



PROGRAMLAB

ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

«ГИДРОСТАТИКА И ГИДРОДИНАМИКА»



PL-LLC.RU

ОГЛАВЛЕНИЕ

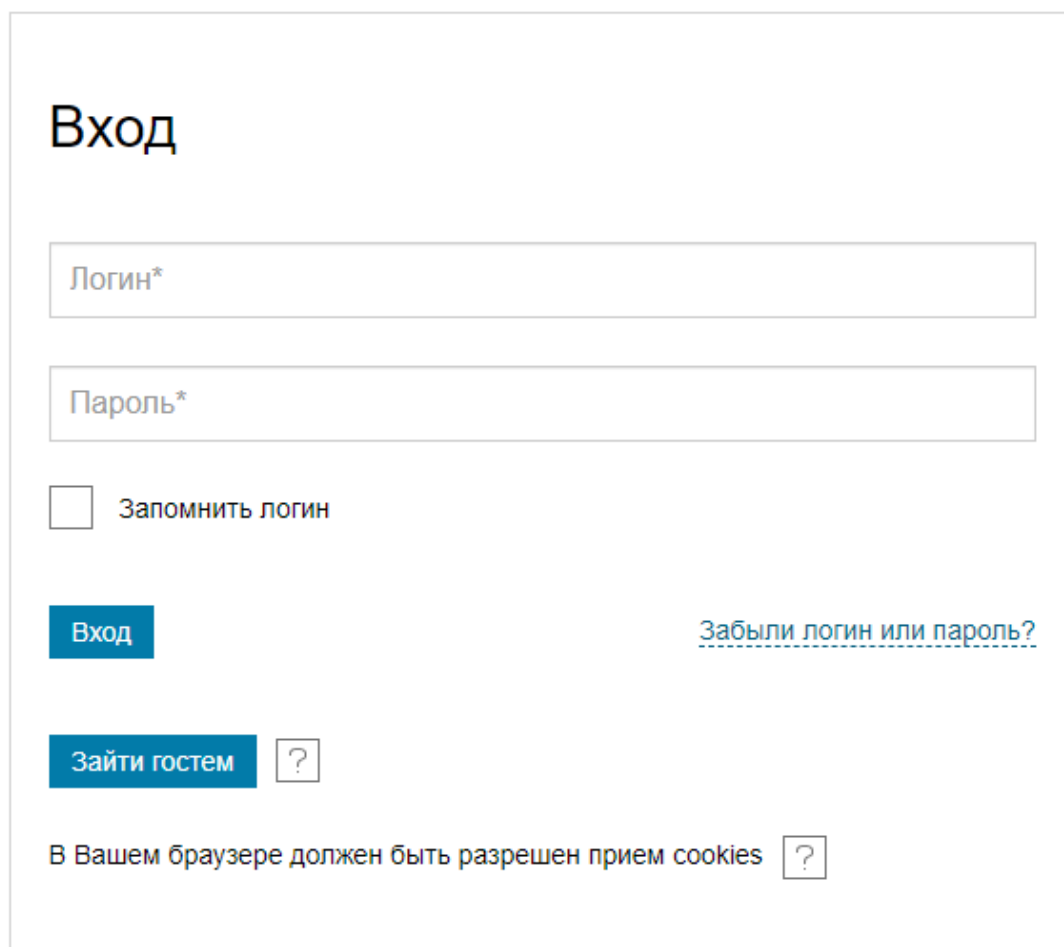
Запуск виртуальной лаборатории в СДО	3
Устранение проблем и ошибок	7
Запуск и управление в программе	10
Интерфейс	12
Методические указания	13

Запуск виртуальной лаборатории в СДО

Данное руководство описывает процесс запуска виртуальной лабораторной работы, интегрированной в систему дистанционного обучения на базе Moodle. Интерфейс вашей системы может отличаться от описанного в руководстве, однако принцип работы и последовательность действий пользователя - общие. Если у вас возникнут вопросы по поводу запуска и работы с виртуальными лабораториями, обратитесь к предприятию-разработчику.

Для того чтобы начать работу с виртуальной лабораторией в среде дистанционного обучения необходимо пройти авторизацию, открыть учебный курс и запустить виртуальную лабораторную работу, если необходимо добавить новую лабораторную работу.

Чтобы войти в среду дистанционного обучения нажмите кнопку **Вход** в правом верхнем углу экрана. В появившемся окне введите ваш логин и пароль.



Вход

Логин*

Пароль*

☐ Запомнить логин

Вход

[Забыли логин или пароль?](#)

Зайти гостем ?

В Вашем браузере должен быть разрешен прием cookies ?

Окно авторизации в системе дистанционного обучения

После авторизации откроется страница со списком доступных учебных курсов.

Moodle v3
Основное меню
Навигация
Настройки
Календарь
Электронный деканат

Список курсов
Добавить курс



Термодинамика
Разное



Гидростатика и гидродинамика
Разное



Химия
Разное



Обучающий курс
Разное



Обучающий курс
Разное



Обучающий курс
Разное



Обучающий курс
Разное



Обучающий курс
Разное

Страница доступных курсов

Выберите нужный курс из списка, кликнув по нему. Откроется окно с кратким описанием учебного курса. Нажмите на кнопку **Войти в курс** чтобы перейти к выбору работ курса.

Гидростатика и гидродинамика
Навигация
Настройки

Витрина курсов
Разное
Гидростатика и гидродинамика
О курсе

Виртуальные лабораторные стенды, по направлениям Гидростатика и Гидродинамика охватывают весь спектр учебных работ, проводимых при изучении дисциплин. Раздел включает виртуальные лаборатории и стенды, предназначенные для проведения следующих лабораторных опытов по гидростатике и гидродинамике:

- Изучение закона Дарси. Методы определения коэффициента фильтрации грунтов
- Определение плотности неизвестной жидкости
- Определение силы давления на плоские стенки

Также в разделе можно найти виртуальный учебный комплекс «Гидравлика», включающий основные лабораторные работы из курса Гидравлики:

- Диаграмма уравнения Бернулли
- Измерение гидростатического давления
- Изучение закона Дарси
- Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении
- Истечение жидкостей
- Определение числа Рейнольдса
- Потери напора по длине в круглой трубе
- Потери напора при внезапном расширении трубы
- Потери напора при внезапном сужении трубы
- Экспериментальное изучение прямого гидравлического удара в напорном трубопроводе

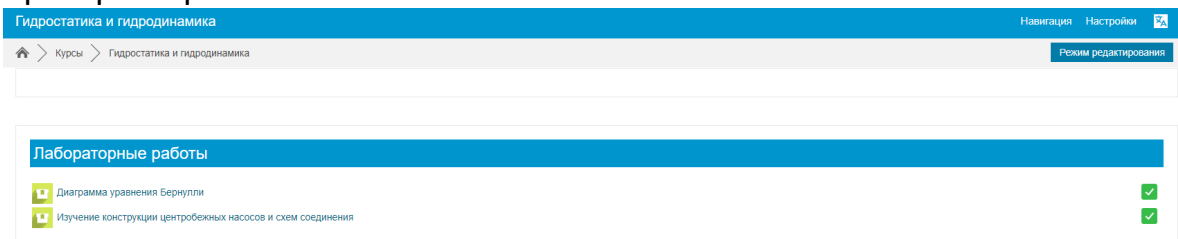
Виртуальные лабораторные работы, разрабатываемые компанией «Програмлаб» полностью воспроизводят реальный опыт проведения лабораторных работ, благодаря использованию современных средств визуализации и созданию трехмерных моделей, в точности повторяющих реальное учебное оборудование, применяемое в лабораторных экспериментах. Использование виртуальных лабораторий при изучении курса гидравлики повышает эффективность усвоения изучаемого материала, имея при этом значительно более низкую стоимость, в сравнении со стационарными лабораторными комплексами.



Войти в курс

Страница с кратким описанием курса

На открывшейся странице выбора работ кликните по названию нужной лабораторной работы.



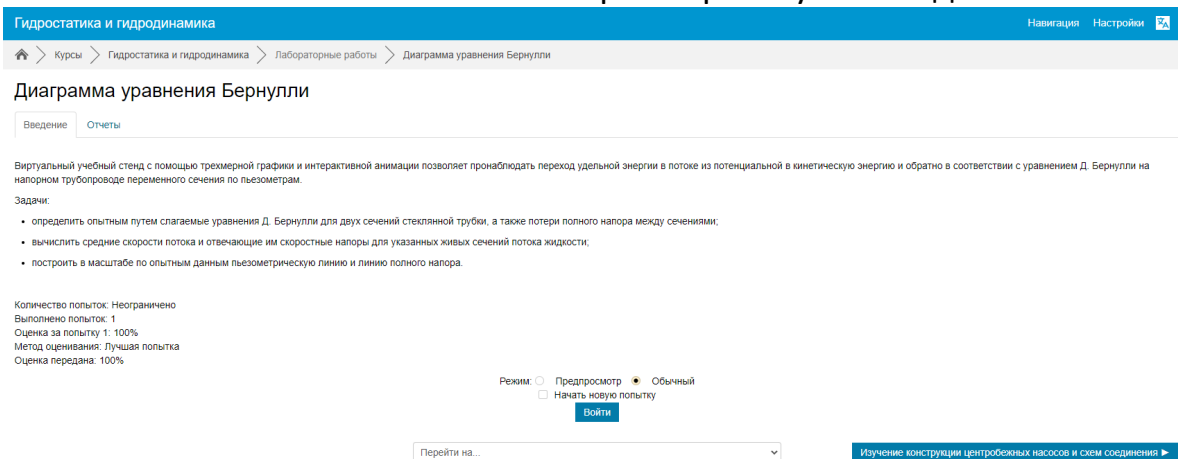
Страница выбора лабораторных работ

Откроется страница с настройками лабораторной работы. В этом окне две вкладки.

В первой вкладке **Введение** краткое описание работы со статистикой (Количество попыток, дающихся на выполнение работы, количество выполненных попыток, оценки)

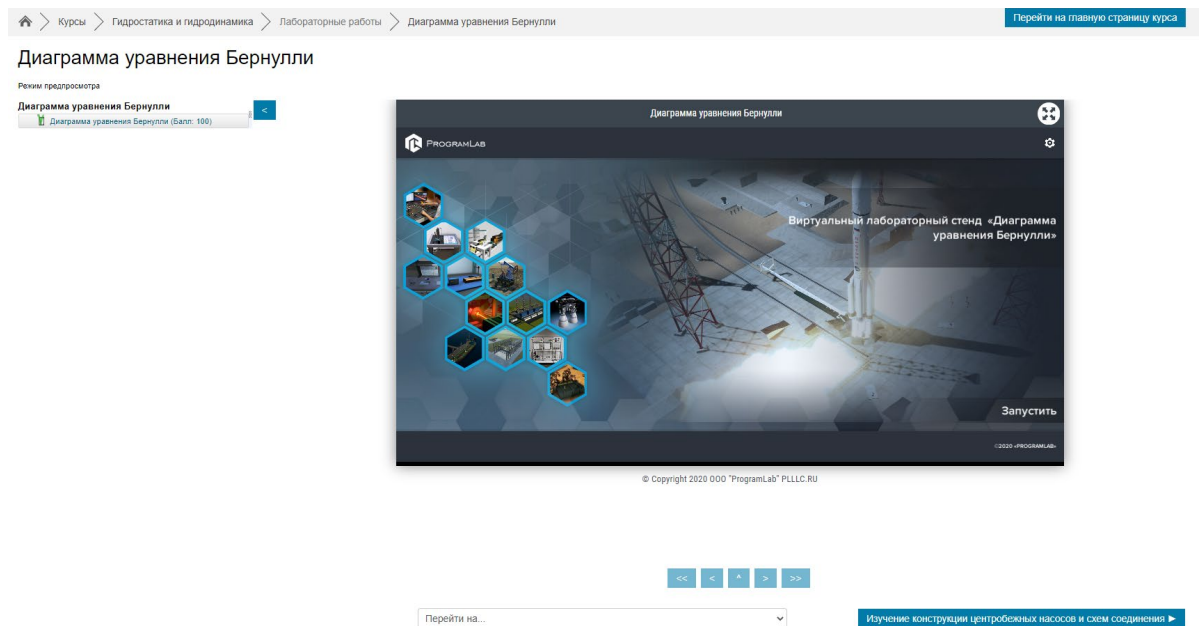
Во вкладке отчеты выводятся отчеты о выполнении работы. Здесь представлены отчеты о всех попытках. В случае, если вы зашли под аккаунтом преподавателя/администратора, будут выводиться отчеты для всех пользователей.

Чтобы перейти к лабораторной работе выберите режим и нажмите кнопку **Войти** в нижней части экрана. Режим предпросмотра предназначен для первичного ознакомления и позволяет пройти работу без создания отчета.



Страница настроек лабораторной работы

Откроется страница с запущенной в окне виртуальной лабораторной работой. Нажмите на кнопку  чтобы развернуть плеер с виртуальной лабораторией на полный экран.



Страница виртуальной лабораторной работы

Устранение проблем и ошибок

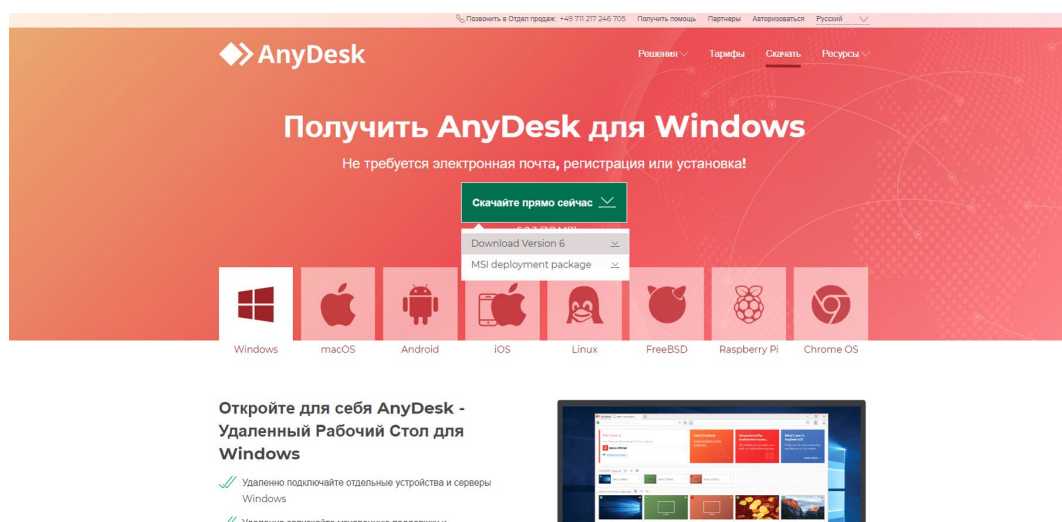
При возникновении ошибок в работе с программным обеспечением свяжитесь со специалистом поддержки «Програмлаб». Для этого опишите вашу проблему в письме на почту support@pl-lab.ru либо позвоните по телефону 8 800 550 89 72.

Для того чтобы специалист смог подключиться к вашему ПК и устранить проблемы вам необходимо запустить ПО для дистанционного управления ПК Anydesk и сообщить данные для доступа.

Anydesk – приложение для удаленного администрирования.

Приложение Anydesk можно найти на USB-носителе с дистрибутивом. Вставьте USB-носитель в ПК и запустите файл с названием Anydesk.exe и перейдите к пункту «Краткая инструкция по запуску и предоставлению доступа».

Если приложения нет на USB-носителе вы можете скачать его по ссылке с официального сайта разработчика: <https://anydesk.com/ru/downloads>.



Загрузка приложения Anydesk с сайта разработчика

Инструкции по использованию программы есть на сайте разработчика (на английском языке): <https://anydesk.com/ru/installation>

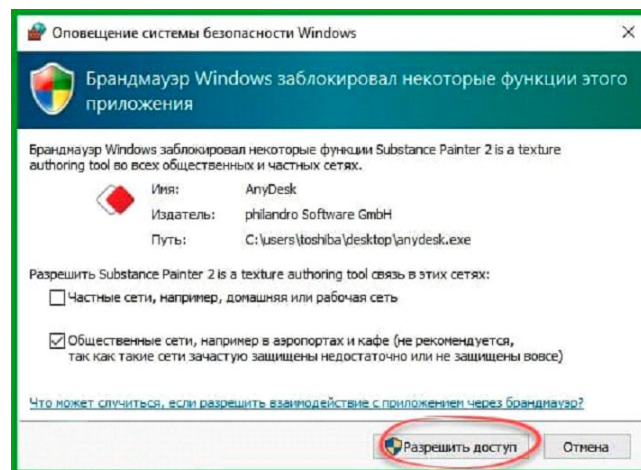
Для того чтобы устранить проблему нет необходимости производить полную установку программы, достаточно выполнить действия, описанные в инструкции ниже:

Краткая инструкция по запуску и предоставлению доступа

После того как приложение скачано нужно запустить его. Необходимый файл называется **AnyDesk.exe** и лежит папке «Загрузки».

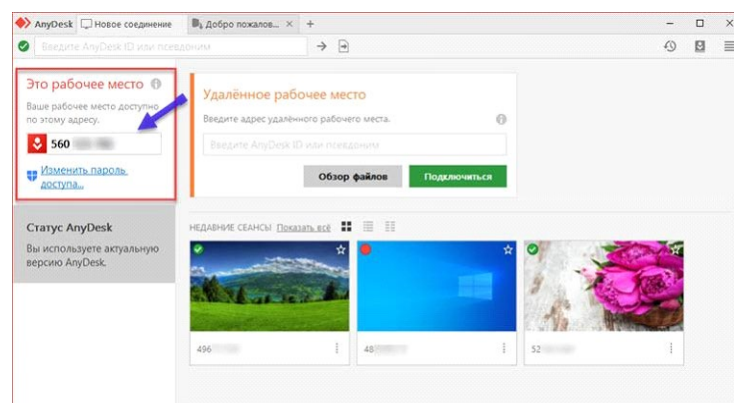
Приложение откроется в портативном режиме (в этом режиме приложение имеет ограниченный, но достаточный для наших задач функционал)

При первом запуске может возникнуть окно с требованием предоставить разрешение. Необходимо нажать на кнопку **Разрешить доступ**.



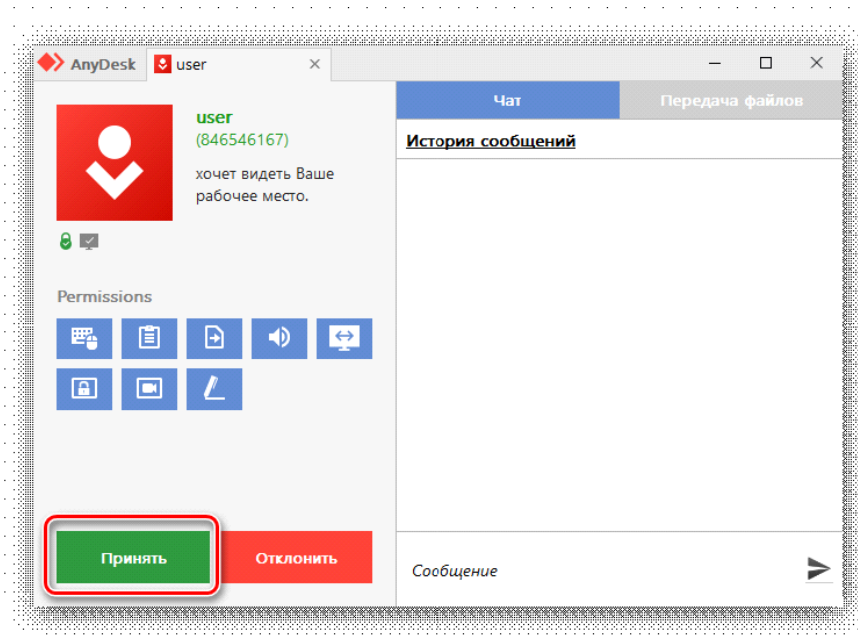
Окно для предоставления доступа приложению

Для того, чтобы к вашему компьютеру мог подключиться другой пользователь, необходимо ему передать специальный адрес, который называется «Это рабочее место». Сообщите этот адрес специалисту.



Окно Anydesk с адресом

После того как специалист введет переданный вами адрес вам нужно будет подтвердить разрешение на доступ к вашему ПК. Откроется табличка с вопросом «Принять» или «Отклонить» удаленное соединение. Нажмите «Принять».



Окно Anydesk Принять/Отклонить

На этом настройка удаленного соединения завершена: специалист получил доступ к вашему ПК. В случае необходимости продолжайте следовать инструкциям специалиста.

Запуск и управление в программе



— Левая кнопка мыши – действие, выбор объекта;



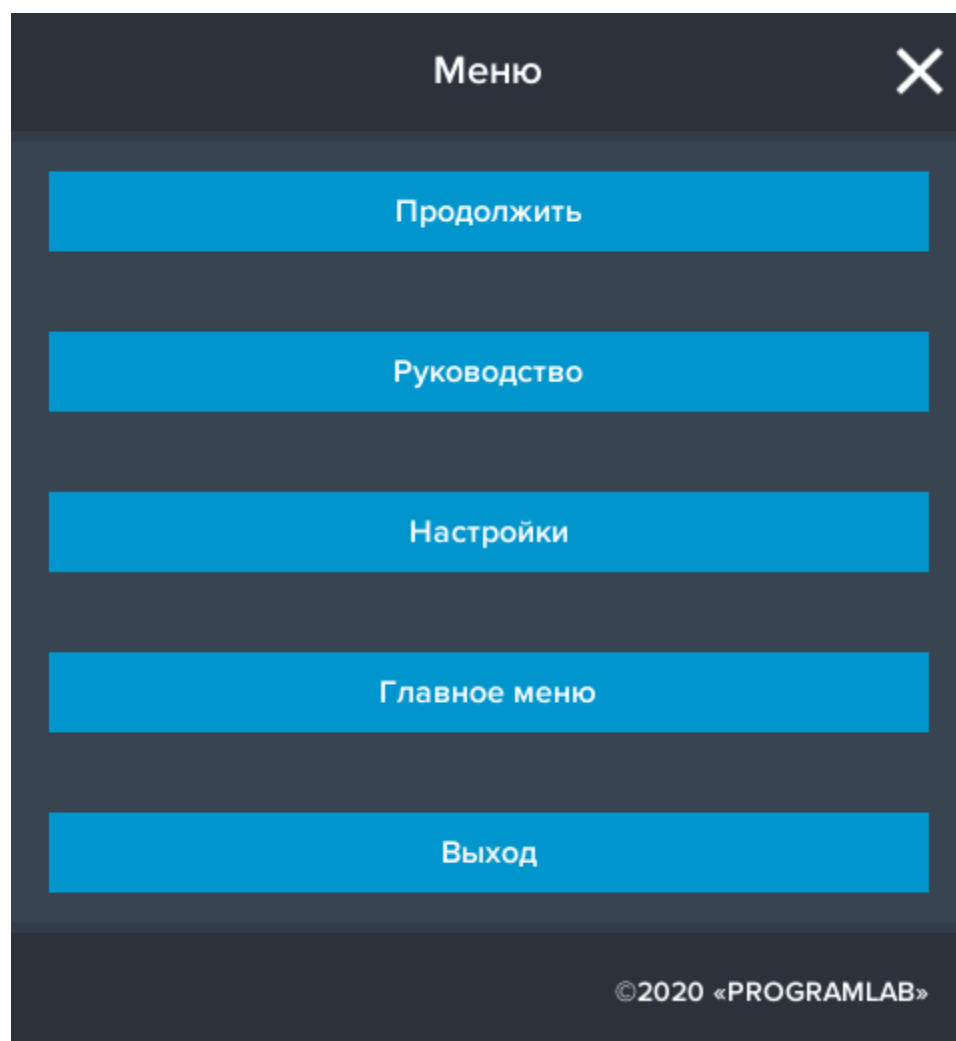
— Правая кнопка мыши – вращение камеры;



— Вращение колеса мыши – приближение\отдаление от экранной плоскости;



— Вызов меню программы.



Кнопка **«Продолжить»** – вернуться в программу;

Кнопка **«Руководство»** – вызвать руководство пользователя;

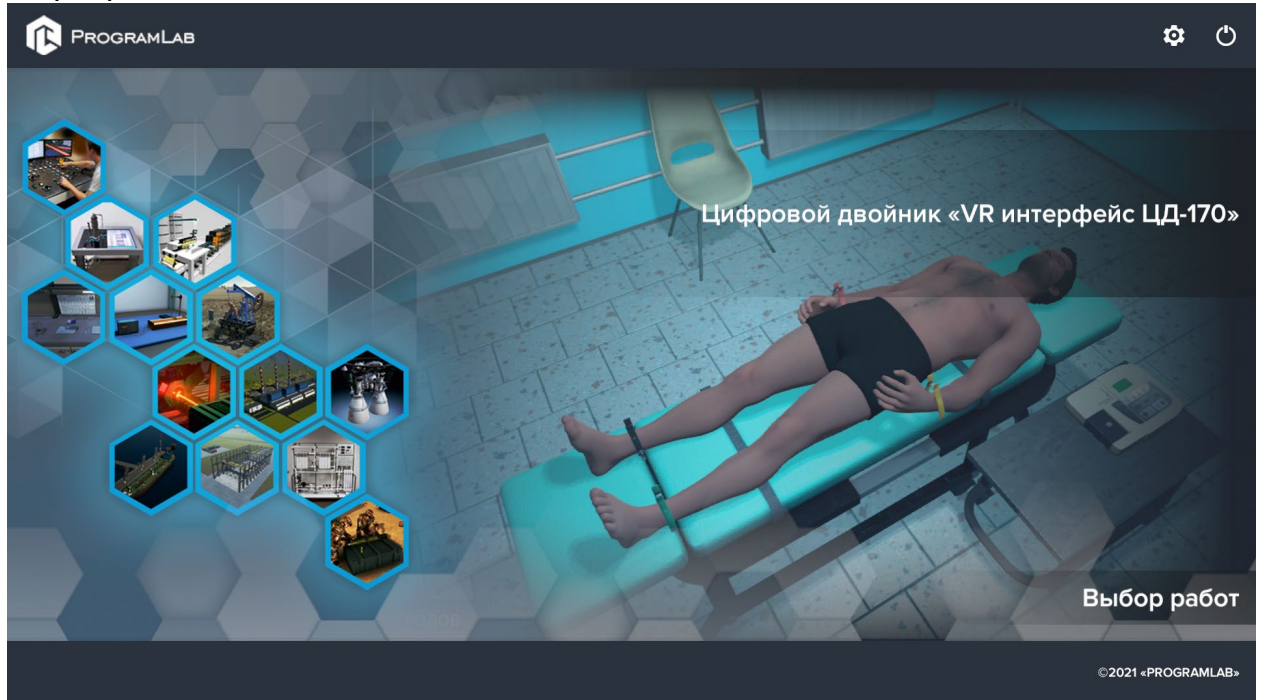
Кнопка **«Настройки»** – настройки параметров графики;

Кнопка **«Главное меню»** – выход в главное меню;

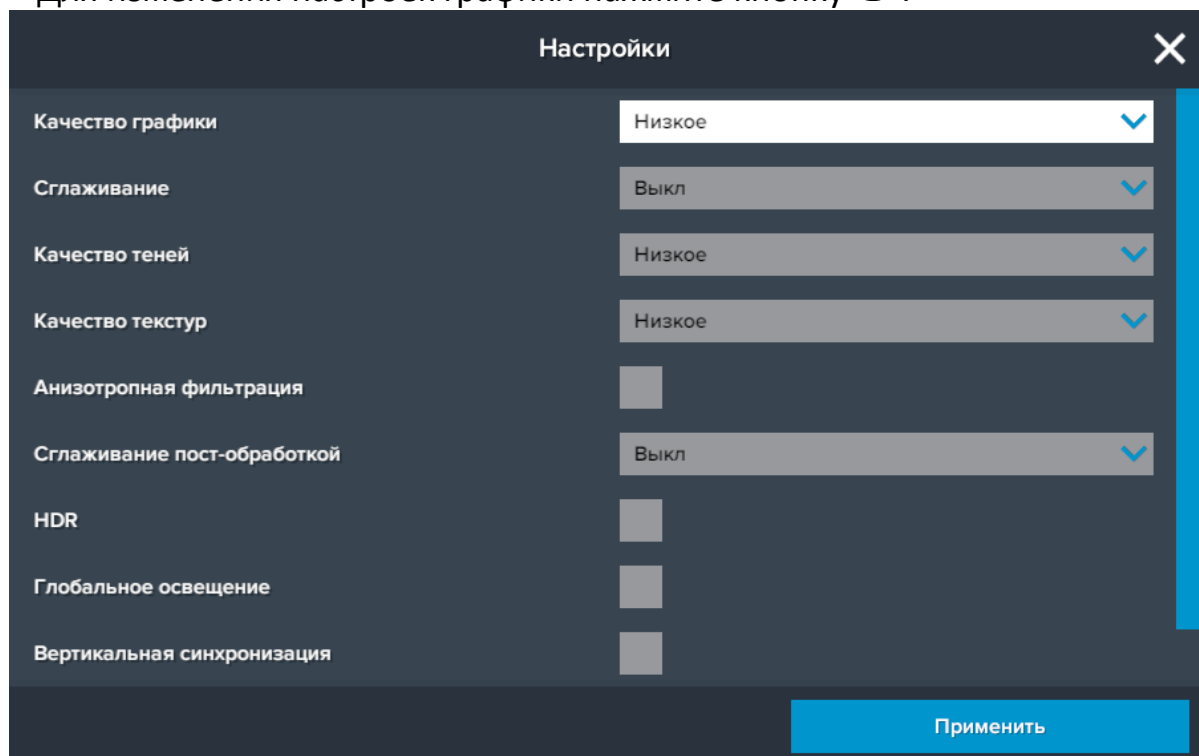
Кнопка **«Выход»** – выход из программы.

Для запуска программы нажмите **«Выбор работы»**. Откроется меню с выбором режимов работы, кликните дважды по одному из режимов чтобы перейти к нему.

В случае, если предусмотрена защита посредством USB-ключа, то перед запуском нажмите **«Запросить сессию по USB-ключу»** для активации доступа к программе.



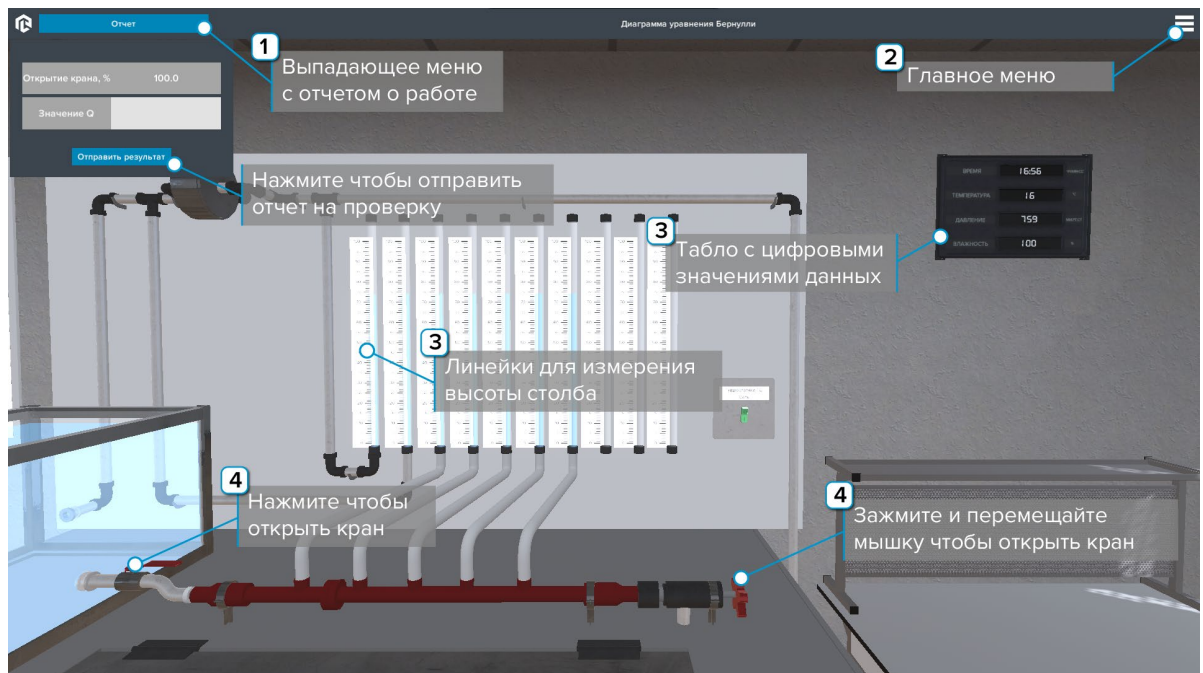
Для изменения настроек графики нажмите кнопку .



Нажмите **«Применить»** для закрытия окна.

Для выхода из программы нажмите .

Интерфейс



Интерфейс виртуальной лаборатории

- 1 - Меню с отчетом о работе можно скрыть или открыть снова, нажав на соответствующую кнопку. В ходе работы вам нужно будет рассчитать значения определенных величин и записать их в соответствующие поля отчета. После того как отчет будет заполнен нажмите на кнопку отправки, чтобы загрузить его на сервер.
- 2 - Нажмите чтобы открыть меню программы.
- 3 - В программе реализованы приборы с аналоговым и цифровым отображением данных. Например, в данной лабораторной работе высота водяных столбов измеряется прямо по градуировке на модели.
- 4 - Переключатели могут срабатывать как по одиночному нажатию мыши, так и по перемещению зажатой мыши, имитируя аналоговый принцип работы переключателя (например кручение крана)

Методические указания

Программный комплекс виртуальных лабораторий по гидравлике и гидродинамике включает следующие лаборатории:

- Методы измерения гидростатического давления
- Диаграмма уравнения Бернулли
- Определение силы давления на плоские стенки
- Истечение жидкостей
- Экспериментальное изучение прямого гидравлического удара в напорном трубопроводе
- Изучение конструкции центробежных насосов и схем соединения
- Потери напора при внезапном сужении трубы
- Потери напора при внезапном расширении трубы
- Потери напора по длине в круглой трубе

Далее приведена методика и порядок выполнения работ.

1. Изучение конструкции центробежных насосов и схем соединения

1. ВВЕДЕНИЕ

Цели работы:

1. Определение параметров рабочей точки системы «центробежный насос-трубопровод», регулирование системы с помощью дросселирования.
2. Определение параметров рабочей точки двух параллельно работающих насосов.
3. Определение параметров рабочей точки двух последовательно работающих насосов.

Задачи:

- Изучить гидродинамическую напорно-расходную характеристику систему «центробежный насос-трубопровод»;
- Изучить принципиальные схемы обвязки насосов;
- Изучить построение суммарной напорно-расходной характеристики насосов при последовательном и параллельном соединении.

2. ТЕОРИЯ

2.1. Основы теории гидромашин

Гидравлическими машинами называются устройства, в которых происходит преобразование энергии протекающей жидкости.

Гидромашина, предназначенная для преобразования механической энергии в энергию движущейся жидкости, называется насосом, и, наоборот, гидромашина для преобразования энергии движущейся жидкости в механическую энергию - называется гидротурбиной (гидродвигателем).

По принципу действия насосы подразделяются на две основные группы: динамические и объемные. К первой относятся насосные агрегаты, где жидкость под воздействием гидродинамических сил перемещается в камере, постоянно сообщаемой с входом и выходом насоса. В объемных – перемещение рабочей среды осуществляется под воздействием поверхностного давления при периодическом изменении объема насосной камеры, попеременно сообщаемой с входом и выходом насоса.

В группу динамических насосов относят: лопастные (центробежные и осевые насосы), насосы трения (вихревые, дисковые, червячные гидроструйные), инерционные (вибрационные); к объемным – насосы возвратно-поступательного действия (поршневые, плунжерные), а также роторные (шестеренчатые и винтовые). Гидравлическая передача, передающая механическую энергию с использованием гидромашин, называется гидродинамической.

Насосы, в которых механическая энергия преобразуется путем подведения к лопастному колесу, называются лопастными насосами. В общем случае лопастные насос и турбина являются обратимыми машинами и могут работать как в насосном, так и в турбинном режиме. В центробежном лопастном насосе жидкость под действием центробежных сил перемещается к периферии.

Для того чтобы определиться в выборе насосного агрегата в каждом конкретном случае, необходима следующая информация:

- Назначение насоса и его место в гидравлической системе;
- Объем транспортируемой жидкости и с каким давлением;
- Информация о рабочей (перекачиваемой) среде, а именно: вязкость, химическая активность, наличие твердых веществ и их величина, температурные показатели рабочей среды, ее взрывопожаробезопасность и токсичность;
- Условия эксплуатации.

Определяющими техническими параметрами насосов являются подача (расход) и напор (давление). Подача (Q , м³/ч) – это объем жидкости, подаваемой насосом в единицу времени. Напор (H , м) – это разность удельных энергий жидкости в сечениях после и до насоса.

Гидравлические машины широко применяются в нефтяной и газовой промышленности, металлургической отрасли, дорожной и строительной технике, лесозаготовительном комплексе и др.

Рабочим органом лопастной машины является вращающееся рабочее колесо, снабженное лопастями. Энергия от рабочего колеса жидкости (лопастный насос) или от жидкости рабочему колесу (лопастный двигатель) передается путем динамического взаимодействия лопастей колеса с обтекающей их жидкостью. К лопастным насосам относятся центробежные и осевые.

Простейшая схема центробежного насоса состоит из трех основных элементов - подвода, рабочего колеса и отвода. По подводу жидкость подается в рабочее колесо из подводящего трубопровода. Назначением рабочего колеса является передача жидкости энергии от двигателя. Рабочее колесо центробежного насоса состоит из ведущего и ведомого (обода) с диском, между которыми находятся лопатки, изогнутые, как правило, в сторону противоположную направлению вращения колеса. Ведущим диском рабочее колесо крепится на валу. Жидкость движется через колесо из центральной его части к периферии. По отводу жидкость отводится от рабочего колеса к напорному патрубку или, в многоступенчатых насосах, к следующему колесу.

К наиболее распространенным лопастным гидродвигателям относятся радиально-осевые и осевые гидротурбины. Радиально-осевая гидротурбина принципиально не отличается по конструкции от центробежного насоса.

Направление движения жидкости в ней и направление вращения колеса противоположны движению в центробежном насосе. Радиально-осевая турбина и центробежный насос являются обратимыми машинами и могут работать как в турбинном, так и в насосном режимах.

Механизм передачи энергии в лопастной гидромашине следующий. При обтекании потоком крылового профиля (крыльчатка) на его верхней и нижней поверхностях образуется перепад давления и, следовательно, возникает сила P , которая называется подъемной силой.

Аналогично возникает подъемная сила на лопатках рабочего колеса лопастной гидромашины при движении их в жидкости. У лопастного насоса направление момента подъемных сил противоположно направлению вращения рабочего колеса. Преодолевая этот момент при вращении, колесо совершает работу. Для этого к колесу от двигателя подводится энергия, которая, согласно закону сохранения энергии, передается жидкости и увеличивает ее удельную энергию.

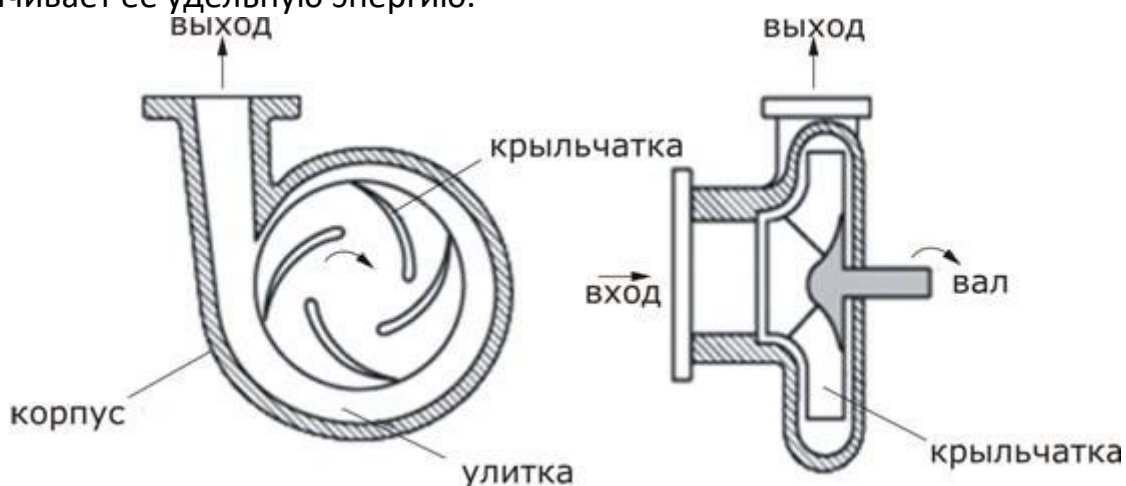


Рис. 2.1. Схема центробежного насоса

В дальнейшем удельная энергия жидкости частично превращается в тепло из-за трения между слоями жидкости в насосе и, следовательно, теряется, частично остается в форме механической удельной энергии, составляя полезный напор насоса. Насос конструируют так, чтобы потери энергии были как возможно малыми. У лопастного двигателя (гидротурбины) направление момента подъемных сил совпадает с направлением вращения колеса. Воздействуя на лопатки, жидкость вращает рабочее колесо, передавая ему энергию. Лопастные насосы бывают одноступенчатыми и многоступенчатыми. Одноступенчатые насосы имеют одно рабочее колесо, многоступенчатые насосы - несколько последовательно соединенных рабочих колес, закрепленных на одном валу. Насос двустороннего входа имеет раздваивающийся спиральный подвод. Жидкость входит в рабочее колесо с двух сторон двумя потоками. В рабочем колесе эти потоки соединяются и выходят в общий отвод. Одноступенчатые насосы сообщают жидкости ограниченный напор. Для повышения напора применяют многоступенчатые насосы, в которых жидкость проходит последовательно

через несколько рабочих колес, закрепленных на одном валу. При этом пропорционально числу колес увеличивается напор насоса.

Вопросы совершенствования конструкций, повышения КПД и надежности гидравлических машин являются актуальными и в настоящее время.

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Экспериментальная установка

Лабораторная установка (рис. 3.1) состоит из двух центробежных насосов Н1 и Н2 (подача 2,5 м³/час, напор - 10 м), обвязка которых позволяет как последовательное подключение, так и параллельное. Насосы перекачивают жидкость из питающего резервуара в напорный резервуар. На всасывающем трубопроводе установлен манометр МН1. На нагнетательном трубопроводе установлен манометр МН2, расходомерная диафрагма Д1 с дифференциальным манометром ДМ. Расход жидкости в системе регулируется с помощью вентиля В1. Обратный клапан ОК служит для предотвращения обратного перетока жидкости из напорного бака при выключенных насосах.

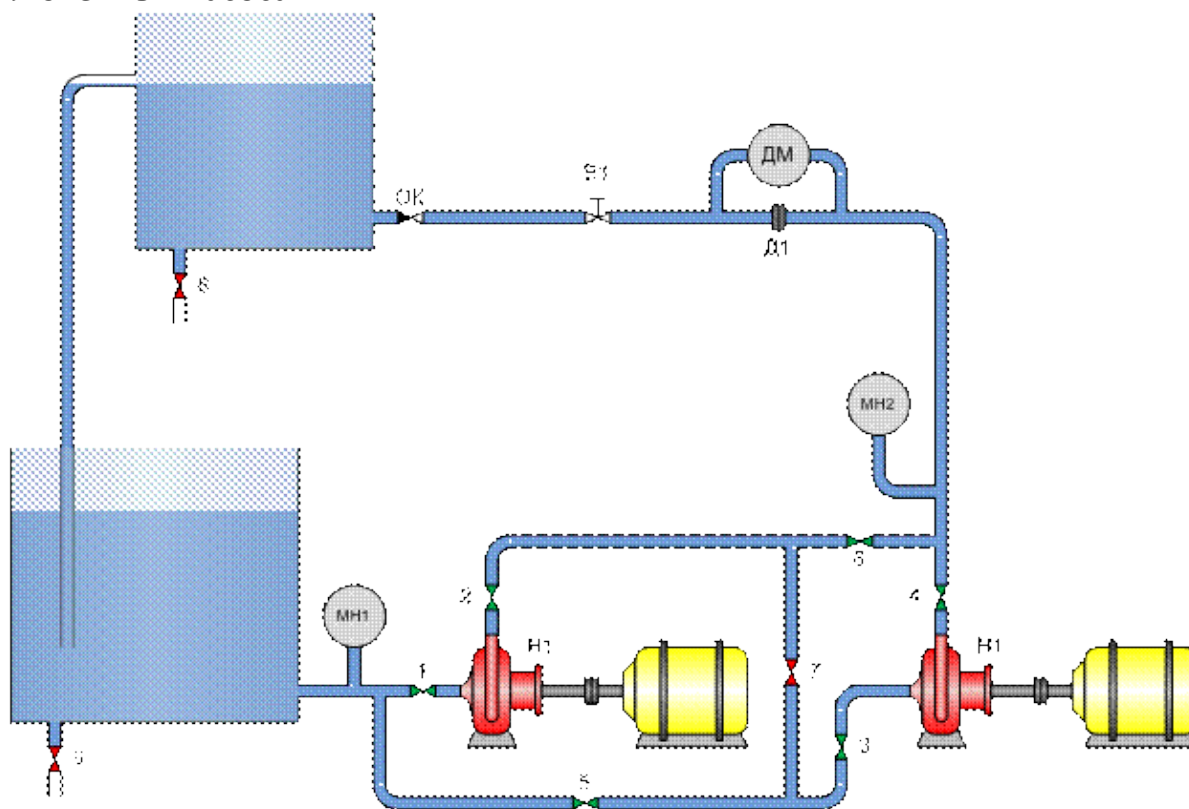


Рис. 3.1. Схема лабораторного стенда

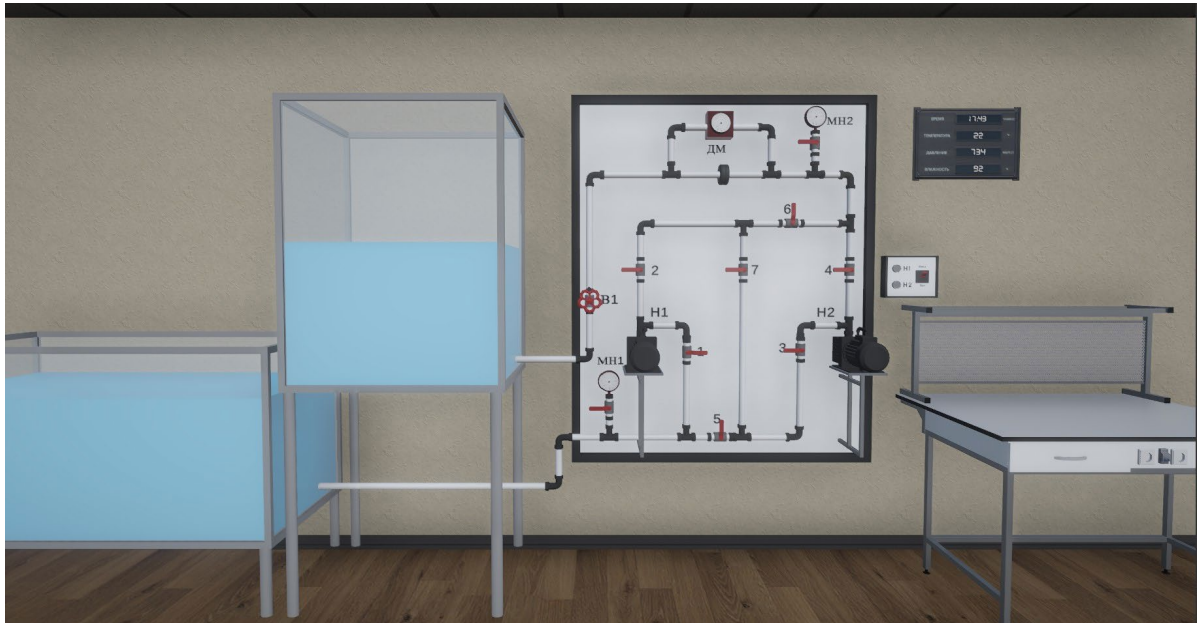


Рис. 3.2. Стенд в виртуальной работе

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Определение рабочей точки системы «центробежный насос – трубопровод»

4.1.1. Общие положения

Для определения рабочей точки системы «насос – трубопровод» следует на одном и том же графике в одинаковых масштабах изобразить характеристики насоса и насосной установки.

Характеристикой трубопровода называется зависимость требуемого напора $H_{\text{потр}}$ от расхода жидкости:

$$H_{\text{потр}} = H_{\text{ст}} + h_w = H_r + \frac{P_2 + P_1}{\rho g} + h_w, \text{ м} \quad (4.1)$$

где $H_{\text{ст}} = H_r + \frac{P_2 + P_1}{\rho g}$ - статический напор установки:

H_r - геометрический напор, определяемый расстоянием по вертикали между уровнями жидкости в питающем и приемном резервуарах, м;

P_1 , P_2 - избыточные давления на свободных поверхностях в питающем и приемном резервуарах соответственно, Па;

h_w - суммарные потери напора во всасывающем и напорном трубопроводах, м.

Насос, перекачивающий жидкость, работает в режиме, при котором требуемый напор равен напору, развиваемому насосом. Равенство напора, развиваемого насосом, и потребного напора насосной установки характеризует режим работы, определяемый рабочей точкой (рис. 4.1), параметры которой Q_A и H_A . Это означает, что насос, работая на данный трубопровод, создает напор H_A , обеспечивая подачу в трубопровод Q_A .

Для обеспечения нормальной экономичной работы насоса рабочая точка должна находиться в рабочей зоне насоса.

Чтобы изменить режим работы насоса, необходимо изменить либо характеристику насоса, либо характеристику трубопровода. Характеристику трубопровода можно изменить при помощи регулирующей задвижки (дросселирование). Если прикрыть задвижку, то гидравлические сопротивления трубопровода увеличатся, характеристика пойдет круче и точка пересечения характеристик насоса и трубопровода переместится влево (из - т. А в т. В) Подача насоса при этом уменьшается с Q_A до Q_B .

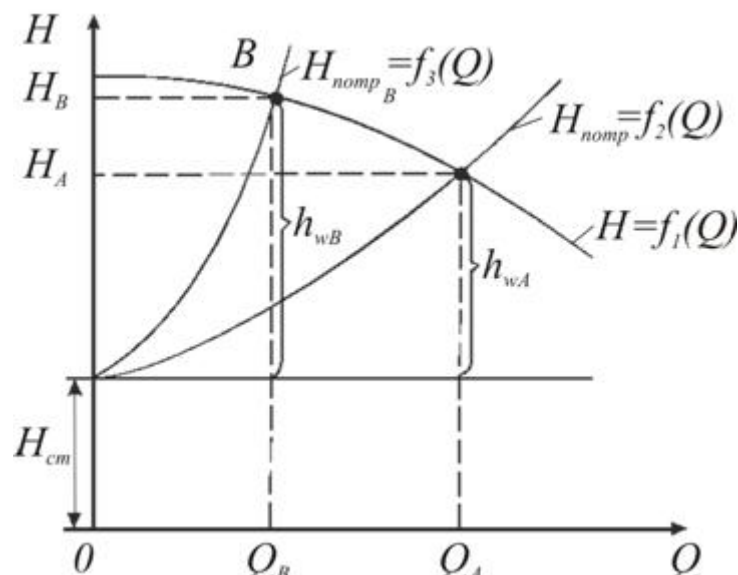


Рис. 4.1. Совмещенная Q - H характеристика системы «насос-трубопровод»

4.1.2. Порядок выполнения

1. На щитке электрописания переведите тумблер в положение «вкл».
2. Откройте краны 1, 2, 6; закройте краны 3, 4, 5, 7 (или откройте краны 3, 4, 5; закройте краны 1, 2, 6, 7).
3. Нажмите на кнопку первого (второго) насоса.
4. При полностью открытом вентиле В1 на напорном трубопроводе снимите показания приборов.
5. Прикройте вентиль и снова снимите показания всех приборов.
6. Все данные сведите в таблицу 5.1.

4.1.3. Порядок обработки результатов измерений

1. По тарировочной кривой $h_n = f(Q)$ (рис. 4.2), используя показания дифференциального манометра, определите производительность насоса при полностью открытой задвижке (режим А) и при частично закрытой задвижке (режим В).

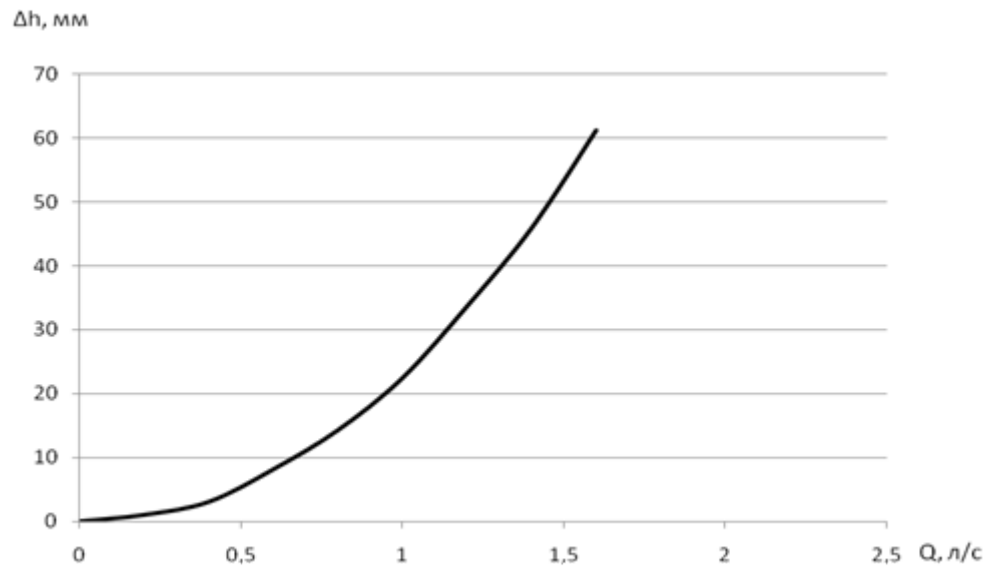


Рис. 4.2. Тарировочная кривая расходомерной диафрагмы

2. Напор, развиваемый насосом для двух режимов работы, определите по уравнению:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \Delta h_2 \quad (4.2)$$

3. Рассчитайте суммарные потери напора:

$$h_w = h_{wbc} + h_{wh}, \quad (4.3)$$

где h_{wbc} , h_{wh} – суммарные потери напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах соответственно.

$$\begin{aligned} h_{wbc} &= \left(\lambda_{bc} \frac{l_{bc}}{d_{bc}} + \sum \xi_{bc} \right) \frac{v_{bc}^2}{2g}, \\ h_{wh} &= \left(\lambda_h \frac{l_h}{d_h} + \sum \xi_h \right) \frac{v_h^2}{2g}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

т.к. $d_{bc} = d_{wh} = 0,02$ м, следовательно, суммарные потери напора будут:

$$h_w = \frac{v^2}{2g} \left(\lambda \frac{l_{bc}}{d} + \lambda \frac{l_h}{d} + \sum \xi_{bc} + \sum \xi_h \right) = \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g} \left(\lambda \frac{(l_{bc} + l_h)}{d} + \sum \xi_{bc} + \sum \xi_h \right), \quad (4.5)$$

где l_{bc} , l_h – длина всасывающего и напорного трубопроводов соответственно равные;

$\Sigma \xi_{вс}$, $\Sigma \xi_{нап}$ - суммарные коэффициенты местных сопротивлений на всасывающем и напорном трубопроводах соответственно равные;

4. Постройте характеристику насоса, характеристику трубопровода $H_{потр} = f(Q)$ по уравнению (4.1), причем $H_{ст} = H_r$, т.к. $P_1 = P_2 = P_{ат}$.

5. Определите параметры рабочей точки при полностью открытой задвижке (режим А);

6. Определите параметры рабочей точки при дросселировании (режим В).

4.2. Параллельное соединение насосов

4.2.1. Общие положения

Работа нескольких насосов на трубопровод оценивается рабочей точкой системы. Рабочая точка при этом определяется графоаналитически, как точка пересечения характеристики трубопроводной системы $H_{потр} = f_1(Q)$ с суммарной характеристикой работающих насосов $H_{нап} = f_2(Q)$ изображенных в одном масштабе.

При параллельной работе насосов на один трубопровод, расход жидкости равен сумме подач всех параллельно работающих насосов, а напоры, развиваемые насосами, практически одинаковы.

Следовательно, для получения суммарной характеристики параллельно работающих насосов необходимо сложить подачи этих насосов при соответствующих одинаковых развиваемых напорах. Пример построения такой характеристики представлен на рис. 4.3.

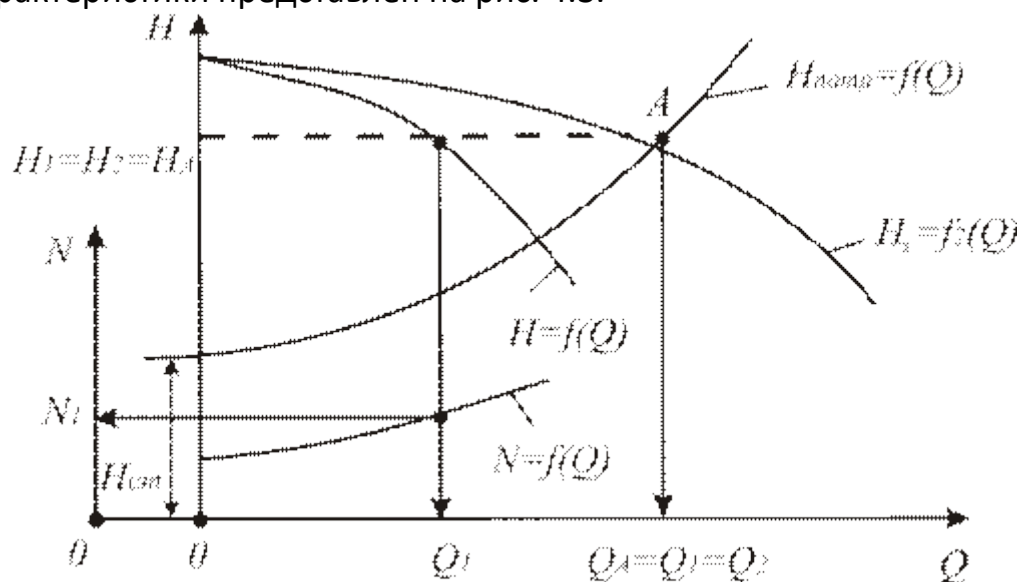


Рис. 4.3. Построение суммарной характеристики двух параллельно работающих насосов

Пересечение характеристики трубопроводной системы $H_{потр} = f_1(Q)$ с суммарной характеристикой насосов $H_{нап} = f_2(Q)$ определяет рабочую точку А, параметры которой H_A и Q_A .

Параллельное соединение насосов применяется для увеличения пропускной способности системы.

4.2.2. Порядок проведения работы

1. На щитке электрописания переведите тумблер в положение «вкл».
2. Откройте краны 1, 2, 3, 4, 5 и 6, закройте кран 7.
3. Нажмите на кнопки включения первого и второго насосов. Насосы запустятся одновременно.

4. Снимите показания приборов: манометров P_1 и P_2 , дифференциального манометра ΔP .

5. Результаты занесите в таблицу 5.2.

4.2.3. Порядок обработки результатов измерений

1. По тарировочной кривой $h_A = f(Q)$ (рис. 4.2), используя показания дифференциального манометра, определите расход жидкости.

2. Постройте суммарную характеристику двух параллельно работающих насосов и характеристику трубопроводной системы $H_{\text{нотр}} = f(Q)$.

3. Определите параметры рабочей точки Q_A и H_A графическим способом.

4. Опытным путем определите параметры рабочей точки, используя показания приборов:

$$H_A = H_1 = H_2 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \Delta h_2$$

$$Q_A = Q_1 + Q_2 \quad (4.6)$$

4.3. Последовательное соединение насосов

4.3.1. Общие положения

Последовательное соединение насосов используется для увеличения напора в тех случаях, когда один насос не может создать требуемого напора. В этом случае подача насосов одинакова, а общий напор равен сумме напоров обоих насосов при постоянной подаче.

Следовательно, для получения суммарной характеристики последовательно работающих насосов необходимо суммировать развиваемые напоры при постоянной подаче. Пример построения такой характеристики представлен на рис. 4.4.

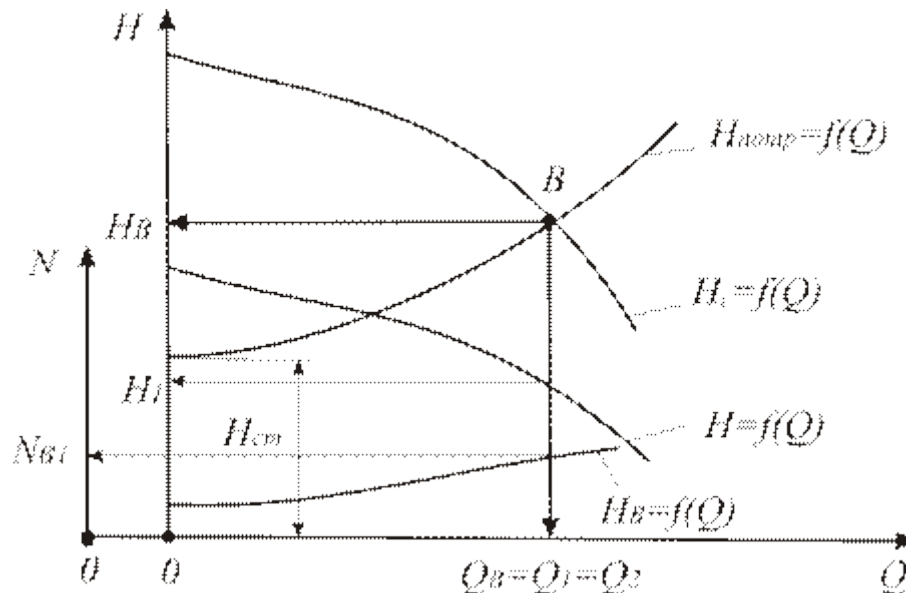


Рис. 4.4. Построение суммарной характеристики двух последовательно работающих насосов

Пересечение суммарной характеристики насосов $H_{\Sigma} = f(Q)$ с характеристикой трубопроводной системы $H_{\text{отр}} = f(Q)$ дает рабочую точку системы (т. В), параметры которой - напор H_B и подача Q_B .

4.3.2. Порядок проведения работы

1. На щитке электрописания переведите тумблер в положение «вкл».
2. Откройте краны 1, 2, 3, 4 и 7, закройте краны 5 и 6.
3. Нажмите на кнопки включения первого и второго насосов. Насосы запустятся одновременно.

4. Снимите показания приборов: манометров P_1 и P_2 , дифференциального манометра ΔP .

5. Результаты показаний занесите в таблицу 5.2.

4.3.3. Порядок обработки результатов измерений

1. По тарировочной кривой $h_A = f(Q)$ (рис. 4.2.), используя показания дифференциального манометра, определите расход жидкости.

2. Постройте суммарную характеристику двух последовательно работающих насосов и характеристику трубопроводной системы $H_{\text{отр}} = f(Q)$.

3. Определите параметры рабочей точки Q_A и H_A графическим способом.

4. Опытным путем определите параметры рабочей точки, используя показания приборов:

$$H_A = H_1 + H_2 = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \Delta h_2$$

$$Q_A = Q_1 + Q_2 \quad (4.7)$$

5. ОТЧЕТ

1. Студент: ФИО, группа.

ОТЧЕТ

по лабораторной работе

«Изучение конструкции центробежных насосов и схем соединения»

Цель:

Задачи:

2. Схема лабораторной установки.
3. Ход работы.
4. Результаты экспериментальных исследований (таблицы 5.1 и 5.2).
5. Расчеты.
6. Основные выводы.
7. Результаты экспериментальных исследований.

Таблица 5.1

№ п/п	Измеренные параметры			Рассчитанные параметры		
	P_1	P_2	ΔP	h_m	Q	H
1						
2						

Таблица 5.2

Опыт	Измеренные параметры			Рассчитанные параметры	
	P_1	P_2	ΔP	Q_A	H_A
параллельное соединение					
последовательное соединение					

2. Диаграмма уравнения Бернулли

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы: наблюдение перехода удельной энергии в потоке из потенциальной в кинетическую энергию и обратно в соответствии с уравнением Д. Бернулли на напорном трубопроводе переменного сечения по пьезометрам.

Задача - по опытным данным построить пьезометрическую и напорную линии для целого потока.

2. ТЕОРИЯ

Уравнение Бернулли для установившегося плавно изменяющегося потока вязкой жидкости имеет вид

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w \quad (2.1)$$

Все члены уравнения имеют линейную размерность:

Z - высота центра тяжести сечения над плоскостью сравнения, геометрический напор;

P/(ρg) - пьезометрическая высота (напор);

αV²/2g - скоростной напор, где **α** - коэффициент Кориолиса, характеризующий неравномерность местных скоростей по живому сечению потока;

h_w - величина суммарных потерь напора между сечениями 1 и 2.

Уравнение Бернулли является аналитическим выражением закона сохранения энергии в потоке жидкости.

Если на участке потока уменьшается скорость (кинетическая энергия), то, согласно уравнению Бернулли, на этом участке должно соответственно возрасти давление (потенциальная энергия).

Наглядно уравнение Бернулли интерпретируется в опытах на установке, представляющей собой участок напорного трубопровода переменного сечения, к которому в характерных точках присоединены пьезометры. Каждый пьезометр показывает давление или гидростатический напор

$$Z + \frac{P}{\rho g} \quad (\text{плоскость сравнения О-О параллельна оси трубопровода и } Z_1 = Z_2 = Z_3 = \dots = Z_n = 0).$$

Полный напор или полная удельная энергия

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} = e$$

непрерывно уменьшается по течению, т.к. часть его затрачивается на преодоление сопротивлений. Разность полных напоров в

начале и в конце трубопровода дает величину потерь на рассматриваемом участке:

$$h_w = e_1 - e_9$$

2.1. Описание лабораторного стенда

Стенд состоит из двух секций. В нижней секции закреплен исследуемый участок напорного трубопровода (далее по тексту - модуль*). Внутри стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

Для поставленной задачи исследования уже определен необходимый модуль, и его замена в рамках одного эксперимента исключается.

В состав верхней секции входят:

- Панель с вертикальными пьезометрами П1 для измерения давления в поперечных сечениях изучаемых модулей;
- Расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;
- Вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.

2.2. Порядок выполнения работы в действительности

На кронштейнах закреплен исследуемый модуль. Кран К1 закрыт, насос выключен, регулирующий вентиль на минимальной мощности.

1. Включить насос, открыть кран К1.
2. Дождаться стабилизации показаний пьезометров. Изменить положение регулирующего вентиля В1.
3. Показания пьезометров и расход занести в таблицу 2.1.

2.2.1. Обработка результатов измерений

По показаниям пьезометров 1-9 определяется гидростатический напор (потенциальная удельная энергия $Z+P/(pg)$). По полученным значениям $Z+P/(pg)$ строится пьезометрическая линия.

Для построения напорной линии необходимо рассчитать значение удельной кинетической энергии (скоростного напора) в рассматриваемых сечениях потока. Скоростной напор $V^2/(2g)$ вычисляется по средней скорости:

$$V = Q/\omega,$$

где ω - площадь рассматриваемого сечения с учетом $\alpha=1$.

Расход Q определяется с помощью расходомерной диафрагмы по графику (рис. 2.2). Откладывая значения скоростного напора от гидростатического напора вверх, получим линию полной удельной энергии потока (напорную линию).

Полученный график (рис. 2.3) называется диаграммой уравнения Бернулли, которая показывает характер изменения потенциальной и полной удельной энергий потока при переходе от одного сечения к другому.

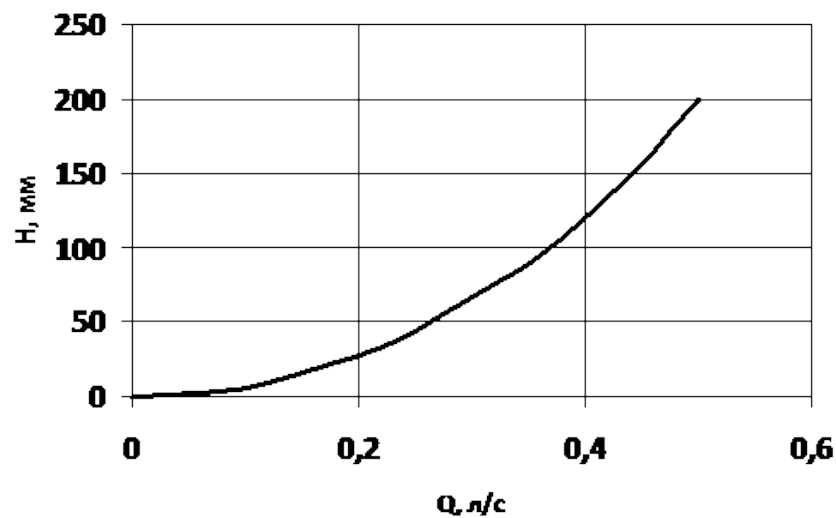


Рис. 2.2. Зависимость от перепада давления на расходомерной диафрагме



Рис. 2.3. Диаграмма уравнения Бернулли

Таблица 2.1

№ сечения	Диаметр	Площадь	Гидростатический напор	Скорость	Скоростной напор	Полная удельная энергия
	d	ω	Z+P/(ρg)	V	V²/(2g)	e
	м	м ²	м	м/с	м	м
1						
2						
3						
4						
5						
Q = м ³ /с						

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Оборудование в лабораторной работе

Стенд состоит из двух секций.

В нижней секции закреплен исследуемый участок напорного трубопровода(модуль). Внутри стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

В состав верхней секции входят:

Панель с вертикальными пьезометрами П1 для измерения давления в поперечных сечениях изучаемых модулей, шкалы пьезометров - от 0 до 1,0 м;

- Расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;
- Вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.
- Кран К1 (шаровой) имеет 2 положения: открыто и закрыто.

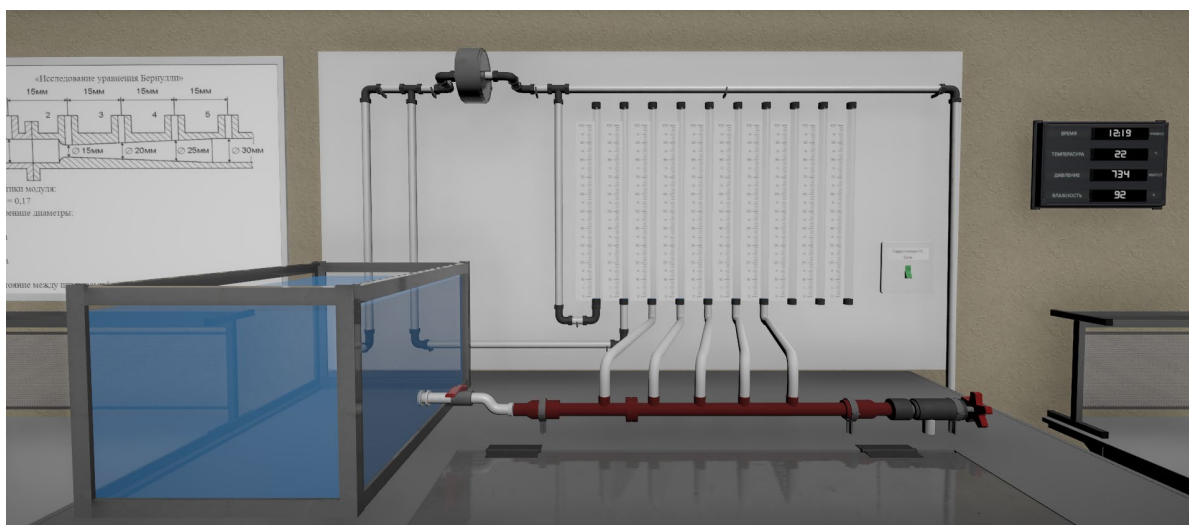


Рис. 3.1. Испытательный стенд

В стартовом положении насос выключен, кран К1 закрыт, регулирующий вентиль В1 полностью закрыт, все пьезометры показывают 0.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Порядок действий (рекомендованный)

Произведите необходимые действия и вычисления согласно подразделу 2.2.

5. ОТЧЕТ

5.1. Форма отчета

1. ФИО студента, группа.
2. Расчетные и экспериментальные данные по ходу эксперимента.
3. Выводы по степени совпадения расчетных и экспериментальных данных

Работу сдал « ____ » _____ 201_ г.

Работу принял « ____ » _____ 201_ г.

3. Истечение жидкостей

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель – определение коэффициентов расхода для различных насадков при истечении жидкости.

Задачи:

- изучить коэффициенты расхода насадков и отверстий при постоянном и переменном напорах;
- изучить процессы истечения.

2. ТЕОРИЯ

На практике часто приходится встречаться с истечением жидкости через различные отверстия и насадки. При этом характер истечения существенно зависит от условий истечения.

Задача об истечении сводится к определению скорости истечения и расхода вытекающей жидкости. Наиболее просто и точно эта задача решается в случае, когда напор одинаков по всему поперечному сечению отверстия. Это условие выполняется при истечении жидкости из малых отверстий.

«Малым отверстием» называется такое отверстие, линейный размер которого не превышает $0,1 H$, где H – напор жидкости над центром тяжести отверстия.

Если линейный размер d отверстия значительно больше толщины стенки δ , в которой оно сделано ($d > 3\delta$), то такое отверстие называется отверстием в тонкой стенке. При этом считается, что края отверстия имеют острую кромку, и при прохождении жидкости через такие отверстия практически отсутствуют потери напора на трение.

При образовании струи, вытекающей из отверстия, имеет место ее сжатие на расстоянии $(0,5 \div 1,0)d$ от дна стенки или сосуда.

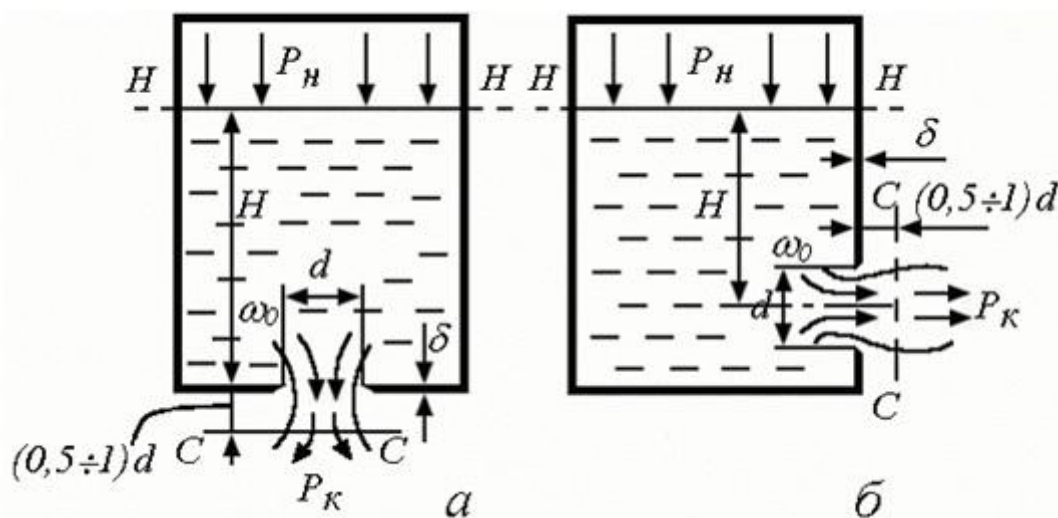


Рис. 2.1. Истечение жидкости из отверстий

Отношение площади сжатого сечения струи ω_c к площади отверстия ω_0 называется коэффициентом сжатия струи ϵ .

$$\epsilon = \omega_c / \omega_0 \quad (2.1)$$

Применив уравнение Бернулли к двум сечениям Н-Н (свободная поверхность жидкости в сосуде) и С-С (сжатое сечение), получим формулу для определения скорости движения жидкости при **H=const**

$$V_c = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (2.2)$$

где **H** - напор жидкости над отверстием;

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}} \quad \text{— коэффициент скорости для отверстия;}$$

ζ — коэффициент сопротивления отверстия, учитывающий потери напора от сечения Н-Н до сечения С-С.

Расход жидкости, вытекающей из отверстия, определяется по формуле

$$Q = \omega_c - V_c \quad (2.3)$$

Подставляя в (2.3) значения ω_c и V_c , определенный из (2.1) и (2.2), получим:

$$Q = \epsilon - \varphi - \omega_0 \sqrt{2gH} = \mu - \omega_0 \sqrt{2gH}, \quad (2.4)$$

где $\mu = \epsilon \varphi$, μ - коэффициент расхода.

Величины коэффициентов ϵ , φ , ζ , μ зависят от формы отверстия и режима движения жидкости, определяемого числом Re.

Рассмотрим процесс истечения жидкости через насадок.

Насадком называется короткий патрубок, присоединенный к отверстию, длина которого составляет **$l = (8 \div 4)d$** , где **d** — диаметр выходного отверстия в стенке.

Цилиндрические, конические сходящиеся и цилиндрические со скругленным входом насадки способствуют увеличению расхода вытекающей жидкости, по сравнению с истечением из отверстия. Это объясняется тем, что при входе в насадок происходит сжатие струи, а затем постепенное ее расширение с заполнением всего сечения насадка. Вследствие сжатия струи в насадке образуется вакуум, при этом возрастает действующий напор, т.к. истечение происходит не в атмосферу, а в область вакуума (рис. 2.2).

Скорость вытекающей из насадка жидкости определяется по формуле

$$V = \varphi_H \sqrt{2gH_\varphi} \quad (2.5)$$

где $\varphi_H = \sqrt{\frac{1}{1 + \zeta_H}}$ - коэффициент скорости для насадка;
 ζ_H - коэффициент сопротивления насадка.

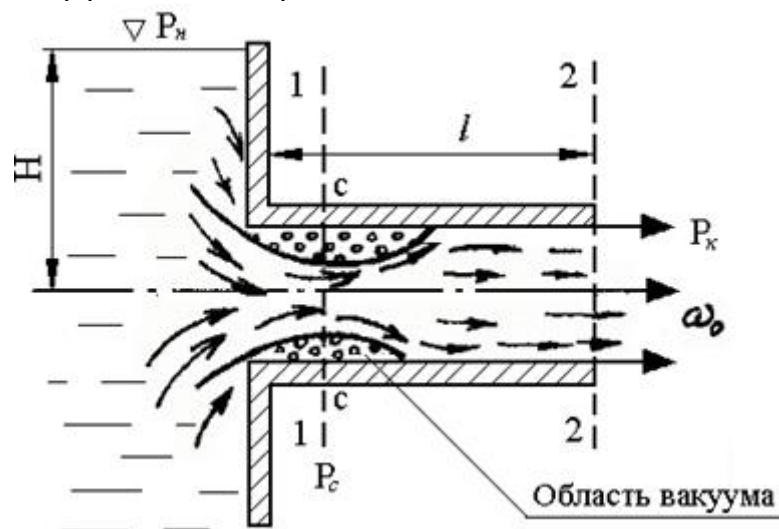


Рис. 2.2. Истечение жидкости через насадок

Формула для определения расхода Q при истечении жидкости из насадка имеет вид

$$Q = \mu - \omega_0 \sqrt{2gH_\varphi} \quad (2.6)$$

где ω_0 - площадь сечения выходного отверстия насадка;

μ - коэффициент расхода, величина которого зависит от вида насадка или его конфигурации;

$$H_\varphi = H + \frac{P_H - P_K}{\rho g} \quad \text{— приведенный напор.}$$

Коэффициенты ϵ , φ , ζ , μ определяются опытным путем, их средние значения приведены в справочной литературе по гидравлике.

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Оборудование в лабораторной работе

Лабораторная установка (рис. 3.3) состоит из напорного бака, в дне которого выполнено отверстие диаметром 25 мм и смонтированы 3 насадка: внешний цилиндрический, конический сходящийся и цилиндрический со скругленным входом. Нижняя часть установки представляет собой мерный бак. Для открытия и закрытия насадков и отверстия работают металлические стержни, верхний конец которых изогнут в виде кольца, а на нижнем закреплена резиновая пробка. Подача воды в напорный бак осуществляется

из водопровода через кран 1. Слив жидкости из мерного бака по окончании опытов проводится через кран 2. Для поддержания постоянного уровня в напорном баке установка оборудована обводной трубой.

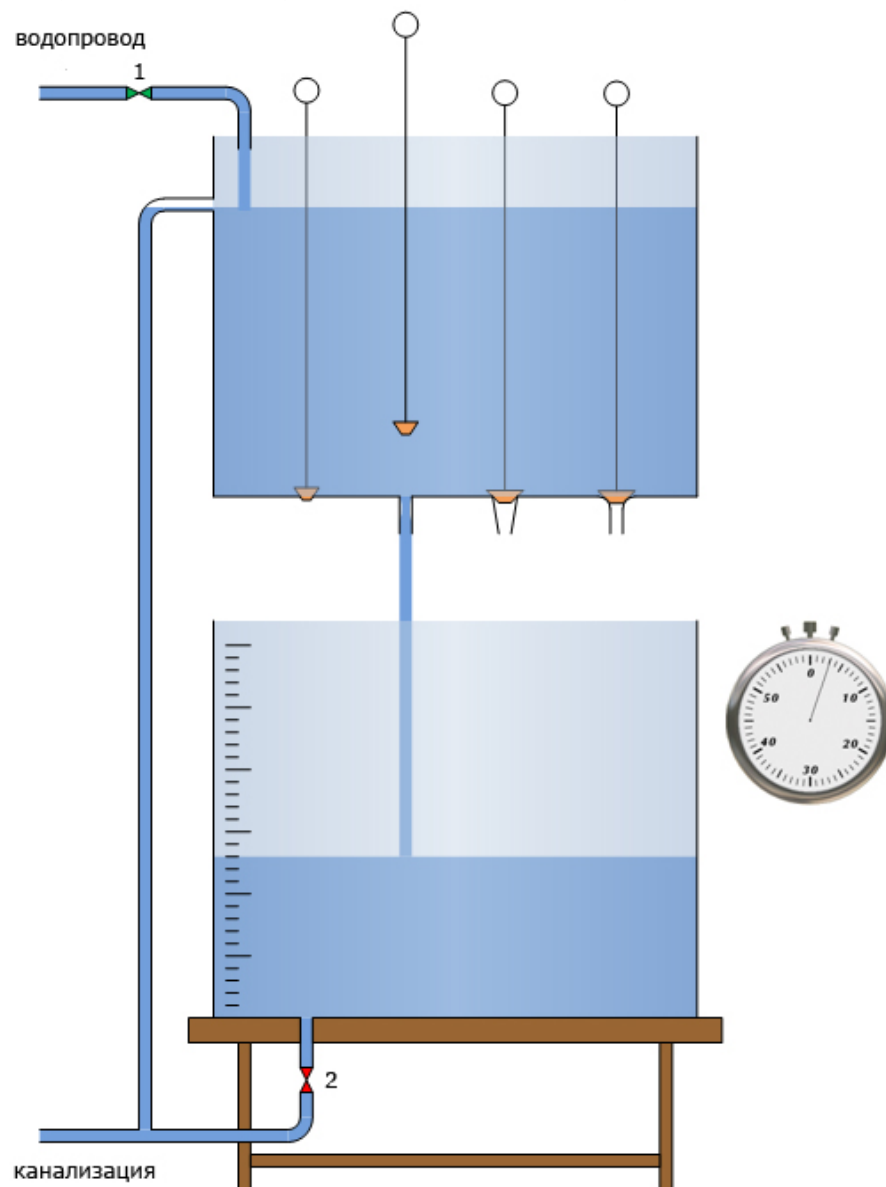


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки

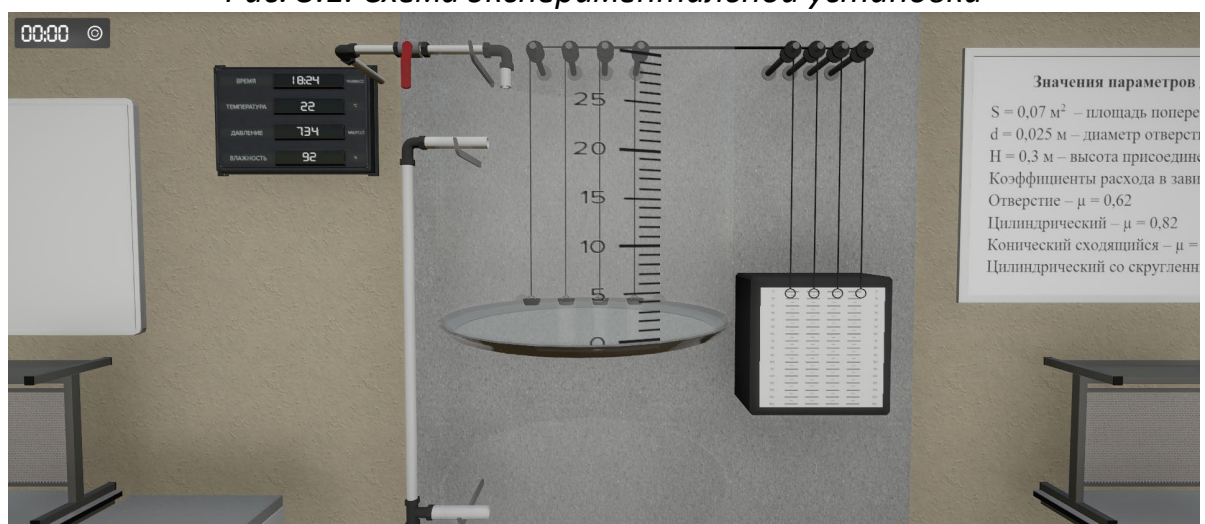


Рис. 3.2. Установка в лабораторной работе

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Порядок действий (рекомендованный)

4.1. Опыт №1

1. Откройте кран трубопровода 1 (рис. 3.3) и заполните напорный бак водой, пока уровень жидкости не достигнет точки присоединения обводной трубы, через которую будут сливаться излишки жидкости, а уровень воды в баке будет поддерживаться постоянным.

2. Закройте кран 2.

3. Откройте отверстие (насадок), приподнимая соответствующий стержень на высоту 120-150 мм и удерживая его в таком положении, произведите замер расхода жидкости при истечении из отверстия (насадка) объемным способом (с помощью секундомера, располагающегося в верхнем правом меню экрана, и мерного бака).

4. Закройте отверстие (насадок) пробкой.

5. Повторите пп 3-4 для остальных насадков.

6. После окончания опытов закройте кран трубопровода 1 и откройте кран 2 для слива воды из мерного бака.

6. Результаты измерений занесите в таблицу 5.1.

4.1.2. Обработка экспериментальных данных

1. Вычислите действительный расход жидкости при истечении из насадка (отверстия):

$$Q_{\pi} = W/t,$$

где **W** - объем мерного бака, заполнившийся за время замера **t**.

2. Вычислите теоретический расход жидкости в баке:

$$Q_T = \omega_0 \sqrt{2gH} = \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gH},$$

где **d₀** - диаметр отверстия или выходного сечения насадка.

3. Вычислите коэффициент расхода **μ = Q_π/Q_T**.

4. Приняв степень сжатия **ε = 0,64** для отверстия, **ε = 0,98** для конического сходящегося насадка, **ε = 1,0** для остальных, определите коэффициент скорости **φ = ε/μ**.

5. Определите коэффициент сопротивления отверстия или насадка:

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1$$

4.2. Опыт №2. Истечение жидкости при переменном напоре

1. Откройте кран трубопровода 1 и заполните напорный бак водой. Закройте кран 2.

2. Закройте кран трубопровода 1.

3. Откройте отверстие (насадок), приподнимая соответствующий стержень на высоту 120-150 мм и удерживая его в таком положении до полного опорожнения напорного бака.

4. Произведите замер количества жидкости объемным способом (с помощью мерного бака и секундомера, располагающегося в верхнем правом меню экрана) и времени истечения.

5. Откройте кран 2 для слива воды из мерного бака.

6. Повторите пп 1–5 для остальных насадков.

7. Результаты измерений занесите в таблицу 5.2.

4.2.1. Обработка экспериментальных данных

1. Вычислите теоретическое время опорожнения бака:

$$t_T = \frac{2W}{Q_{0T}}$$

$$Q_{0T} = \omega_0 \sqrt{2gH} = \frac{\pi d_0^2}{4} \sqrt{2gH}$$

где **W** - объем воды в баке;

Q_{0T} – теоретический расход в начале истечения;

d₀ - диаметр отверстия или выходного сечения насадка.

2. Вычислите коэффициент расхода $\mu = t_{\pi}/t_T$.

3. Приняв степень сжатия $\epsilon = 0,64$ для отверстия, $\epsilon = 0,98$ для конического сходящегося насадка, $\epsilon = 1,0$ для остальных, определите коэффициент скорости $\varphi = \epsilon/\mu$.

4. Определите коэффициент сопротивления отверстия или насадка:

$$\zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1$$

5. ОТЧЕТ

5.1. Форма отчета

Студент: ФИО, группа.

ОТЧЕТ

по лабораторной работе
«Истечение жидкостей»

Цель:

Задачи:

2. Ход работы.

3. Результаты экспериментальных исследований (таблицы 5.1 и 5.2).

4. Расчеты.

5. Основные выводы.

Результаты экспериментальных исследований.

Таблица 5.1

Насадок	W	t	$Q_{\text{л}}$	$Q_{\text{т}}$	μ	ε	ω	ζ
Отверстие						0,64		
Цилиндрический						1,0		
Конический сходящийся						0,98		
Цилиндрический со скругленным входом						1,0		

Таблица 5.2

Насадок	W	$t_{\text{л}}$	$Q_{\text{от}}$	$t_{\text{т}}$	μ	ε	ω	ζ
Отверстие						0,64		
Цилиндрический						1,0		
Конический сходящийся						0,98		
Цилиндрический со скругленным входом						1,0		

4. Методы измерения гидростатического давления

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы - изучение конструкций приборов и способов измерения гидростатического давления.

Задачи:

- ознакомиться с конструкцией и принципом действия приборов;
- изучить принцип действия вакуум-насоса и трехходового крана;
- произвести измерения гидростатического давления при помощи различных приборов;
- приобрести навыки измерения гидростатического давления в различных системах измерения физических величин;
- провести расчеты и проанализировать результаты.

2. ТЕОРИЯ

2.1. Основные положения и общие зависимости

Приборы для измерения давления по характеру измеряемой величины подразделяются на:

- барометры, измеряющие атмосферное давление;
- манометры, измеряющие разность абсолютного и атмосферного давлений, т.е. избыточного (манометрического) давления;
- вакуумметры, служащие для измерения отрицательного избыточного давления – вакуума;
- мановакуумметры, измеряющие как избыточное давление, так и вакуумметрическое;
- дифференциальные манометры, которые измеряют разность давлений.

По принципу действия различают приборы жидкостные и механические.

К жидкостным приборам относятся: пьезометр, манометр, дифференциальный манометр. Жидкостные приборы (рис. 2.1) основаны на уравнивании измеряемого давления высотой столба рабочей жидкости определенного объемного веса.

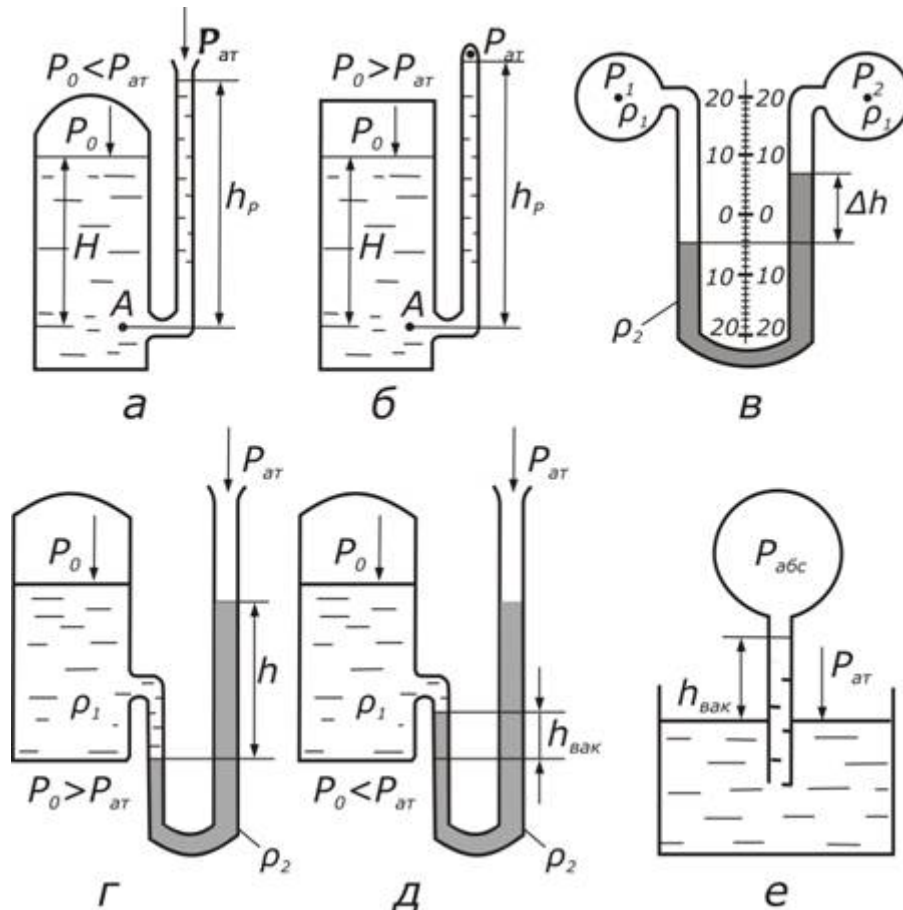


Рис. 2.1. Жидкостные приборы для измерения давления: пьезометры открытого (а) и закрытого (б) типа; дифманометр (в); U-образные (г) манометр и вакуумметр (д); простой вакуумметр (е)

К механическим приборам (рис. 2.2.) относятся: пружинно-трубчатые и мембранные манометры, мановакуумметры, барометры. Действие механических манометров основано на применении закона Гука. Сила давления деформирует упругий элемент прибора (пружину, мембрану), а возникшая деформация, после тарирования, является мерой давления.



Рис. 2.2. Механические приборы для измерения давления: пружинный трубчатый (а); мембранный (б)

При определении гидростатического давления, как правило, оперируют абсолютным (полным) давлением P , манометрическим (избыточным) давлением P_m и вакуумом $P_{\text{вак}}$ (отрицательным избыточным давлением). Между этими величинами существуют следующие зависимости:

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{м}} = P - P_{\text{ат}} \quad (2.1)$$

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{ат}} - P = -p_{\text{м}} = -P_{\text{изб}} \quad (2.2)$$

Из рис. 2.3 видно, что величина вакуума не может быть больше атмосферного давления. Отсюда же можно сформулировать понятия манометрического давления и вакуума.

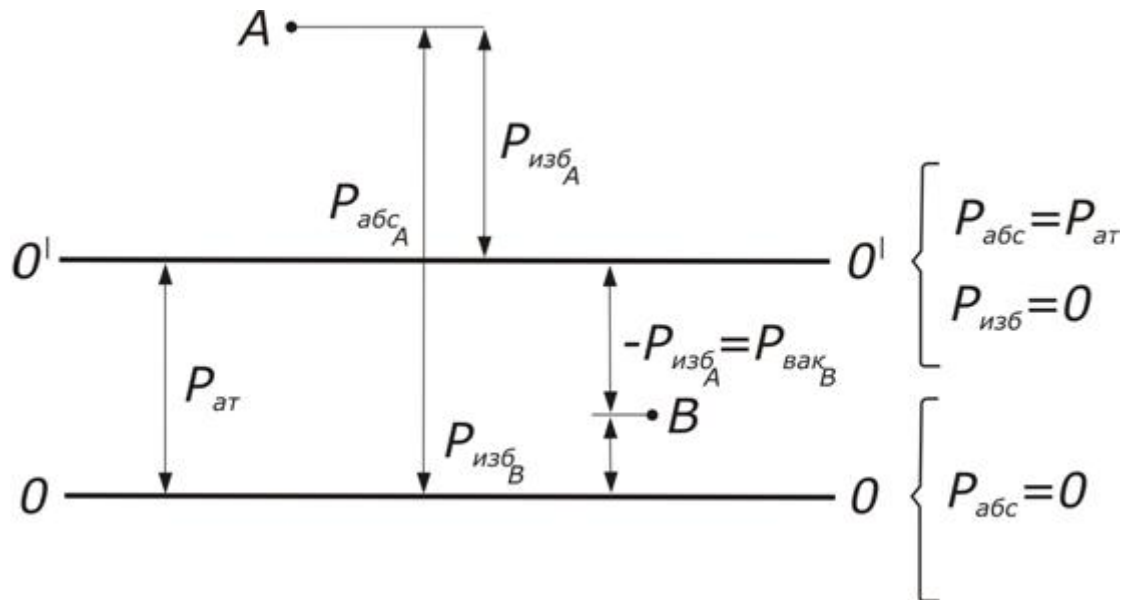


Рис. 2.3. Пределы измерения давлений

Манометрическое давление — это избыток абсолютного давления над атмосферным.

Вакуум - отрицательное избыточное давление (недостаток абсолютного давления до атмосферного).

Полное или абсолютное гидростатическое давление P в любой точке покоящейся жидкости складывается из давления на свободной поверхности жидкости P_0 и веса столба жидкости с основанием, равным единице площади, и высотой, равной глубине h расположения рассматриваемой точки под уровнем свободной поверхности:

$$P = P_0 + \rho gh \quad (2.3)$$

В гидротехнической практике применяются следующие единицы измерения давления: кгс/см², ат (техническая атмосфера), кгс/м², Н/м² (Па), м или мм ст. жидкости.

Между ними существует связь:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \times 10^4 \text{ Н/м}^2 = 10 \text{ м. вод. ст.} = 736 \text{ мм.рт.ст.}$$

В международной системе единиц СИ давление измеряется в Па = 1 Н/м²; 1 ат = 0,1 МПа (мегапаскали); 1 ат = 100 кПа.

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Экспериментальная установка

Для изучения способов измерения гидростатического давления, рассмотрим некоторую замкнутую область, заполненную воздухом. Измерения произведем с помощью экспериментальной установки (рис. 3.1).

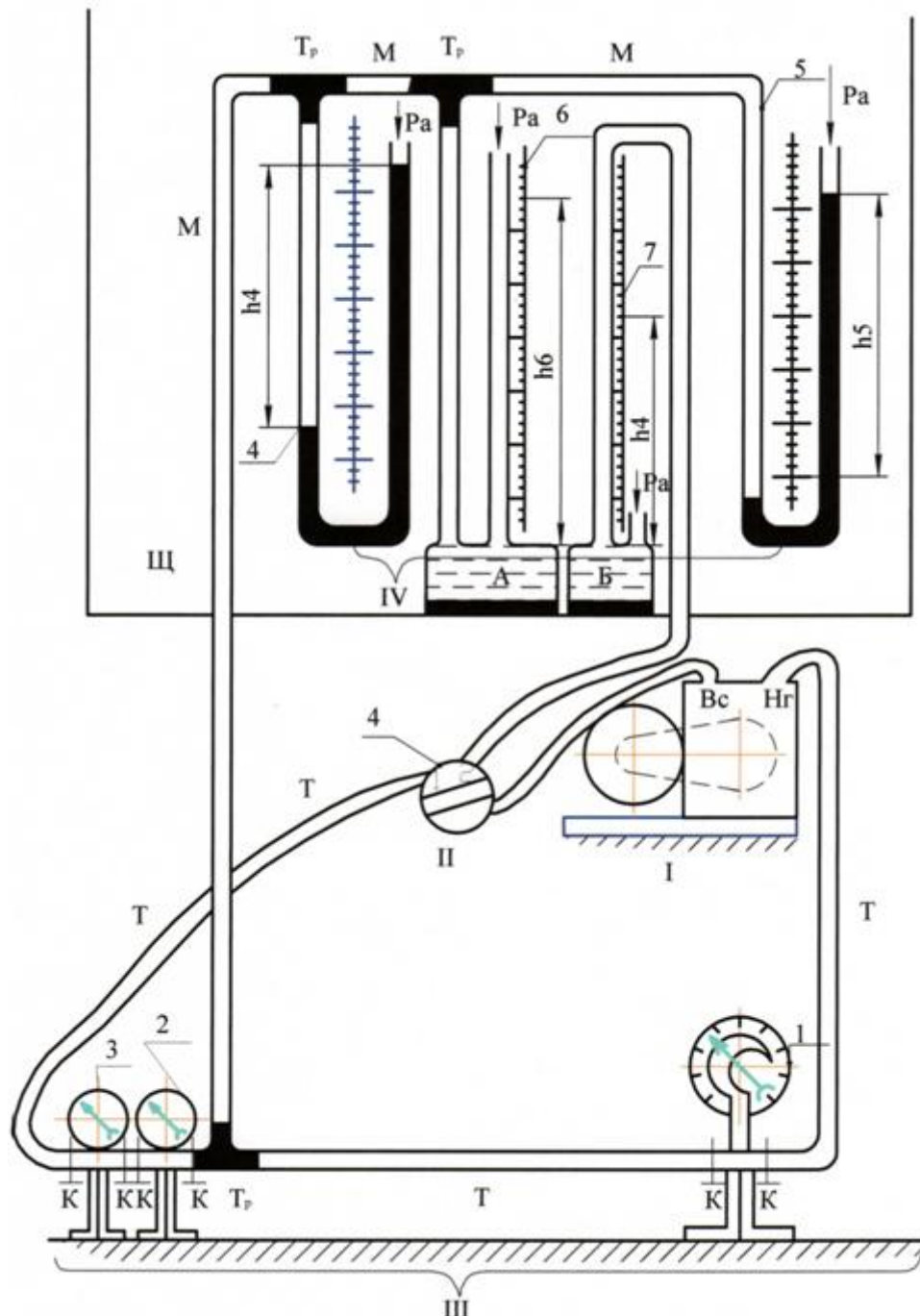


Рис. 3.1. Схема экспериментальной установки

Установка состоит из вакуум-насоса I, трехходового крана II, группы механических приборов III, группы жидкостных приборов IV.

В группу механических приборов III входят: пружинно-трубчатый манометр открытого типа (1), включенный в линию нагнетания вакуум-насоса (I) при помощи резиновых трубок Т; мановакуумметр закрытого типа (2),

пружинно-трубчатый вакуумметр закрытого типа (3), включенные в линию всасывания вакуум-насоса (I) при помощи резиновых трубок Т.

Группа жидкостных приборов IV смонтирована на щите III. Она состоит из двух U-образных манометров (одно колено сообщается с атмосферой) и двух пьезометров:

U-образный манометр, заполненный водой (4);

U-образный манометр, заполненный веретенным маслом (5), включены в линию нагнетания вакуум-насоса I при помощи металлических трубок М и тройников ТР; пьезометр (6) с открытым верхним концом, сообщенным с атмосферой и нижним концом, опущенным в закрытый резервуар А, заполненный водой, сообщается с линией нагнетания вакуум-насоса I при помощи металлических трубок М и тройников ТР; вакуумметр (7), верхний конец которого связан с линией всасывания вакуум-насоса I при помощи металлических трубок М, а нижний конец опущен в открытый резервуар Б, заполненный водой.

Краны К предназначены для отключения механических приборов.

Вакуум-насос - гидравлическая машина, которая откачивает воздух или газ из производственной емкости с давлением ниже атмосферного и, сжимая его, выталкивают в атмосферу.

Каждый вакуум-насос характеризуется следующими основными параметрами:

1. Начальное давление - давление, при котором насос начинает нормально работать. Такое давление должно быть создано у выхода насоса и называется предварительным вакуумом.
2. Рабочее давление - давление у входа насоса при данных условиях его работы.
3. Конечное (предельное) давление - давление, которое можно получить при помощи вакуум-насоса в плотно закрытой и не выделяющей газов или паров эвакуируемой производственной емкости.
4. Быстрота откачки вакуум-насоса - объем газа, который поступает в единицу времени из трубопровода в вакуум-насос при данном давлении у входа в насос.

Кроме основных параметров вакуум-насосов, существуют еще и дополнительные: потребляемая мощность электродвигателя, число оборотов, количество заливаемой рабочей жидкости, расход охлаждающей воды, размеры насоса, число ступеней откачки и т.д.

Краны трехходовые предназначены для использования в качестве запорного или перепускного устройства в трубопроводах с жидкими или газообразными, агрессивными или неагрессивными рабочими средами.

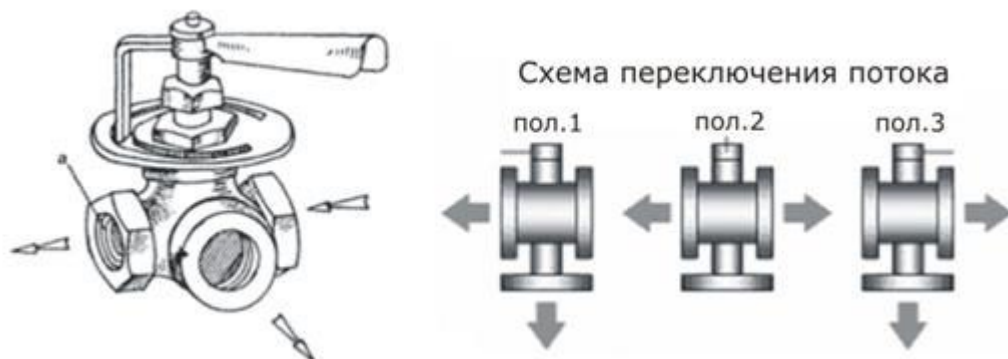


Рис. 3.2. Трехходовые краны

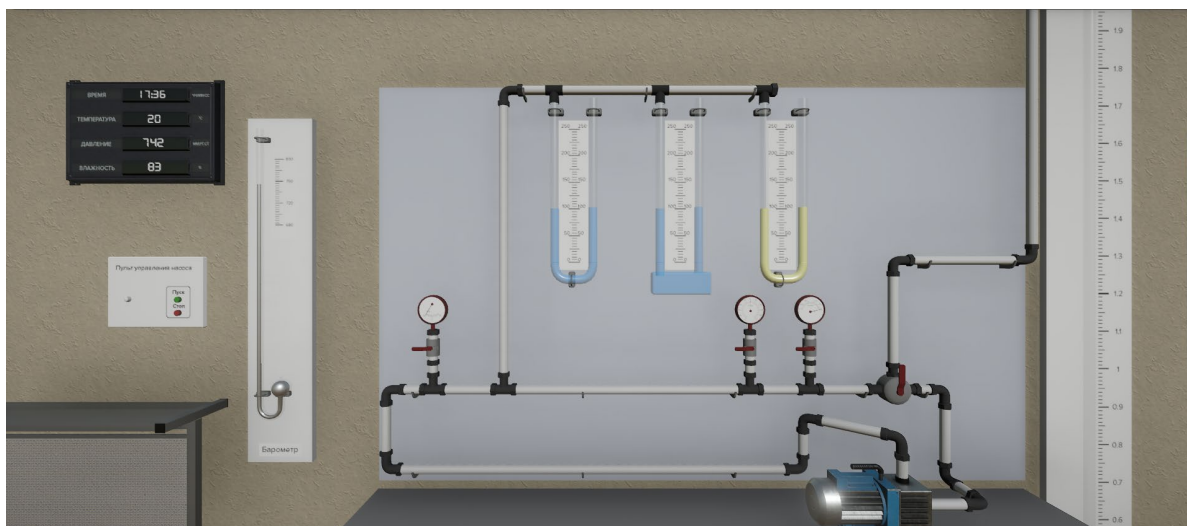


Рис. 3.3. Установка в лабораторной работе

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Порядок действий (рекомендованный)

На экспериментальной установке (рис. 3.5) установите трехходовой кран П в позицию «О» и включите электродвигатель вакуум-насоса I кнопкой ПУСК на панели управления.

В нагнетательной линии вакуум-насоса I устанавливается давление больше атмосферного, во всасывающей линии вакуум-насоса I устанавливается давление меньше атмосферного. После стабилизации давления в системе, что определяется по устойчивым показаниям приборов (уровни жидкости в коленах U-образных манометров 4 и 5 и в пьезометре 6 установились без колебаний), приступите к проведению опытов.

4.2. Опыт 1. Измерение избыточного давления воздуха в нагнетательной линии

1. Переключите трехходовой кран П в позицию 1. После стабилизации давления снимите показания приборов.

Показания группы механических приборов III:

- механического манометра 1, который измеряет избыточное давление воздуха в нагнетательной линии вакуум-насоса I;

- механических мановакуумметра 2 и вакуумметра 3, которые измеряют вакуум (разряжение) воздуха во всасывающей линии вакуум-насоса I.

I. (Механические приборы работают одновременно при открытых кранах К. При необходимости можно отключить любой из них, перекрывая соответствующий кран К).

Показания приборов группы IV, которые измеряют избыточное давление в нагнетательной линии вакуум-насоса I:

- U-образных манометров 4 и 5 (отсчеты снимаются по шкале прибора как перепад уровней Δh_4 и Δh_5);
- пьезометра 6, показание которого h_{p6} снимается как высота подъема воды из открытого резервуара А (отсчет производится от условного нуля шкалы прибора до мениска воды, находящейся в пьезометре).

2. Среднее значение трехразовых измерений занесите в таблицу 5.1.

4.3. Опыт 2. Измерение вакуума во всасывающей линии

Для измерения вакуума во всасывающей линии вакуум-насоса I при помощи жидкостного вакуумметра (7) произведите переключение трехходового крана II в позицию 2. После стабилизации давления в системе снимите показание вакуумметра как высоту подъема жидкости (воды) из открытого резервуара Б (отсчет производится от условного нуля прибора по шкале до уровня мениска жидкости, находящейся в вакуумметре 7). Измеренные значения давления занесите в таблицу 5.1.

4.4. Обработка результатов измерений

Вычисление избыточного давления по показаниям пьезометра производится по формуле (4.1):

$$P_{изб} = \rho g h_{p6}, \quad (4.1)$$

где h_{p6} - показание пьезометра, м. вод. ст.;

ρ – плотность воды (1000 кг/м³).

Вычисление вакуума по показанию масляного вакуумметра производится по формуле (4.2):

$$P_{вак} = \rho g h_{в7}, \quad (4.2)$$

где $h_{в7}$ - показание вакуумметра, м. масл. ст.;

$\rho_{мас} = 850$ кг/м³.

Вычисление избыточного давления по показаниям U-образных манометров

$$P_{изб4} = \rho g \Delta h_4, \quad P_{изб5} = \rho g \Delta h_5, \quad (4.3)$$

где Δh_4 , Δh_5 - показания U-образных манометров 4 и 5, соответственно, м. жид. столба.

Используя рассчитанные значения избыточного и вакуумметрического давлений, а также показания механических приборов, определите абсолютные давления (формулы 2.1, 2.2, 2.3). Атмосферное давление:

$$P_{ат} = 1 ат = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$$

Результаты вычислений необходимо представить в двух системах единиц измерений: технической (МКГСС) и международной (СИ).

5. ОТЧЕТ

Студент: ФИО, группа.

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №

Методы измерения гидростатического давления

Цель:

Задачи:

3. Результаты экспериментальных исследований.
4. Результаты расчетов.
5. Основные выводы.

Таблица 5.1 Результаты расчетов

№ п/п	Наименование прибора	Ед. изм. давления	Отсчет по прибору	Избыточное давление		Абсолютное давление	
				МКГСС	СИ	МКГСС	СИ
				кгс/м ²	Па	кгс/м ²	Па
1	Пьезометр						
2	Жидкостный вакуумметр						
3	U-образный водный манометр						
4	U-образный масляный манометр						
5	Механический пружинный манометр						
6	Механический вакуумметр						
7	Барометр						

5. Определение силы давления на плоские стенки

1. ВВЕДЕНИЕ

Цели работы - демонстрация закона Паскаля; приобретение навыков определения силы избыточного давления на плоские горизонтальную и вертикальную стенки.

Задачи:

- ознакомиться с конструкцией и принципом действия экспериментального стенда;
- произвести измерения гидростатического давления при помощи различных приборов, изучить принцип их действия;
- провести расчеты и проанализировать результаты.

2. ТЕОРИЯ

2.1. Основные положения и общие зависимости

Гидростатика — это раздел гидромеханики, в котором изучаются условия и закономерности равновесия жидкостей под действием приложенных к ним сил, а также воздействия покоящихся жидкостей на погруженные в них тела и на стенки сосудов.

Гидростатика рассматривает законы распределения давления в покоящейся жидкости, определение величины, направления и точки приложения силы давления жидкости на плоские и криволинейные стенки.

Нормальное напряжение в точке покоящейся жидкости есть величина, характеризующая интенсивность сил $\Delta \vec{P}$ действующих на элементарную площадку ΔS при стягивании этой площадки в точку:

$$\vec{P}_n = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta S} \quad (2.1)$$

Так как это напряжение действует по нормали к площадке и не зависит от ориентации площадки, оно может быть представлено в виде:

$$\vec{P}_n = -P \cdot \vec{n} \quad (2.2)$$

Величина P , входящая в (2.2), является абсолютным значением нормального напряжения в точке и называется гидростатическим давлением. Гидростатическое давление всегда положительно: $P > 0$. За положительное напряжение принимается растягивающее напряжение, то знак " - " в выражении (2.2) показывает, что в жидкости действуют только напряжения сжатия. Растягивающих напряжений реальная жидкость не выдерживает.

Таким образом, давление в точке является функцией координат точки и не зависит от ориентации площадки, на которую оно действует.

В гидростатике рассматривают абсолютное давление $P_{абс}$, избыточное (манометрическое) давление $P_{изб}$ (P_m), вакуумметрическое давление $P_{вак}$, а также атмосферное давление $P_{атм}$. Эти давления связаны между собой соотношениями, иллюстрируемыми рис. 2.1 и формулами (2.3) - (2.4).

Если покоящаяся жидкость находится в ненапряженном состоянии, иначе говоря, в ней отсутствуют напряжения сжатия, то гидростатическое давление равно нулю: $P = 0$. Значения давлений, отсчитываемых от этого нуля, называются абсолютными.

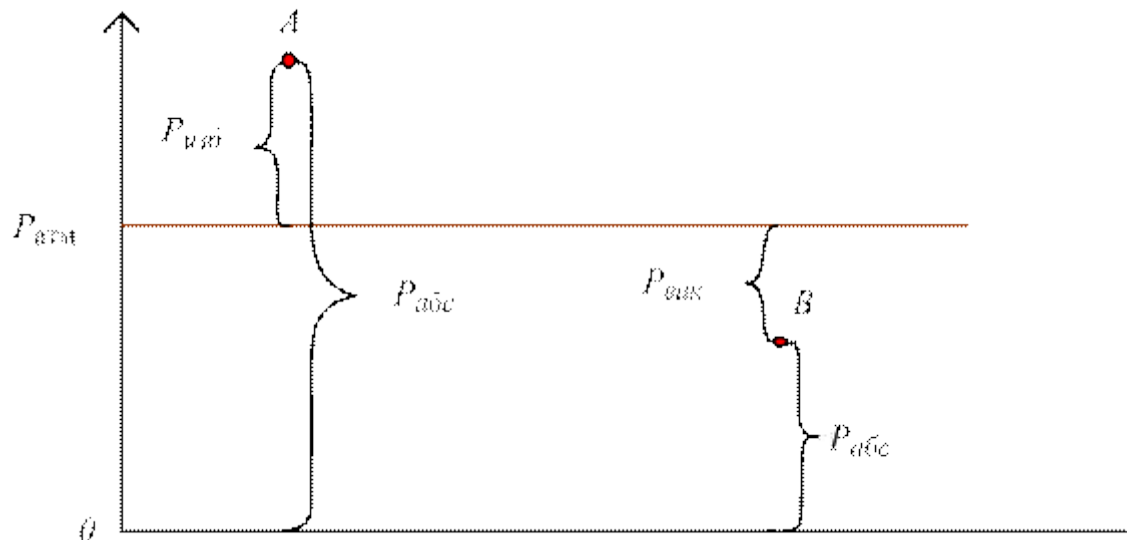


Рис 2.1. Шкала давлений

Избыточным (манометрическим) давлением в точке А называется превышение абсолютного давления над атмосферным:

$$P_{изб} = P_m = P_{абс} - P_{атм} \quad (2.3)$$

Вакуумметрическое давление в т. В образуется как недостаток абсолютного давления до атмосферного:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс} \quad (2.4)$$

Если в какой-либо точке 0 покоящейся жидкости известно давление P_0 , то давление P в другой точке 1 этой жидкости можно определить по основной формуле гидростатики:

$$P = P_0 + \rho gh, \quad (2.5)$$

где h - расстояние по вертикали от исследуемой точки до точки 0 при условии, что точка 0 расположена выше точки 1, или заглубление точки 1 относительно точки 0, м;

ρ - плотность жидкости, кг/м³;

g - ускорение свободного падения, м/с².

Основное уравнение гидростатики показывает, что давление на поверхности жидкости P_0 передается в любую точку внутри жидкости без изменения.

Слагаемое ρgh представляет собой дополнительное весовое давление столба жидкости высотой h . В случае, если точка 0 находится на свободной поверхности жидкости, то P_0 равно давлению газовой фазы, находящейся над поверхностью жидкости (внешнее давление), в частном случае - атмосферному давлению над свободной поверхностью: $P_0 = P_{атм}$.

Из формулы гидростатики (2.5) следует закон Паскаля: всякое изменение давления в какой-либо покоящейся и продолжающей оставаться в покое точке жидкости передается одинаковым образом всем точкам этой жидкости.

В общем случае, если точки с указанными давлениями P и P_0 разделены несколькими столбами жидкостей с различными плотностями, то искомое давление находится многократным применением основной формулы гидростатики (2.5) к поверхностям раздела между жидкостями:

$$P = P_0 \pm \sum_{i=1}^n \rho_i gh \quad (2.6)$$

Из формулы (2.5), записанной в виде $P_{абс} = P_{атм} \pm \rho gh$, следует, что величины избыточного, вакуумметрического и абсолютного давлений могут быть выражены через линейные величины:

$$h_n = \frac{P_{абс} - P_{атм}}{\rho g} = \frac{P_{изб}}{\rho g}, \quad (P_{абс} > P_{атм}), \quad (2.7)$$

$$h_{вак} = \frac{P_{атм} - P_{абс}}{\rho g} = \frac{P_{вак}}{\rho g}, \quad (P_{абс} < P_{атм}), \quad (2.8)$$

$$h_{пр} = \frac{P_{абс}}{\rho g}, \quad (2.9)$$

где h_n - пьезометрическая высота;
 $h_{вак}$ - вакуумметрическая высота;
 $h_{пр}$ - приведенная высота.

Для практических вычислений применяют кратные единицы: $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$; $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$.

Приборы, применяемые для измерения давлений, могут быть отградуированы в единицах, кратных Па. В технике и промышленности часто используют внесистемную единицу – техническую атмосферу:

$$1 \text{ атм} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па} \quad (2.10)$$

Кроме того, как следует из формул (2.7) - (2.9), давление может быть выражено высотой столба какой-либо жидкости. Легко убедиться, что давление в 1 атм создается такими столбами воды и ртути:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ атм} \sim 10 \text{ м водяного столба;} \\ 1 \text{ атм} \sim 735 \text{ мм ртутного столба} \end{array} \right\} \text{ Па} \quad (2.11)$$

Соотношения (2.10) и (2.11) позволяют осуществить пересчет в любую из используемых систем измерения давления. Реальное атмосферное давление может быть выше или ниже значения 1 атм, поэтому на рис. 2.1 и в приведенных выше формулах точка $P_{\text{атм}}$ является «плавающей».

2.2. Приборы для измерения давления

Требования, предъявляемые современной наукой и техникой к приборам для измерения давления, чрезвычайно разнообразны. Прежде всего, весьма широк диапазон измеряемой величины. Так в вакуумной технике приходится измерять давления порядка миллионных долей миллиметра ртутного столба, а в научной практике применяются давления порядка сотен тысяч атмосфер. Возрастают требования к точности измерений, усложняются объекты исследования, накладывающие дополнительные условия на конструктивное оформление приборов.

Условно все приборы для измерения давления можно классифицировать по следующим признакам:

- по роду измеряемой величины;
- по принципу действия;
- по классу точности.

По роду измеряемой величины в зависимости от необходимости измерения атмосферного, абсолютного, избыточного давлений или вакуума существует несколько видов приборов.

Приборы, предназначенные для измерения атмосферного давления, называются барометрами, для измерения избыточного давления – манометрами, для измерения вакуума – вакуумметрами. Приборы, позволяющие измерять и избыточное и вакуумметрическое давление, называются мановакуумметрами. Для измерения абсолютного давления необходимо наличие двух приборов: 1) барометра и манометра, если абсолютное давление больше атмосферного; 2) барометра и вакуумметра, если абсолютное давление меньше атмосферного. В некоторых случаях бывает достаточно знать разницу давлений в двух различных точках;

измерение разности давлений может быть выполнено с помощью дифференциального манометра.

По принципу действия все приборы можно разделить на жидкостные, механические, электрические и комбинированные.

Жидкостные приборы основаны на гидростатическом принципе действия, реализуемом основной формулой гидростатики (2.5): измеряемое давление уравнивается давлением столба жидкости, высота которого определяется непосредственно или путем расчета.

Принцип действия механических приборов заключается в том, что под действием давления происходит деформация некоторого упругого элемента, и величина этой деформации служит мерой измеряемого давления.

В приборах электрического типа приемным элементом, преобразующим величину давления в тот или иной электрический сигнал, является датчик давления.

К комбинированным относятся те приборы, принцип действия которых носит смешанный характер.

По точности показаний все серийно выпускаемые приборы делятся на классы. Классом точности прибора называется число, выражающее максимальное значение возможной погрешности в процентах от предельного значения шкалы прибора.

Жидкостные приборы получили широкое распространение благодаря простоте исполнения и высокой точности. Величина измеряемого давления находится по формулам гидростатики (2.5) или (2.6), а соответствующие высоты - по формулам (2.7) - (2.9). На рис. 2.2 - 2.4 показаны некоторые типы жидкостных приборов.

Простейшим жидкостным прибором является пьезометр - прозрачная трубка, одним концом опущенная в исследуемую точку, другим - открытая в атмосферу (рис. 2.2). Избыточное давление в точке А определяется пьезометрической высотой $h_{\text{п}}$, вакуумметрическое давление в точке В - вакуумметрической высотой $h_{\text{в}}$:

$$\begin{aligned} P_{\text{изб}} &= \rho g h_{\text{п}}; \\ P_{\text{вак}} &= \rho g h_{\text{в}} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Абсолютное давление в точке А может быть определено по приведенной высоте $h_{\text{абс}}$ - высоте столба жидкости в запаянной трубке, из которой удален воздух, так что давление на свободной поверхности в ней близко к нулю: $P_{\text{абс}} = 0$. Такой же принцип использован в приборе, называемом чашечным мановакуумметром (рис. 2.3). Для измерения разности (перепада) давлений служит U-образный мановакуумметр (рис. 2.4). Величина давления определяется формулами (2.12).

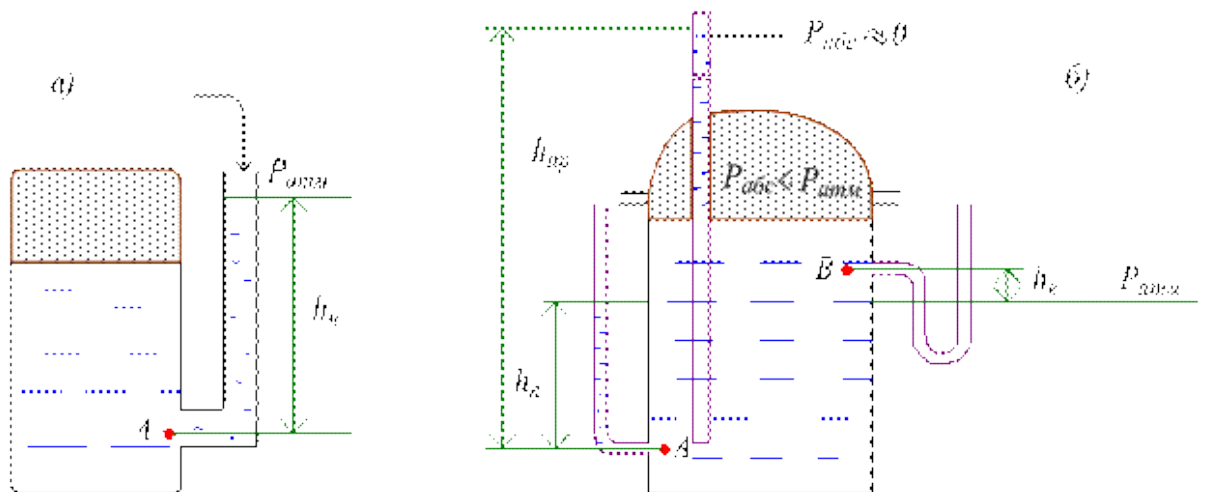


Рис. 2.2. Измерение избыточного и вакуумметрического давлений с помощью пьезометра

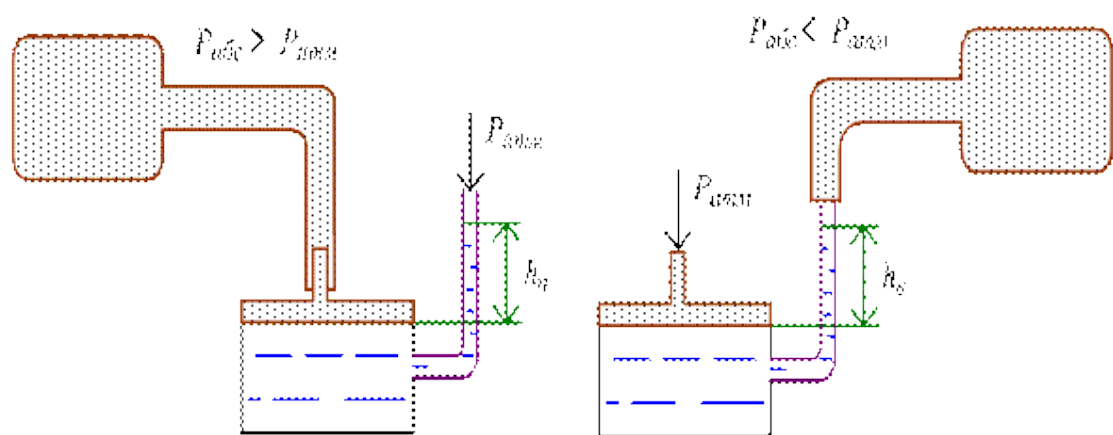


Рис. 2.3. Чашечный мановакуумметр

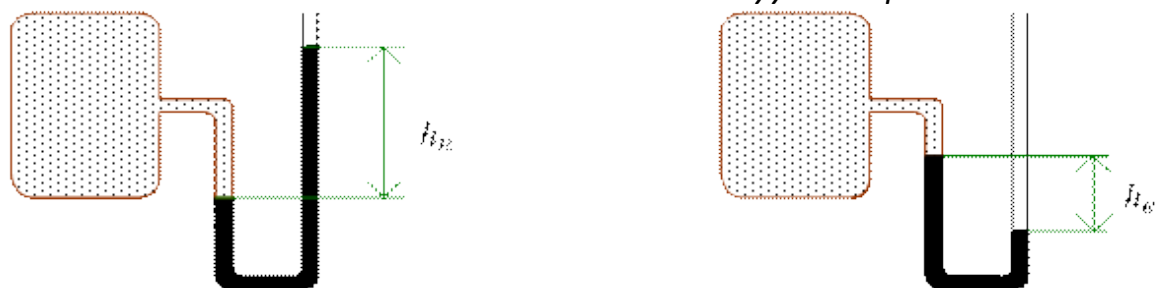


Рис. 2.4. U-образный мановакуумметр

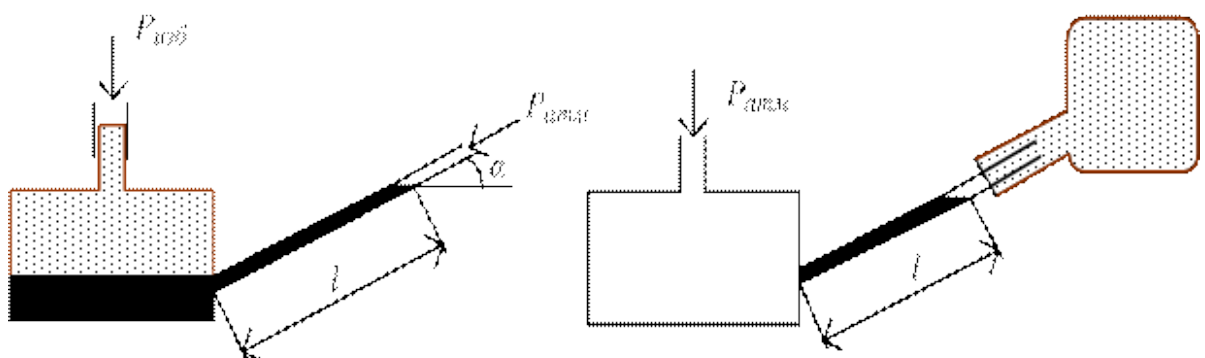


Рис. 2.5. Микроманометр

Жидкостные приборы для измерения давления оказываются весьма полезными при исследовании потоков жидкости. Так, иногда достаточно

знать не абсолютные значения давлений, а лишь перепад давлений в некоторых точках. Приборы, основанные на измерении перепада давлений, называются дифференциальными манометрами. Дифференциальный манометр в потоке движущейся жидкости может использоваться как расходомер (рис. 2.6).

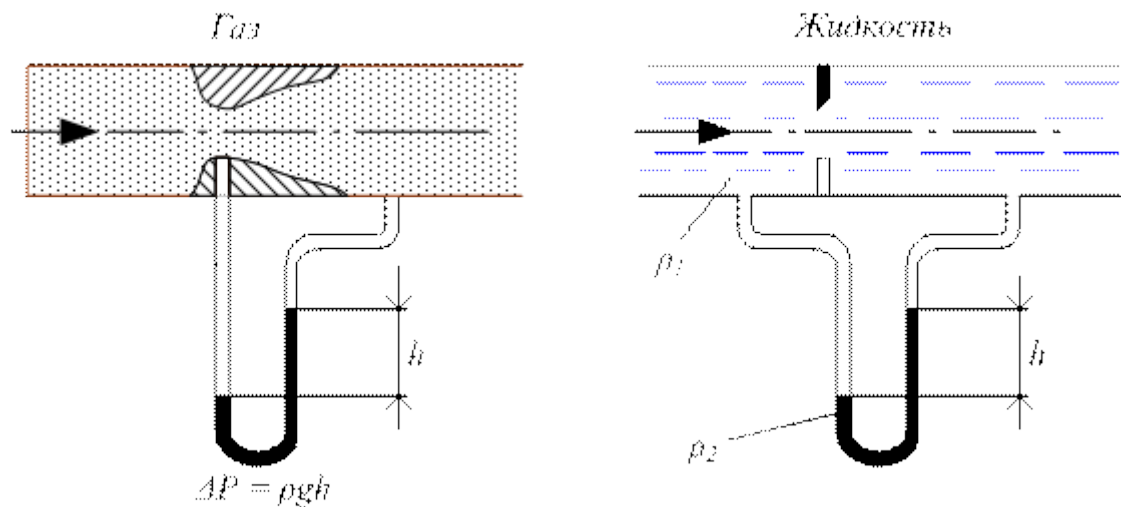


Рис. 2.6. Дифференциальный манометр

Существенным недостатком жидкостных приборов является ограниченный диапазон измеряемых давлений. Расширить этот диапазон можно, используя несколько последовательно соединенных U-образных манометров. Такой прибор называется батарейным мановакуумметром (рис. 2.7).

Давление воздуха в баке уравнивается перепадами уровней жидкости в трубках манометра. При этом в разных коленах могут быть залиты разные жидкости.

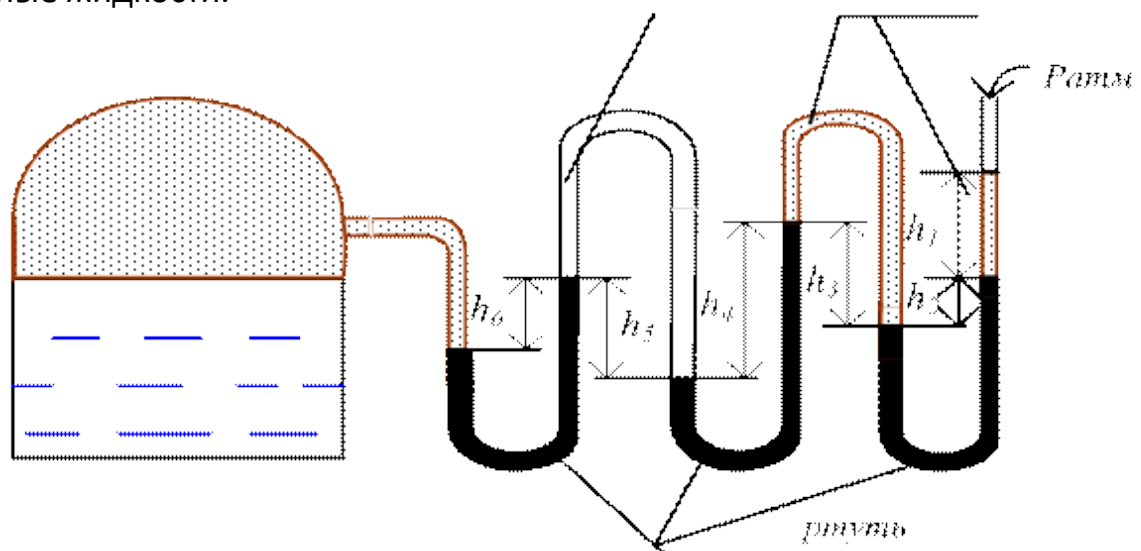


Рис. 2.7. Батарейный мановакуумметр

Так для показаний батарейного мановакуумметра на рис. 2.7 расчет манометрического давления в баке определяется суммированием по формуле (2.6) всех перепадов уровней от открытого конца до присоединения его к резервуару:

$$P_n = \rho_B g h_1 + \rho_{PT} g h_2 - \rho_B g h_3 + \rho_{PT} g h_4 - \rho_B g h_5 + \rho_{PT} g h_6 \quad (2.13)$$

Весовым давлением воздуха в левом конце батарейного манометра ввиду его малости пренебрегают.

Для экспериментального измерения силы давления жидкости на стенку может быть использован сильфонный динамометр (рис. 2.8). В качестве упругого элемента в динамометре используется сильфон, который представляет собой металлическую тонкостенную камеру с гофрированной боковой поверхностью, способную расширяться и сжиматься при изменении давления жидкости. При этом свободная торцевая плоскость сильфона перемещается параллельно самой себе на величину, пропорциональную величине изменения давления.

Перемещение сильфона может быть как положительным, так и отрицательным в зависимости от того, создается в сосуде избыточное давление или вакуум. По величине перемещения Δx , отсчитываемого по положению указателя на шкале сильфона, и по градуировочной кривой $P(\Delta x)$ определяется экспериментальное значение действующей на стенку силы:

$$P_{\pm} = \pm \Delta x, N, \quad (2.14)$$

где C - градуировочная характеристика сильфона, Н/мм;
 Δx - перемещение твердой стенки, мм.

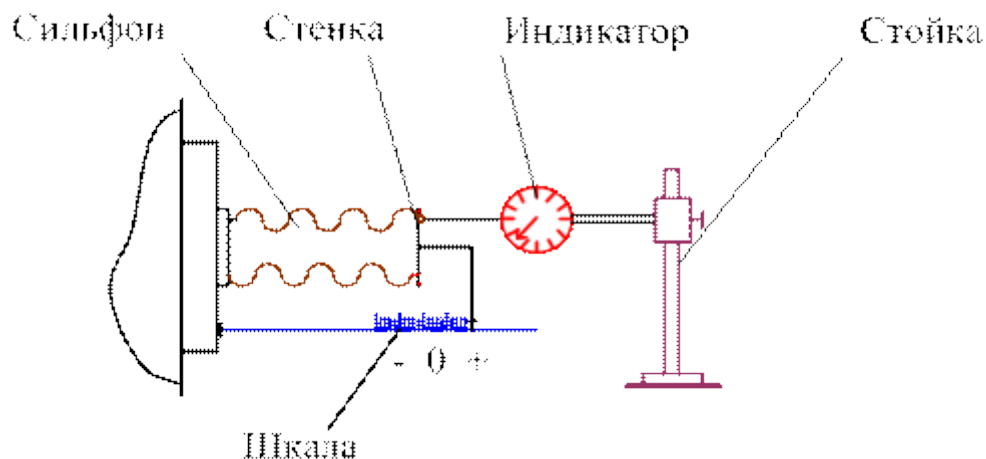


Рис. 2.8. Сильфонный динамометр

Более тщательное определение перемещения сильфона с помощью индикатора часового типа позволит определить искомую силу давления с большей точностью.

Поскольку сосуд изначально залит рабочей жидкостью, то сильфон уже деформирован силой $P_0 = \rho g h_0' S$. Поэтому с помощью сильфонного динамометра определить можно лишь дополнительное усилие, вызванное изменением давления воздуха в сосуде. Расчетное значение дополнительной силы давления:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P = P - P_0 = \rho g h_{\text{пл}} S \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{для случая } P_0 > P_{\text{атм}} \\ &\text{для случая } P_0 < P_{\text{атм}} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Т.о. при помощи сильфонного динамометра определяется дополнительное усилие, вызванное изменением давления воздуха в сосуде с учетом изначально залитой рабочей жидкости.

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Лабораторный стенд «Гидростатика ГС»

Стенд состоит из рабочего стола 1 (рис. 3.3), закрепленного на нем бака 2 и щита 3 с батарейным мановакуумметром ПЗ. Рядом со столом закреплен щит настенных пьезометров 4. Бак на 3/4 заполнен рабочей жидкостью. С помощью компрессора 5 и пылесоса 6, установленных на нижней полке стола, под крышкой бака может быть создано избыточное или вакуумметрическое давление. Необходимый режим обеспечивается блоком управления 7 и кранами В1 и В2. Давление воздуха в баке регистрируется механическими приборами - манометром МН1 и вакуумметром ВН. На лицевой и боковой стенках бака расположены фланцы, к которым через сильфоны 8 крепятся две испытуемые плоские стенки 9 - вертикальная и горизонтальная. На фланцах закреплены линейки со шкалами, служащие для определения перемещения стенок. Колена батарейного мановакуумметра ПЗ заполнены жидкостью (в общем случае жидкости могут быть различными). Левый конец батарейного мановакуумметра соединен с верхней частью бака, заполненной воздухом, правый открыт в атмосферу.

На настенном щите пьезометров 4 размещены пьезометр ПЗ, подключенный к заполненной рабочей жидкостью части бака, и U-образный мановакуумметр П2, заполненный исследуемой жидкостью с неизвестной плотностью. Один конец мановакуумметра П2 подсоединен к верхней (воздушной) части бака, а второй выведен на механический прибор - манометр МН2. Кран В3 служит для блокирования мановакуумметра П2 при проведении опытов на давление или вакуум, превосходящие пределы измерения этого жидкостного прибора. Краны В8 и штуцер 10 используются для заполнения бака рабочей жидкостью и опорожнения его.

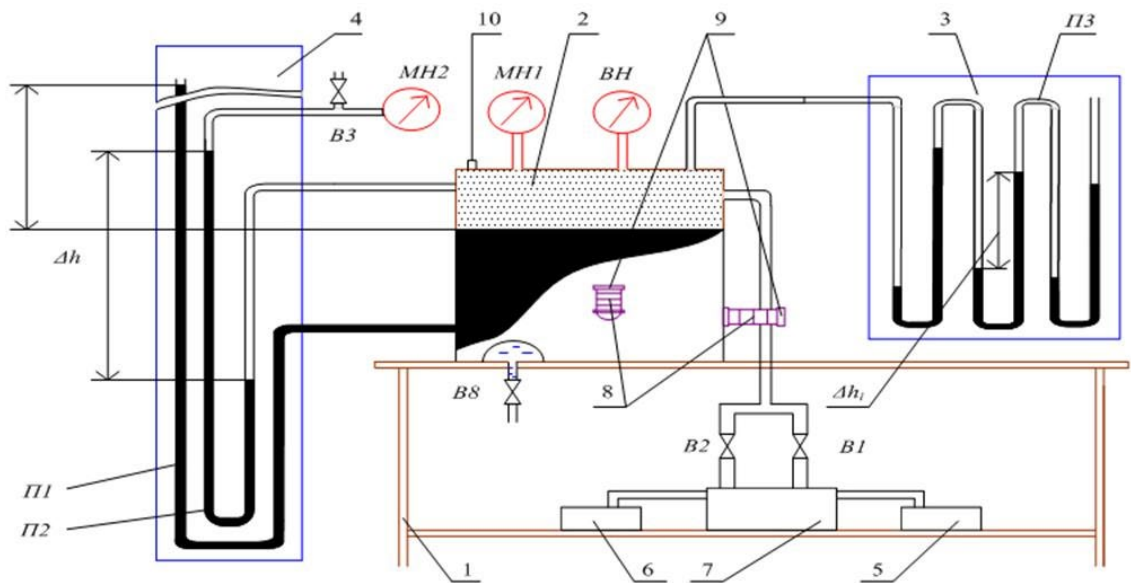


Рис. 3.1. Лабораторный стенд «Гидростатика ГС»

1 – рабочий стол.

2 – металлический бак.

ПЗ – щит с батарейным мановакуумметром; левая трубка соединена с верхней частью бака, правая трубка выходит в атмосферу.

4 – щит настенных пьезометров, П1 подключен к нижней части бака, П2 подключен к верхней части бака.

МН1 – манометр, под манометром находится кран - режимы «вкл» и «выкл».

ВН – вакуумметр, под вакуумметром находится кран - режимы «вкл» и «выкл».

МН2 – манометр на столе, под манометром находится кран В3.

В1 и В2 – краны, открывают доступ к насосу (нагнетание В1) и пылесос (разряжение В2). Управление насосом и пылесосом с панели ГС.

5 - панель ГС: кнопка СЕТЬ (вкл | и выкл О); разряжение: ПУСК (нажали – включается насос, и происходит разряжение, отпустили – все выключилось), нагнетание: ПУСК (аналогично разряжению). При нажатии на разряжение или нагнетание проверяется открытость кранов В1 и В2.

П1 – пьезометр на панели, соединен с нижней частью бака.

П2 – U-образный мановакуумметр, соединен с верхней частью бака и с манометром МН2; содержит жидкость.

9 – вертикальные и горизонтальные «испытываемые плоские стенки».

На лицевой и боковой стенках бака расположены фланцы, к которым через сильфоны крепятся две испытываемые плоские стенки 9 - вертикальная и горизонтальная. На фланцах закреплены линейки со шкалами, служащие для определения перемещения стенок.

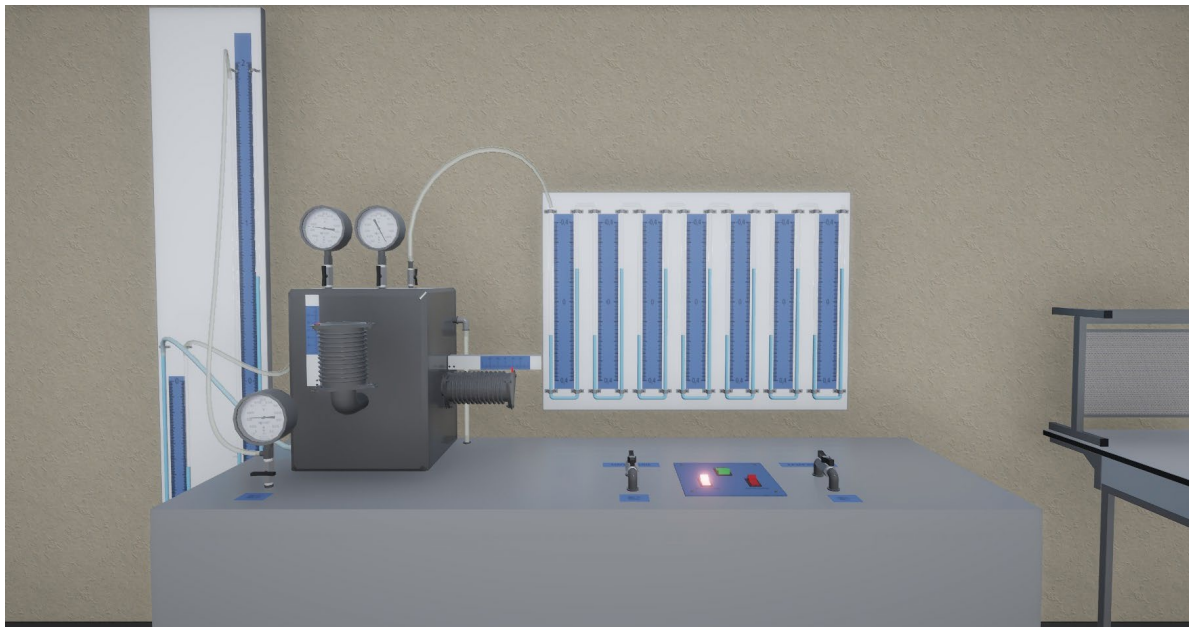


Рис. 3.2. Лабораторный стенд «Гидростатика ГС» в лабораторной работе

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Опыт 1

1. Установите под крышкой бака атмосферное давление.
2. Запишите начальное положение указателей на шкалах для горизонтальной и вертикальной стенок.
3. С помощью компрессора установите в баке режим избыточного давления. Для этого необходимо проделать следующие операции:
 - 3.1. На пульте управления закройте кран В2 «Разрежение», откройте кран В1 «Нагнетание».
 - 3.2. Включите тумблер «Сеть».
 - 3.3. Нажмите на кнопку «Нагнетание» и установите по показаниям манометра МН1 необходимое давление.
 - 3.4. Отпустите кнопку «Нагнетание» и перекройте кран В1.
4. Запишите показания указателей на шкалах для горизонтальной и вертикальной стенок, а также показания МН1 (или ВН).

4.2. Опыт 2 (вернуть все в стартовое положение)

1. Установите под крышкой бака атмосферное давление.
2. Запишите начальное положение указателей на шкалах для горизонтальной и вертикальной стенок.
3. С помощью пылесоса установите в баке режим вакуума. Для этого необходимо проделать следующие операции:
 - 3.1. На пульте управления откройте кран В2 «Разрежение»; закройте кран В1 «Нагнетание».
 - 3.2. Включите тумблер «Сеть».
 - 3.3. Нажмите на кнопку «Разрежение» и установите по показаниям вакуумметра ВН необходимое давление.

3.4. Отпустите кнопку «Разрежение» и перекройте кран В1.

4. Запишите показания указателей на шкалах для горизонтальной и вертикальной стенок, а также показания МН1 (или ВН).

4.3. Обработка результатов экспериментов

1. Определите по величине перемещения стенки и градуировочной характеристики сильфона по формуле (2.15) дополнительные усилия на стенки.

2. Рассчитайте по показаниям жидкостных приборов и формуле (2.14) приращения усилий на стенки.

3. Результаты занесите в таблицу 5.1.

5. ОТЧЕТ

Студент: ФИО, группа.

ОТЧЕТ

по лабораторной работе №

Определение силы давления на плоские стенки

Цель:

Задачи:

1.Схема лабораторной установки.

2. Ход работы.

3.Результаты экспериментальных исследований.

4.Результаты расчетов.

5.Выводы

Таблица 5.1 Измерение сил давления с помощью сильфонного динамометра

№ опыта	Режим	Расчетное манометрическое давление	Дополнительная сила давления на стенку							
			горизонтальная				вертикальная			
			по П1	по П3	по сильфонному динамометру		по П1	по П3	по сильфонному динамометру	
					до	после			до	после
1	$P_{\text{абс}}^B > P_{\text{атм}}$									
2	$P_{\text{абс}}^B < P_{\text{атм}}$									

Характеристики стенок:

Горизонтальная: диаметр $d_r = \text{_____}$ мм; $S_r = \text{_____}$ мм²;
 градуировочная характеристика сильфона $C = \text{_____}$ Н/мм.

Вертикальная: $d_v = \text{_____}$ мм; $S_v = \text{_____}$ мм²; градуировочная характеристика сильфона $C = \text{_____}$ Н/мм.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется центром давления? Где он располагается относительно центра тяжести поверхности?
2. Объясните, как влияет изменение внешнего давления над свободной поверхностью жидкости на силу давления, которую эта жидкость оказывает на плоскую вертикальную крышку люка в стенке сосуда.
3. Сформулируйте закон Паскаля.
4. Перечислите параметры, от которых зависит величина силы гидростатического давления на плоскую поверхность.

6. Экспериментальное изучение прямого гидравлического удара в напорном трубопроводе

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель - исследование гидравлического удара в напорном трубопроводе.

Задачи:

- демонстрация гидравлического удара;
- экспериментальное определение величины повышения давления при гидравлическом ударе в случае внезапного (мгновенного) закрытия крана;
- определение повышения давления при гидроударе по формуле Н.Е.Жуковского; сравнение теоретического и экспериментального значения повышения давления при гидравлическом ударе.

2. ТЕОРИЯ

Гидравлическим ударом называется повышение давления, вызванное внезапным изменением скорости движения жидкости в напорном трубопроводе. Т.е. стационарное течение жидкости в трубопроводе нарушается путем резкого закрытия (или открытия) задвижки, включения (или отключения) насоса и т.д., в результате чего происходит резкое торможение (или ускорение) потока и ударное сжатие ее частиц.

При внезапном (мгновенном) перекрытии трубопровода в остановившемся слое жидкости непосредственно у задвижки (клапана, крана, т.д.) повышается давление вследствие преобразования кинетической энергии остановившегося слоя жидкости в потенциальную энергию (энергию давления) жидкости. При этом жидкость сжимается, а сечение трубопровода расширяется.

По мере остановки последующих слоев жидкости увеличение давления будет распространяться по трубопроводу в сторону от задвижки, создавая волну повышенного давления, называемую ударной волной.

После того, как жидкость остановится по всей длине трубопровода до резервуара, давление в трубопроводе станет больше давления в резервуаре, и жидкость придет в движение в направлении к резервуару, создавая волну пониженного давления в трубопроводе, называемую обратной ударной волной.

Существует два типа удара:

Прямой удар возникает в том случае, когда время закрытия оказывается меньше фазы удара $t_{\text{зак}} < t_{\text{фаз}}$, число фаз пробега n меньше 1.

$$n = \frac{t_{\text{зак}}}{t_{\text{фаз}}}$$

При обратном соотношении этих величин происходит не прямой или неполный удар, при котором увеличение давления оказывается меньше, чем при прямом ударе, число фаз пробега n больше 1.

При непрямом гидроударе фронт ударной волны не только меняет направление своего движения на противоположное, но и частично проходит далее сквозь не до конца закрытую задвижку.

Время пробега прямой ударной волны (повышения давления от задвижки до резервуара) и обратной ударной волны (понижения давления от резервуара до задвижки) называется фазой гидроудара и определяется по формуле:

$$t_{\text{фаз}} = \frac{2L}{c},$$

где L – длина трубопровода;

$t_{\text{фаз}}$ – фаза удара;

c – скорость распространения ударной волны.

После прохождения обратной волны – волны протекания жидкости из трубопровода в резервуар – благодаря инерции жидкости, давление в трубопроводе станет ниже, чем в резервуаре, и начнется повторное движение жидкости по трубопроводу в сторону задвижки и повторный гидравлический удар, но с меньшим повышением давления, вследствие потерь энергии потока на трение и деформацию трубопровода, фазы гидроудара будут повторяться до полного затухания.

Повышение давления при гидравлическом ударе может во много раз превышать начальное давление в трубопроводе и может привести к разрушению трубопровода и арматуры.

Фронт, на котором происходит изменение гидродинамических параметров жидкости, имеет относительно малую протяженность и в виде волны давления распространяется по потоку. Аналогичное явление возникает в нефтепроводе и в других случаях, когда происходит скачкообразное изменение скорости (расхода) жидкости. Возможность гидравлического удара следует учитывать при проектировании и эксплуатации нефтепроводов, поскольку ударное давление может намного превысить допустимые нормы, привести к разрыву трубы и возникновению аварийной ситуации.

Необходимость считаться с разрушительной силой гидравлического удара в трубопроводах, транспортирующих капельные жидкости (нефть, нефтепродукты, воду и т.п.), выражается в том, что на подобных трубопроводах (в отличие от газопроводов) никогда не устанавливают краны, быстро перекрывающие сечение трубопровода, а наоборот, применяют вентильные задвижки, дающие медленное перекрытие сечения и

обеспечивающие безопасную остановку потока жидкости. Минимальное время закрытия задвижки определится исходя из условия прочности трубопровода:

$$t_{\text{зак}} = \frac{2\rho v_0 l}{P_{\text{max}} - P_0},$$

где l – длина трубопровода;

v_0 – скорость потока до закрытия задвижки;

P_0 – давление до закрытия задвижки;

P_{max} – максимально допустимое давление, которое может выдержать трубопровод:

$$P_{\text{max}} = \frac{\delta[\sigma]}{R}$$

где δ – толщина стенки трубопровода;

$[\sigma]$ – максимально допустимые напряжения для данного материала трубы;

R – радиус внутренней поверхности трубы.

Тогда:

$$t_{\text{зак}} = \frac{2\rho v_0 l}{\frac{\delta[\sigma]}{R} - P_0}$$

Более того, в ряде случаев на перекачивающих станциях применяют специальные устройства, призванные защитить трубопровод от последствий гидравлического удара. Например, на линиях всасывания перекачивающих станций устанавливают гасители гидравлического удара на случаи, если станция внезапно отключится и давление перед ней начнет повышаться. Принцип действия гасителей гидравлического удара состоит в отводе части жидкости из трубопровода в специальный резервуар для снижения темпа нарастания давления. На линиях нагнетания перекачивающих станций устанавливают системы автоматического регулирования, одна из задач которых состоит в защите станций от ударных волн давления, распространяющихся вверх по потоку и приходящих с предыдущего участка.

Впервые правильное объяснение гидравлического удара дал наш великий соотечественник Н.Е. Жуковский в конце прошлого века. Его исследования были выполнены на Московской водопроводной станции, а сама работа "О гидравлическом ударе в водопроводных трубах" (1899) стала классической работой, известной во всем мире. Н.Е. Жуковский впервые связал значение ударного давления ΔP со свойствами сжимаемости жидкости и упругости стенок трубопровода. При этом были получены, проверены и рекомендованы к практическому использованию формулы для определения величины повышения давления ΔP при гидравлическом ударе и формулы для определения скорости с распространения ударной волны:

$$\Delta P = \rho c v,$$

где ρ – плотность жидкости;

v – средняя скорость движения жидкости в трубопроводе до гидроудара.

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_0}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E \delta}}}$$

где E_0 и E – модули упругости, соответственно жидкости и материала трубопровода;

d – внутренний диаметр трубопровода;

δ – толщина стенки трубопровода.

Если трубопровод стальной ($E=20 \cdot 10^8$ Па), а жидкостью является вода ($\rho=1000$ кг/м³), то формула для расчета примет вид:

$$c = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{0,01d}{\delta}}}$$

Волны гидравлического удара, генерируемые в нефтепроводах резкими изменениями скорости потока, могут распространяться на значительные расстояния, постепенно затухая вследствие диссипации механической энергии за счет сил вязкого трения. Наибольшую опасность волны повышенного давления представляют для тех участков трубопровода, где и без того существовало достаточно высокое статическое давление. Такие участки находятся вблизи перекачивающих станций, а также в наиболее низких сечениях трубопровода. В последних может быть высоким пьезометрический напор, что равносильно высокому давлению. При отражении волны гидравлического удара от закрытого сечения трубопровода или тупикового отвода амплитуда ΔP волны удваивается, что еще больше способствует возникновению аварийной ситуации.

Но и волны снижения давления могут вызывать опасные явления. В наиболее высоких сечениях нефтепровода могут возникать парогазовые скопления, которые при возврате к стационарному режиму исчезают далеко не сразу. При этом они значительно уменьшают расход перекачки и вызывают повышенную вибрацию трубопровода. На участках трубопровода с большим перепадом высот могут возникать возвратные течения жидкости, приводящие к так называемым профильным гидравлическим ударам.

2.1. Описание лабораторной работы в действительности

Лабораторная работа проводится на стенде, представленном ниже:

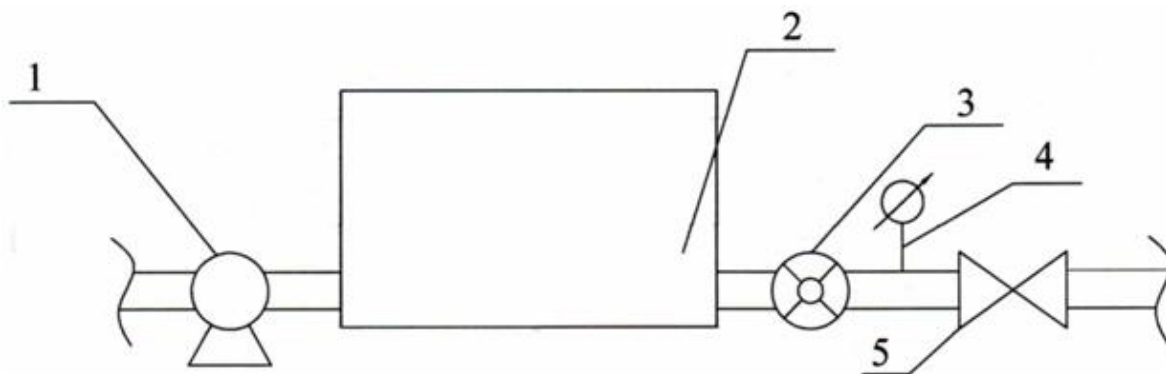


Рис. 2.1. Принципиальная схема гидравлический стенда

1 – маломощный насос; 2 – накопительный бак;

3 – роторный расходомер; 4 – механический манометр;

5 – электрозадвижка с программируемым временем закрытия

Работу выполняют три студента одновременно. При пуске насоса (1) вода поступает в накопительный бак (2). Затем из него в трубопровод. В момент достижения требуемого расхода, измеряемого расходомером (3), необходимо снять показания манометра P_1 (4) (первый студент). После снятия показаний второй студент мгновенно закрывает задвижку (5). Наблюдается явления гидроудара (толчки, вибрация трубопровода). Третий студент выключает насос, а первый фиксирует величину скачка давления P_2 .

Для повторного опыта необходимо рассчитать минимальное время закрытия задвижки $t_{зж}$, при котором не произойдет гидроудар.

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Оборудование в лабораторной работе

В лаборатории установлен гидравлический стенд, принципиальная схема которого представлена на рис. 2.1.



Рис. 3.1. Гидравлический стенд

На стене возле окна находятся панель расходомера и электрощиток, питающий все электроприборы установки. При включении тумблера электрощитка (за пластиковой дверцей) на панели расходомера будет отображаться текущее значение расхода воды.

Характеристики стенда	
Длина трубопровода L , м	20
Наружный диаметр трубы D_m , мм	10
Толщина стенки трубы δ , мм	8

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Порядок действий (рекомендованный)

Работа разделена на 2 опыта. При выборе работы появится меню с выбором опыта.

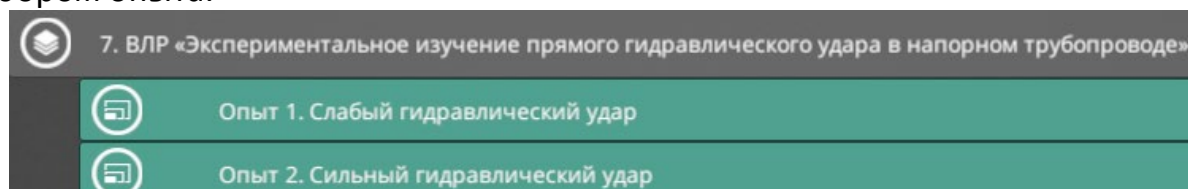


Рис. 4.1. Меню выбора

После выбора нужного опыта меню исчезает. В любой момент опыт можно прекратить, нажав на кнопку «выход», находящуюся справа сверху. При нажатии на эту кнопку все данные выполнения лабораторной работы сбрасываются и появляется меню выбора опыта.

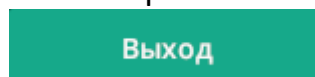


Рис. 4.2. Кнопка «выход»

4.1.1. Опыт №1

На задвижке уже установлено время закрытия «0 сек», т.е. закрытие мгновенное. Случайным образом при инициализации выбирается подача насоса в интервале от 0,01 до 0,1 л/с. При таких значениях расхода гидроудар наблюдается, но разрыв не происходит.

Показания манометра при закрытии задвижки изменяются скачком.

1. Включите электропитание установки.
2. Кликом на панель насоса вызовите увеличенный вид кнопок и дисплея. Включите насос. Подача на насосе будет установлена, но ее можно изменять стрелками в указанных пределах.
3. Кликом на панель задвижки вызовите увеличенный вид кнопок и дисплея. На панели задвижки активируйте «закрытие» задвижки. Пройдет явление гидроудара. Через 10 сек насос выключится автоматически, гидроудар прекратится, на манометре показания зафиксируются при помощи второй стрелки.
4. Понаблюдайте. Данные зафиксируйте.
5. Можно повторить опыт.

4.1.2. Опыт №2

При инициализации случайным образом выбирается подача насоса в пределах от 5 до 300 л/с.

1. Включаем электропитание стенда.

2. Подача на насосе будет установлена, но ее можно изменять стрелками в указанных пределах. Вызовите увеличенный вид кнопок и дисплея. Включите насос нажатием на кнопку на его передней панели.

4. Кликом на панель задвижки вызовите увеличенный вид кнопок и дисплея. Установите стрелками время закрытия задвижки в пределах от 0 до 25 сек, включите задвижку на закрытие.

5. Понаблюдайте. Данные зафиксируйте.

6. Можно повторить опыт.

4.2. Обработка результатов измерений

Минимальное время закрытия задвижки $t_{зак}$ определяется по следующему алгоритму:

1. Сначала находится перепад давления ΔP , Па:

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (4.1)$$

2. Определяется скорость потока V :

$$V = \frac{4Q}{\pi d_{вн}^2} \quad (4.2)$$

где $d_{вн}$ – внутренний диаметр трубопровода, м; величина внешнего диаметра 108х3 мм.

3. Находится скорость распространения волны c , м/с:

$$c = \frac{\Delta P}{\rho v} \quad (4.3)$$

4. Определяется величина фазы пробега $t_{фаз}$, с:

$$t_{фаз} = \frac{2L}{c}, \quad (4.4)$$

где L – длина трубопровода, м, равная 20 м.

5. Минимальное время закрытия задвижки $t_{закз}$, с:

$$t_{зак} = \frac{2\rho v L}{\frac{2\delta[\sigma]}{d} - P_1}, \quad (4.5)$$

где δ – толщина стенки, м, равная 3 мм;

$[\sigma]$ – максимально допустимые напряжения для низкосортного пластика, Па, равные МПа.

6. Число фаз пробега n

$$n = \frac{t_{\text{зак}}}{t_{\text{фаз}}}, \quad (4.6)$$

7. Определение вида удара.

8. Повтор эксперимента с полученной величиной времени.

5. ОТЧЕТ

5.1. Форма отчета

1. Студент: ФИО, группа.

ОТЧЕТ
по лабораторной работе

« _____ »

Цель:

Задачи:

2. Ход работы.

3. Результаты экспериментальных исследований (таблица 4.1).

Таблица 4.1 Результаты экспериментальных исследований.

Прибор	Обозначение	Показания	Единицы измерения
расходомер	Q		
манометр	P_1		
	P_2		
длина ТП	L		
наружный диаметр	D		
толщина стенки	δ		
допустимые напряжения	$[\sigma]$		

4. Расчеты.

5. Основные выводы.

7. Потери напора при внезапном сужении трубы

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы - определение опытным путем величины коэффициентов местных сопротивлений (ζ) в напорном трубопроводе

Задача - сравнить полученные значения с данными, приведенными в справочниках.

2. ТЕОРИЯ

При движении жидкости по трубопроводу часть энергии (напора) теряется на преодоление гидравлических сопротивлений, вызванных установкой трубопроводной арматуры (внезапное сужение, внезапное расширение, тройник, крестовина, колено, кран, вентиль, задвижка, диафрагма и т.д.). Эти гидравлические сопротивления называются местными, а потери энергии на них местными потерями.

Особенностью местных сопротивлений является наличие при турбулентном режиме вихревых зон (рис. 2.1) и деформации эпюры скоростей.

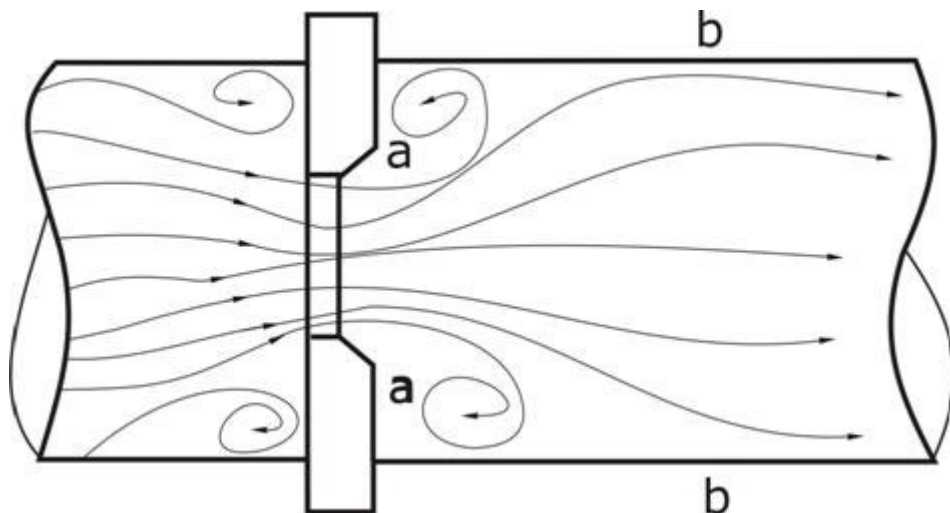


Рис. 2.1. Кинематическая структура потока в зоне местного сопротивления диафрагмы

Транзитный поток отделен от вихревой зоны осредненной во времени и пространстве поверхностью раздела **ab**. Транзитная струя в области вихревой зоны неустойчива. Поэтому поверхность раздела **ab** является зоной интенсивного вихреобразования и перехода механической энергии в тепловую. В виду большой сложности явлений, происходящих в жидкости, протекающей через местное сопротивление, только в отдельных случаях коэффициент ζ может быть найден теоретически. В преобладающем большинстве случаев ζ определяется опытным путем. Исследования, проведенные учеными, показали, что зависимость коэффициента ζ от Re наблюдается при ламинарном режиме движения жидкости. В турбулентном

потоке влияние числа **Re** на коэффициент ζ весьма незначительно. При практических расчетах в области турбулентного режима движения этот коэффициент зависит только от вида и конструктивного выполнения местного сопротивления.

При экспериментальных исследованиях потери энергии (напора) определяются из уравнения Бернулли при условии $h_H \neq 0$; $h_1 = 0$.

$$h_H = e_1 - e_2 = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{a_1 * V_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{a_2 * V_2^2}{2g} \right), \quad (2.1)$$

где $e_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{a_1 * V_1^2}{2g}$ – полная удельная энергия потока перед местным сопротивлением;

$e_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{a_2 * V_2^2}{2g}$ – полная удельная энергия потока после местного сопротивления.

Величина коэффициента местного сопротивления определяется по формуле

$$\zeta_H = \frac{h_H}{V_2^2} \quad (2.2)$$

2.1. Описание лабораторного стенда

Стенд (рис. 2.2) состоит из двух секций. В состав нижней секции входит двухтумбовый стол с установленным на нем поддоном, двумя кронштейнами для установки исследуемых модулей, ящиком для хранения модулей. Внутри нижней секции стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

В состав верхней секции входят:

- панель с вертикальными пьезометрами П1 для измерения давления в поперечных сечениях изучаемых модулей;
- расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;
- вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.

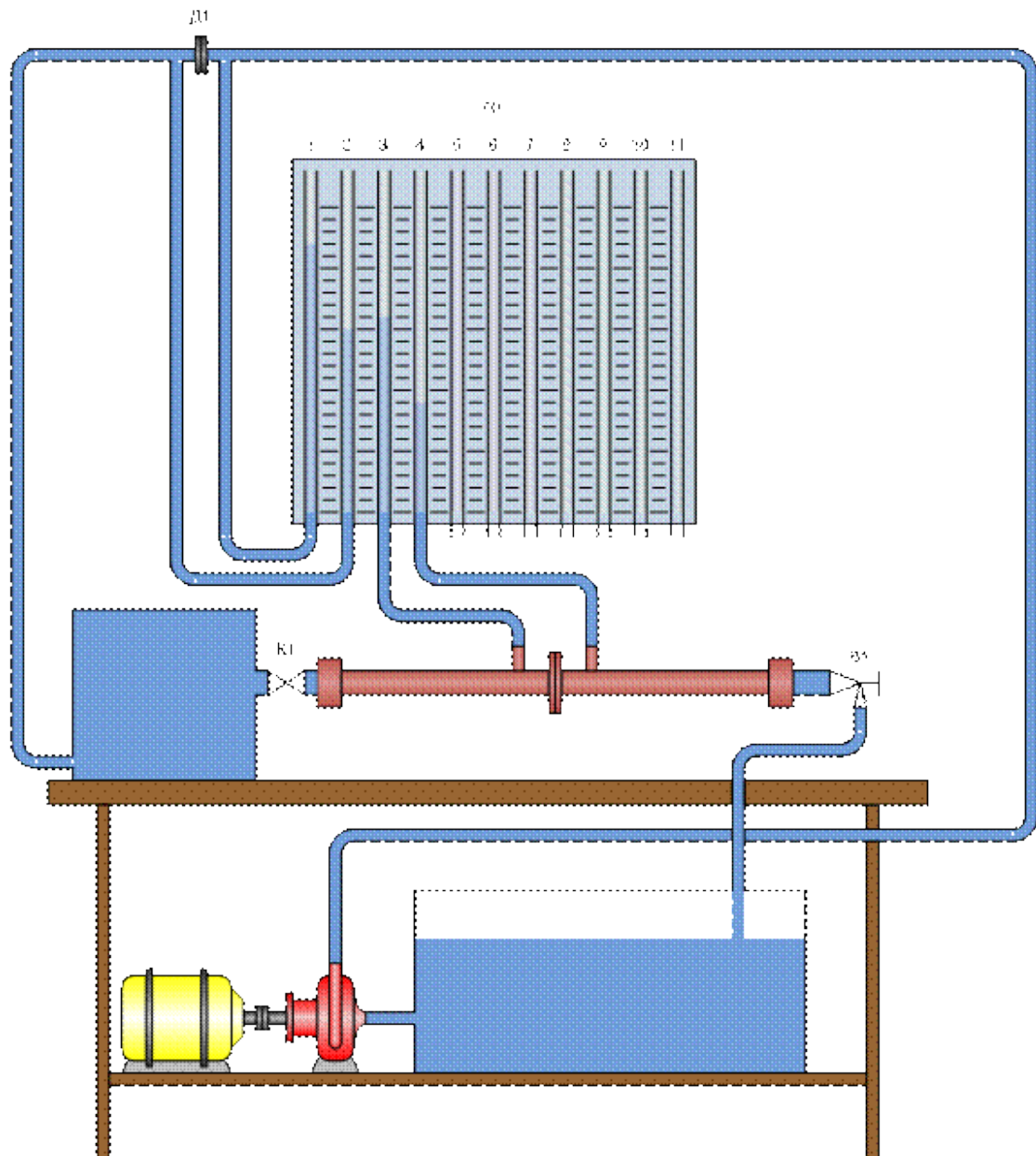


Рис. 2.2. Схема лабораторного стенда

2.1.1. Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментов используется модуль «потери напора на внезапное сужение» (рис. 2.3).

Измерение расходов производится с помощью расходомерной диафрагмы. Для измерения давлений до и после местного сопротивления служат пьезометры.

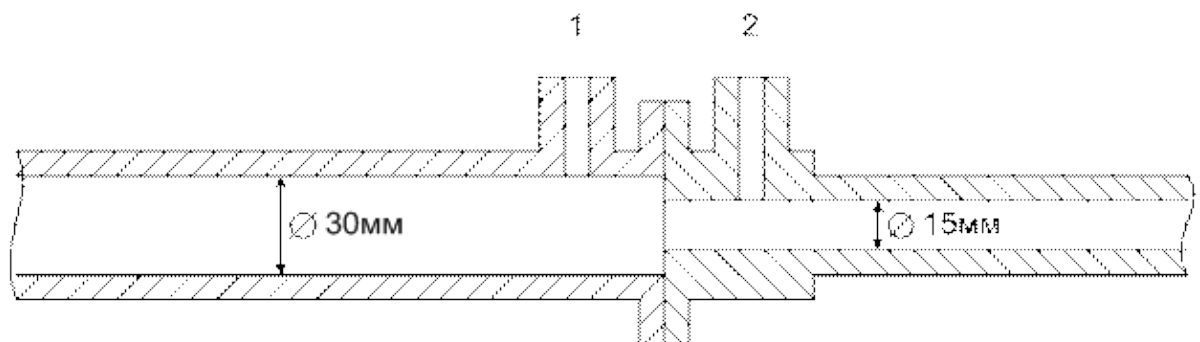


Рис. 2.3. Схема модуля «потери напора на внезапное сужение»

2.2. Порядок проведения лабораторной работы в действительности

1. Извлечь из ящика и установить модуль №2 «Потери напора на внезапное сужение» (кран К1 закрыт, насос выключен) – рис. 2.2.
2. Включить насос, открыть кран К1.
3. Открыть регулирующий вентиль В1, дождаться стабилизации показаний пьезометров.
4. Показания пьезометров занести в таблицу 2.1.
5. Изменить расход с помощью регулирующего вентиля В1 и повторить измерения 3–4 раза.
6. Закрыть кран К1, выключить насос, убрать модуль.
7. Повторить пп 1–6 с модулем №3 «Потери напора на внезапное расширение».

2.2.1. Обработка экспериментальных данных

1. Определить расход Q по перепаду напора на расходомерной диафрагме $H = h_1 - h_2$ (рис. 2.4).
2. Найти по формуле Пуазейля кинематическую вязкость воды

$$\nu = 0,0178 / (1 + 0,6337 + 0,000221 * t^2) \text{ , Ст} \quad (2.3)$$

где t – температура воды в градусах Цельсия.

3. Определить среднюю скорость в требуемых сечениях и скоростные напоры, при $a_1 = a_2 = 1$.

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} \text{ , Ст} \quad (2.4)$$

4. Определить полные напоры в требуемых сечениях местного сопротивления и потери напора на нем: $h_n = e_3 - e_4$.

5. Вычислить коэффициент местного сопротивления $\zeta_{оп} = 2gH_n/V^2$.

2.2.2. Результаты измерений и вычислений

Таблица 2.1

$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}; V = \dots \text{ м}^3/\text{с}; g = 9,81 \text{ м/с}^2$							
№ п/п	h_1	h_2	h_3	h_4	Q	V_3	V_4
	м	м	м	м	м ³ /с	м/с	м/с
1							
2							
...							

Продолжение таблицы 2.1

$\frac{V_3^2}{2g}$	$\frac{V_4^2}{2g}$	e_3	e_4	h_n	$\zeta_{оп}$
м	м	м	м	м	—

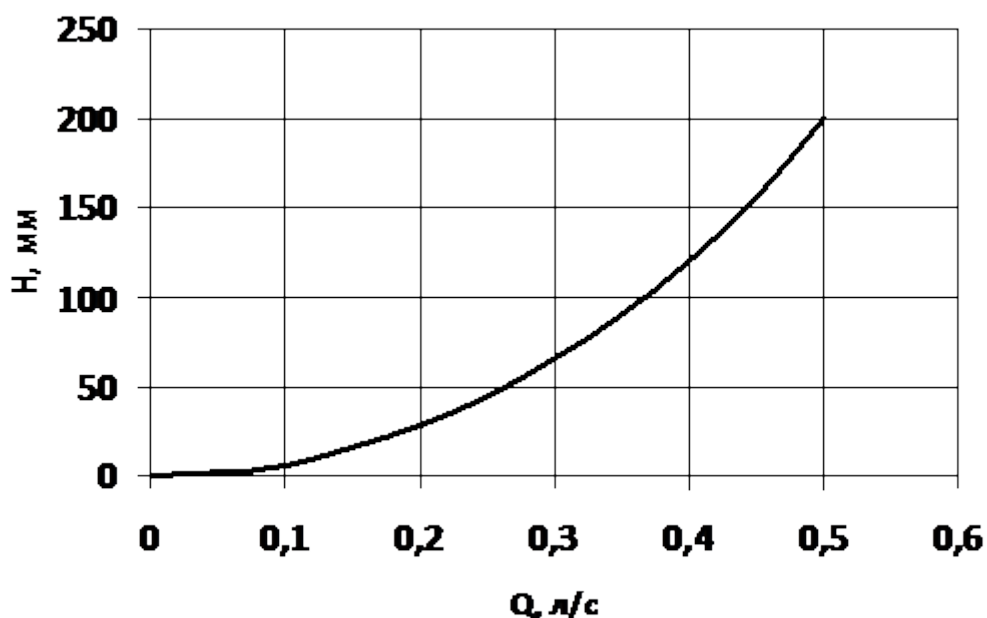


Рис. 2.4. Зависимость расхода от перепада давления на расходомерной диафрагме

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Оборудование в лабораторной работе

Стенд состоит из двух секций.

В состав нижней секции входит двухтумбовый стол с установленным на нем поддоном, двумя кронштейнами для установки исследуемых модулей, ящиком для хранения модулей. Внутри нижней секции стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

В состав верхней секции входят:

- Панель с вертикальными пьезометрами П1 (рис. 2.1) для измерения давления в поперечных сечениях изучаемых модулей (при нажатии на любой из пьезометров появится увеличенный вид всей панели), шкалы пьезометров - от 0 до 0,8 м;
- Расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;

- Вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.
- Кран К1 (шаровой) имеет 2 положения: открыто и закрыто.

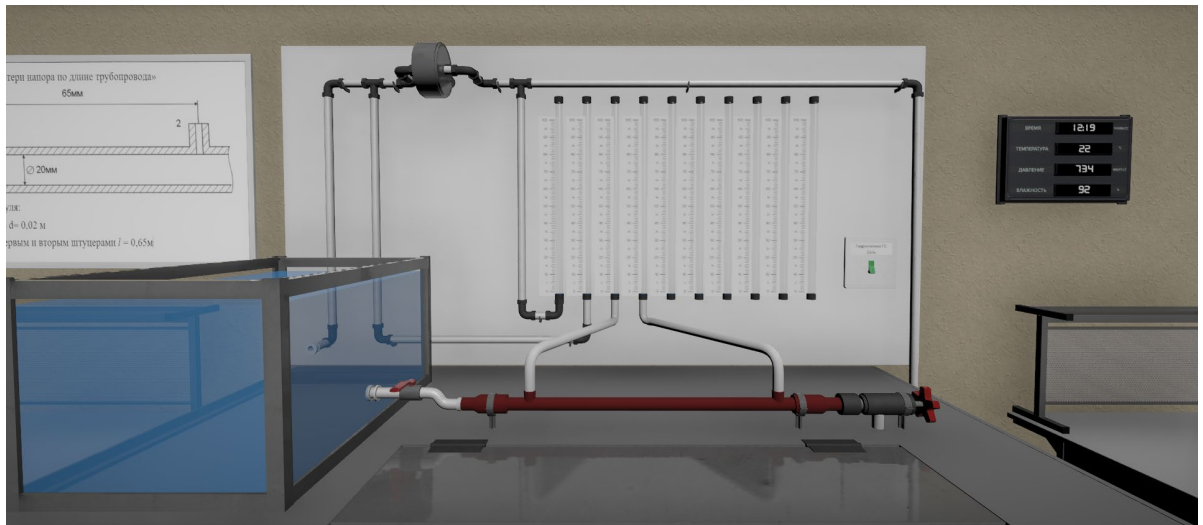


Рис. 3.1. Испытательный стенд

В стартовом положении насос выключен, кран К1 закрыт, регулирующий вентиль В1 полностью закрыт, все пьезометры показывают 0.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Порядок действий (рекомендованный)

Произведите необходимые действия и вычисления согласно подразделу 2.2.

5. ОТЧЕТ

5.1. Форма отчета

1. ФИО студента, группа.
2. Расчетные и экспериментальные данные по ходу эксперимента.
3. Выводы по степени совпадения расчетных и экспериментальных данных.

Работу сдал « ____ » _____ 201_г.

Работу принял « ____ » _____ 201_г.

8. Потери напора при внезапном расширении трубы

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы - определение опытным путем величины коэффициентов местных сопротивлений (ξ) в напорном трубопроводе

Задача - сравнить полученные значения с данными, приведенными в справочниках.

2. ТЕОРИЯ

При движении жидкости по трубопроводу часть энергии (напора) теряется на преодоление гидравлических сопротивлений, вызванных установкой трубопроводной арматуры (внезапное сужение, внезапное расширение, тройник, крестовина, колено, кран, вентиль, задвижка, диафрагма и т.д.). Эти гидравлические сопротивления называются местными, а потери энергии на них местными потерями.

Особенностью местных сопротивлений является наличие при турбулентном режиме вихревых зон (рис. 2.1) и деформации эпюры скоростей.

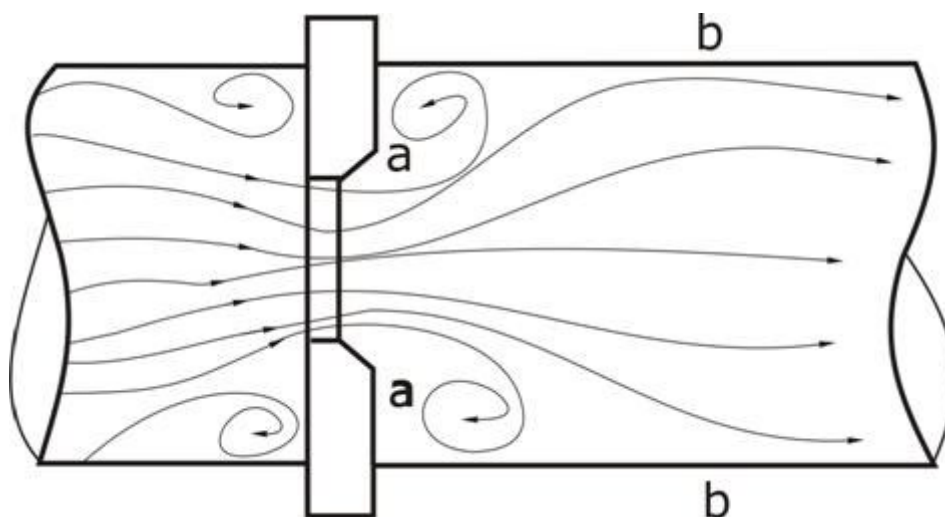


Рис. 2.1. Кинематическая структура потока в зоне местного сопротивления диафрагмы

Транзитный поток отделен от вихревой зоны осредненной во времени и пространстве поверхностью раздела **ab**. Транзитная струя в области вихревой зоны неустойчива. Поэтому поверхность раздела **ab** является зоной интенсивного вихреобразования и перехода механической энергии в тепловую. В виду большой сложности явлений, происходящих в жидкости, протекающей через местное сопротивление, только в отдельных случаях коэффициент ξ может быть найден теоретически. В преобладающем большинстве случаев ξ определяется опытным путем. Исследования, проведенные учеными, показали, что зависимость коэффициента ξ от **Re** наблюдается при ламинарном режиме движения жидкости. В турбулентном потоке влияние числа **Re** на коэффициент ξ весьма

незначительно. При практических расчетах в области турбулентного режима движения этот коэффициент зависит только от вида и конструктивного выполнения местного сопротивления.

При экспериментальных исследованиях потери энергии (напора) определяются из уравнения Бернулли при условии $h_H \neq 0$; $h_1=0$.

$$h_H = e_1 - e_2 = \left(z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{a_1 - V_1^2}{2g} \right) - \left(z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{a_2 - V_2^2}{2g} \right), \quad (2.1)$$

где $e_1 = z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{a_1 - V_1^2}{2g}$ – полная удельная энергия потока перед местным сопротивлением;

$e_2 = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{a_2 - V_2^2}{2g}$ – полная удельная энергия потока после местного сопротивления.

Величина коэффициента местного сопротивления определяется по формуле

$$\xi_H = \frac{h_H - 2g}{V_2^2} \quad (2.2)$$

2.1. Описание лабораторного стенда

Стенд (рис. 2.2) состоит из двух секций. В состав нижней секции входит двухтумбовый стол с установленным на нем поддоном, двумя кронштейнами для установки исследуемых модулей, ящиком для хранения модулей. Внутри нижней секции стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

В состав верхней секции входят:

- Панель с вертикальными пьезометрами П1 для измерения давления в поперечных сечениях изучаемых модулей;
- Расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;
- Вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.

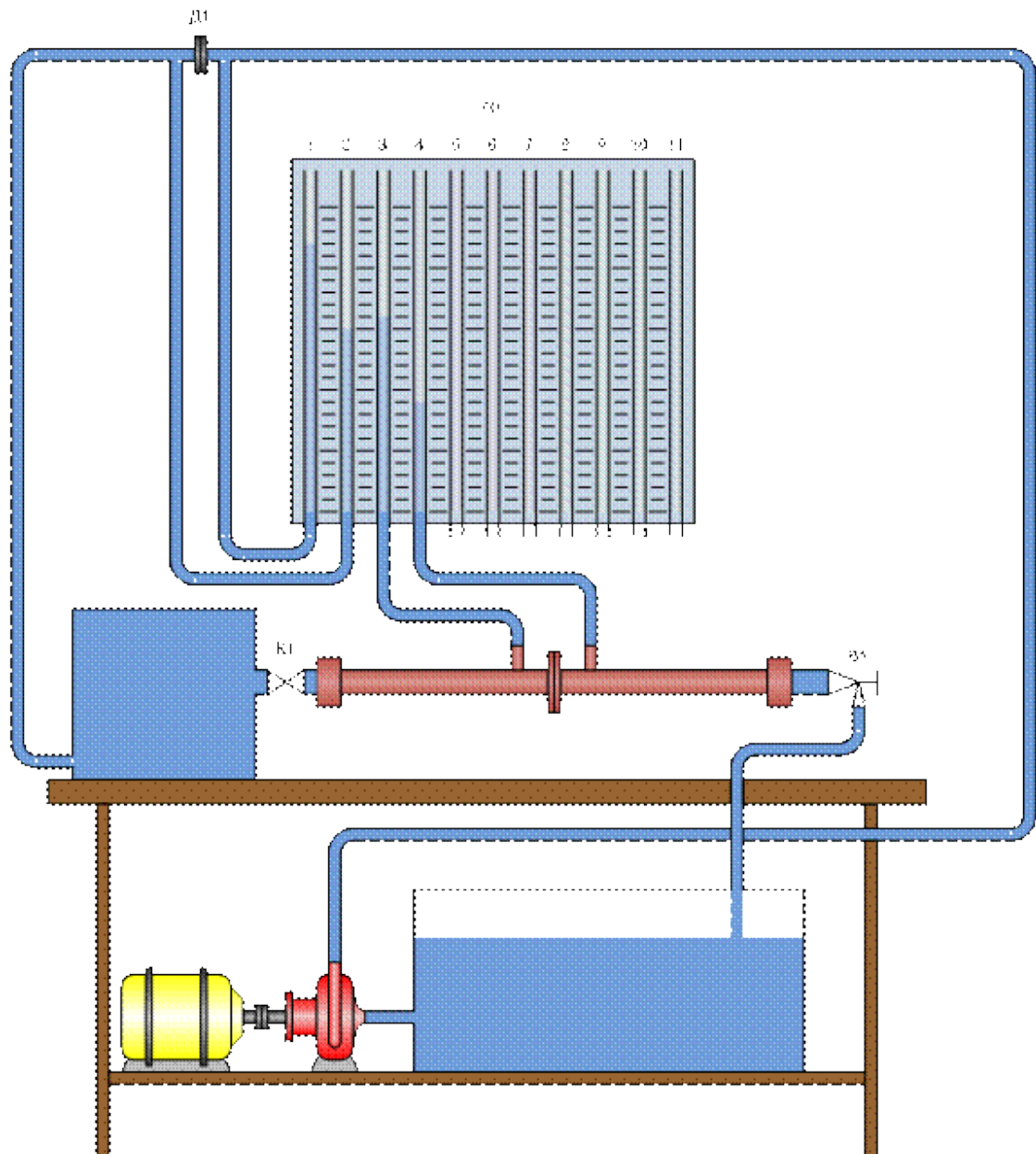


Рис. 2.2. Схема лабораторного стенда

2.1.1. Описание экспериментальной установки

Для проведения экспериментов используется модуль «потери напора на внезапное расширение» (рис. 2.3).

Измерение расходов производится с помощью расходомерной диафрагмы. Для измерения давлений до и после местного сопротивления служат пьезометры.

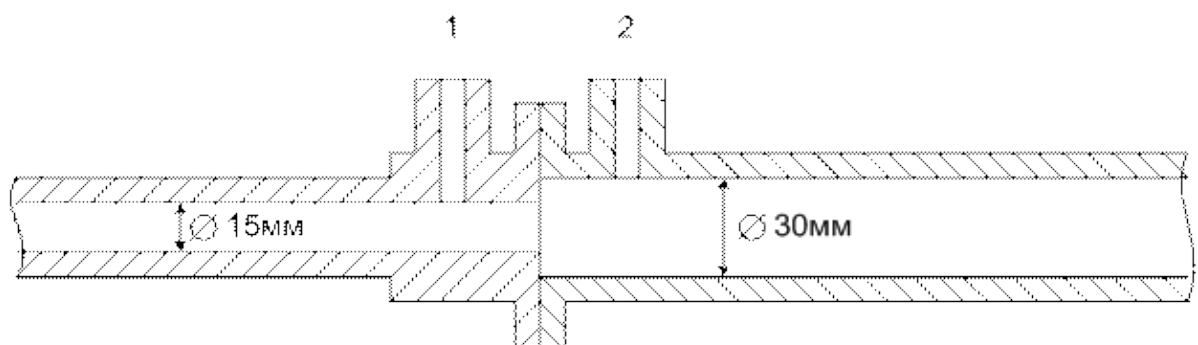


Рис. 3. Схема модуля «потери напора на внезапное расширение»

2.2. Порядок проведения лабораторной работы в действительности

1. Извлечь из ящика и установить модуль №2 «Потери напора на внезапное сужение» (кран К1 закрыт, насос выключен) – рис. 2.2.
2. Включить насос, открыть кран К1.
3. Открыть регулирующий вентиль В1, дождаться стабилизации показаний пьезометров.
4. Показания пьезометров занести в таблицу 2.1.
5. Изменить расход с помощью регулирующего вентиля В1 и повторить измерения 3–4 раза.
6. Закрыть кран К1, выключить насос, убрать модуль.
7. Повторить пп 1–6 с модулем №3 «Потери напора на внезапное расширение».

2.2.1. Обработка экспериментальных данных

1. Определить расход Q по перепаду напора на расходомерной диафрагме $H = h_1 - h_2$ (рис. 2.4).
2. Найти по формуле Пуазейля кинематическую вязкость воды

$$\nu = 0,0178 / (1 + 0,6337 + 0,000221 - t^2), \text{Ст} \quad (2.3)$$

где t – температура воды в градусах Цельсия.

3. Определить среднюю скорость в требуемых сечениях и скоростные напоры, при $a_1 = a_2 = 1$.

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2}, \text{Ст} \quad (2.4)$$

4. Определить полные напоры в требуемых сечениях местного сопротивления и потери напора на нем: $h_H = e_3 - e_4$.

5. Вычислить коэффициент местного сопротивления $\xi_{OH} = 2gh_H/V^2$.

2.2.2. Результаты измерений и вычислений

Таблица 2.1

$t = 20 \text{ }^\circ\text{C}; \nu = \dots \text{ м}^2/\text{с}; g = 9,81 \text{ м}/\text{с}^2$							
№ п/п	h_1	h_2	h_3	h_4	Q	V_3	V_4
	м	м	м	м	м ³ /с	м/с	м/с
1							
2							
...							

Продолжение таблицы 2.1

$\frac{V_3^2}{2g}$	$\frac{V_4^2}{2g}$	e_3	e_4	h_n	$\xi_{он}$
М	М	М	М	М	—

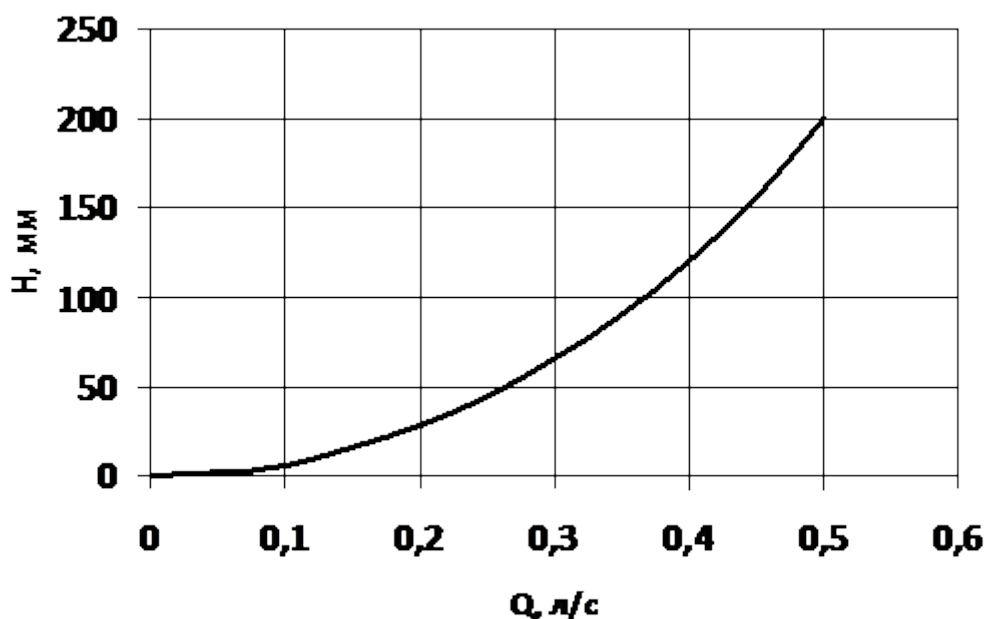


Рис. 2.4. Зависимость расхода от перепада давления на расходомерной диафрагме

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Оборудование в лабораторной работе

Стенд состоит из двух секций.

В состав нижней секции входит двухтумбовый стол с установленным на нем поддоном, двумя кронштейнами для установки исследуемых модулей, ящиком для хранения модулей. Внутри нижней секции стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

В состав верхней секции входят:

- панель с вертикальными пьезометрами П1 (рис. 2.1) для измерения давления в поперечных сечениях изучаемых модулей (при нажатии на любой из пьезометров появится увеличенный вид всей панели), шкалы пьезометров - от 0 до 0,8 м;
- расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;

- вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.
- кран К1 (шаровой) имеет 2 положения: открыто и закрыто.

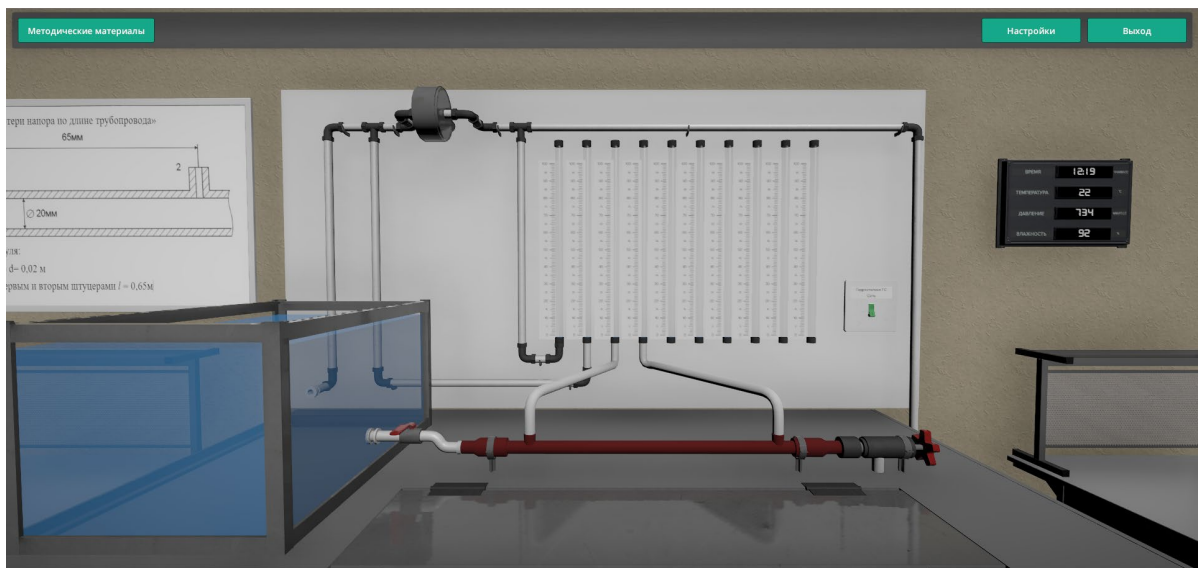


Рис. 3.1. Испытательный стенд

В стартовом положении насос выключен, кран К1 закрыт, регулирующий вентиль В1 полностью закрыт, все пьезометры показывают 0.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Порядок действий (рекомендованный)

Произведите необходимые действия и вычисления согласно подразделу 2.2.

5. ОТЧЕТ

5.1. Форма отчета

1. ФИО студента, группа.
2. Расчетные и экспериментальные данные по ходу эксперимента.
3. Выводы по степени совпадения расчетных и экспериментальных данных

Работу сдал « ____ » _____ 201_г.

Работу принял « ____ » _____ 201_г.

9. Потери напора по длине в круглой трубе

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – определение опытным путем коэффициента Дарси λ (коэффициент гидравлического сопротивления) для трубопровода при различных скоростях движения воды.

Задача - сравнить значения коэффициентов сопротивлений, полученные из опыта $\lambda_{\text{он}}$, с вычисленными по соответствующим формулам $\lambda_{\text{т}}$.

2. ТЕОРИЯ

При движении жидкости в трубах происходит потеря напора на преодоление сопротивлений движению (следствие работы сил трения).

Потери напора могут быть получены из уравнения Бернулли, где h_w – суммарные потери напора между выбранными сечениями, h_l – потери напора по длине, h_n – потери напора на местные сопротивления:

$$h_w = h_l + h_n$$

Для горизонтального трубопровода постоянного сечения, на котором отсутствуют местные сопротивления, уравнение примет вид

$$h_w = h_l = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (2.1)$$

Из выражения следует, что можно экспериментально определять потери напора по длине потока, измерив давления P_1 и P_2 .

Для вычисления потерь напора по длине при движении жидкости по трубам пользуются формулой Дарси-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l \cdot V^2}{d \cdot 2g}, \quad (2.2)$$

где λ – безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления трению;

d – внутренний диаметр трубопровода;

V – средняя скорость движения.

Коэффициент гидравлического трения λ в общем случае зависит от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости $\bar{\Delta}$, т.е.

$$\lambda = f(Re, \bar{\Delta}), \quad (2.3)$$

здесь $\bar{\Delta} = \frac{\Delta_{\text{э}}}{d}$, где $\Delta_{\text{э}}$ – эквивалентная шероховатость.

При ламинарном режиме движения жидкости ($Re < 2320$) λ зависит только от числа Re и определяется по формуле Стокса

$$\lambda = 64/Re, \quad (2.4)$$

При турбулентном режиме движения существуют три зоны, в которых законы сопротивления различны.

Первая зона называется зоной гидравлически гладких труб (или зона Блазиуса). Здесь λ зависит только от числа Re и определяется по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (2.5)$$

Эта формула применима для чисел $Re_{\phi 1} > Re > 2320$, где $Re_{\phi 1}$ - первое предельное число Рейнольдса, которое может быть определено по формуле

$$Re = \frac{10 * d}{\Delta_3} \quad (2.6)$$

Вторая зона – зона смешанного трения. Здесь λ зависит как от числа Re , так и от относительной шероховатости $\bar{\Delta}$. Для этой зоны можно пользоваться формулой Альштуля (или любой другой для данной зоны)

$$\lambda = 0,11 * \left(\frac{68}{Re} + \bar{\Delta} \right)^{0,25} \quad (2.7)$$

Эта формула применима для чисел: $Re_{\phi 1} < Re < Re_{\phi 2}$, где $Re_{\phi 2}$ - второе предельное число Re , которое может быть определено по формуле

$$Re = \frac{500 * d}{\Delta_3} \quad (2.8)$$

Третья зона – зона вполне шероховатых труб, когда $Re > Re_{\phi 2}$. Здесь λ зависит только от относительной шероховатости $\bar{\Delta}$ и определяется по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 * (\bar{\Delta})^{0,25} \quad (2.9)$$

2.1. Описание лабораторного стенда

Стенд состоит из двух секций. В нижней секции закреплен исследуемый участок напорного трубопровода (далее по тексту - модуль*). Внутри стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

*Для поставленной задачи исследования уже определен необходимый модуль, и его замена в рамках одного эксперимента исключается.

В состав верхней секции входят:

- панель с вертикальными пьезометрами П1 для измерения давления в сечении изучаемого модуля;
- расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;
- вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.

2.2. Порядок выполнения работы

1. Включить насос, открыть кран К1.
2. Дождаться стабилизации показаний пьезометров. Открыть регулирующий вентиль В1.
3. Показания пьезометров занести в таблицу 2.1.
4. Изменить расход с помощью регулирующего вентиля В1 и повторить измерения 8–10 раз.

2.2.1. Обработка экспериментальных данных

1. Определить расход Q по перепаду напора на расходомерной диафрагме $H = h_1 - h_2$ (рис. 2.2).
2. Определить среднюю скорость движения воды в трубопроводе:

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} \quad (2.10)$$

3. Найти по формуле Пуазейля кинематическую вязкость воды:

$$\nu = 0,0178 / (1 + 0,6337 * t + 0,000221 * t^2), \text{ Ст} \quad (2.11)$$

где t – температура воды в градусах Цельсия.

По известным значениям V и ν определить число Рейнольдса

$$Re = V * d / \nu \quad (2.12)$$

5. Определить потери напора по длине h_1 , используя показания пьезометров:

$$h_1 = h_3 - h_4 \quad (2.13)$$

6. Определить опытное значение коэффициента гидравлического трения из формулы (2.2):

$$\lambda_{оп} = \frac{h_1 - 2gd}{V^2 - L} \quad (2.14)$$

7. Определить расчетные значения коэффициента гидравлического трения $\lambda_{расч}$ по формулам (2.4–2.9) при $\Delta_s = 0,01$ мм и сравнить с опытными значениями $\lambda_{оп}$. Данные занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

d = 0,02 м		t = 20 ⁰ С		v = м ² /с
Опытные данные				
№ п/п	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄
	м	м	м	м
1				
2				
...				
8				

Продолжение таблицы 2.1

l = 0,65 м			g = 9,81 м/с²			Δ₃ = 0,01 мм		
Результаты обработки данных								
Q	V	h₁	λ _{оп}	lg(100- λ _{оп})	Re	lgRe	λ _{расч}	lg(100- λ _{расч})
м³/с	м/с	м	—	—		—	—	—

8. Построить график зависимости $(\lg 100\lambda)$ от $\lg Re$ (рис. 2.3).

9. Сделать выводы о проделанной работе, оценив степень совпадения расчетных и опытных значений коэффициентов Дарси по среднеквадратическому отклонению опытного коэффициента $\lambda_{оп}$ от рассчитанного по формулам $\lambda_{расч}$

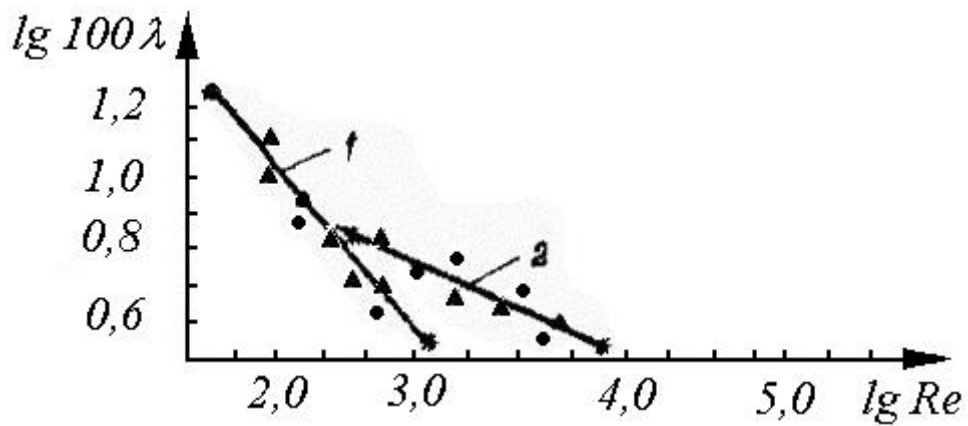


Рис. 2.3. Зависимость ($\lg 100\lambda$) от $\lg Re$

▲ – опытные точки, ● – расчетные точки;
1 – прямая Стокса, 2 – прямая Блазиуса

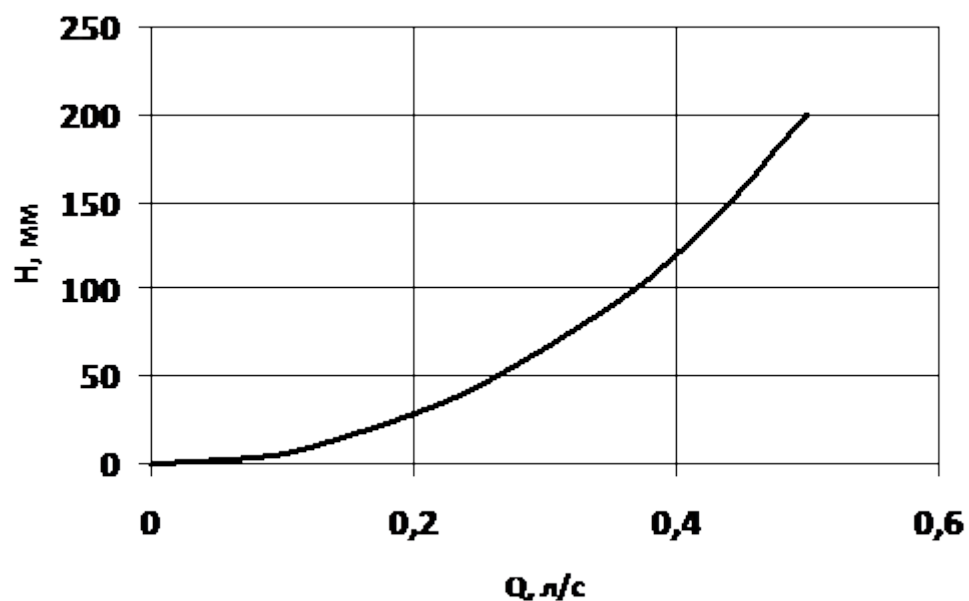


Рис. 2.4. Зависимость расхода от перепада давления на расходомерной диафрагме

3. ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Оборудование в лабораторной работе

Стенд состоит из двух секций.

Стенд состоит из двух секций. В нижней секции закреплен исследуемый участок напорного трубопровода (модуль). Внутри стенда находятся напорный и питательный баки, насосный агрегат, всасывающая и часть напорной магистрали, краны для регулирования расхода воды, органы управления электрической частью стенда.

В состав верхней секции входят:

- панель с вертикальными пьезометрами П1 для измерения давления в сечении изучаемого модуля, шкалы пьезометров - от 0 до 1,0 м;

- расходомерная диафрагма Д1 для измерения расхода жидкости, протекающей через модуль;
- вентиль В1 для регулирования расхода жидкости, протекающей через модуль.
- кран К1 (шаровой) имеет 2 положения: открыто и закрыто.

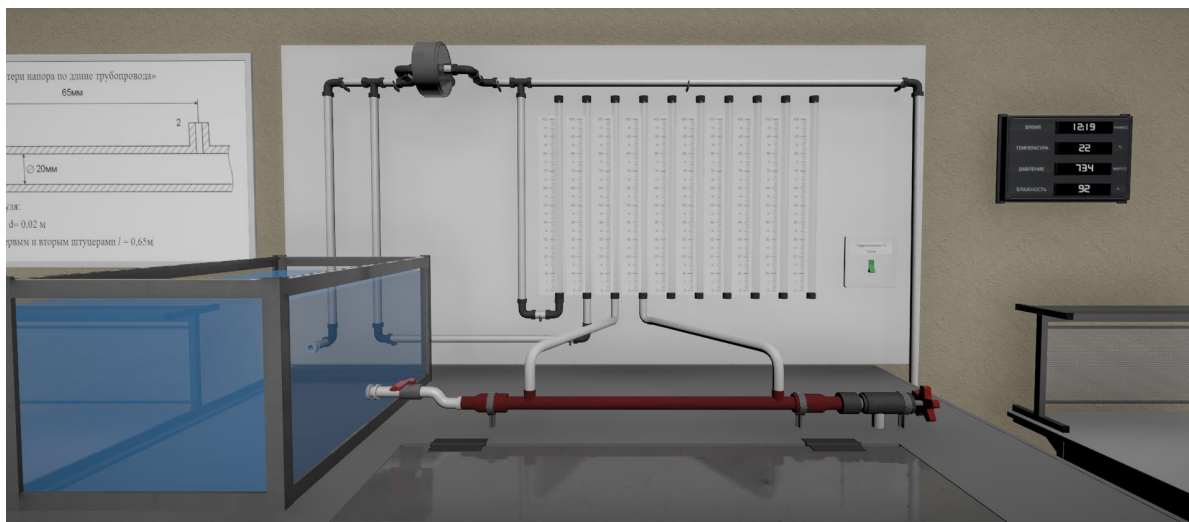


Рис. 3.1. Испытательный стенд

В стартовом положении насос выключен, кран К1 закрыт, регулирующий вентиль В1 полностью закрыт, все пьезометры показывают 0.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Порядок действий (рекомендованный)

Произведите необходимые действия и вычисления, постройте графики согласно подразделу 2.2.

5. ОТЧЕТ

5.1. Форма отчета

1. ФИО студента, группа.
2. Расчетные и экспериментальные данные по ходу эксперимента.
3. Выводы по степени совпадения расчетных и экспериментальных данных.

Работу сдал « ____ » _____ 201_ г.

Работу принял « ____ » _____ 201_ г.



PROGRAMLAB

121205, г.Москва, территория Сколково инновационного центра,
ул.Нобеля, д.7, эт.2 пом 51 раб.12 Тел. 8-800-550-89-72

E-mail: info@pl-llc.ru

PL-LLC.RU