

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

И.В. Дворовенко

А.Р. Богомолв

ПРИНЦИП СООБЩАЮЩИХСЯ СОСУДОВ

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине
«Механика жидкости и газа. Основы теплогазоснабжения и венти-
ляции» для студентов направления подготовки 08.03.01 Строи-
тельство всех форм обучения

Рекомендовано учебно-методической комиссией направления под-
готовки бакалавров 08.03.01 Строительство в качестве электронно-
го издания для выполнения лабораторной работы студентами всех
форм обучения

Кемерово 2019

Рецензент:

Темникова Е.Ю. – к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики

Дворовенко Игорь Викторович, Богомолова Александр Романович.
Принцип сообщающихся сосудов [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 Строительство всех форм обучения / И.В. Дворовенко, А.Р. Богомолов. – Кемерово: КузГТУ, 2019. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows XP ; (CD-ROM-диск); мыш. - Загл. с экрана.

Методические указания к выполнению лабораторной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Механика жидкости и газа. Основы теплогазоснабжения и вентиляции» и предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 08.03.01 Строительство всех форм обучения.

© КузГТУ
Дворовенко И.В.
Богомолов А.Р.

1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является закрепление учебного материала по разделу гидростатика.

Задачей исследования является определение отношения нивелирных высот различных несмешивающихся жидкостей, имеющих разную плотность:

1. для разных соотношений плотностей жидкостей;
2. при различных размерах сосудов, в которых находятся жидкости;
3. при различном начальном уровне одной из жидкостей.

Еще одной задачей является определение плотности неизвестной жидкости.

Лабораторная работа выполняется на компьютере. В ходе работы студенты выбирают различные жидкости, задают диаметры емкостей, устанавливают различные уровни жидкости, рассчитывают соотношение нивелирных высот для различных условий, строят графики зависимостей, оценивают применимость основного уравнения гидростатики и принципа сообщающихся сосудов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Согласно основному уравнению гидростатики сумма нивелирного и пьезометрического напора в покоящейся жидкости есть постоянная величина:

$$z + \frac{p}{\rho g} = const, \quad (1)$$

где z – высота расположения точки жидкости над произвольно выбранной плоскости сравнения 0-0 (нивелирная высота), м; p – давление в точке жидкости, Па; ρ – плотность жидкости, кг/м³; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $\frac{p}{\rho g}$ – пьезометрический напор в точке, измеряется в единицах столба жидкости, м.

Для двух любых сечений жидкости (рис. 1) можно записать:

$$z + \frac{p}{\rho g} = z_0 + \frac{p_0}{\rho g}, \quad (2)$$

где z_0 – нивелирная высота поверхности жидкости, м; p_0 – давление на поверхности жидкости (часто атмосферное давление), Па.

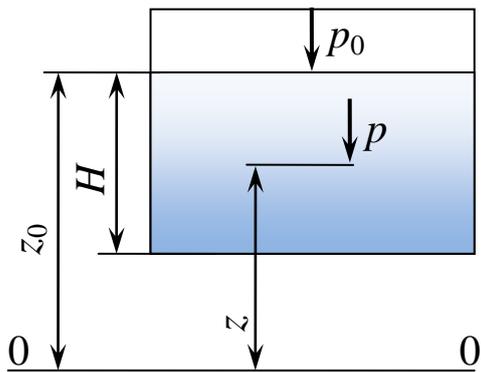


Рис. 1. Определение давления в точке объема жидкости

Используя уравнения (2) или (3) можно установить принцип сообщающихся сосудов, т.е. соединенных между собой, сосудов: в сообщающихся сосудах, находящихся под одинаковым внешним давлением, заполненным однородной жидкостью поверхности жидкости располагаются на одинаковой высоте, независимо от формы сосудов, их размеров и количества залитой жидкости.

Если сосуды заполнены различными несмешивающимися жидкостями, имеющими разные свойства (рис. 2), то основное уравнение гидростатики запишется в виде

$$z_{01}\rho_1g + p_0 = z_{02}\rho_2g + p_0, \quad (4)$$

откуда при равенстве давлений на поверхностях жидкости можно записать

$$\frac{z_{01}}{z_{02}} = \frac{\rho_2}{\rho_1}, \quad (5)$$

где z_{01} и z_{02} – нивелирные высоты первой и второй жидкостей над плоскостью сравнения, проведенной через границу раздела жидкостей 0-0, м; ρ_1 и ρ_2 – плотности первой и второй жидкостей, кг/м^3 .

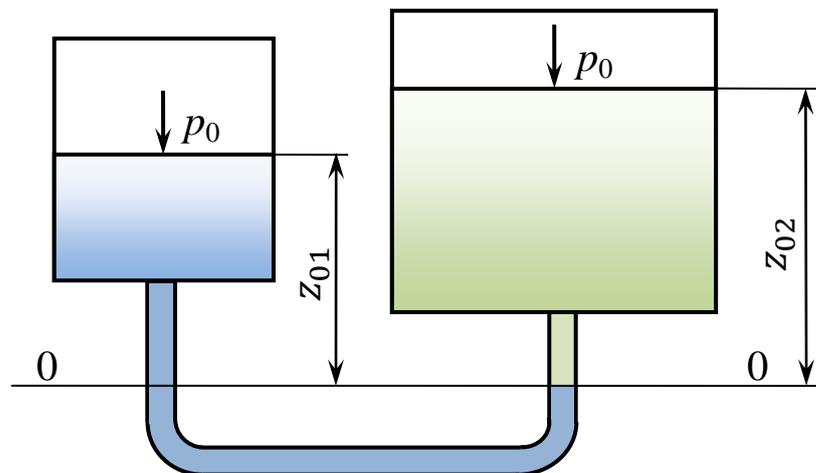


Рис. 2. Сообщающиеся сосуды с различными жидкостями

В сообщающихся сосудах высоты уровней поверхностей разнородных жидкостей над поверхностью их раздела обратно пропорциональны плотностям жидкостей.

В лабораторной работе используются жидкости, имеющие различную плотность. В дальнейшем по тексту методических указаний жидкость, имеющая бóльшую плотность обозначается как «тяжелая жидкость», а имеющая мéньшую плотность – «легкая жидкость».

3. ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

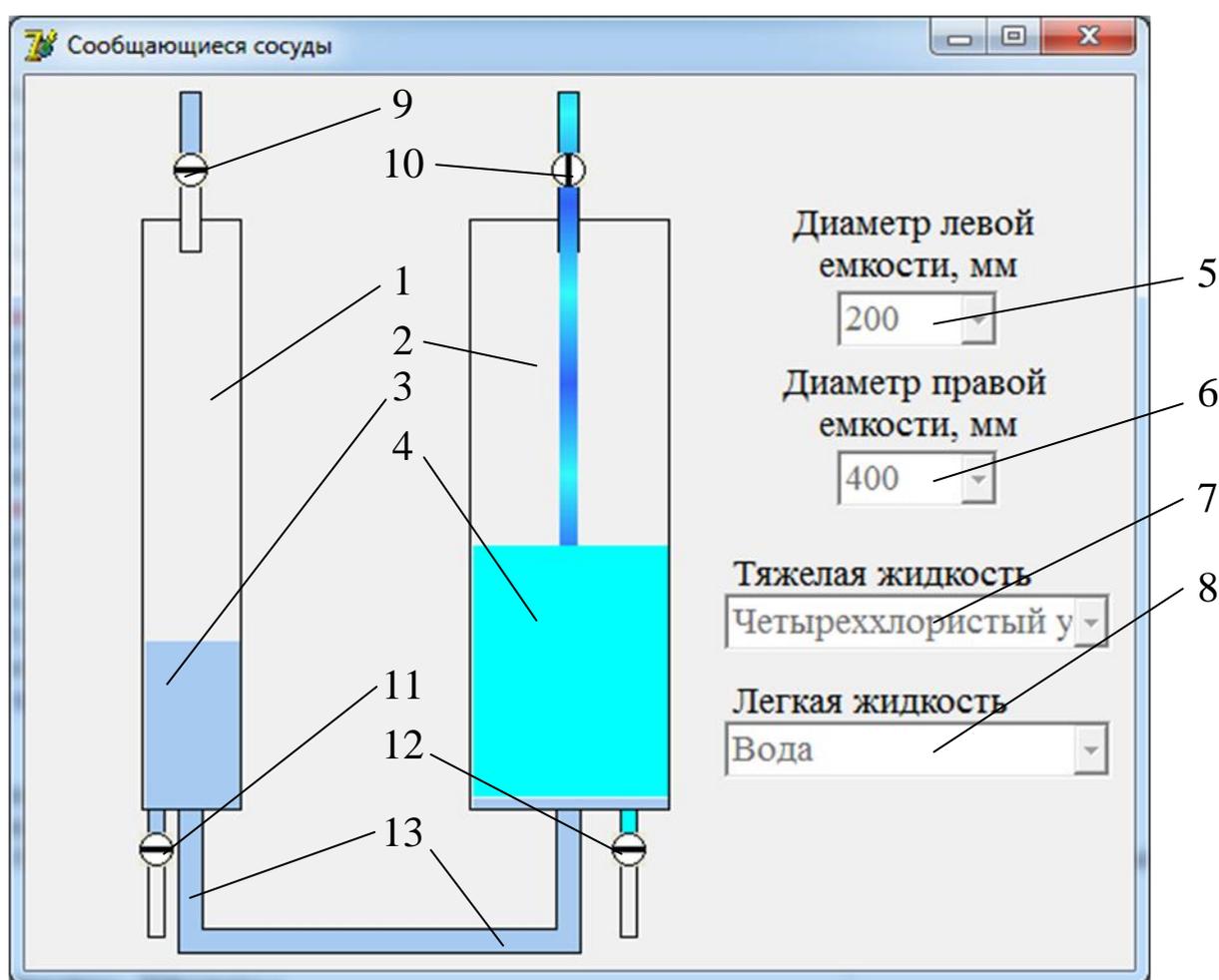


Рис. 3. Вид лабораторной установки:

- 1, 2 – емкости; 3 – тяжелая жидкость; 4 – легкая жидкость;
5, 6 – списки диаметров емкостей; 7 – список тяжелых жидкостей; 8 – список легких жидкостей; 9-12 – двухходовые краны;
13 – соединительные трубы

Лабораторная работа выполняется на компьютере. Виртуальная модель установки (рис. 3) состоит из двух цилиндрических емкостей 1 и 2 для наполнения жидкостями, списков диаметров емкостей 5 и 6, списков жидкостей 7 и 8 и кранов для наполнения емкостей жидкостями 9 и 10, и слива жидкости из емкостей 11 и 12. Для получения сообщающихся сосудов емкости соединены между собой трубами 13.

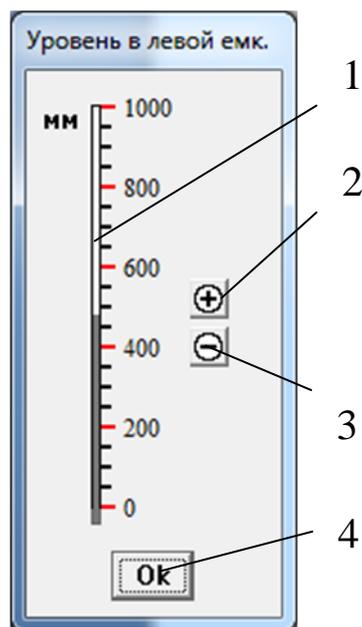


Рис. 4. Измерение уровня жидкости:

1 – шкала прибора; 2 – кнопка увеличения диапазона измерений; 3 – кнопка уменьшения диапазона измерений; 4 – кнопка выключения панели прибора

Измерение высоты жидкости в емкости осуществляется уронвемерами (рис. 4), которые показывают уровни тяжелой жидкости в левой и правой емкостях и легкой жидкости. Для измерения высоты поднятия тяжелой жидкости нужно щелкнуть мышкой в объеме емкости, свободном от жидкости, или по самой жидкости; для измерения высоты подняти легкой жидкости нужно щелкнуть по объему этой жидкости. Отсчет

высоты ведется от дна емкости и измеряется в миллиметрах. Кнопка "+" на панели уронвемера предназначена для увеличения диапазона измерений, кнопка "-" – для уменьшения диапазона измерений, кнопка "Ok" – для закрытия окна прибора.

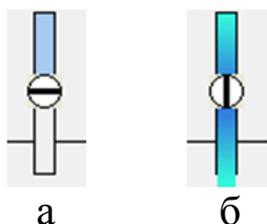


Рис. 5. Положения двухходового крана:

а – кран закрыт;
б – кран открыт

Для подачи тяжелой жидкости в емкость нужно открыть кран 9 (рис. 3). Для открытия крана нужно щелкнуть мышкой по крану, для закрытия крана еще раз щелкните по крану. Положения крана показаны на рис. 5. Подача легкой жидкости в правую емкость осуществляется аналогично краном 10. Для удаления тяжелой жидкости из емкостей используется кран 11, легкой – 12.

Отсчет высоты ведется от дна емкости и измеряется в миллиметрах. Кнопка "+" на панели уронвемера предназначена для увеличения диапазона измерений, кнопка "-" – для уменьшения диапазона измерений, кнопка "Ok" – для закрытия окна прибора.

При открытых кранах 9 или 10 краны 11 и 12 заблокированы, если открыты краны 11 или 12, то заблокированы все остальные. Если в сосуде находится какое-то количество легкой жидкости, кран 11 будет заблокирован.

При заполнении емкостей или при достижении нулевой отметки тяжелой жидкости в правой емкости краны закрываются автоматически.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Работу выполняют в следующей последовательности:

1. Преподаватель ставит задачу исследования.
2. Запускают приложение «*Сообщающиеся сосуды*». На экране компьютера появится окно программы, аналогичное рис. 2.
3. Выбирают несмешивающиеся жидкости: тяжелую из списка 7 (рис. 3), легкую из списка 8.
4. Задают диаметры левой и правой емкостей, выбирая значения из списков 5 и 6 соответственно.
5. Устанавливают начальный уровень тяжелой жидкости, добавляя жидкость в емкость при помощи крана 9 или удаляя жидкость из емкости при помощи крана 11.
6. Названия жидкостей, значения диаметров емкостей и начального уровня тяжелой жидкости записывают в таблицу «Журнал наблюдений» (табл. 2 приложения).
7. Наливают легкую жидкость и измеряют высоту тяжелой жидкости в левой и правой емкостях, легкой жидкости в правой емкости, данные заносят в таблицу «Журнал наблюдений». Для повышения точности измерений высоты жидкостей лучше измерять при выключенных кранах.
8. В зависимости от поставленной задачи изменяют параметры и проводят новые опыты, для этого повторяют пункты 3-7 нужное количество раз.
9. Выбирают пункт «Жидкость» в списке тяжелой или легкой жидкости, программа случайным образом определяет плотность неизвестной жидкости.
10. Наливают легкую жидкость и при трех различных уровнях легкой жидкости измеряют высоту тяжелой жидкости в левой и правой емкостях, легкой жидкости в правой емкости, данные заносят в таблицу «Журнал наблюдений».

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. По табл. 1 приложения определяют плотности изучаемых жидкостей, данные заносят в таблицу «Результаты расчетов» (табл. 3 приложения).
2. Определяют отношение плотностей жидкостей:

$$C_p = \frac{\rho_T}{\rho_L},$$

где ρ_L и ρ_T – плотность легкой и тяжелой жидкостей соответственно, кг/м^3 .

3. Определяют нивелирные высоты жидкостей z_L и z_T :

$$z_L = l_L - l_Z \text{ и } z_T = l_T - l_Z,$$

где z_L и z_T – нивелирные высоты легкой и тяжелой жидкостей относительно поверхности раздела жидкостей (рис. б), мм; l_L – уровень легкой жидкости в емкости, мм; l_T – уровень тяжелой жидкости в левой емкости, мм; l_Z – высота поверхности раздела жидкостей, отсчитанная от дна емкости (уровень тяжелой жидкости в правой емкости), мм.

4. Рассчитывают объем и массу легкой жидкости в емкости по

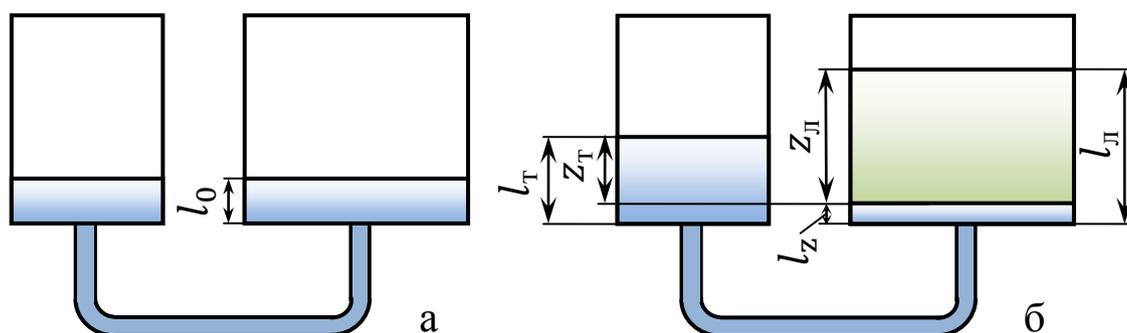


Рис. 6. К расчету нивелирных высот жидкостей в сообщающихся сосудах:

а – одна жидкость; б – две жидкости с разными плотностями уравнениям:

$$V_L = f z_L \text{ и } G_L = \rho_L V_L,$$

где V_L , G_L – объем в м^3 и масса в кг легкой жидкости; f – площадь поперечного сечения правой емкости, м^2 .

5. Определяют отношение нивелирных высот жидкостей:

$$C_z = \frac{z_L}{z_T}.$$

6. Вычисляют давление жидкостей на дно емкостей: левой:

$$p_{\text{лев}} = \rho_T g l_T, \text{ Па};$$

правой:

$$p_{\text{пр}} = \rho_{\text{л}}gz_{\text{л}} + \rho_{\text{т}}gl_{\text{з}}, \text{ Па.}$$

7. Строят графики зависимости отношения нивелирных высот от уровня жидкости, количества жидкости, диаметра сосуда или начального уровня жидкости согласно задаче исследования. На график наносят линию отношения плотностей жидкостей.
8. Рассчитывают плотность неизвестной жидкости по уравнению (5). Для этого определяют нивелирные высоты по уравнениям п.5.3 и по плотности известной жидкости и соотношению нивелирных высот вычисляют неизвестную плотность. Расчеты проводят для трех измеренных точек и полученные значения плотности усредняют.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

- а) титульный лист установленной формы;
- б) краткое изложение теоретических положений;
- в) таблицы «Журнал наблюдений» и «Результаты расчета»;
- г) графики зависимостей;
- д) анализ результатов работы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Запишите основное уравнение гидростатики.
2. Дайте определение принципа сообщающихся сосудов.
3. Запишите уравнение (5) для произвольной плоскости сравнения.
4. Запишите уравнение сообщающихся сосудов при различных давлениях над поверхностью жидкости.
5. Укажите способы использования принципа сообщающихся сосудов.
6. Как изменится уровень жидкости, если в сосуды добавить одинаковое количество одной и той же жидкости?
7. Как изменится уровень разнородных жидкостей в сосуде, если изменится температура жидкости?
8. В каком сосуде будет находиться поверхность раздела жидкостей при заполнении их разнородными жидкостями?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Название жидкости	Плотность, кг/м ³
Вода	1000
Дихлорэтан	1250
Четыреххлористый углерод	1600
Ртуть	13600
Бензин	750
Керосин	850
Мазут	900

Таблица 2

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

№ п/п	Жидкость		Диаметр емкости, мм		Начальный уровень тяжелой жидкости, мм	Высота тяжелой жидкости в емкости, мм		Высота легкой жидкости, мм
	тяжелая	легкая	левая	правая		левой	правой	

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

№ п/п	Плотность жидкости, кг/м ³		Соотношение плотностей	Нивелирная высота жидкости, м		Соотношение нивелирных высот	Объем легкой жидкости, м ³	Масса легкой жидкости, кг	Давление на дно емкости, кПа	
	тяжелой	легкой		тяжелой	легкой				левой	правой