристик насоса.

### Краткие теоретические сведения

Центробежный насос – один из двух типов динамических лопастных насосов, перемещение рабочего тела в котором происходит непрерывным потоком за счёт взаимодействия этого потока с подвижными вращающимися лопастями ротора и неподвижными лопастями корпуса (рисунок 4.1). При этом переносное движение рабочего тела происходит за счёт центробежной силы и протекает в радиальном направлении, то есть перпендикулярно оси вращения ротора.

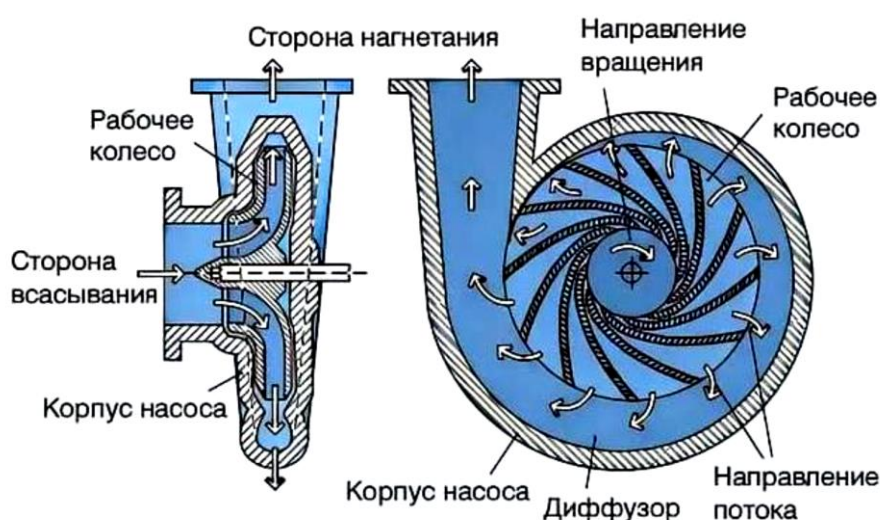


Рисунок 4.1. – Центробежный насос, поперечный разрез

*Рабочие характеристики насосного оборудования* представляют собой совокупность экспериментально получаемых зависимостей давления (напора), развиваемого насосом, мощности и коэффициента полезного действия насоса от подачи (расхода) перекачиваемой жидкости при работе насоса на сеть. Общие теоретические аспекты их построения были изложены применительно к вентиляторам в лабораторной работе № 2 «Построение характеристики радиального вентилятора при работе на сеть».

*Кавитацией* называется процесс вскипания перемещаемой жидкости внутри насоса с последующей мгновенной конденсацией образующихся пузырьков пара.

При работе насоса давление перекачиваемой жидкости в нем снижается и может достичь величины давления насыщенных паров перемещаемой жидкости, соответствующего температуре этой жидкости. В итоге жидкость вскипает

с образованием пузырьков пара, которые, продвигаясь с потоком, попадают в область более высокого давления, где конденсируются и схлопываются, что приводит к возникновению гидравлических ударов. Местное повышение давления может достигать тысяч атмосфер.

В радиальных (центробежных) насосах кавитация может возникнуть или на входе жидкости в рабочее колесо, или на лопатках рабочего колеса вблизи его входных кромок. При кавитации изменяется характеристика насоса, снижаются его технические показатели, возникают шум (треск, удары) и вибрация, происходит интенсивная эрозия поверхностей рабочих органов (лопастей, подвода). Кавитация ограничивает высоту всасывания насоса.

Критерием бескавитационной работы служит *кавитационный запас*  $\Delta h$ . Кавитационный запас представляет собой превышение величины полного давления жидкости во входном патрубке насоса над давлением ее насыщенных паров, взятом при температуре этой жидкости. Кавитационный запас чаще всего выражают в единицах напора – метрах водяного столба.

Для предотвращения явления кавитации при подборе насоса необходимо знать его кавитационные качества, определяемые *кавитационной характеристикой насоса*, получаемой по результатам испытаний.

*Кавитационная характеристика* (рисунок 4.2) представляет собой взаимозависимость напора насоса  $H$  и кавитационного запаса  $\Delta h$  при постоянных значениях подачи  $Q$  и частоты вращения рабочего колеса насоса  $n$ . Частной называется характеристика, выражающая взаимозависимость только напора насоса  $H$  и кавитационного запаса  $\Delta h$ . Если она дополняется взаимосвязью кавитационного запаса  $\Delta h$  с мощностью насоса  $N$ , его КПД  $\eta$  и подачей  $Q$ , то говорят о *полной кавитационной характеристике*.

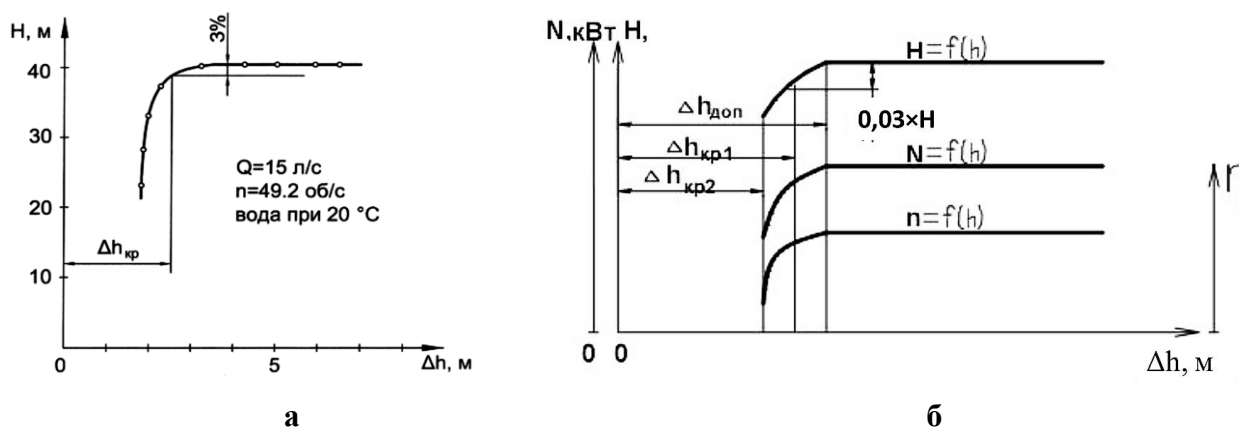


Рисунок 4.2. – Кавитационная характеристика центробежного насоса (а – частная, б – полная)

С ростом температуры перекачиваемой жидкости кавитационные свойства насоса ухудшаются, так как кавитация наступает при больших давлениях на его входе (чем выше температура жидкости, тем при меньших абсолютных давлениях начинается её кипение и наоборот).

Кавитация возникает с уменьшением кавитационного запаса до некоторого значения, приводящего к падению напора более чем на  $0,03 \times H$  (более чем на 3%), называемого *критическим*. Режиму, при котором начинается парообразование, соответствует первый критический кавитационный запас  $\Delta h_{кр1}$  (рисунок 4.2, б). При этом режиме имеют место незначительные изменения напора и мощности насоса. Дальнейшее уменьшение абсолютного давления жидкости на входе в насос, когда возникает полномасштабное парообразование, сопровождающееся резким падением напора и мощности насоса, приводит к возникновению второго критического режима, который характеризуется кавитационным запасом  $\Delta h_{кр2}$ .

Для нормальной работы насоса *необходимо, чтобы его допустимый кавитационный запас был больше критического*.

Более подробно теоретические вопросы кавитации в насосном оборудовании и рабочие характеристики насосного оборудования следует изучить, используя источники [1–14].

### **Порядок подготовки к работе:**

- 1) составить таблицы для внесения опытных и расчетных данных.
- 2) объектом исследований является насос Н1 (испытаниям при необходимости может быть подвергнут и насос Н2).
- 3) предполагается, что стенд до выполнения данной работы уже введен в эксплуатацию и насосы ранее включались.
- 4) до включения стенда необходимо убедиться, что вентили В1, В4 и В5 полностью открыты, а вентили В3 и В6 закрыты (для открытия рычаг вентиля необходимо повернуть вдоль трубопровода).

*Испытания проводятся в два этапа*. На первом этапе проводится серия опытов по определению рабочих характеристик насоса. Затем проводятся опыты по определению кавитационных характеристик насоса.

### **Порядок выполнения работы**

#### **Определение рабочих характеристик насоса:**

1. Включите электрическое питание стенда выключателем QF1.
2. Включите электродвигатель М1 (кнопка «Пуск»).
3. При различных степенях закрытия вентиля В5 проведите 7 опытов (с шагом 20 кПа). В каждом опыте необходимо регистрировать:
  - мощность  $N_1$  на входе электродвигателя М1 (по цифровому индикатору РW1);
  - давление на входе насоса  $P_{В1}$  (по цифровому индикатору Див);
  - давление в напорной линии насоса  $P_n$  (по цифровому индикатору Ди);
  - расход воды в сети  $Q$  (по цифровому индикатору «Расход РА»).
4. Результаты измерений занесите в таблицу.

Кроме того, на основании измеренных величин для каждого опыта следует вычислить и занести в разработанную таблицу следующие величины: мощность насоса на входе, Вт; расход в сети, м<sup>3</sup>/с; среднюю скорость на всасывании насоса Н1, м/с; среднюю скорость на выходе насоса Н1, м/с; скоростной напор на входе насоса Н1, м; скоростной напор на выходе насоса Н1, м; пьезометрический напор на входе насоса Н1, м; пьезометрический напор на выходе насоса Н1, м; напор насоса (полный), м; полезную мощность насоса, Вт; КПД насоса.

### **Определение кавитационных характеристик насоса:**

1. Перед определением кавитационных характеристик необходимо убедиться, что вентили В1 и В4 полностью открыты.

2. Далее необходимо с помощью вентиля В5 установить по цифровому индикатору Ди (манометру) давление в напорной линии  $p_n \approx 160$  кПа (предполагается, что насос Н1 работает). В дальнейшем настройку вентиля В5 не изменять.

3. При различных степенях закрытия вентиля В1 провести 7 опытов. В каждом опыте необходимо регистрировать все те же величины, что и при определении рабочих характеристик:  $N_1$ ,  $P_{В1}$ ,  $P_n$  и  $Q$ .

4. Результаты измерений занести в таблицу.

### **Порядок завершения работы:**

1. Полностью открыть вентили В5 и В1.

2. Выключить питание электродвигателя М1 (кнопка «Стоп»).

3. Выключить электрическое питание стенда (выключатель «Сеть»).

На основании измеренных величин для каждого опыта следует также вычислить и занести в таблицу следующие величины:

- мощность насоса (на входе), Вт;
- расход в сети, м<sup>3</sup>/с;
- среднюю скорость на всасывании Н1, м/с;
- среднюю скорость на выходе Н1, м/с;
- скоростной напор на входе Н1, м;
- скоростной напор на выходе Н1, м;
- пьезометрический напор на входе Н1, м;
- пьезометрический напор на выходе Н1, м;
- напор насоса (полный), м;
- полезную мощность насоса, Вт;
- КПД насоса;
- вакуумметрическую высоту всасывания, м.

При выполнении работы и обработке экспериментальных данных следует воспользоваться указаниями завода-изготовителя лабораторного стенда [3] и учебными пособиями [1; 2; 11].

### **Контрольные вопросы:**

1. Опишите принцип работы радиального (центробежного) насоса. Какие основные элементы входят в его конструкцию и как они взаимодействуют при создании напора?
2. Что понимается под рабочей характеристикой центробежного насоса? Перечислите ключевые параметры (напор, производительность, КПД, мощность) и объясните, как они зависят друг от друга.
3. Что такое «кавитация в насосах»? Объясните физический механизм ее возникновения и последствия для работы насоса (включая снижение производительности, вибрацию и эрозию).
4. Как рассчитывается кавитационный запас насоса? Приведите формулу и объясните ее компоненты (давление на входе, давление парообразования жидкости и др.).
5. Какие факторы влияют на кавитационные характеристики насоса (например, скорость вращения, температура жидкости, геометрия рабочего колеса)?
6. Опишите методику измерения рабочей характеристики насоса: как измерить напор ( $H$ ), производительность ( $Q$ ), мощность ( $N$ ) и КПД ( $\eta$ ) при различных режимах работы (например, при изменении расхода с помощью задвижки)?

## Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИИ НАСОСОВ

**Цель работы:** изучение методики построения характеристик насосной установки при последовательном включении насосов; экспериментальное определение рабочих характеристик насосной установки при последовательном включении двух насосов.

### Краткие теоретические сведения

Последовательное подключение насосов применяется для насосов, которые, как правило, имеют одинаковый расход и равную мощность. В этом случае два и более насоса обеспечивают ступенчатое перекачивание жидкости, поскольку выходной патрубок первого насоса присоединяется к входному патрубку второго насоса. Последовательная работа двух и более радиальных (центробежных) насосов на одну сеть применяется для увеличения значения напоров при одинаковом расходе перекачиваемой жидкости через каждый насос (рисунок 5.1).

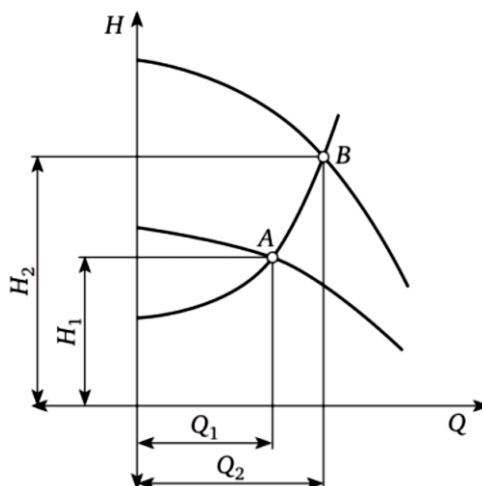


Рисунок 5.1. – Характеристики двух последовательно соединенных насосов и трубопроводной сети

Рабочей точкой А одного насоса при подаче воды в один водовод будет точка, которой соответствует напор  $H_1$  и расход  $Q_1$ . При последовательном подключении двух одинаковых насосов на этот же трубопровод рабочей точкой будет точка В со значениями напора  $H_2$  и расхода  $Q_2$ .

В этом случае, при работе на общий трубопровод суммарный расход двух последовательно соединенных насосов по сравнению с расходом одиночного насоса увеличится ( $Q_2 > Q_1$ ) (см. рисунок 5.1). Это приведет к возрастанию суммарных гидравлических потерь в трубопроводе и соответствующему росту суммарного напора, создаваемого двумя насосами при их последовательном соединении по сравнению с напором одиночного насоса ( $H_2 > H_1$ ).

При построении совместной характеристики двух последовательно соединенных насосов, работающих на общую сеть, складывают напоры насосов при заданной величине подачи каждого из них.

#### **Порядок подготовки к работе:**

- 1) составить таблицы для внесения опытных и расчетных данных;
- 2) объектом исследования является насосная установка с двумя последовательно включенными центробежными насосами Н1 и Н2 типа 1К8/18;
- 3) до включения стенда необходимо закрыть вентили В1 и В6 (вентили закрыты, если оси рычага и трубопровода пересекаются под прямым углом);
- 4) вентили В2, В3, В4 и В5 должны быть открыты;
- 5) при исследовании совместной работы насосов в данной работе определяются только рабочие характеристики насосной установки при совместной работе последовательно соединенных насосов.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Включите электрическое питание стенда (выключатель QF1).
2. Включите электродвигатели М2 и М1 (кнопки «Пуск»).
3. При различных степенях закрытия вентиля В5 провести 7 опытов (первый опыт необходимо проводить при полностью открытом, а последний – при полностью закрытом вентиле).
4. Следует помнить, что при полностью закрытом вентиле В5 не допускается длительная (более 2...3 мин) работа насосов.
5. В каждом опыте необходимо регистрировать:
  - мощности  $N_1$  и  $N_2$  на входах электродвигателей М1 и М2 (по цифровым индикаторам РW1 и РW2);
  - давление в напорной линии насоса Н1 (по цифровому индикатору Дн);
  - давление на входе насоса Н1 (по цифровому индикатору Див);
  - давление на выходе насоса Н1 (по цифровому индикатору Дв);
  - расход воды в сети (по цифровому индикатору «Расход РА»).
6. Результаты измерений занести в таблицу.

Кроме того, на основании измеренных величин для каждого опыта следует вычислить и занести в таблицу следующие величины:

- суммарную мощность насосов, Вт;
- суммарный расход воды, циркулирующей в сети, м<sup>3</sup>/с;
- средняя скорость на всасывании насоса Н2, м/с;
- среднюю скорость на выходе насоса Н1, м/с;
- скоростной напор на входе насоса Н1, м;
- скоростной напор на выходе насоса Н1, м;
- пьезометрический напор на входе насоса Н1, м;
- пьезометрический напор на выходе насоса Н1, м;

- суммарный полный напор всей установки, м;
- полезную мощность всей установки, Вт; КПД всей установки.

При выполнении работы следует использовать указания завода-изготовителя лабораторного стенда [3] и учебные пособия [1; 2; 11].

### **Контрольные вопросы:**

1. Какой физический смысл имеет последовательное соединение насосов? Как оно влияет на суммарный напор и подачу по сравнению с параллельным соединением?
2. Как построить суммарную расходно-напорную характеристику при последовательном включении двух насосов, если известны индивидуальные характеристики каждого?
3. Что происходит с рабочей точкой системы при последовательном включении насосов по сравнению с работой одного насоса?
4. Как изменяется потребляемая мощность при переходе от одного насоса к последовательному включению двух? Дайте объяснения.
5. Определите максимальную подачу установки при последовательном включении. Сравните с подачей одного насоса.
6. Сделайте вывод: в каких практических случаях целесообразно последовательное включение насосов? Приведите пример из техники.

## Лабораторная работа № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПАРАЛЛЕЛЬНОМ ВКЛЮЧЕНИИ НАСОСОВ

**Цель работы:** изучение методики построения характеристик насосной установки при параллельном включении насосов; экспериментальное определение рабочих характеристик установки при параллельном включении насосов.

### Краткие теоретические сведения

При параллельном включении насосов, работающих на общую сеть, возрастает суммарная подача насосов в сеть, но давление возрастает незначительно. Параллельное включение насосов используется в том случае, когда необходимо обеспечить ступенчатое увеличение подачи: при малых подачах используется один насос, при возрастании подключается второй и т.д. Параллельное соединение применяется для насосов, которые, работая раздельно, как правило, создают одинаковый напор. Параллельно могут соединяться два и более насосов, однако соединение более чем четырех-пяти насосов снижает общую эффективность насосной установки.

При наличии двух одинаковых насосов 1 и 2 рабочей точкой  $A$  каждого из них (если бы на сеть работал только один из них) при подаче воды в общий трубопровод будет точка, которой соответствует напор  $H_{1,2}$  и расход  $Q_{1,2}$  (рисунок 6.1).

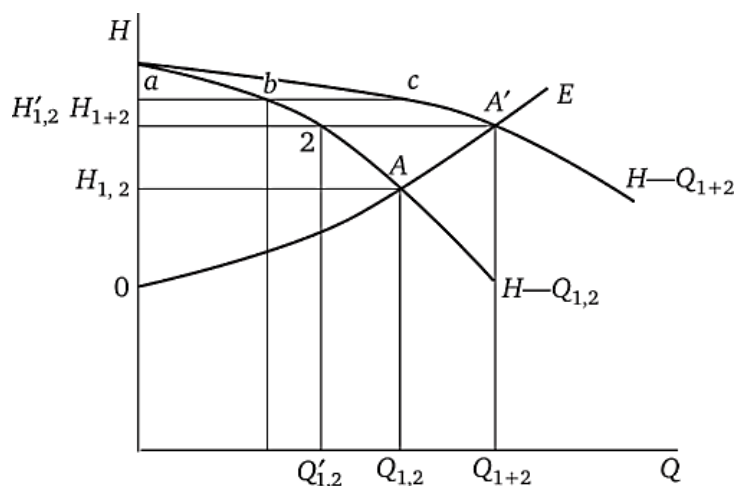


Рисунок 6.1 – Характеристики двух параллельно соединенных насосов и трубопроводной сети

При параллельном включении этих двух насосов и их совместной работе на этот же трубопровод рабочей точкой будет точка  $A'$  со значениями напора  $H_{1+2}$  и расхода  $Q_{1+2}$ . Таким образом, при параллельной работе двух насосов на общую сеть приращение расхода оказывается существенно большим, чем приращение напора, в то время как при последовательном соединении насосов, наоборот, приращение напоров оказывается больше приращения расхода.

При построении совместной характеристики двух параллельно соединенных насосов, работающих на общую сеть, складывают подачи отдельных насосов при заданной величине напоров.

#### **Порядок подготовки к работе:**

- 1) составить таблицы для внесения опытных и расчетных данных;
- 2) объектом исследования является насосная установка с двумя включенными параллельно центробежными насосами Н1 и Н2 типа 1К8/18;
- 3) до включения стенда необходимо закрыть вентиль В3. Вентили В1, В2, В4, В5 и В6 должны быть открыты.
- 4) при исследовании совместной работы насосов в данной работе определяются только рабочие характеристики установки.

#### **Порядок выполнения работы:**

1. Включите электрическое питание стенда.
2. Включите электродвигатели М1 и М2 (кнопки «Пуск»).
3. При различных степенях закрытия вентиля В5 провести 7 опытов (первый опыт необходимо проводить при полностью открытом, а последний – при полностью закрытом вентиле).
4. В каждом опыте необходимо регистрировать:
  - мощности  $N_1$  и  $N_2$  на входах электродвигателей М1 и М2 (по цифровым индикаторам РW1 и РW2);
  - давление в напорной линии насосов (по цифровому индикатору Ди);
  - давление на входе насоса Н1 (по цифровому индикатору Див);
  - давление на входе насоса Н2 (по цифровому индикатору Дв);
  - расход воды в сети (по цифровому индикатору «Расход РА»).
5. Результаты измерений занести в разработанную вами таблицу.

Кроме того, на основании измеренных величин для каждого опыта следует вычислить и занести в таблицу следующие величины:

- суммарную мощность насосов, Вт;
- расход в сети, м<sup>3</sup>/с;
- среднюю скорость на всасывании, м/с;
- среднюю скорость в напорной линии, м/с;
- скоростной напор на входе насоса Н1, м;
- скоростной напор на выходе насоса Н1, м;
- пьезометрический напор на входе насоса Н1, м;
- пьезометрический напор на выходе насоса Н1, м;
- напор насоса (полный), м;
- полезную мощность насоса, Вт.

При выполнении работы и обработке экспериментальных данных следует использовать указания завода-изготовителя лабораторного стенда [3] и учебные пособия [1; 2; 11].

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое радиальный (центробежный) насос? Опишите его устройство и принцип действия.
2. В чем разница между последовательным и параллельным соединением насосов? Приведите примеры применения каждого типа.
3. Каковы основные характеристики центробежного насоса (например, напорно-расходная характеристика, КПД)? Как они определяются экспериментально?
4. Что происходит с общим расходом и напором системы при параллельном соединении двух одинаковых центробежных насосов?
5. Объясните, почему при параллельном соединении насосов важно учитывать их индивидуальные характеристики. Что может произойти, если насосы имеют разные кривые  $Q-H$ ?
6. Как строится совместная характеристика ( $Q-H$ -кривая) для двух центробежных насосов, соединенных параллельно?
7. Как влияет сопротивление сети (трубопроводной системы) на точку работы параллельно соединенных насосов? Опишите графический метод определения рабочей точки.

## Лабораторная работа № 7 СОГЛАСОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСА И СЕТИ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

**Цель работы:** изучение методики определения режимов работы насосной установки; экспериментальное определение характеристик сети; определение режима работы установки; оценка энергетической эффективности работы насосной установки.

### Краткие теоретические сведения

Графики зависимостей напора ( $H$ ), мощности ( $N$ ), КПД ( $\eta$ ), высоты всасывания от подачи ( $Q$ ) называют *графическими характеристиками насоса* (рисунок 7.1).

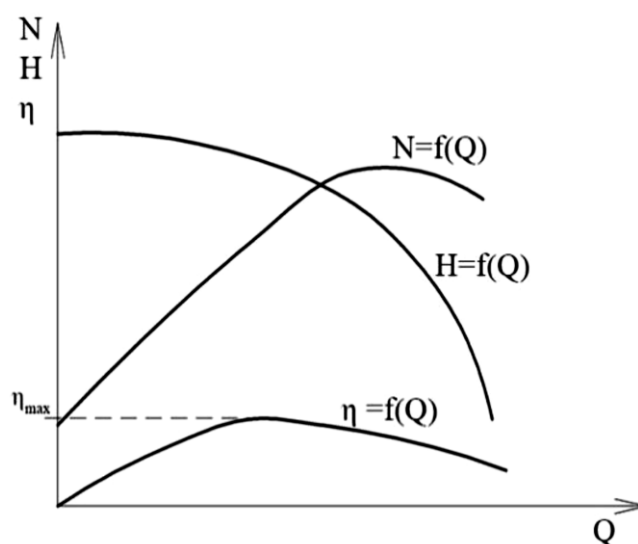


Рисунок 7.1 – Графические характеристики насоса

Эти характеристики позволяют определить режим и параметры работы насоса в гидравлической системе, в том числе на этапе проектирования: позволяют правильно выбрать насос для конкретной гидравлической системы. Характеристики насоса изменяются при изменении частоты вращения приводящего вала, соответственно, для каждой частоты вращения существует свое семейство характеристик насоса. В паспортах насосов, как правило, приводятся напорные характеристики для определенной заданной (фиксированной) частоты вращения вала насоса.

Главной графической характеристикой насоса является расходно-напорная характеристика  $H=f(Q)$ , демонстрирующая взаимосвязь между подачей насоса  $Q$  и развиваемым им напором  $H$ . Как показывает график характеристики (см. рисунок 7.1), чем больший напор насос вынужден создавать для преодоления сопротивления сети, тем меньшую подачу в сеть он может обеспечить. Максимальный напор насос создает при расходе близком к нулю. Таким образом, актуальной является задача согласования параметров работы насоса и сети, то есть приведения в соответствие напора, создаваемого насосом, потерям напора в сети, а

подачи насоса – расходу перемещаемой среды через сеть. Такое согласование выполняется путем совместного графического построения характеристик насоса и сети (рисунок 7.2).

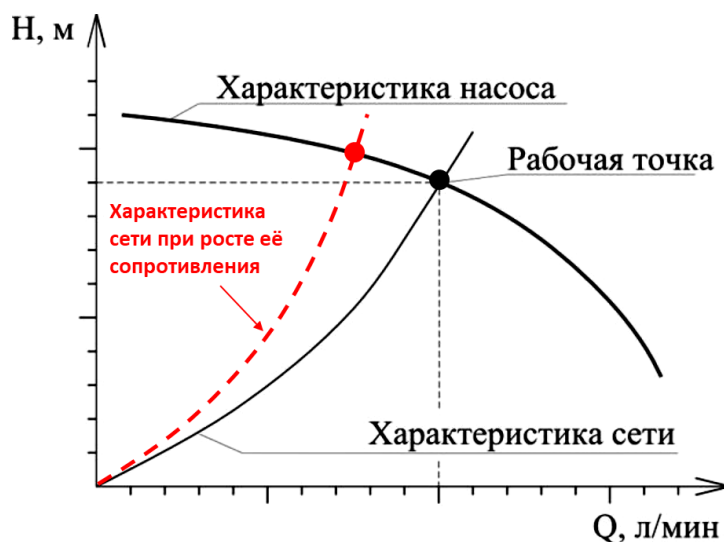


Рисунок 7.2 – Совместная характеристика насоса и сети

Точка пересечения характеристик насоса и сети называется *рабочей точкой*. В ней параметры работы насоса и сети являются согласованными, соответствующими друг другу: расход в сети равен подаче насоса, потери напора в сети равны напору, создаваемому насосом.

Если увеличить сопротивление сети, например, прикрыв задвижку на выходе насоса, то сопротивление сети, а, следовательно, и потери напора в ней возрастут, параболический график характеристики сети пойдет более круто и рабочая точка переместится вдоль графика характеристики насоса вверх и влево (см. рисунок 7.2). Таким образом снова установится согласованная работа насоса и сети, но уже при большем напоре насоса и при его меньшей подаче.

При выполнении данной лабораторной работы необходимо построить графические характеристики сети для двух разных значений её сопротивления – минимального и максимального – и сравнить их между собой.

### Порядок подготовки к работе:

- 1) составить таблицы для занесения опытных и расчетных данных.
- 2) сеть в гидравлической системе стенда – это трубопровод (см. рисунок 1), начало которого в сечении, к которому подключены манометр МН и датчик давления Ди, а окончание – в баке. В этом трубопроводе установлены вентиль В5 и расходомер РА. Важным элементом сети является вентиль В5, представляющий собой местное сопротивление. С помощью этого вентиля можно изменять сопротивление сети.
- 3) до включения стенда необходимо закрыть вентили В3 и В6. Вентили В1, В2, В4 и В5 должны быть открыты.

4) характеристика сети – это зависимость потребного напора на входе сети от расхода, т.е.  $H_{\text{потр}} = f(Q)$ .

5) в ходе испытаний проводятся две серии опытов. В первой серии определяется характеристика сети  $H_{\text{потр1}} = f(Q)$ , имеющей минимально возможное сопротивление (при полностью открытом вентиле В5).

б) во второй серии определяется характеристика сети  $H_{\text{потр2}} = f(Q)$  при увеличенном сопротивлении (при закрытом вентиле В5).

### **Порядок выполнения работы:**

*Определение характеристик сети  $H_{\text{потр1}} = f(Q)$*

1. Включите электрическое питание стенда.
2. Включите электродвигатель М1 (кнопка «Пуск»).

3. При различных степенях открытия вентиля В4 провести 6 опытов. Перед проведением первого опыта вентиль В4 закрыть и обеспечить расход (см. ИВК расходомера) примерно  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ . При переходе к последующим опытам вентиль В4 необходимо приоткрывать. При полностью открытом вентиле В4 (а это будет примерно 6-й опыт) необходимо снять показания, а затем приоткрыть вентиль В6 и включить электродвигатель М2.

4. При этом преследуется цель с помощью второго насоса Н2 увеличить расход в сети.

5. При одновременно работающих обоих насосах провести еще два опыта (вентиль В4 полностью открыт, а увеличение расхода в сети достигается путем приоткрывания вентиля В6). В последнем 8-м опыте необходимо обеспечить расход примерно  $21 \text{ м}^3/\text{ч}$  (смотреть по расходомеру).

6. В каждом опыте необходимо регистрировать:

- давление на входе сети  $P_{\text{вх}}$  (по цифровому индикатору Ди);
- расход воды в сети (по цифровому индикатору «Расход РА»).

8. Результаты измерений занести в таблицу.

Кроме того, на основании измеренных величин для каждого опыта следует вычислить и занести в таблицу следующие величины:

- расход в сети,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;
- среднюю скорость в сети,  $\text{м}/\text{с}$ ;
- скоростной напор на входе сети,  $\text{м}$ ;
- пьезометрический напор на входе сети,  $\text{м}$ ;
- потребный напор на входе сети,  $\text{м}$ .

При выполнении работы следует использовать [1–3; 11].

*Определение характеристик сети  $H_{\text{потр2}} = f(Q)$*

1. При работающем стенде необходимо закрыть вентиль В5.

2. После этого в соответствии с описанной выше методикой необходимо определить характеристику сети с увеличенным сопротивлением (т.е. при закрытом вентиле В5). Выполнить нужно, так же, как и в предыдущем случае, 8 опытов.

3. Результаты измерений необходимо занести в таблицу.

4. После выполнения опытов необходимо отключить питание электродвигателей и стенда.

Кроме того, на основании измеренных величин для каждого опыта следует вычислить и занести в таблицу следующие величины:

- расход в сети,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;
- среднюю скорость в сети,  $\text{м}/\text{с}$ ;
- скоростной напор на входе сети,  $\text{м}$ ;
- пьезометрический напор на входе сети,  $\text{м}$ ;
- потребный напор на входе сети,  $\text{м}$ .

При выполнении работы следует использовать [1–3; 11].

После выполнения всех вычислений и заполнения таблиц необходимо построить на поле графиков рабочих характеристик насоса, которые получены ранее при выполнении лабораторной работы № 4, характеристики сети  $H_{\text{потр1}} = f(Q)$  и  $H_{\text{потр2}} = f(Q)$ , полученные в данной, выполненной вами сейчас работе.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое согласование характеристик насоса и сети? Почему оно необходимо для эффективной работы насосной установки?

2. Нарисуйте и объясните типичную напорно-расходную характеристику центробежного насоса ( $Q-H$ ) и характеристику трубопроводной сети ( $H_{\text{сети}}$ ). Как они пересекаются?

3. Как математически выражается характеристика сети? Приведите формулу для статического и динамического напора.

4. Что такое «рабочая точка насосной установки»? Как её найти графически и аналитически?

5. Как изменится рабочая точка, если: а) увеличить диаметр трубопровода? б) установить дополнительный вентиль (дроссель)? в) повысить статическую высоту подъёма?

6. При каком условии насос работает в оптимальном режиме (максимальный  $\eta$  – КПД)? Как это связано с характеристикой  $\eta(Q)$ ?

7. Перечислите способы регулирования расхода в системе «насос–сеть». Какой из них наиболее энергоэффективен?

8. Объясните, как изменение частоты вращения ( $n$ ) влияет на характеристику насоса.

9. Опишите последовательность эксперимента: а) снятие характеристики насоса; б) снятие характеристики сети; в) определение рабочей точки

10. Как экспериментально определить оптимальный режим работы?

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Дячек, П. И. Насосы, вентиляторы и компрессоры : пособие для студентов спец. 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / П. И. Дячек, Д. Г. Ливанский. – Мн. : БНТУ, 2022. – 85 с. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/123380> (дата обращения: 30.08.2025).
2. Дячек, П. И. Насосы, вентиляторы, компрессоры : учеб. пособие. – М. : АВС, 2013. – 432 с.
3. НТЦ-11.60 Исследование гидравлических характеристик насосного оборудования с МПСО : метод. рек-и по выполн. лаб. работ. – Могилев : УП «НТП «Центр», 2022. – 32 с.
4. Толстых, А. В. Насосы, вентиляторы и компрессоры : учеб. пособие / А. В. Толстых, Ю. Н. Дорошенко, В. В. Пенявский. – Томск : ТГАСУ, 2018. – 160 с. // Электронно-библиотечная система «Лань». – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://e.lanbook.com/book/138990>.
5. Толстых, А. В. Насосы, вентиляторы и компрессоры в системах теплогазоснабжения и вентиляции : учеб. пособие / А. В. Толстых, Ю. Н. Дорошенко, В. В. Пенявский. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 176 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1904203> (дата обращения: 08.05.2025).
6. Гримитлин, А. М. Насосы, вентиляторы, компрессоры в инженерном оборудовании зданий : учеб. пособие / А. М. Гримитлин, О. П. Иванов, В. А. Пухкал. – СПб. : «АВОК Северо-Запад», 2006. – 212 с.
7. Галдин, В. Д. Вентиляторы и компрессоры : учеб. пособие / В. Д. Галдин. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2007. – 105 с.
8. Поляков, В. В. Насосы и вентиляторы / В. В. Поляков, Л. С. Скворцов. – М. : Стройиздат, 1990. – 335 с.
9. Карасев, Б. В. Насосные и воздухоудные станции : ? (монография?) / Б. В. Карасев. – Мн. : Выш. шк., 1990. – 325 с.
10. Васильев, В. М. Гидравлические машины (насосы) : учеб. пособие / В. М. Васильев, С. В. Федоров, А. В. Кудрявцев. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 140 с. – Текст : электронный. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/2093396> (дата обращения: 08.05.2025). –

### Дополнительная

11. Коваленко, П. В. Насосы и вентиляторы : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / П. В. Коваленко, Н. Н. Пистуневич. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 372 с.
12. Насосные и воздухоудные станции : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». В 2 ч. / сост. и общ. ред. Т. В. Козицина. – Новополоцк : ПГУ, 2010. – Ч. 1. – 184 с.
13. Дячек П. И. Холодильные машины и установки: учеб. пособие / П. И. Дячек. – Ростов н/Д : Феникс, 2007. – 424 с.