

Калининградский государственный колледж градостроительства

Сборник задач по основам гидравлики

Дисциплина: Основы гидравлики и теплотехники

Специальность: 270111 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем
газоснабжения

Разработал преподаватель

Мозговой А. Ю. _____

2006 г.

Утверждаю
«__» 2006 г.
Заместитель директора
по учебной работе КГКГ
Ривкинд Т.Д. _____

Рассмотрено и согласовано
на заседании цикловой
комиссии инженерные
сооружения
Протокол №_____
«__» 2006 г.
Председатель
Русанова Е. Н. _____

Составлена в соответствии с
Государственными
требованиями к минимуму
содержания и уровню
подготовки выпускника по
специальности 270111
Монтаж и эксплуатация
оборудования и систем
газоснабжения и рабочей
программой учебной
дисциплины «Основы
гидравлики и теплотехники»,
утвержденной на заседании
методического совета КГКГ
24 октября 2005 г.

Сборник задач предназначен для студентов средних специальных учебных заведений специальности 270111 «Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения» и содержит в себе широкий и достаточный для освоения учебной дисциплины «Основы гидравлики и теплотехники» спектр задач по основам гидравлики.

Сборник задач поможет студентам специальности 270111 закрепить практические навыки и умения, приобретенные при изучении теоретических основ гидравлики.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Физические свойства жидкостей	5
2 Гидростатика	9
3 Гидродинамика	21
4 Истечение жидкостей из отверстий и через насадки	35
5 Насосы	42
Список используемых источников	46
Приложение А	47
Приложение Б	50
Приложение В	54
Приложение Г	61
Приложение Д	64
Приложение Е	67
Приложение Ж	68
Приложение И	69
Приложение К	70
Приложение Л	73
Приложение М	74

ВВЕДЕНИЕ

Сборник задач по основам гидравлики содержит в себе задачи, разбитые на следующие тематические разделы:

- Физические свойства жидкостей;
- Гидростатика;
- Гидродинамика;
- Истечение жидкостей из отверстий и через насадки;
- Насосы, -

наиболее полно охватывающие курс основ гидравлики, входящий в состав учебной дисциплины «Основы гидравлики и теплотехники» для изучения студентами специальности 270111 «Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения».

Задачи, приведенные в данном сборнике, размещены в логической последовательности, по которой уровень сложности последующей задачи превышает уровень сложности предыдущей, а также полностью или частично решение последующей задачи базируется на выводах и результатах, полученных при решении предыдущей задачи. Благодаря этому упрочняется последовательность и поэтапность в изучении соответствующего теоретического материала.

В каждом из разделов приводятся образцы решения типовых задач, в которых наиболее полно отражены операции, наиболее часто выполняемые при решении задач подобного рода и относящихся к данному тематическому разделу. Формулы, приводящиеся в задаче-образце для удобства пользования сборником, имеют сквозную нумерацию и снабжены подробными пояснениями и комментариями.

Задачи, являющиеся производными от образца, а также в которых изменен характер вводных данных, или повышенного уровня сложности образцов для решения не имеют.

Задачи составлены таким образом, чтобы после их аудиторного или самостоятельного рассмотрения можно было составить производные на их основе задания, меняя характер вводных данных или лишь их значение. С этой же целью образцы решения типовых задач имеют данные для самостоятельного решения рассмотренной задачи каждым студентом (приведены в приложениях), а для разбора студентом ошибок в решении данного рода задач и более полного усвоения практического материала количество вариантов для самостоятельного решения увеличено до 36.

Для решения ряда задач необходимо использовать формулы, полученные при решении задач-образцов в предыдущих разделах сборника. Такие задачи следует считать комбинированными и имеющими повышенный уровень сложности.

Каждая из приведенных в сборнике задач имеет готовый ответ, что поможет студенту осуществить самоконтроль при решении заданий.

В приложениях сборника приведены справочные данные, способные помочь студенту при решении задач. Кроме того, задачи снабжены необходимыми комментариями и пояснительными рисунками.

I ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ

1.1 Определить плотность жидкости, если известно, что жидкость занимает объем $V = 150$ л, при этом масса жидкости $m = 122$ кг.

Решение:

Плотность жидкости вычисляют по формуле, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\rho = m / V \quad (1.1)$$

где m – масса жидкости, кг;
 V – объем жидкости, м^3 .

$$\rho = 122 / 0,15 = 813,3 \text{ кг}/\text{м}^3$$

Ответ: плотность жидкости составляет $813,3 \text{ кг}/\text{м}^3$.

1.2 Вычислить плотность жидкости и ее удельный объем, если жидкость находится в емкости массой $m_{\text{емк}} = 5,5$ кг. Масса заполненной жидкостью емкости $m_{\text{общ}}$ равна 18,9 кг, а ее объем $V = 15$ л.

Решение:

Масса емкости с жидкостью определяется:

$$m_{\text{общ}} = m_{\text{емк}} + m_{\text{ж}} \quad (1.2)$$

где $m_{\text{емк}}$ – масса пустой емкости, кг;
 $m_{\text{ж}}$ – масса жидкости, кг.

Тогда масса жидкости, находящейся в емкости, составит:

$$m_{\text{ж}} = m_{\text{общ}} - m_{\text{емк}} \quad (1.3)$$

При этом плотность жидкости будет равна:

$$\rho = (m_{\text{общ}} - m_{\text{емк}}) / V \quad (1.4)$$

$$\rho = (18,9 - 5,5) / 0,015 = 893,3 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

Удельный объем жидкости, $\text{м}^3/\text{кг}$:

$$v = 1 / \rho \quad (1.5)$$

$$v = 1 / 893,3 = 0,00111 \text{ м}^3/\text{кг} (1,11 \text{ л}/\text{кг}).$$

Ответ: плотность жидкости равна $893,3 \text{ кг}/\text{м}^3$; удельный объем жидкости равен $0,00111 \text{ м}^3/\text{кг}$.

1.3 Определить объем, занимаемый $m = 15000$ кг нефти, если плотность нефти $\rho = 830$ кг/м³.

Решение:

Объем жидкости находят по формуле, м³:

$$V = m / \rho \quad (1.6)$$

$$V = 15000 / 830 = 18,07 \text{ м}^3$$

Ответ: 18,07 м³

1.4 Вычислить массу нефти в цистерне, если к $V_1 = 7$ м³ нефти с плотностью $\rho_1 = 820$ кг/м³ добавлено $V_2 = 2,6$ м³ нефти с плотностью $\rho_2 = 795$ кг/м³. Определить, как и на сколько изменится плотность и объем нефти после повышения ее температуры с 15 °C до $t_k = 35$ °C (коэффициент температурного расширения нефти принять равным $\beta_t = 0,00072$ 1/K).

Решение:

Масса смеси определяется, кг:

$$M = V_1 * \rho_1 + V_2 * \rho_2 \quad (1.7)$$

где V_1 и V_2 – объем нефти, имевшейся в цистерне изначально и добавленной позже соответственно, м³;

ρ_1 и ρ_2 – плотность нефти, имевшейся в цистерне изначально и добавленной позже соответственно, кг/м³

Произведения объема жидкости на ее плотность с индексами «1» и «2» обозначают соответственно массу нефти, находившуюся в цистерне изначально, и массу, добавленную в цистерну позже.

$$M = 7 * 820 + 2,6 * 795 = 7807 \text{ кг.}$$

По формуле Д.И. Менделеева плотность нефти вычисляют, кг/м³:

$$\rho_k = \rho_n / (1 + \beta_t * (t_k - t_n)) \quad (1.8)$$

где ρ_n – плотность жидкости до перепада температуры, кг/м³;

t_n и t_k – температура жидкости до и после температурного перепада, °C

Плотность смеси здесь можно определить по формуле, кг/м³:

$$\rho_n = M / (V_1 + V_2) \quad (1.9)$$

$$\rho_n = 7807 / (7 + 2,6) = 813,2 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_k = 813,2 / (1 + 0,00072 * (35 - 15)) = 801,7 \text{ кг/м}^3.$$

Изменение плотности нефти составляет:

$$\Delta p = \rho_h - \rho_k \quad (1.10)$$

$$\Delta p = 813,2 - 801,7 = 11,5 \text{ кг/м}^3 \text{ (плотность уменьшится).}$$

Изменение объема нефти составляет:

$$\Delta V = (V_1 + V_2) - M / \rho_k \quad (1.11)$$

$$\Delta V = (7 + 2,6) - 7807 / 801,7 = 0,138 \text{ м}^3 \text{ (объем нефти увеличится).}$$

Ответ: масса нефти в цистерне составляет 7807 кг; плотность нефти уменьшится на 11,5 кг/м³; объем нефти увеличится на 0,138 м³.

1.5 Вычислить массу керосина плотностью 820 кг/м³, занимающего 90% объема десятилитровой канистры.

Ответ: 7,38 кг.

1.6 Определить коэффициент объемного сжатия и модуль объемной упругости воды, если известно, что при повышении давления в жидкости с 101 кПа до 102 кПа ее объем, равный 10 м³, уменьшается на 4,75*10⁻⁶ м³.

Решение:

Коэффициент объемного сжатия воды найдем по формуле, 1/Па:

$$\beta_v = -\Delta V / (V * \Delta p) \quad (1.12)$$

где ΔV – изменение объема жидкости, м³, знак «-» отражает закономерность, при которой отрицательная по знаку разность Δp соответствует положительному значению коэффициента объемного сжатия;

V – первоначальный объем жидкости, м³;

Δp – перепад давлений в жидкости, Па, определяется как разность давления в жидкости до и после ее сжатия (в нашем случае $\Delta p = 101 - 102 = -1$ кПа)

$$\beta_v = -4,75 * 10^{-6} / (10 * (-1000)) = 4,75 * 10^{-10} \text{ 1/Па.}$$

Модуль объемной упругости воды вычисляют по формуле, Па:

$$K = 1 / \beta_v \quad (1.13)$$

$$K = 1 / 4,75 * 10^{-10} = 2,11 * 10^9 \text{ Па.}$$

Ответ: коэффициент объемного сжатия воды равен $4,75 * 10^{-10}$ 1/Па; модуль объемной упругости воды составляет $2,11 * 10^9$ Па.

1.7 После сжатия воды в цилиндре под поршнем давление в ней увеличилось на 3 кПа. Необходимо определить конечный объем воды в цилиндре, если ее первоначальный объем составлял 2,55 л (все необходимые для расчетов данные взять из предыдущей задачи).

Ответ: 2,54999 л.

1.8 Вычислить кинематическую вязкость воды при 20 °C, если значение динамической вязкости составляет $1,02 \cdot 10^{-3}$ Па·с (плотность воды при данной температуре принять равной 998 кг/м³). Чему будет равна вязкость воды после повышения ее температуры на $\Delta t = 2$ °C?

Решение:

Кинематическая вязкость воды определяется по формуле, м²/с:

$$\nu = \mu / \rho \quad (1.14)$$

$$\nu_{20} = 1,02 \cdot 10^{-3} / 998 = 1,022 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$$

Зависимость кинематической вязкости от температуры определяется по формуле Пуазейля:

$$\nu = 0,0178 / ((1 + 0,0337 \cdot t + 0,000221 \cdot t^2) \cdot 10^4) \quad (1.15)$$

$$\nu_{22} = 0,0178 / ((1 + 0,0337 \cdot 22 + 0,000221 \cdot 22^2) \cdot 10^4) = 0,963 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с.}$$

Ответ: кинематическая вязкость воды при 20 °C равна $1,022 \cdot 10^{-6}$; после повышения температуры воды вязкость жидкости станет равной $0,963 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

1.9 Как и на сколько изменится плотность керосина при нагреве его с температуры 20 °C до 40 °C? (Табличные данные см. приложения).

Ответ: уменьшится на 10 кг/м³.

1.10 После нагрева 10 кг нефти, первоначальная температура которой 20° ее объем увеличился с 13 л до 15 л. Определить конечную температуру жидкости (при условии, что коэффициент температурного расширения нефти равен 0,0006 1/K).

1.11 Определить объем, занимаемый 15 тоннами воды с температурой 10 °C. Как и на сколько изменится занимаемый водой объем после ее нагрева до 22 °C?

Ответ: 15,004 м³; увеличится на 34 л.

II ГИДРОСТАТИКА

2.1 В замкнутом сосуде абсолютное значение давления среды $p_{\text{абс.}}$ составляет 109,6 кПа, при этом установленный снаружи сосуда барометр показывает давление $p_{\text{бар.}} = 100,9$ кПа. Определить избыточное давление в сосуде.

Решение:

Абсолютное значение давления в сосуде является суммой значений барометрического (атмосферного) давления снаружи сосуда и избыточного (манометрического) давления среды внутри сосуда:

$$p_{\text{абс.}} = p_{\text{бар.}} + p_{\text{изб}} \quad (2.1)$$

Тогда избыточное давление в сосуде определяется:

$$p_{\text{изб}} = p_{\text{абс.}} - p_{\text{бар}} \quad (2.2)$$

$$p_{\text{изб}} = 109,6 - 100,9 = 8,7 \text{ кПа.}$$

Ответ: избыточное давление в сосуде составляет 8,7 кПа.

2.2 В вертикально расположенному сосуде находится масло. Высота столба жидкости $h = 4,33$ м. Определить гидростатический напор, оказываемый маслом на дно сосуда, если плотность масла $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$. Чему равно абсолютное значение величины давления на дне сосуда, если барометрическое давление $p_{\text{бар.}}$ составляет 99,3 кПа?

Решение:

Гидростатический напор жидкости находят по формуле, Па:

$$p_{\text{г.н.}} = \rho * g * h \quad (2.3)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ;

g – величина ускорения свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ (для проведения проверки удобнее использовать единицу – Н/кг);

h – высота столба жидкости, м.

$$p_{\text{г.н.}} = 850 * 9,81 * 4,33 = 36105,7 \text{ Па (36,1 кПа).}$$

Абсолютное давление на дне сосуда равно:

$$p_{\text{абс.}} = p_{\text{бар.}} + p_{\text{г.н.}} \quad (2.4)$$

$$p_{\text{абс.}} = 99,3 + 36,1 = 135,4 \text{ кПа.}$$

Ответ: гидростатическое и абсолютное давление на дне сосуда равны соответственно 36,1 кПа и 135,4 кПа.

2.3 Гидростатический напор на дно заполненного водой при температуре 4 °C сосуда равен 104 кПа. Определить высоту столба жидкости в сосуде. Как и на какую величину изменится высота столба воды, если воду нагреть на 25 °C (коэффициент температурного расширения воды принять 0,00015 1/K)?

Ответ: 10,49 м; увеличится на 0,15 м.

2.4 Сосуд заполнен ртутью на высоту 1,6 м, сверху которой находится 5,6 м воды. Определить гидростатический напор на границе раздела «вода-ртуть» и на дне сосуда.

Ответ: на границе раздела «вода-ртуть» давление равно 54,94 кПа, а на дне сосуда – 267,62 кПа.

2.5 Сосуд, заполненный ртутью не на весь свой объем, соединен с пьезометром (см. рис. 2.1). Высота столба жидкости $h_{\text{г.н}}$ в сосуде над точкой А равна 0,65 м, а в пьезометре – $h_p = 2,3$ м. Определить давление над свободной поверхностью ртути в сосуде (температура ртути 20 °C), если барометрическое давление $p_{\text{бар}}$ составляет 101,3 кПа.

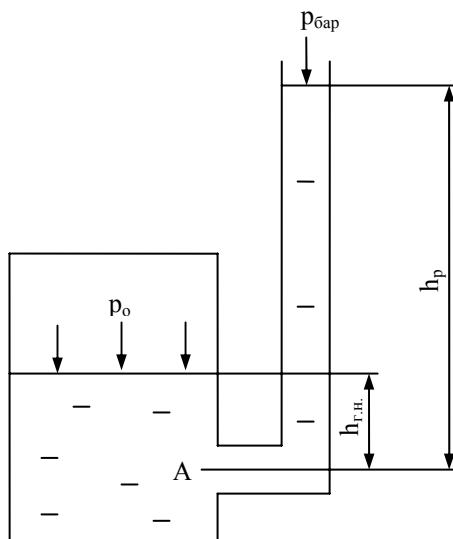


Рисунок 2.1 – Схема к задаче 2.5

Решение:

На основании основного уравнения гидростатики определяем давление на точку А со стороны жидкости в сосуде:

$$p_{\text{абс}} = p_0 + p_{\text{г.н.}} \quad (2.5)$$

и со стороны жидкости в пьезометре:

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{бар}} + p_p \quad (2.6)$$

Так как левые части уравнений 2.5 и 2.6 равны, следовательно равны и их правые части:

$$p_0 + p_{\text{г.н.}} = p_{\text{бар}} + p_p \quad (2.7)$$

Преобразуем полученное выражение в искомое:

$$p_0 = p_{\text{бар}} + p_p - p_{\text{г.н.}} \quad (2.8)$$

Так как значения давлений p_p и $p_{\text{изб}}$ неизвестны, то получим их из следующих формул:

$$p_p = \rho^* g^* h_p \quad (2.9)$$

$$p_{\text{г.н.}} = \rho^* g^* h_{\text{г.н.}} \quad (2.10)$$

Отсюда видно, что уравнение 2.8 можно упростить:

$$p_0 = p_{\text{бар}} + \rho^* g^* (h_p - h_{\text{г.н.}}) \quad (2.11)$$

Подставив в уравнение 2.11 данные, определяем давление над свободной поверхностью ртути, Па:

$$p_0 = 101300 + 13550 * 9,81 * (2,3 - 0,65) = 320627 \text{ Па.}$$

Ответ: давление в сосуде над свободной поверхностью равно 320,6 кПа.

2.6 Определить разрежение и вакуумметрическое давление в сосуде (см. рис. 2.1), используя данные задачи 2.4, с учетом того, что высота столба жидкости в сосуде равна 2,1 м, а в пьезометре – равна 1,95 м.

Примечание:

Учтя, что давление на свободную поверхность ртути в сосуде здесь следует называть разрежением, то вакуумметрическое давление (характерно тем, что его значение уменьшается от нуля – минимум – до величины барометрического давления – максимум) в сосуде будет равно разности значений барометрического давления и разрежения.

Ответ: разрежение в сосуде равно 81,3 кПа; вакуумметрическое давление в сосуде равно 20 кПа.

2.7 В сосуд, заполненный водой (см. рис. 2.1), поместили куб, плавающий на поверхности жидкости. При этом уровень воды в пьезометре с 3,6 м повысился на 0,2 м. После этого сосуд закрыли и пространство над свободной поверхностью жидкости заполнили газом с абсолютным давлением 140 кПа. Определить избыточное давление в точке А в обоих случаях. Чему равно давление на свободную поверхность со стороны куба?

Ответ: после добавления в сосуд куба давление в точке А стало равным 37,28 кПа, а после дополнительного добавления газа – 75,98 кПа; давление на свободную поверхность со стороны куба равно 1,96 кПа.

2.8 Сосуд высотой $h = 1,2$ м, полностью заполненный водой (см. рис 2.2), накрывают сверху поршнем (диаметр поршня 0,1 м, масса $m_p = 1,5$ кг) и устанавливают на него сверху

груз массой $m_{\text{гр.}} = 5 \text{ кг}$. Определить гидростатическое, избыточное и абсолютное давление на дно сосуда (сжимаемостью воды пренебречь).

Решение:

Гидростатическое давление определяется высотой столба воды над дном сосуда, Па:

$$p_{\text{г.н.}} = \rho * g * h_{\text{г.н.}} \quad (2.12)$$

где ρ – плотность воды, при отсутствии данных и ссылки на температурные условия принимаем равной 1000 кг/м^3 .

$$p_{\text{г.н.}} = 1000 * 9,81 * 1,2 = 11772 \text{ Па.}$$

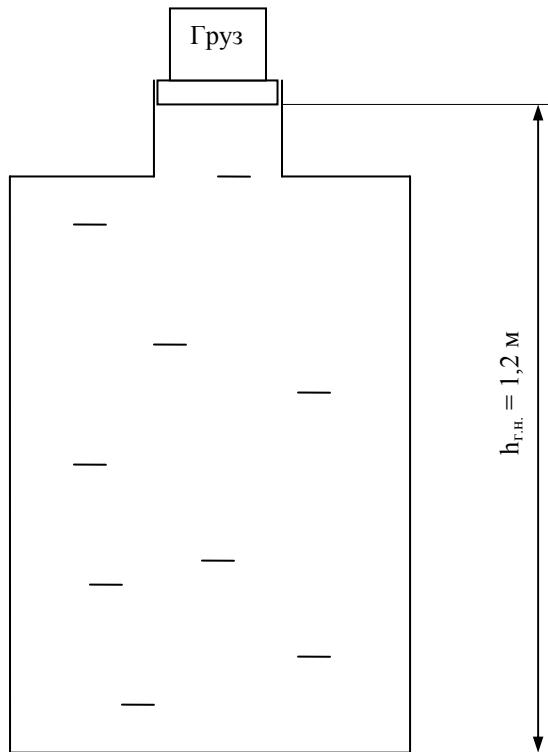


Рисунок 2.2 – Схема к задаче 2.8

Давление на свободную поверхность жидкости в сосуде будет оказывать поршень и размещенный на нем груз. При этом сумма давления на свободную поверхность и гидростатического давления на дно сосуда определяют избыточное давление на дно сосуда.

Величина давления на свободную поверхность равна, Па:

$$p_0 = m * g / S \quad (2.13)$$

где m – суммарная масса поршня и груза, кг;
 S – площадь поршня, м^2 , определяется:

$$S = \pi * d^2 / 4 \quad (2.14)$$

$$p_0 = 4*m*g / \pi*d^2 \quad (2.15)$$

$$p_0 = 4*(5 + 1,5)*9,81 / (3,14*(0,1)^2) = 8123 \text{ Па.}$$

Избыточное давление на дно сосуда составляет, Па:

$$p_{изб} = p_{г.н.} + p_0 \quad (2.16)$$

$$p_{изб.} = 11772 + 8123 = 19895 \text{ Па.}$$

Примем барометрическое давление равным 101,3 кПа, тогда абсолютное давление на дне сосуда составит, Па:

$$p_{абс} = p_{изб} + p_{бар} \quad (2.17)$$

$$p_{абс} = 19895 + 101300 = 121195 \text{ Па.}$$

Ответ: гидростатическое, избыточное и абсолютное давление на дно сосуда равны соответственно 11,8 кПа, 19,9 кПа, 121,2 кПа.

2.9 Определить величину подъемной силы, действующей на деревянный брускок (см. рис.2.3), находящийся в воде, а также значение высоты бруска, находящейся под поверхностью воды. Длина (a), ширина (b) и высота (h) бруска равны соответственно $0,6*0,3*0,1$ м (плотность дерева принять $\rho_d = 800 \text{ кг/м}^3$).



Рисунок 2.3 – Схема к задаче 2.9

Решение:

Вес бруска равен, Н:

$$G = \rho_d * g * V \quad (2.18)$$

где ρ_d – плотность дерева, 800 кг/м^3 ;

V – объем бруска, м^3 , определяется:

$$V = a * b * h \quad (2.19)$$

$$V = 0,6*0,3*0,1 = 0,018 \text{ м}^3.$$

$$G = 800 * 9,81 * 0,018 = 141,3 \text{ Н}$$

Подъемная сила, действующая на погруженную в воду часть бруска, равна, Н:

$$A = \rho_b * g * V_1 \quad (2.20)$$

где ρ_b – плотность воды, 1000 кг/м^3 ;

V_1 – объем бруска, находящийся в воде, м^3 , вычисляется:

$$V_1 = a * b * h_1 \quad (2.21)$$

где h_1 – высота находящейся в воде части бруска, м.

$$A = \rho_b * g * a * b * h_1 \quad (2.22)$$

$$A = 1000 * 9,81 * 0,6 * 0,3 * h_1 = 1765,8 * h_1 \text{ Н.}$$

Так как вес бруска и подъемная сила равны ($G = A$), то можно составить следующее уравнение:

$$141,3 = 1765,8 * h_1 \quad (2.23)$$

$$h_1 = 141,3 / 1765,8 = 0,08 \text{ м.}$$

Ответ: подъемная сила равна $141,3 \text{ Н}$; под поверхность воды находится $0,08 \text{ м}$ высоты бруска.

2.10 Определить силу избыточного давления на крышку люка (диаметр $0,4 \text{ м}$) в стальной колонне (см. рис 2.4), заполненной маслом плотностью 750 кг/м^3 .

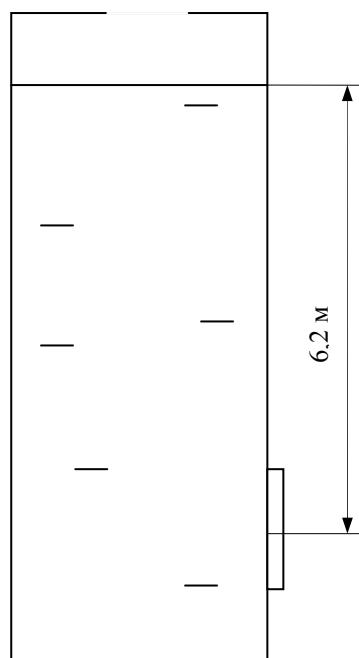


Рисунок 2.4 – Схема к задаче 2.10

Решение:

В данном случае сила избыточного давления определяется только гидростатическим давлением на уровне оси люка, так как сосуд открыт (см. рисунок). Гидростатическое давление на данной отметке равно, Па:

$$p_{\text{г.н.}} = \rho * g * h \quad (2.24)$$

$$p_{\text{г.н.}} = 750 * 9,81 * 6,2 = 45616,5 \text{ Па}$$

Сила давления на крышку люка вычисляется, Н:

$$P = p_{\text{г.н.}} * S \quad (2.25)$$

где S – площадь крышки люка, м^2 , вычисляется:

$$S = \pi * d^2 / 4 \quad (2.26)$$

Тогда силу давления на крышку люка находим, Н:

$$P = p_{\text{г.н.}} * \pi * d^2 / 4 \quad (2.27)$$

$$P = 45616,5 * 3,14 * (0,4)^2 / 4 = 5729 \text{ Н.}$$

Ответ: 5,73 кН.

2.11 Чему равна сила избыточного давления на крышку люка, встроенного в нижнее днище вертикально расположенного цилиндрического сосуда высотой 9 м, если известно: сосуд доверху заполнен глицерином, диаметр люка 450 мм, в верхнее днище сосуда встроен поршень диаметром 600 мм и массой 35 кг.

Ответ: 17,8 кН.

2.12 В сообщающихся сосудах находятся жидкости: вода и ртуть (см. рис. 2.5). Определить высоту столба жидкости в сосуде справа, если в сосуде слева высота столба воды 2 см, а ртути – 8 см. Чему будет равна данная высота, если сосуд слева закрыть и над свободной поверхностью жидкости поместить газ, избыточное давление которого 1,0 кПа?

Ответ: 8,15 см и 8,90 см соответственно.

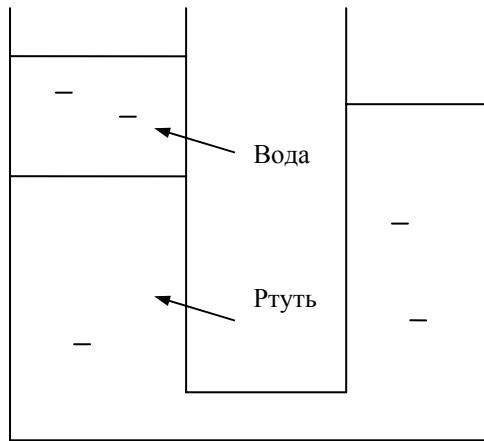


Рисунок 2.5 – Схема к задаче 2.12

2.13 На рисунке 2.6 приведена упрощенная схема гидравлического пресса. Диаметр большого и малого поршней равны соответственно $d_2 = 0,3$ м и $d_1 = 0,1$ м. На малый поршень установили груз массой $m_1 = 7$ кг. Чему равно давление на поршни (весом самих поршней пренебречь)? Определить массу груза, которую сможет поднять большой поршень при данных условиях. Как можно упростить решение задачи?

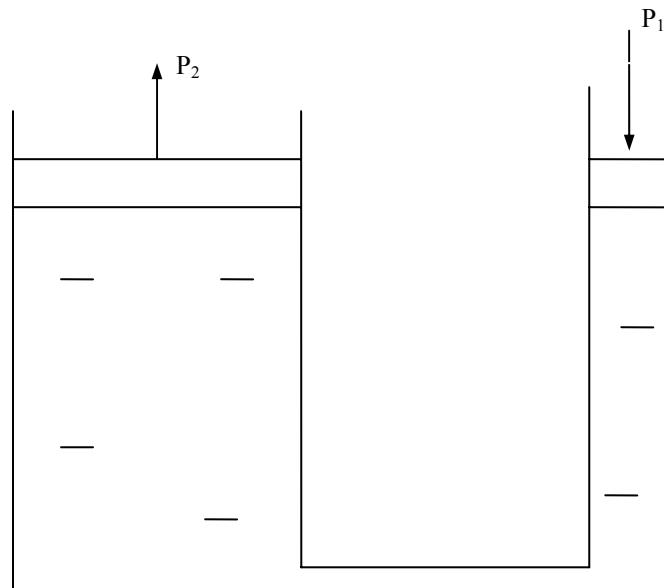


Рисунок 2.6 – Схема к задаче 2.13

Решение:

Сила, с которой на малый поршень давит груз массой 7 кг, равна, Н:

$$P_1 = m_1 * g \quad (2.28)$$

$$P_1 = 7 * 9,81 = 68,7 \text{ Н.}$$

При этом на малый поршень оказывается давление, составляющее, Па:

$$p_1 = 4*P_1 / (\pi*d_1^2) \quad (2.29)$$

где d_1 – диаметр малого поршня, м.

$$p_1 = 4*68,7 / (3,14*(0,1)^2) = 8752 \text{ Па.}$$

По закону Паскаля давление на малый поршень со стороны внешней среды p_1 равно давлению на большой поршень со стороны гидравлической системы p_2 и равно 8752 Па.

Масса груза, которую может поднять большой поршень, вычисляется, кг:

$$m_2 = p_2 * S_2 / g \quad (2.30)$$

где S_2 – площадь большого поршня, м^2 , определяется:

$$S_2 = \pi * d_2^2 / 4 \quad (2.31)$$

где d_2 – диаметр большого поршня, м.

С учетом равенства p_1 и p_2 получаем:

$$m_2 = p_1 * \pi * d_2^2 / (4 * g) \quad (2.32)$$

$$m_2 = 8752 * 3,14 * (0,3)^2 / (4 * 9,81) = 63 \text{ кг.}$$

Ответ: давление на поршни равно 8752 Па; масса поднимаемого груза равна 63 кг.

2.14 Оказав на большой поршень (см. рис. 2.6) давление 400 кПа, добились равновесного положения большого и малого поршней. Какова при этом должна быть совокупная масса малого поршня и расположенного на нем груза, если диаметр малого поршня равен 0,2 м?

Ответ: 1280 кг.

2.15 В один из сообщающихся сосудов (см. рис. 2.7), заполненных маслом плотностью $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$, помещен стальной поршень диаметром $d_2 = 5 \text{ см}$. Определить, на какую высоту относительно начального уровня поднимется жидкость во втором сосуде, диаметр которого $d_1 = 9 \text{ см}$. Высота столбов жидкости показана на рисунке. Каково избыточное давление столба масла на дно сосуда, если изначально уровень жидкости в сосуде находился на отметке $h_0 = 0,34 \text{ м}$?

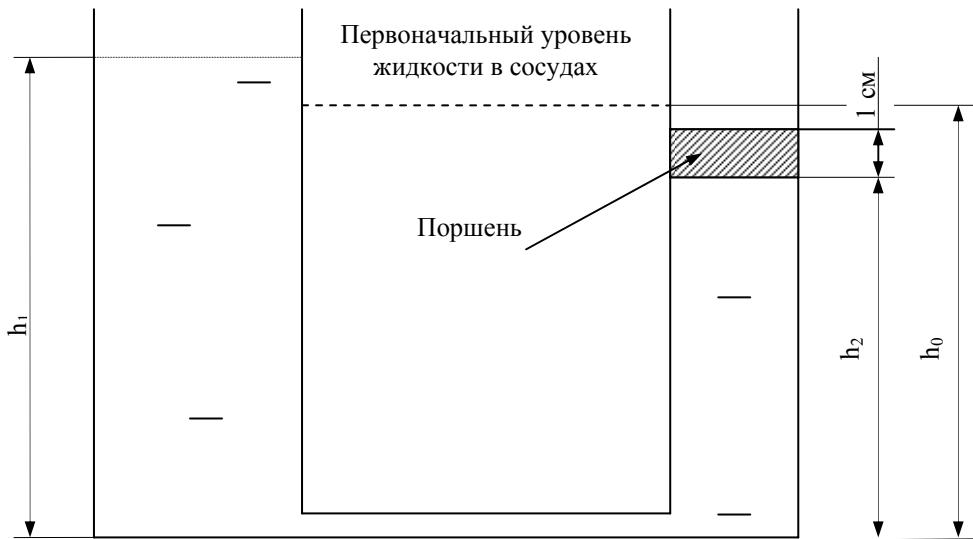


Рисунок 2.7 – схема к задаче 2.15

Решение:

До размещения поршня в сосуде справа в сообщающихся сосудах наблюдалось равновесие столбов жидкости (по свойству сообщающихся сосудов). После того, как поршень был размещен, давление на дно сосуда справа увеличилось и составило, Па:

$$p_2 = \rho * g * h_2 + G / S_{\text{поршня}} \quad (2.33)$$

где $S_{\text{поршня}}$ – площадь поршня, м^2 , находят:

$$S_{\text{поршня}} = \pi * d_2^2 / 4 \quad (2.34)$$

G – вес стального поршня, Н, равен:

$$G = \rho_{\text{ст}} * g * V_{\text{поршня}} \quad (2.35)$$

где $\rho_{\text{ст}}$ – плотность стали, принять равной 7800 кг/м^3 ;
 $V_{\text{поршня}}$ – объем поршня, м^3 , определяется:

$$V_{\text{поршня}} = h_{\text{поршня}} * S_{\text{поршня}} \quad (2.36)$$

$$p_2 = \rho * g * h_2 + \rho_{\text{ст}} * g * h_{\text{поршня}} * S_{\text{поршня}} / S_{\text{поршня}}$$

$$p_2 = \rho * g * h_2 + \rho_{\text{ст}} * g * h_{\text{поршня}} \quad (2.37)$$

При этом на дно сосуда слева жидкость оказывается давление p_1 , равное p_2 и составляющее, Па:

$$p_1 = \rho * g * h_1 \quad (2.38)$$

Исходя из предыдущего утверждения о равенстве давлений, получаем:

$$\rho * g * h_1 = \rho * g * h_2 + \rho_{\text{ст}} * g * h_{\text{поршня}} \quad (2.39)$$

$$790*9,81*h_1 = 790*9,81*h_2 + 7800*9,81*0,01$$

$$7750*h_1 = 7750*h_2 + 765,2 \quad (2.40)$$

Преобразуя уравнение 2.40, выразим величину h_1 :

$$h_1 = (7750*h_2 + 765,2) / 7750 \quad (2.41)$$

Так как объемы вытесненной жидкости V_2' и жидкости, поступившей в смежный сосуд V_1' , равны (пренебрегая сжатием жидкости), то получаем следующие выражения данных объемов:

$$V_1' = \Delta h_1 * \pi * d_1^2 / 4 \quad (2.42)$$

$$V_2' = \Delta h_2 * \pi * d_2^2 / 4 \quad (2.43)$$

Исходя из вышесказанного, получаем:

$$\begin{aligned} \Delta h_1 * \pi * d_1^2 / 4 &= \Delta h_2 * \pi * d_2^2 / 4 \quad \text{и} \\ \Delta h_1 * d_1^2 &= \Delta h_2 * d_2^2 \\ \Delta h_1 &= \Delta h_2 * d_2^2 / d_1^2 \\ \Delta h_1 &= \Delta h_2 * (0,05)^2 / (0,09)^2 \\ \Delta h_1 &= \Delta h_2 * 0,31 \end{aligned} \quad (2.44)$$

Так как

$$h_1 = h_0 + \Delta h_1 \quad \text{и}$$

$$h_2 = h_0 - \Delta h_2$$

где h_0 – начальный уровень масла в сосудах, м;

следовательно

$$h_2 - h_1 = h_0 - \Delta h_2 - h_0 - \Delta h_1$$

$$h_2 - (7750*h_2 + 765,2) / 7750 = -\Delta h_2 - \Delta h_2 * 0,31$$

$$h_2 - h_2 - 0,099 = -1,31 * \Delta h_2$$

$$\Delta h_2 = 0,099 / 1,31 = 0,076 \text{ м.}$$

$$\Delta h_1 = 0,076 * 0,31 = 0,024 \text{ м.}$$

Избыточное давление на дно сосуда составит, Па:

$$p_1 = \rho * g * h_1 \quad (2.45)$$

$$p_1 = \rho * g * (h_0 + \Delta h_1) \quad (2.46)$$

$$p_1 = 790 \cdot 9,81 \cdot (0,34 + 0,024) = 2821 \text{ Па.}$$

Ответ: жидкость в сосуде диаметром 9 см поднимется на высоту 0,024 м (2,4 см); избыточное давление на дно сосуда равно 2821 Па.

2.16 Определить, на какую высоту относительно дна поднимется вода в сосуде (см. рис 2.7). Все необходимые данные принять из задачи 2.15, с учетом того, что диаметры сообщающихся сосудов равны и составляют 14 см. Начальный уровень жидкости относительно дна сосуда находится на отметке 56 см.

Ответ: 0,599 м.

2.17 Замкнутая емкость, заполненная газом с абсолютным давлением 156 кПа, соединена через запорное устройство с U-образным манометром (см. рис. 2.8). Манометр заполнен ртутью, при этом отметки столбов жидкости находятся на одном уровне. После того, как запорное устройство открыли, давление емкости вытеснило часть жидкости. Вычислить высоту столба ртути h , определяющую величину давления в емкости. Принять, что вокруг установки нормальное атмосферное давление.

Ответ: 0,41 м.

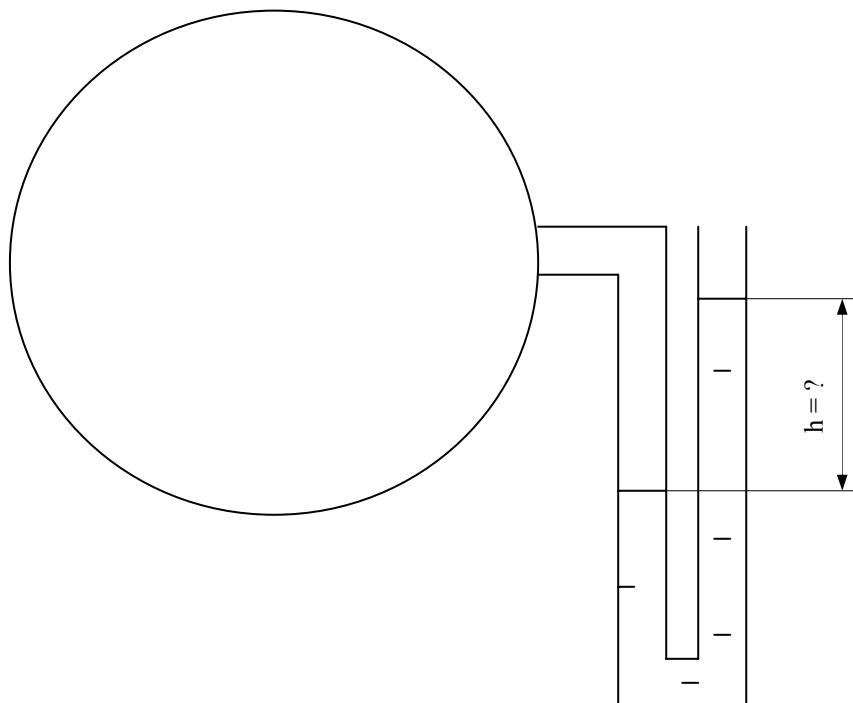


Рисунок 2.8 – схема к задаче 2.17

III ГИДРОДИНАМИКА

3.1 Определить гидравлический радиус потока жидкости (см. рис. 3.1), протекающего по открытому каналу прямоугольной формы шириной $a = 2,3$ м. Глубина потока $b = 1,5$ м.

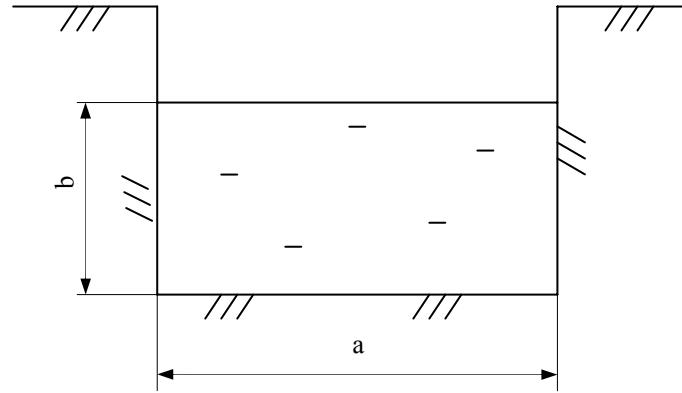


Рисунок 3.1 – Схема к задаче 3.1

Решение:

Гидравлический радиус вычисляют по формуле, м:

$$R = F / \chi \quad (3.1)$$

где F – площадь живого сечения потока, м^2 :

$$F = a * b \quad (3.2)$$

где a – ширина потока, $a = 2,3$ м;

b – высота (глубина) потока, $b = 1,5$ м.

$$F = 2,3 * 1,5 = 3,45 \text{ м}^2.$$

χ – смоченный периметр, м:

$$\chi = 2 * b + a \quad (3.3)$$

$$\chi = 2 * 1,5 + 2,3 = 5,3 \text{ м.}$$

$$R = 3,45 / 5,3 = 0,65 \text{ м.}$$

Ответ: гидравлический радиус потока равен 0,65 м.

3.2 Поток жидкости протекает по трубе прямоугольного сечения, размеры которой 15×30 см. Чему равен гидравлический радиус потока?

Ответ: 0,05 м.

3.3 По трубопроводу диаметром $d = 350$ мм за время $t = 12$ с проходит $V = 0,25 \text{ м}^3$ воды. Определить объемный и массовый расходы воды, а также среднюю линейную скорость и массовую скорость потока.

Решение:

При решении задачи пренебрегаем объемным сжатием жидкости, принимая ее плотность равной $1000 \text{ м}^3/\text{кг}$. Объемный расход воды равен, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = V/t \quad (3.4)$$

где V – объем жидкости, м^3 ;
 t – время истечения жидкости, с.

$$Q = 0,25 / 12 = 0,02 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Массовый расход жидкости вычисляем по формуле, кг/с :

$$M = m/t \quad (3.5)$$

где m – массовое количество жидкости, кг :

$$m = V * \rho \quad (3.6)$$

где ρ – плотность воды, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

t – время истечения жидкости, с.

$$M = V * \rho / t \quad (3.7)$$

$$M = 0,25 * 1000 / 12 = 20,8 \text{ кг/с.}$$

Среднюю линейную скорость находим по формуле, м/с :

$$\omega = Q / F \quad (3.8)$$

где Q – объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;
 F – площадь поперечного сечения потока, м^2 :

$$F = \pi * d^2 / 4 \quad (3.9)$$

$$\omega = 4 * Q / (\pi * d^2) \quad (3.10)$$

$$\omega = 4 * 0,02 / (3,14 * (0,35)^2) = 0,208 \text{ м/с.}$$

Массовая скорость потока определяется, $\text{кг}/(\text{м}^2 * \text{с})$:

$$u = M / F \quad (3.11)$$

$$u = 4 * 20,8 / (3,14 * (0,35)^2) = 216,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 * \text{с}).$$

Ответ: объемный и массовый расходы воды равны соответственно $0,02 \text{ м}^3/\text{с}$ и $20,8 \text{ кг}/\text{с}$; средняя линейная скорость и массовая скорость потока равны соответственно $0,208 \text{ м}/\text{с}$ и $216,3 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

3.4 Вычислить массовый расход жидкости, проходящий через поперечное сечение трубопровода площадью $0,1 \text{ м}^2$. Средняя линейная скорость потока $1,2 \text{ м}/\text{с}$, плотность жидкости $890 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Ответ: $106,8 \text{ кг}/\text{с}$.

3.5 Чему равна средняя линейная скорость потока жидкости, проходящего по трубопроводу диаметром 30 мм , если за время в 1 час через трубопровод проходит 2 м^3 жидкости?

Ответ: $0,79 \text{ м}/\text{с}$.

3.6 Вычислить, среднюю линейную скорость потока несжимаемой жидкости через конечное сечение трубопровода, если известно, что начальное сечение трубопровода имеет площадь $f_1 = 0,05 \text{ м}^2$, а конечное сечение – $f_2 = 0,008 \text{ м}^2$, средняя линейная скорость движения жидкости через начальное сечение трубопровода ω_1 составляет $1,3 \text{ м}/\text{с}$.

Решение:

Опираясь на уравнение неразрывности потока, для двух сечений трубопровода получаем уравнение (с учетом неизменности величины плотности жидкости):

$$f_1 * \omega_1 = f_2 * \omega_2 \quad (3.12)$$

где f_1 и f_2 – соответственно площади начального и конечного сечений трубопровода, м^2 ;

ω_1 и ω_2 – соответственно средние линейные скорости потока через начальное и конечное сечение трубопровода, $\text{м}/\text{с}$.

$$\omega_2 = f_1 * \omega_1 / f_2 \quad (3.13)$$

Подставляя исходные данные, получаем среднюю линейную скорость потока через конечное сечение трубопровода, $\text{м}/\text{с}$:

$$\omega_2 = 0,05 * 1,3 / 0,008 = 8,13 \text{ м}/\text{с}.$$

Ответ: средняя линейная скорость потока жидкости через конечное сечение трубопровода равна $8,13 \text{ м}/\text{с}$.

3.7 За время 8 с через трубопровод проходит $0,13 \text{ м}^3$ жидкости. Диаметр трубопровода в начальном сечении 50 мм , а в конечном – 80 мм . Определить средние линейные скорости потока через начальное и конечное сечения трубопровода.

Ответ: соответственно $8,3 \text{ м}/\text{с}$ и $3,2 \text{ м}/\text{с}$.

3.8 По трубопроводу теплообменника движется нагреваемая жидкость – вода. Начальное сечение трубопровода имеет диаметр 50 мм, а конечное – 25 мм. В процессе нагрева плотность жидкости уменьшается с 1000 кг/м³ до 970 кг/м³. Определить, каким должен быть массовый расход жидкости через трубопровод, чтобы скорость движения жидкости через конечное сечение составляла 3 м/с. Какая при этом должна быть средняя линейная скорость через начальное сечение?

Ответ: 1,43 кг/с; 0,73 м/с.

3.9 Вычислить перепад давления в трубопроводе, транспортирующем жидкость, если известно: плотность жидкости $\rho = 1500$ кг/м³, средняя линейная скорость потока через начальное сечение $\omega_1 = 2$ м/с, а через конечное – $\omega_2 = 1,8$ м/с. Трубопровод расположен горизонтально.

Решение:

При решении данной задачи необходимо за основу всех последующих формул привести уравнение Д.Бернулли:

$$\alpha_1 * \omega_1^2 / (2 * g) + p_1 / (\rho * g) + z_1 = \alpha_2 * \omega_2^2 / (2 * g) + p_2 / (\rho * g) + z_2 + h_{1-2} \quad (3.14)$$

где α_1 и α_2 – коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скорости по сечению потока, для идеальной жидкости принимается 1,0;
 ω_1 и ω_2 – средние линейные скорости потока в начальном и конечном сечениях трубопровода соответственно, м/с;
 p_1 и p_2 – давление жидкости в центре тяжести начального и конечного сечений трубопровода соответственно, Па;
 z_1 и z_2 – отметки оси трубопровода в сечениях на начальном и конечном участках трубопровода, м;
 h_{1-2} – потери давления при движении жидкости, Па (при движении идеальной жидкости отсутствуют);
 ρ – плотность жидкости, кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

На основе пояснений к формуле 3.14, а также учитя, что начальное и конечное сечения трубопровода находятся на одной отметке, получаем формулу:

$$\alpha_1 * \omega_1^2 / (2 * g) + p_1 / (\rho * g) = \alpha_2 * \omega_2^2 / (2 * g) + p_2 / (\rho * g) \quad (3.15)$$

Перепад давления в трубопроводе представляет собой разность $p_1 - p_2$. Преобразуя уравнение 3.15, вычленяем из уравнения данную разность:

$$p_1 - p_2 = \alpha * \rho * (\omega_2^2 - \omega_1^2) / 2 \quad (3.16)$$

$$p_1 - p_2 = 1,0 * 1500 * (1,8 - 2) / 2 = -150 \text{ Па}$$

Ответ: перепад давления в трубопроводе составляет 150 Па.

3.10 Вычислить высоту струи фонтана относительно основания, на котором он расположен, если струя подается с давлением 8 кПа, скорость струи при ее выходе из направляющей трубы равна 5 м/с. Коэффициент Кориолиса принять равным 1,1, потерями давления на трение пренебречь.

Ответ: 2,22 м.

3.11 Каким должен быть перепад давлений в центре тяжести начального и конечного сечений трубопровода, чтобы при неизменной скорости движения по трубопроводу ртути жидкость поднялась бы на 14 м выше своего первоначального уровня? При движении ртути по трубопроводу возникают потери, равные 0,5 м.

Ответ: 1,93 МПа.

3.12 Гидродинамический напор потока идеальной жидкости $H_{\text{г.д.}}$ плотностью $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$ равен 8,6 м. Вычислить среднюю линейную скорость потока, если давление жидкости в центре тяжести сечения потока $p = 50 \text{ кПа}$, а замеры всех параметров произведены на нивелирной высоте $z = 2,5 \text{ м}$.

Решение:

Левая и правая части уравнения Бернулли представляют собой гидродинамический напор потока, который для идеальной жидкости может быть определен, Па:

$$H_{\text{г.д.}} = \alpha * \omega^2 / (2 * g) + p / (\rho * g) + z \quad (3.17)$$

Вычленим из уравнения 3.17 параметр ω и определим его величину, м/с:

$$\omega = \sqrt{(2 * g * (H_{\text{г.д.}} - p / (\rho * g)) - z) / \alpha} \quad (3.18)$$

$$\omega = \sqrt{(2 * 9,81 * (8,6 - 50000 / (900 * 9,81)) - 2,5) / 1} = 2,93 \text{ м/с.}$$

Ответ: средняя линейная скорость потока равна 2,93 м/с.

3.13 На какой нивелирной высоте были произведены замеры давления, если по трубке Пито-Прандтля скоростной напор равен 2 м, а пьезометрический – 3,6 м. Гидродинамический напор в данной точке трубопровода составляет 8,65 м.

Ответ: 3,05 м.

3.14 На рисунке 3.2 показаны трубка Пито и трубка Пито-Прандтля. Определить неизвестные величины, если скорость потока в точке замера $\omega = 1,7 \text{ м/с.}$

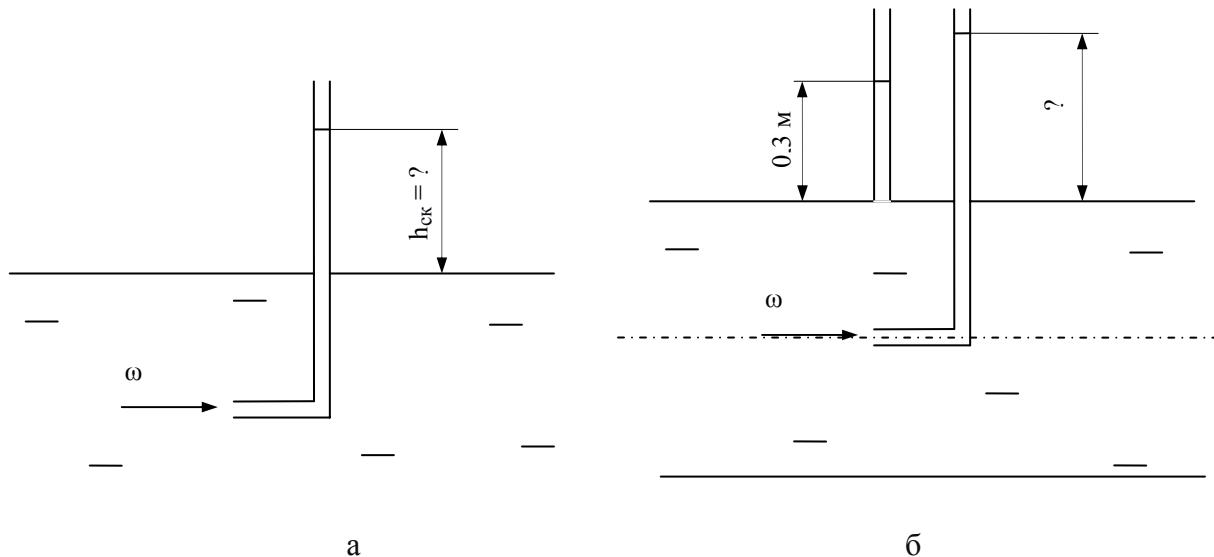


Рисунок 3.2 – Схема к задаче 3.14

где а – трубка Пито,

б – трубка Пито-Прандтля.

Решение:

Высота h_{ck} , показанная на рисунке, определяет скоростной напор потока и может быть вычислена, м:

$$h_{ck} = \omega^2 / (2 * g) \quad (3.19)$$

Следует помнить, что величина скоростного напора входит в гидродинамический напор потока и задействована в уравнении Бернулли.

Решая условие по рисунку 3.2 «а», получаем, м:

$$h_{ck} = (1,7)^2 / (2 * 9,81) = 0,15 \text{ м.}$$

Условие по рисунку 3.2 «б» решается следующим образом: величину пьезометрического напора суммируем с величиной скоростного напора, получаем, м:

$$h = 0,3 + 0,15 = 0,45 \text{ м.}$$

(если допустить, что точка замера давления – ось трубопровода – лежит на нулевой отметке, т.е. $z = 0$, то полученная высота является гидродинамическим напором потока).

Ответ: скоростной напор потока равен 0,15 м, а гидродинамический – равен 0,45 м.

3.15 Вычислить потери давления на трение при движении по трубопроводу нефти плотностью 785 кг/м³, если известно: давление в начальном сечении трубопровода 85 кПа, а в конечном – 44 кПа; средняя линейная скорость потока через начальное сечение равна 3 м/с, а через конечное – 2,85 м/с; ось начального сечения трубопровода находится на высоте 4,2 м, а конечного – на высоте 7,5 м. Коэффициент Кориолиса принять равным 1,1.

Ответ: 0,71 м.

3.16 Какой должна быть величина уклона водопровода длиной 250 м, чтобы давление и скорость потока в его начальном и конечном сечениях были бы неизменны, потери за счет сил трения составляли 20 кПа?

Ответ: 8,15%.

3.17 Определить, какое давление будет оказывать жидкость в центре тяжести конечного сечения трубопровода, если давление в начальном сечении равно 120 кПа, средняя линейная скорость потока через начальное сечение 14 м/с, а через конечное – 6 м/с. Ось начального сечения расположена на отметке 15,5 м, а конечного – на отметке 2 м. Плотность жидкости 1100 кг/м³. Потери давления за счет сил трения составляют 55 кПа.

Ответ: 299 кПа.

3.18 Найти пьезометрическую высоту жидкости в сечении трубопровода, если давление жидкости в центре тяжести сечения 5 МПа, а плотность жидкости равна 13000 кг/м³.

Ответ: 39,2 м.

3.19 На рисунке 3.3 показан водомер Вентури – устройство, предназначенное для определения расхода жидкости. Вычислить расход воды при следующих условиях: высота столба жидкости h в пьезометре №1 равна 0,2 м, а в пьезометре №2 – 0,18 м. Диаметр суженной части прибора – $d_2 = 0,1$ м, а расширенной – $d_1 = 0,2$ м.

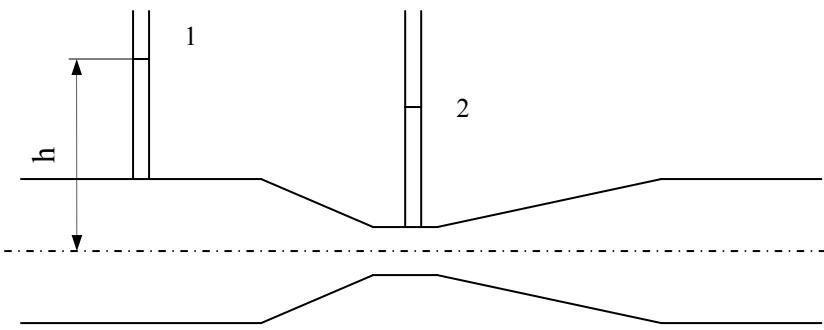


Рисунок 3.3 – Водомер Вентури

Решение:

Расход жидкости находят, м³/с:

$$Q = \omega * F \quad (3.20)$$

где F – площадь живого сечения трубопровода, м².

При этом средняя линейная скорость потока неизвестна.

Дальнейшее решение задачи основывается на преобразовании уравнения Бернулли.

Так как ось прибора горизонтальна, то принимаем $z_1 = z_2$, тогда:

$$\alpha_1 * \omega_1^2 / (2 * g) + p_1 / (\rho * g) = \alpha_2 * \omega_2^2 / (2 * g) + p_2 / (\rho * g) \quad (3.21)$$

Разность уровней воды в пьезометрах обозначим через Δh , где:

$$\Delta h = (p_1 - p_2) / (\rho * g) \quad (3.22)$$

Тогда

$$(p_1 - p_2) / (\rho * g) = \alpha_2 * \omega_2^2 / (2 * g) - \alpha_1 * \omega_1^2 / (2 * g) = \Delta h \quad (3.23)$$

$$\Delta h = \alpha * (\omega_2^2 - \omega_1^2) / (2 * g) \quad (3.24)$$

Разность скоростей ω_1 и ω_2 выразим следующим уравнением:

$$\omega_2^2 - \omega_1^2 = 2 * g * \Delta h \quad (3.25)$$

На основании уравнения неразрывности потока имеем:

$$\omega_1 * F_1 = \omega_2 * F_2 \quad (3.26)$$

$$\omega_1 = \omega_2 * F_2 / F_1 \quad (3.27)$$

Подставив уравнение 3.27 в уравнение 3.25, получим:

$$\omega_2^2 - \omega_2^2 * (F_2 / F_1)^2 = 2 * g * \Delta h \quad (3.28)$$

$$1 - (F_2 / F_1)^2 = 2 * g * \Delta h / \omega_2^2 \quad (3.29)$$

$$\omega_2 = \sqrt{[2 * g * \Delta h / (1 - (F_2 / F_1)^2)]} \quad (3.30)$$

Выразим площади сечения труб через соответствующие диаметры труб:

$$F_1 = \pi * d_1^2 / 4 \quad \text{и} \quad F_2 = \pi * d_2^2 / 4 \quad (3.31)$$

Уравнения 3.30 и 3.31 подставим в уравнение 3.20, получим:

$$Q = \pi * d_2^2 / 4 * \sqrt{[2 * g * \Delta h / (1 - (d_2^2 / d_1^2)^2)]} \quad (3.32)$$

В уравнении 3.21 преднамеренно не были учтены потери на трение; учитываем их, введя коэффициент расхода $\mu = 0,95 / 0,98$:

$$Q = \mu * \pi * d_2^2 / 4 * \sqrt{[2 * g * \Delta h / (1 - (d_2 / d_1)^4)]} \quad (3.33)$$

$$Q = 0,98 * 3,14 * (0,1)^2 / 4 * \sqrt{[2 * 9,81 * (0,2 - 0,18) / (1 - (0,1 / 0,2)^4)]} = 0,00498 \text{ м}^3 / \text{с} (4,98 \text{ л/с}).$$

Ответ: расход воды равен 4,98 л/с.

3.20 Определить перепад уровней воды в пьезометрах (см. рис. 3.3), если расход через водомер равен $8 \text{ м}^3 / \text{ч}$, диаметры участков прибора составляют 100 мм и 40 мм. Коэффициент расхода принять равным 0,98.

Ответ: 0,162 м.

3.21 По трубе внутренним диаметром $d = 80$ мм движется вода, кинематическая вязкость которой $v = 1,515 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Скорость движения воды $\omega = 2$ м/с. Определить режим движения жидкости.

Решение:

Режим движения жидкости определяется числом Рейнольдса, которое вычисляют по формуле:

$$Re = \omega \cdot d / v \quad (3.34)$$

где d – диаметр трубы, м;

v – кинематическая вязкость жидкости, м²/с.

$$Re = 2 \cdot 0,08 / (1,515 \cdot 10^{-6}) = 105611$$

Для определения режима движения жидкости рабочее число Рейнольдса сравниваем с критическим:

$$Re (105611) > Re_{kp} (2300)$$

Следовательно, режим движения жидкости турбулентный.

Ответ: режим движения жидкости турбулентный.

3.22 Определить рабочее число Рейнольдса и режим движения газа (газ принять несжимаемым) по трубопроводу прямоугольного сечения размерами 20×25 см. Кинематическая вязкость газа $1,5 \cdot 10^{-5}$ м²/с, скорость движения среды равна 5 м/с (использовать формулу с гидравлическим радиусом: $Re = \omega \cdot R / v$).

Ответ: 18519; режим движения среды критический.

3.23 Определить критическую скорость движения потока жидкости по трубе диаметром 15 мм; кинематическая вязкость жидкости равна 10^{-6} м²/с.

Ответ: 0,15 м/с.

3.24 По трубопроводу внутренним диаметром $d = 20$ мм и протяженностью $l = 12$ м за время $t = 4$ с перекачивают $V = 2$ литра глицерина. Определить потери напора по длине, возникающие при движении жидкости по трубопроводу.

Решение:

Потери давления определяются в зависимости от режима движения жидкости. Находим число Рейнольдса:

$$Re = \omega * d / v \quad (3.35)$$

где ω – скорость движения жидкости, м/с, вычисляют:

$$\omega = 4 * Q / (\pi * d^2) \quad (3.36)$$

$$Q = V/t \quad (3.37)$$

Тогда преобразуем формулу 3.35:

$$Re = 4 * V / (v * \pi * d * t) \quad (3.38)$$

$$Re = 4 * 0,002 / (9,7 * 10^{-4} * 3,14 * 0,02 * 4) = 32,8 (< Re_{kp})$$

Следовательно, режим движения жидкости ламинарный, тогда потери давления по длине при движении жидкости по трубопроводу находят, м:

$$h_{\omega, \text{дл}} = 64 * l * \omega^2 / (Re * d * 2 * g) \quad (3.35)$$

$$h_{\omega, \text{дл}} = 64 * l * (4 * V / (t * \pi * d^2))^2 / (Re * d * 2 * g) \quad (3.36)$$

$$h_{\omega, \text{дл}} = 64 * 12 * (4 * 0,002 / (4 * 3,14 * (0,02)^2))^2 / (32,8 * 0,02 * 2 * 9,81) = 302,6 \text{ м.}$$

Ответ: потери напора по длине равны 302,6 м.

3.25 Чему равен коэффициент гидравлического трения λ , если число Рейнольдса составляет 1800?

Ответ: 0,036.

3.26 Определить степень шероховатости внутренней поверхности полиэтиленовой трубы при эквивалентной шероховатости данной поверхности равной 0,000007 м, если транспортируемая по трубе среда – вода с кинематической вязкостью $v = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Скорость движения жидкости по трубе – $\omega = 3 \text{ м/с}$.

Решение:

Степень шероховатости внутренней поверхности трубы зависит от соотношения толщины ламинарной пленки $\delta_{\text{пл}}$, покрывающей внутреннюю поверхность трубы и эквивалентной шероховатости k данной поверхности.

Толщина ламинарной пристеночной пленки вычисляется, м:

$$\delta_{\text{пл}} = 300 * v / \omega \quad (3.37)$$

где v – кинематическая вязкость транспортируемой по трубе жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$;
 ω – средняя линейная скорость потока, идущего по трубе, м/с.

$$\delta_{\text{пл}} = 300 * 10^{-6} / 3 = 0,0001 \text{ м.}$$

$\delta_{\text{пл}} (0,0001 \text{ м}) > k (0,000007 \text{ м})$
 следовательно внутренняя поверхность полиэтиленовой трубы гидравлически гладкая.

Ответ: внутренняя поверхность полиэтиленовой трубы гидравлически гладкая.

3.27 По прямому трубопроводу, сваренному из труб с эквивалентной шероховатостью поверхности $k = 0,1 \text{ мм}$, внутренним диаметром $d = 30 \text{ мм}$ и длиной $l = 25 \text{ м}$ движется нефть с плотностью $\rho = 805 \text{ кг/м}^3$ и кинематической вязкостью $10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$. Определить потери давления по длине в трубопроводе, если за 1 час по нему перекачивают $V = 5 \text{ м}^3$ жидкости. Выразите величину потерь в Па.

Решение:

Решение поставленной задачи следует начинать с определения числа Рейнольдса:

$$Re = \omega * d / v \quad (3.38)$$

при этом скорость движения нефти можно найти, м/с:

$$\omega = 4 * V / (t * \pi * d^2) \quad (3.39)$$

$$\omega = 4 * 5 / (3600 * 3,14 * (0,03)^2) = 1,97 \text{ м/с.}$$

$$Re = 1,97 * 0,03 / 10^{-5} = 5910$$

Следовательно, режим движения жидкости по трубопроводу турбулентный:

$$Re (5910) > Re_{\text{кр}} (2300)$$

Определим степень шероховатости внутренней поверхности труб:

$$\delta_{\text{пл}} = 300 * v / \omega \quad (3.40)$$

$$\delta_{\text{пл}} = 300 * 10^{-5} / 1,97 = 0,0015 \text{ м.}$$

$\delta_{\text{пл}} (0,0015 \text{ м}) > k (0,0001 \text{ м})$
 поверхность труб гидравлически гладкая.

Рабочее число Рейнольдса, полученное из формулы 3.38 и степень шероховатости стенок труб, вычисленная по формуле 3.40, показывают, что коэффициент гидравлического трения необходимо определять по формуле Блазиуса:

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25} \quad (3.41)$$

$$\lambda = 0,3164 / 5910^{0,25} = 0,0361$$

По формуле Дарси-Вейсбаха находим величину потерь давления по длине, м:

$$h_{\text{пл}} = \lambda * l * \omega^2 / (2 * d * g) \quad (3.42)$$

$$h_{\omega_{\text{дл}}} = 0,0361 * 25 * (1,97)^2 / (2 * 0,03 * 9,81) = 5,95 \text{ м.}$$

Для перевода величины потерь давления из метров по пьезометру в паскали помножим значение $h_{\omega_{\text{дл}}}$ на величину ускорения свободного падения и плотности нефти:

$$\Delta p = h_{\omega_{\text{дл}}} * g * \rho \quad (3.43)$$

$$\Delta p = 5,95 * 9,81 * 805 = 46987 \text{ Па}$$

Потери давления по длине в трубопроводе составляют 47 кПа.

3.28 По стальному находящемуся в эксплуатации длительное время трубопроводу внутренним диаметром 15 мм и длиной 8 м движется бензин с кинематической вязкостью $7 * 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, при этом скорость его движения составляет 1 м/с. Определить степень шероховатости труб и потери давления по длине.

Ответ: трубы гидравлически шероховатые; потери давления по длине равны 1,12 м (по формуле Б.Л. Шифринсона; при эквивалентной шероховатости труб 0,0003 м).

3.29 Чему равны местные потери напора на внезапном сужении трубопровода с диаметра $d_1 = 200$ мм на $d_2 = 150$ мм, если скорость движения жидкости через этот участок $\omega = 1,6 \text{ м/с}$?

Решение:

При внезапном сужении трубопровода коэффициент местного сопротивления ζ определяется:

$$\zeta = 0,5 * (1 - F_2/F_1) \quad (3.44)$$

где F_1 и F_2 – площади живого сечения начального и конечного сечений перехода с одного диаметра на другой, м^2 .

После преобразования формулы получаем:

$$\zeta = 0,5 * (1 - d_2^2/d_1^2) \quad (3.45)$$

$$\zeta = 0,5 * (1 - (0,15)^2/(0,2)^2) = 0,2188$$

По формуле Вейсбаха определяем потери давления на участке, м:

$$h_{\omega_{\text{м}}} = \zeta * \omega^2 / (2 * g) \quad (3.46)$$

$$h_{\omega_{\text{м}}} = 0,2188 * (1,6)^2 / (2 * 9,81) = 0,029 \text{ м.}$$

Ответ: местные потери напора равны 0,029 м.

3.30 Трубопровод, сваренный из стальных бесшовных труб, постоянным диаметром 100 мм состоит из трех участков (см. рис. 3.4), соединенных между собой полностью

открытой задвижкой и поворотом-угольником на 90° . Чему равна полная потеря напора при движении жидкости по трубопроводу, если транспортируемая среда – вода, кинематическая вязкость которой 10^{-6} м²/с, а скорость движения неизменна и на всей протяженности трубопровода равна 2 м/с. Все точки трубопровода расположены на одной высотной отметке. Выразите величину потери напора в паскалях.

Ответ: 2,58 м; 25,3 кПа.

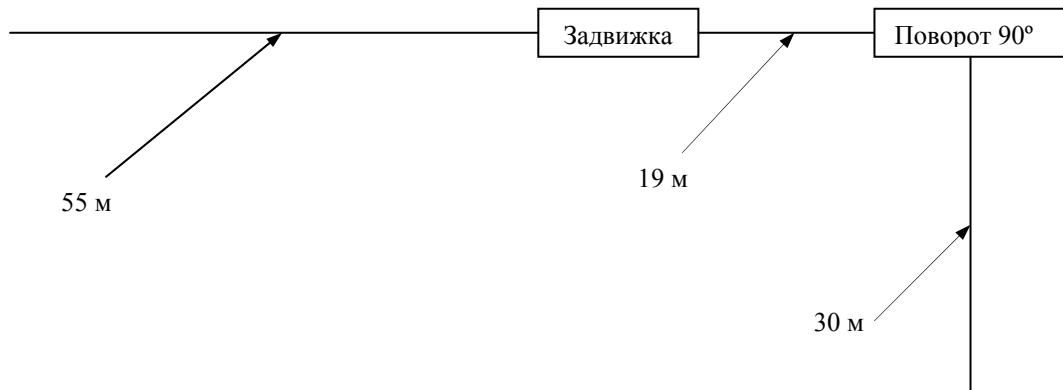


Рисунок 3.4 – Схема к задаче 3.22

3.31 Определить скорость распространения ударной волны по стальному водопроводу диаметром $d = 350$ и толщиной стенки $\delta = 8$ мм, образовавшейся при резком перекрытии сечения трубопровода. При расчетах учесть, что до гидравлического удара средняя линейная скорость потока равна 2 м/с. На какую величину при этом повысится давление в водопроводе? Чему равна фаза гидравлического удара, если длина трубопровода l составляет 1740 м?

Решение:

Скорость распространения ударной волны вычисляется по формуле Н.Е. Жуковского:

$$c = \sqrt{(E_{ж}/\rho)} / \sqrt{(1 + E_{ж} \cdot d / (E \cdot \delta))} \quad (3.47)$$

где $E_{ж}$ – модуль упругости транспортируемой по трубопроводу жидкости, для воды

$$E_{ж} = 2,06 \cdot 10^9 \text{ Па};$$

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

E – модуль упругости материала трубы, для стали $E = 2,06 \cdot 10^{11}$ Па;

d – внутренний диаметр трубы, м;

δ – толщина стенки трубы, м.

$$c = \sqrt{(2,06 \cdot 10^9 / 1000)} / \sqrt{(1 + 2,06 \cdot 10^9 \cdot 0,35 / (2,06 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 0,008))} = 1300 \text{ м/с.}$$

Повышение давления, Па, при гидравлическом ударе находят по формуле:

$$\Delta p = c \cdot \omega \cdot \rho \quad (3.48)$$

$$\Delta p = 1300 \cdot 2 \cdot 1000 = 2600000 \text{ Па.}$$

Фазу гидравлического удара определяют, с:

$$t_{\phi} = 2*l/c \quad (3.49)$$

где l – длина трубопровода, м.

$$t_{\phi} = 2*1740/1300 = 2,68 \text{ с.}$$

Ответ: скорость распространения ударной волны в водопроводе 1300 м/с; при гидравлическом ударе повышения давления в водопроводе составляет 2,6 МПа; фаза гидравлического удара равна 2,68 с.

3.32 На стальном водопроводе внутренним диаметром 100 мм и толщиной стенки 10 мм, длина которого 130 м, установлено запорное устройство. Трубопровод выдержит без разрушения давление не более 2 МПа. С какой скоростью должна двигаться по водопроводу жидкость, чтобы в случае гидравлического удара не произошло разрушение трубопровода?

Ответ: не более 1,43 м/с.

IV ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ ОТВЕРСТИЙ И ЧЕРЕЗ НАСАДКИ

4.1 Через малое отверстие в тонкой стенке открытого сосуда в атмосферу истекает вода, при этом над отверстием находится столб воды высотой $H = 0,6$ м. Определить скорость истечения жидкости из отверстия. Чему равен диаметр струи, если диаметр отверстия $d_{\text{отв}} = 5$ мм? Вычислить расход жидкости.

Решение:

Скорость истечения жидкости из отверстия (струи) находят, м/с:

$$\omega = \varphi * \sqrt{(2 * g * H)} \quad (4.1)$$

где φ – коэффициент скорости, для воды принимают $\varphi = 0,97 \div 0,98$;
 H – высота столба жидкости над отверстием, м

$$\omega = 0,97 * \sqrt{(2 * 9,81 * 0,6)} = 3,3 \text{ м/с.}$$

Диаметр струи вычисляют исходя из определения коэффициента сжатия струи ε :

$$\varepsilon = f_{\text{стру}} / f_{\text{отв}} \quad (4.2)$$

$$\varepsilon = d_{\text{стру}}^2 / f_{\text{отв}}^2 \quad (4.3)$$

где $f_{\text{стру}}$ и $f_{\text{отв}}$ – площади живого сечения струи и отверстия соответственно, м^2 ;
 ε – коэффициент сжатия струи, для воды принимают $\varepsilon = 0,61 \div 0,63$

$$d_{\text{стру}} = \sqrt{(\varepsilon * f_{\text{отв}}^2)} \quad (4.4)$$

$$d_{\text{стру}} = \sqrt{(0,61 * (0,005)^2)} = 3,91 \text{ мм.}$$

Расход жидкости, вытекающей из сосуда, определяют, $\text{м}^3/\text{с.}$

$$Q = \omega * f_{\text{стру}} \quad (4.5)$$

$$Q = 3,3 * 3,14 * (0,00391)^2 / 4 = 0,034 \text{ л/с.}$$

Ответ: скорость истечения жидкости из отверстия 3,3 м/с; диаметр струи 3,91 мм; расход жидкости 0,034 л/с.

4.2 Открытый сосуд, дно которого имеет отверстие площадью $f_{\text{отв}} = 0,002 \text{ м}^2$, частично заполнен маслом плотностью $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$. Высота столба жидкости $H = 1,2$ м. Чему равен расход жидкости при ее истечении из отверстия в атмосферу? Коэффициент расхода принять равным 0,68. Как изменится расход масла и чему он будет равен, если сосуд сделать закрытым и пространство в сосуде над свободной поверхностью жидкости заполнить газом с избыточным давлением 10 кПа?

Решение:

Расход жидкости при истечении масла из отверстия в открытом сосуде равен, $\text{м}^3/\text{с.}$

$$Q = \mu * f_{\text{отв}} * \sqrt{(2 * g * H)} \quad (4.6)$$

$$Q = 0,68 * 0,002 * \sqrt{(2 * 9,81 * 1,2)} = 6,6 \text{ л/с.}$$

При истечении жидкостей из отверстий в закрытых сосудах (а также при затопленном отверстии) правильнее использовать понятие «активный напор» H_0 :

$$H_0 = H_1 - H_2 + (p_0 - p_h) / (\rho * g) \quad (4.7)$$

где H_1 – уровень жидкости в резервуаре над отверстием, м;

H_2 – уровень жидкости над отверстием у выхода струи, м;

p_0 – абсолютное давление над свободной поверхностью жидкости в опорожняемом сосуде, Па;

p_h – абсолютное давление над свободной поверхностью жидкости в наполняемом сосуде, Па;

ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Расход жидкости из закрытого сосуда находят, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = \mu * f_{\text{отв}} * \sqrt{(2 * g * H_0)} \quad (4.8)$$

$$Q = \mu * f_{\text{отв}} * \sqrt{(2 * g * (H_1 - H_2 + (p_0 - p_h) / (\rho * g)))} \quad (4.9)$$

$$Q = 0,68 * 0,002 * \sqrt{(2 * 9,81 * (1,2 - 0 + (101300 + 10000 - 101300) / (800 * 9,81)))} = 9,5 \text{ л/с.}$$

Ответ: расход жидкости из отверстия при открытом сосуде равен 6,6 л/с, а при закрытом (с условием создания в нем повышенного давления) – увеличится и будет равен 9,5 л/с.

4.3 В тонкой стенке закрытого сосуда имеется отверстие диаметром 10 мм. Высота столба воды над осью отверстия 0,9 м, при этом над свободной поверхностью воды находится газ с избыточным давлением 101,3 кПа. Сосуд помещен в водоем, в котором уровень воды над осью данного отверстия составляет 0,4 м. Определить скорость истечения воды из сосуда, а также расход воды. Коэффициент расхода принять равным 0,6.

Ответ: скорость истечения воды из отверстия 14,1 м/с; расход воды равен 0,68 л/с.

4.4 Подобрать диаметр внешнего цилиндрического насадка для пропуска $Q = 5 \text{ л/с}$ воды под постоянным напором H равным 8 м.

Решение:

За основу принимаем формулу определения расхода жидкости:

$$Q = \mu * f_{\text{нас}} * \sqrt{(2 * g * H)} \quad (4.10)$$

преобразуя ее для нахождения $f_{\text{нас}}$:

$$f_{\text{нас}} = Q / (\mu * \sqrt{(2 * g * H)}) \quad (4.11)$$

где μ – коэффициент расхода жидкости, для данного типа насадков $\mu = 0,82$

$$f_{\text{нac}} = 0,005 / (0,82 * \sqrt{2 * 9,81 * 8}) = 0,0004927 \text{ м}^2$$

Диаметр насадка определяем:

$$d = \sqrt{(f_{\text{нac}} * 4 / \pi)} \quad (4.12)$$

$$d = \sqrt{(0,0004927 * 4 / 3,14)} = 0,025 \text{ м} \quad (25 \text{ мм})$$

Ответ: внутренний диаметр внешнего цилиндрического насадка равен 25 мм.

4.5 Под каким напором должна находиться нефть плотностью 820 кг/м^3 , чтобы при диаметре выходного отверстия конического сходящегося насадка 40 мм (коэффициент расхода 0,945) расход жидкости составлял 10 л/с?

Ответ: 3,6 м.

4.6 По горизонтально расположенному трубопроводу, на конце которого расположен коноидальный насадок (коэффициент расхода 0,99) диаметром выходного сечения 20 мм движется вода под избыточным давлением 0,1 МПа. Определить расход жидкости через насадок. Каким будет расход и во сколько раз он изменится, если насадок заменить на внешний цилиндрический (коэффициент расхода 0,82) такого же диаметра?

Ответ: расход через конический насадок 4,40 л/с, через внешний цилиндрический – 3,64 л/с (уменьшится по сравнению с коническим в 1,2 раза).

4.7 Открытая вертикально расположенная цилиндрическая емкость диаметром $d = 3 \text{ м}$ заполнена нефтью, высота столба которой H_1 равна 2 м над отверстием в дне емкости. Определить, за какое время уровень нефти в емкости H_2 станет равным 1 м, если коэффициент расхода равен 0,68, а диаметр отверстия $d_{\text{отв}} = 50 \text{ мм}$. Сколько понадобится времени, чтобы емкость полностью опорожнилась?

Решение:

Время истечения жидкости из отверстия определяется по формуле, с:

$$t = 2 * F * (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}) / (\mu * f_{\text{отв}} * \sqrt{2 * g}) \quad (4.13)$$

где F – площадь горизонтального сечения резервуара, м^2 :

$$F = \pi * d^2 / 4 \quad (4.14)$$

$$F = 3,14 * 3^2 / 4 = 7,065 \text{ м}^2$$

H_1 и H_2 – начальный и конечный уровень жидкости в сосуде соответственно, м;
 $f_{\text{отв}}$ – площадь отверстия, м^2 :

$$f_{\text{отв}} = 3,14 * (0,05)^2 / 4 = 0,001963 \text{ м}^2.$$

Уровень нефти в емкости понизится с 2 м и станет равным 1 м за время:

$$t = 2 * 7,065 * (\sqrt{2} - \sqrt{1}) / (0,68 * 0,001963 * \sqrt{2 * 9,81}) = 990 \text{ с (16,5 минут)}$$

Для полного опорожнения емкости требуется время, с:

$$t = 2 * 7,065 * (\sqrt{2} - \sqrt{0}) / (0,68 * 0,001963 * \sqrt{2 * 9,81}) = 3380 \text{ с (56 минут 20 с).}$$

Ответ: уровень нефти в емкости станет равным 1 м за 16,5 минут; емкость полностью опорожнится за 56 минут 20 секунд.

4.8 В железнодорожной цистерне диаметром 3200 мм и длиной 10,5 м перевозят бензин. Уровень жидкости в емкости находится на отметке $H = 3000$ мм от нижней образующей ее обечайки. На отметке нижней образующей цистерны установлен внешний цилиндрический насадок диаметром $d_{\text{нас}} = 50$ мм. Определить скорость истечения бензина в бассейн через насадок в начальный момент слива жидкости из емкости (сосуд считать открытым). В течение какого времени цистерна полностью опорожнится? а при постоянном напоре (когда сосуд закрыт)?

Решение:

Скорость истечения бензина через насадок в начальный момент слива равна, м/с:

$$\omega = \varphi * \sqrt{2 * g * H} \quad (4.15)$$

где φ – коэффициент скорости, для истечения через внешний цилиндрический насадок $\varphi = 0,82$

$$\omega = 0,82 * \sqrt{2 * 9,81 * 3} = 6,29 \text{ м/с}$$

Полное опорожнение цистерны произойдет через время, с:

$$t = 2 * F * \sqrt{H_1 / (\mu * f_{\text{нас}} * \sqrt{2 * g})} \quad (4.16)$$

Для простоты вычислений определим площадь сечения насадка заранее:

$$f_{\text{нас}} = 3,14 * (0,05)^2 / 4 = 0,001963 \text{ м}^2$$

Неизвестной величиной, требующей детального рассмотрения, является площадь горизонтального сечения резервуара F . Так как на уровне насадка данная величина стремится к нулю, а также цистерна опорожняется полностью, то допустимо предположить, что площадь F является средним значением площади свободной поверхности жидкости в цистерне в начальный момент слива и в конечный момент. Учитывая, что форма цистерны – цилиндр и по мере уменьшения высоты столба бензина площадь F первоначально будет увеличиваться и, только перейдя высотную отметку продольной оси цистерны, уменьшаться, среднюю величину параметра F можно определять следующим способом (см. рис. 4.1):

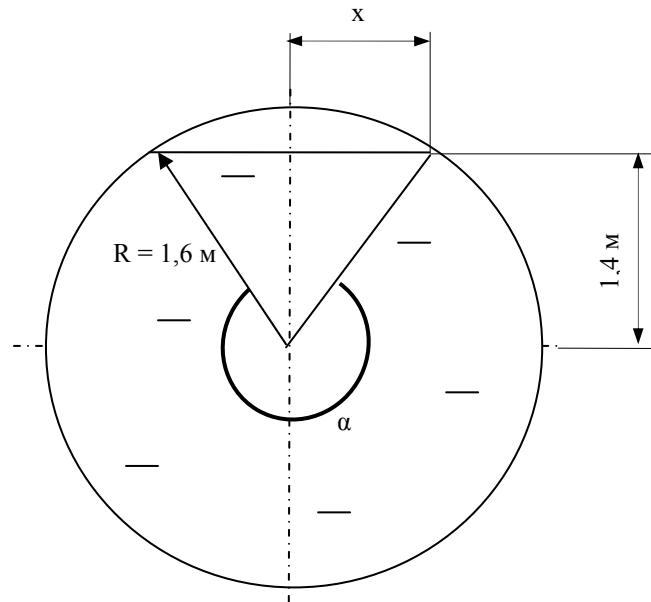


Рисунок 4.1 – Схема к задаче 4.8. Поперечный разрез железнодорожной цистерны

находим величину x :

$$x = (1,6)^2 - (1,4)^2 = 0,6 \text{ м}$$

Тогда площадь свободной поверхности на отметке 3000 мм будет равна:

$$F_1 = 10,5 * 2 * 0,6 = 12,6 \text{ м}^2$$

Площадь свободной поверхности на уровне поперечной горизонтальной оси цистерны равна:

$$F_2 = 10,5 * 2 * 1,6 = 33,6 \text{ м}^2$$

Площадь свободной поверхности на высоте 2300 мм – расположенной посередине между предыдущими двумя отметками, равна:

$$F_{1-2} = (12,6 + 33,6)/2 = 23,1 \text{ м}^2.$$

Таким же образом найдем площадь свободной поверхности на высоте 800 мм, расположенной посередине между отметками насадка и поперечной горизонтальной оси цистерны:

$$F_3 = 10,5 * 2 * 0,8 = 16,8 \text{ м}^2$$

Таким образом, искомая площадь свободной поверхности F является средним значением F_{1-2} и F_3 :

$$F = (23,1 + 16,8)/2 = 19,95 \text{ м}^2$$

Поставив полученную величину F и прочие данные в уравнение 4.16. получим:

$$t = 2 * 19,95 * \sqrt{3} / (0,82 * 0,001963 * \sqrt{2 * 9,81}) = 9693 \text{ с (2 часа 41,5 минуты).}$$

Если в цистерне в процессе ее опорожнения будет постоянный напор – то применима следующая расчетная формула:

$$t = V/Q \quad (4.17)$$

где V – объем жидкости, м^3 :

$$V = l * f \quad (4.18)$$

где l – длина цистерны, м;

f – площадь поперечного сечения цистерны, занимаемая бензином, м^3 , на основании рисунка 4.1 определяется:

$$f = F_{\text{треуг}} + \pi * R^2 * \alpha / 360 \quad (4.19)$$

где $F_{\text{треуг}}$ – площадь треугольника, образованного линией свободной поверхности жидкости и двумя линиями радиуса, проведенными к данной линии:

$$F_{\text{треуг}} = 0,6 * 1,4 = 0,84 \text{ м}^2$$

α – угол между двумя линиями радиуса, проведенными к линии свободной поверхности жидкости в цистерне, по инженерному калькулятору или таблицам Брадиса принимаем 284°

$$f = 0,84 + 3,14 * (1,6)^2 * 284 / 360 = 7,18 \text{ м}^2$$

$$V = 10,5 * 7,18 = 75,39 \text{ м}^3$$

Q – объемный расход жидкости через насадок, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = \mu * f_{\text{отв}} * \sqrt{(2 * g * H)} \quad (4.20)$$

$$Q = 0,82 * 0,001963 * \sqrt{2 * 9,81 * 3} = 0,01235 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$t = 75,39 / 0,01235 = 6105 \text{ с (1 час 41,8 минуты)}$$

Ответ: скорость истечения жидкости через насадок в начальный момент $6,29 \text{ м/с}$; при переменном напоре время полного опорожнения цистерны 2 часа 41,5 минуты, а при постоянном – 1 час 41,8 минуты.

4.9 Для опорожнения полностью наполненной железнодорожной цистерны применяют компрессор, поддерживающий постоянное давление над свободной поверхностью жидкости, при этом абсолютное давление на уровне нижней образующей цистерны равно 150 кПа. В цистерне находится 84 м^3 бензина плотностью 800 кг/м^3 . Жидкость истекает через внешний цилиндрический насадок (коэффициент расхода 0,82) диаметром 100 мм. Определить объемный расход, скорость и время истечения жидкости через насадок.

Ответ: 71 л/с; 9 м/с; 19 минут 43 секунды.

4.10 Используя условия предыдущей задачи, определить, за какое время цистерна полностью опорожнится, если в результате работы компрессора абсолютное давление на уровне насадка будет равно 300 кПа.

Ответ: 9 минут 46 секунд.

V НАСОСЫ

5.1 Определить геометрическую высоту всасывания центробежного насоса (см. рис. 5.1), если его подача Q равна 8 л/с, диаметр всасывающего трубопровода $d = 100$ мм, сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе $\Sigma h_{bc} = 1,1$ м; кавитационный запас напора принять равным 2 м.

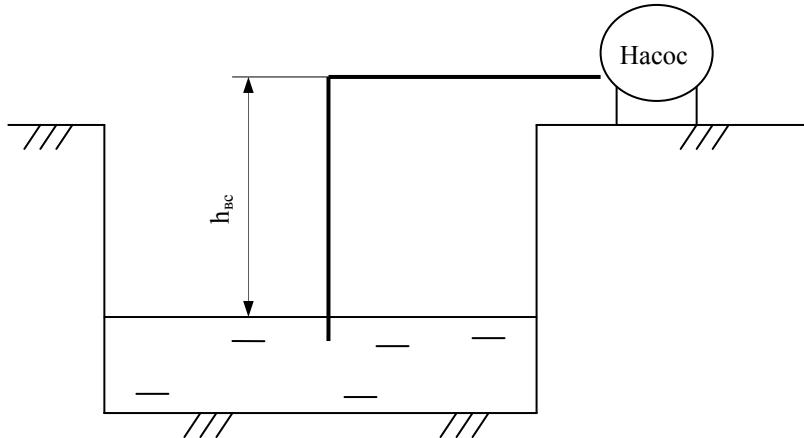


Рисунок 5.1 – Схема к задаче 5.1

Решение:

Геометрическая высота всасывания вычисляется по формуле:

$$h_{bc} = (p_{бар} - p_1)/(\rho * g) - \omega^2/(2 * g) - \Sigma h_{bc} - \Delta h_{зап} \quad (5.1)$$

где $p_{бар}$ – барометрическое давление вокруг насоса, Па;

p_1 – избыточное давление в трубе на уровне h_{bc} , равное давлению насыщенных паров воды, примем равным 0,88 кПа (при 5°C);

ω – скорость движения воды во всасывающем трубопроводе, м/с:

$$\omega = 4 * Q / (\pi * d^2) \quad (5.2)$$

d – диаметр всасывающего трубопровода, м;

Σh_{bc} – сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе, м;

$\Delta h_{зап}$ – кавитационный запас напора, м

$$\omega = 4 * 0,008 / (3,14 * (0,1)^2) = 1,02 \text{ м/с.}$$

$$h_{bc} = (101300 - 880) / (1000 * 9,81) - (1,02)^2 / (2 * 9,81) - 1,1 - 2 = 7,08 \text{ м.}$$

Ответ: геометрическая высота всасывания центробежного насоса равна 7,08 м.

5.2 Вычислить геометрическую высоту всасывания центробежного насоса, подача которого 10 л/с. Диаметр всасывающего трубопровода 80 мм. Кавитационный запас принять равным 2 м. Температура транспортируемой воды 10 °C; 30 °C (при расчетах считать, что трубы до данного момента не эксплуатировались, а ось всасывающего стального трубопровода совпадает с осью насоса).

Ответ: 7,71 м и 7,47 м соответственно.

5.3 Чему равен напор центробежного насоса, если геометрическая высота всасывания насоса $h_{bc} = 6,5$ м, высота нагнетания – $h_{nag} = 80$ м, потери напора на линии всасывания $\Sigma h_{bc} = 1,0$ м. а на линии нагнетания – $\Sigma h_{nag} = 2,6$ м?

Решение:

Напор насоса определяется следующей суммой, м:

$$H = h_{bc} + h_{nag} + \Sigma h_{bc} + \Sigma h_{nag} \quad (5.3)$$

где h_{bc} – высота всасывания насоса, м;

h_{nag} – высота нагнетания насоса, м;

Σh_{bc} – потери напора на линии всасывания, м;

Σh_{nag} – потери напора на линии нагнетания, м

$$H = 6,5 + 80 + 1,0 + 2,6 = 90,1 \text{ м.}$$

Ответ: напор центробежного насоса равен 90,1 м.

5.4 Напор центробежного насоса 180 м. Определить высоту нагнетания, если высота всасывания 3,6 м, потери напора на линии всасывания 0,6 м, на линии нагнетания – 1,9 м.

Ответ: 173,9 м.

5.5 Центробежный насос подает 15 л/с. Определить напор насоса, если жидкость обладает кинематической вязкостью 10^{-5} м²/с и плотностью 1200 кг/м³, а диаметры всасывающего и напорного трубопроводов равны соответственно 100 и 80 мм. Геометрическая высота нагнетания насоса 80 м (при расчетах считать, что трубы узла сильно заржавевшие, а оси всасывающего и напорного стальных трубопроводов совпадают с осью насоса; давление насыщенных паров жидкости во всасывающем трубопроводе на уровне насоса принять равным 1 кПа, а кавитационный запас – 2 м).

Ответ: 108,4 м.

5.6 На линии всасывания насоса установлен вакуумметр, а на линии нагнетания – манометр. Определить напор, создаваемый насосом, если стрелка вакуумметра показывает на отметку 0,1 м, а манометра – 80 м. Учесть, что скорость потока на входе в насос $\omega_b = 2$ м/с, а на выходе – $\omega_n = 5$ м/с. Чему равно создаваемое при этом насосом давление?

Решение:

Напор, создаваемый насосом, можно определить по приборам: вакуумметру и манометру. Сняв показания с приборов, получаем:

$$H = h_B + h_M + (\omega_H^2 - \omega_B^2)/(2*g) \quad (5.4)$$

где h_B – показания вакуумметра, м;

h_M – показания манометра, м;

ω_H и ω_B – скорости жидкости в нагнетательном и всасывающем патрубках насоса соответственно, м/с

$$H = 0,1 + 80 + (5^2 - 2^2)/(2*9,81) = 81,17 \text{ м.}$$

Создаваемое насосом давление находится в зависимости от напора и вычисляется, Па:

$$p = H * \rho * g \quad (5.5)$$

$$p = 81,17 * 1000 * 9,81 = 796278 \text{ Па.}$$

Ответ: напор и давление, создаваемые насосом, составляют соответственно 81,17 м и 0,8 МПа.

5.7 Однопоршневой насос двустороннего действия имеет поршень диаметром $d = 120$ мм, ход поршня в цилиндре $S = 300$ мм. За время в 1 с кривошип совершают 6 оборотов. Определить теоретическую подачу насоса.

Решение:

Теоретическая подача поршневого насоса определяется, $\text{м}^3/\text{с.}$

$$Q_t = N_d * N_p * F * S * n \quad (5.6)$$

где N_d – коэффициент, у насосов одностороннего действия равный 1, у насосов двустороннего – 2;

N_p – число поршней в насосе, шт;

F – площадь поршня, м^2 ;

S – ход поршня, м;

n – число оборотов кривошипа за единицу времени

$$Q_t = 2 * 1 * 3,14 * (0,12)^2 * 0,3 * 6/4 = 0,041 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Ответ: теоретическая подача насоса составляет 41 л/с.

5.8 Напор H , создаваемый центробежным насосом, равен 100 м. Определить полезную и полную мощность насоса (КПД принять равным 0,85), если подача насоса Q составляет 10 л/с.

Решение:

Полезная работа, затрачиваемая насосом для подачи m кг жидкости на высоту H , равна, Дж:

$$L = m * g * H \quad (5.7)$$

Так как

$$m = \rho * V \quad (5.8)$$

где V – объем перекачиваемой жидкости, m^3 ;

то

$$L = \rho * V * g * H \quad (5.9)$$

Мощность определяется работой, выполненной за единицу времени:

$$N_p = \rho * V * g * H / t \quad (5.10)$$

$$N_p = \rho * Q * g * H \quad (5.11)$$

$$N_p = 1000 * 0,01 * 9,81 * 100 = 9810 \text{ Вт}$$

С учетом КПД насоса определяем полную мощность насоса:

$$N_{\text{полн}} = N_p / \eta \quad (5.12)$$

где η – значение КПД насоса

$$N_{\text{полн}} = 9810 / 0,85 = 11541 \text{ Вт.}$$

Ответ: полезная и полная мощность насоса равны соответственно 9,81 кВт и 11,54 кВт.

5.9 Полезная мощность центробежного насоса 15 кВт. Чему равна подача насоса, если напор составляет 50 м, а перекачиваемая среда – глицерин?

Ответ: 24,3 л/с

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Ионин А.А. Газоснабжение: Учебник для вузов, изд. 4-е перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1989. – 439 с.: ил.
- 2 Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики: Учебник для техникумов. – М.: Стройиздат, 1980. – 247 с.: ил.
- 3 Фонарев А.Л. Методические указания по выполнению контрольных заданий для студентов специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». Калининград: КГТУ, 1995. – 69 с.: ил.
- 4 Чернов В.А., Бессребреников Н.К., Силецкий В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Учебник для техникумов, изд. 2-е, перераб. М.: Энергия, 1976. – 416 с.: ил.
- 5 СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ДАННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА «ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ»

Таблица А.1 – Данные к задаче 1.1

№ варианта	V, л	m, кг
1	120	110
2	694	571
3	874	700
4	25	29
5	145	140
6	244	231
7	360	354
8	740	800
9	90	104
10	210	221
11	877	880
12	901	871
13	63	56
14	541	540
15	217	214
16	800	798
17	302	351
18	502	510
19	147	140
20	703	700
21	602	632
22	801	809
23	44	54
24	800	870
25	403	402
26	300	360
27	90	68
28	73	75
29	46	47
30	99	102
31	108	132
32	476	570
33	320	364
34	50	68
35	188	254
36	350	600

Таблица А.2 – Данные к задаче 1.2

№ варианта	m _{емк} , кг	m _{общ} , кг	V, л
1	6	25	21
2	14	42	35
3	26	100	85
4	84	350	340
5	90	355	341
6	25	110	108
7	35	105	95
8	1	5	3
9	87	500	455
10	92	375	350
11	54	210	202
12	12	45	38
13	36	130	114
14	56	250	230
15	30	125	102
16	22	85	79
17	3	15	10
18	74	300	280
19	80	350	340
20	40	150	140
21	65	250	230
22	41	155	130
23	3	8	6
24	8	30	25
25	95	380	360
26	55	285	260
27	44	174	160
28	63	261	245
29	23	95	90
30	47	174	160
31	73	299	280
32	100	395	370
33	98	375	361
34	32	150	140
35	10	45	32
36	40	140	125

Таблица А.3 – Данные к задаче 1.3 Таблица А.4 – Данные к задаче 1.4

№ варианта	m, кг	ρ, кг/м ³
1	1000	800
2	2000	805
3	3000	810
4	4000	815
5	5000	820
6	6000	800
7	100	805
8	200	810
9	300	815
10	400	820
11	500	800
12	600	805
13	40000	810
14	50000	815
15	60000	820
16	70000	800
17	80000	805
18	90000	810
19	1000	815
20	2000	820
21	3000	800
22	4000	805
23	6000	810
24	7000	815
25	300	820
26	400	800
27	500	805
28	600	810
29	700	815
30	10	820
31	20	800
32	30	805
33	40	810
34	50	815
35	60	820
36	70	800

№ варианта	V ₁ , м ³	V ₂ , м ³	ρ ₁ , кг/м ³	ρ ₂ , кг/м ³	t _k , °C
1	7,1	2,3	801	799	30
2	5,6	4,6	805	800	31
3	5,0	4,9	810	820	32
4	1,3	4,6	840	800	33
5	4,0	12,6	810	855	34
6	5,9	8,3	801	901	35
7	8,7	9,2	805	900	36
8	4,9	14,3	822	877	37
9	8,0	17,1	836	795	38
10	10,3	2,3	800	905	39
11	4,6	6,3	801	799	40
12	6,5	9,0	805	800	30
13	9,0	12,3	810	820	31
14	14,2	2,3	840	800	32
15	10,3	8,3	810	855	33
16	4,2	2,0	801	901	34
17	50,3	54,3	805	900	35
18	20,1	2,9	822	877	36
19	12,0	23,8	836	795	37
20	4,3	2,9	800	905	38
21	60,3	120,4	801	799	39
22	80,6	100,3	805	800	40
23	40,2	140,2	810	820	30
24	4,3	1,2	840	800	31
25	10,6	0,5	810	855	32
26	9,5	8,6	801	901	33
27	15,6	0,9	805	900	34
28	62,0	25,5	822	877	35
29	14,4	12,3	836	795	36
30	70,6	8,3	800	905	37
31	90,2	0,4	795	855	38
32	10,3	12,3	800	845	39
33	4,0	1,1	905	821	40
34	6,6	0,7	900	864	30
35	8,3	8,7	845	806	31
36	9,9	13,5	823	805	32

Таблица А.5 – Данные к задаче 1.8

№ варианта	$\Delta t, ^\circ C$
1	1,0
2	1
3	3
4	1,5
5	1,9
6	2,1
7	2,3
8	2,5
9	2,8
10	3,0
11	3,4
12	3,7
13	3,9
14	4,1
15	4,3
16	4,8
17	5,6
18	5,9
19	6,0
20	6,7
21	6,9
22	7,1
23	7,3
24	7,5
25	7,9
26	8,1
27	8,6
28	8,8
29	9,1
30	9,5
31	9,8
32	10,5
33	10,9
34	11,0
35	11,6
36	12,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
ДАННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА
«ГИДРОСТАТИКА»

Таблица Б.1 – Данные к задаче 2.1

№ варианта	p _{абс.} , кПа	p _{бар.} , кПа
1	105,6	101,3
2	110,0	101,0
3	106,3	99,5
4	109,0	102,1
5	112,3	110,2
6	102,7	100,1
7	140,2	101,4
8	121,6	102,0
9	109,0	101,4
10	110,5	100,6
11	114,3	102,2
12	100,3	99,8
13	120,0	101,0
14	145,3	102,4
15	102,0	101,2
16	106,5	101,0
17	109,3	99,5
18	100,0	99,8
19	120,3	101,3
20	150,3	102,0
21	114,3	101,0
22	130,2	101,3
23	121,0	102,8
24	130,0	100,3
25	106,1	99,0
26	109,0	101,3
27	110,3	101,7
28	111,3	102,0
29	101,3	101,0
30	109,0	100,6
31	104,3	101,5
32	120,3	101,5
33	110,0	102,6
34	109,0	100,0
35	112,0	99,8
36	117,9	98,4

Таблица Б.2 – Данные к задаче 2.2

№ варианта	h, м	ρ, кг/м ³	p _{бар.} , кПа
1	2,5	820	101,3
2	2,6	821	99,6
3	2,7	822	102,0
4	2,8	823	99,8
5	2,9	824	100,5
6	1,3	825	101,3
7	1,4	826	102,1
8	1,5	827	100,5
9	1,6	828	100,9
10	1,7	829	99,5
11	1,8	830	101,3
12	3,1	831	99,6
13	3,2	832	102,0
14	3,3	833	99,8
15	3,4	834	100,5
16	3,5	835	101,3
17	6,4	836	102,1
18	6,5	837	100,5
19	6,6	838	100,9
20	6,7	839	99,5
21	6,8	840	101,3
22	6,9	841	99,6
23	1,2	842	102,0
24	1,3	843	99,8
25	1,4	844	100,5
26	1,5	845	101,3
27	1,6	846	102,1
28	1,7	847	100,5
29	1,8	847	100,9
30	1,9	849	99,5
31	4,2	870	100,0
32	4,3	871	101,2
33	4,4	872	99,6
34	4,5	873	98,0
35	4,6	874	101,9
36	4,7	875	97,0

Таблица Б.3 – Данные к задаче 2.5

№ варианта	h _{Г.Н.} , м	h _Р , м	p _{бар} , кПа
1	0,23	3,1	98,0
2	0,24	3,2	98,5
3	0,25	3,3	99,0
4	0,26	3,4	99,5
5	0,27	3,5	100,0
6	0,28	3,6	100,5
7	0,29	3,7	101,0
8	0,30	3,8	101,5
9	0,31	3,9	102,0
10	0,32	4,0	102,5
11	0,33	4,2	103,0
12	0,34	4,3	98,0
13	0,35	4,4	98,5
14	0,36	4,5	99,0
15	0,37	4,6	99,5
16	0,38	4,7	100,0
17	0,39	4,8	100,5
18	0,40	4,9	101,0
19	0,70	6,0	101,5
20	0,71	6,1	102,0
21	0,72	6,2	102,5
22	0,73	6,3	103,0
23	0,74	6,4	98,0
24	0,75	6,5	98,5
25	0,76	6,6	99,0
26	0,77	6,7	99,5
27	0,78	6,8	100,0
28	0,79	6,9	100,5
29	0,80	7,0	101,0
30	0,81	7,1	101,5
31	0,82	7,2	102,0
32	0,83	7,3	102,5
33	0,84	7,4	103,0
34	0,85	7,5	99,9
35	0,86	7,6	100,1
36	0,87	7,7	99,3

Таблица Б.4 – Данные к задаче 2.8

№ варианта	h, м	m _{п.} , кг	m _{гр.} , кг
1	0,4	0,5	6,0
2	0,5	0,6	6,1
3	0,6	0,7	6,2
4	0,7	0,8	6,3
5	0,8	0,9	6,4
6	0,9	1,1	6,5
7	2,0	1,2	6,6
8	2,1	1,3	6,7
9	2,2	1,4	6,8
10	2,3	1,5	6,9
11	2,4	1,6	8,0
12	2,5	1,7	8,1
13	2,6	1,8	8,2
14	2,7	1,9	8,3
15	2,8	2,0	8,4
16	2,9	2,1	8,5
17	3,0	2,2	8,6
18	3,1	2,3	8,7
19	0,4	4,0	8,8
20	0,5	4,1	8,9
21	0,6	4,2	9,0
22	0,7	4,3	9,1
23	0,8	4,4	9,2
24	0,9	4,5	9,3
25	2,0	4,6	9,4
26	2,1	4,7	9,5
27	2,2	4,8	9,6
28	2,3	4,9	9,7
29	2,4	5,0	9,8
30	2,5	5,1	9,9
31	2,6	5,2	1,0
32	2,7	5,3	1,1
33	2,8	5,4	1,2
34	2,9	5,5	1,3
35	3,0	5,6	1,4
36	3,1	5,7	1,5

Таблица Б.5 – Данные к задаче 2.9

№ варианта	$a*b*h, м$	$\rho_d, кг/м^3$
1	$0,9*0,4*0,1$	750
2	$0,8*0,3*0,05$	760
3	$0,7*0,2*0,05$	770
4	$0,9*0,4*0,1$	780
5	$0,8*0,3*0,05$	790
6	$0,7*0,2*0,05$	800
7	$0,9*0,4*0,1$	810
8	$0,8*0,3*0,05$	820
9	$0,7*0,2*0,05$	830
10	$0,9*0,4*0,1$	750
11	$0,8*0,3*0,05$	760
12	$0,7*0,2*0,05$	770
13	$0,9*0,4*0,1$	780
14	$0,8*0,3*0,05$	790
15	$0,7*0,2*0,05$	800
16	$0,9*0,4*0,1$	810
17	$0,8*0,3*0,05$	820
18	$0,7*0,2*0,05$	830
19	$0,9*0,4*0,1$	750
20	$0,8*0,3*0,05$	760
21	$0,7*0,2*0,05$	770
22	$0,9*0,4*0,1$	780
23	$0,8*0,3*0,05$	790
24	$0,7*0,2*0,05$	800
25	$0,9*0,4*0,1$	810
26	$0,8*0,3*0,05$	820
27	$0,7*0,2*0,05$	830
28	$0,9*0,4*0,1$	750
29	$0,8*0,3*0,05$	760
30	$0,7*0,2*0,05$	770
31	$0,9*0,4*0,1$	780
32	$0,8*0,3*0,05$	790
33	$0,7*0,2*0,05$	800
34	$0,9*0,4*0,1$	810
35	$0,8*0,3*0,05$	820
36	$0,7*0,2*0,05$	830

Таблица Б.6 – Данные к задаче 2.10

№ варианта	$\rho, кг/м^3$	$d, м$	$h, м$
1	720	0,4	7,5
2	725	0,5	7,4
3	730	0,6	7,3
4	735	0,7	7,2
5	740	0,8	7,1
6	745	0,9	7,0
7	750	0,4	6,9
8	755	0,5	6,8
9	760	0,6	6,7
10	765	0,7	6,6
11	770	0,8	6,5
12	775	0,9	6,4
13	780	0,4	6,3
14	785	0,5	6,2
15	790	0,6	6,1
16	795	0,7	6,0
17	800	0,8	5,9
18	805	0,9	5,8
19	720	0,4	5,7
20	725	0,5	5,6
21	730	0,6	5,5
22	735	0,7	5,4
23	740	0,8	5,3
24	745	0,9	5,2
25	750	0,4	5,1
26	755	0,5	5,0
27	760	0,6	4,9
28	765	0,7	4,8
29	770	0,8	4,7
30	775	0,9	4,6
31	780	0,4	4,5
32	785	0,5	4,4
33	790	0,6	4,3
34	795	0,7	4,2
35	800	0,8	4,1
36	805	0,9	4,0

Таблица Б.7 – Данные к задаче 2.13

№ варианта	d ₂ , м	d ₁ , м	m ₁ , кг
1	0,4	0,10	0,2
2	0,5	0,11	0,3
3	0,6	0,12	0,4
4	0,7	0,13	0,5
5	0,8	0,14	0,6
6	0,9	0,15	0,7
7	0,4	0,16	0,8
8	0,5	0,17	0,9
9	0,6	0,18	1,0
10	0,7	0,10	1,1
11	0,8	0,11	1,2
12	0,9	0,12	1,3
13	0,4	0,13	1,4
14	0,5	0,14	1,5
15	0,6	0,15	1,6
16	0,7	0,16	1,7
17	0,8	0,17	1,8
18	0,9	0,18	1,9
19	0,4	0,10	0,2
20	0,5	0,11	0,3
21	0,6	0,12	0,4
22	0,7	0,13	0,5
23	0,8	0,14	0,6
24	0,9	0,15	0,7
25	0,4	0,16	0,8
26	0,5	0,17	0,9
27	0,6	0,18	1,0
28	0,7	0,10	1,1
29	0,8	0,11	1,2
30	0,9	0,12	1,3
31	0,4	0,13	1,4
32	0,5	0,14	1,5
33	0,6	0,15	1,6
34	0,7	0,16	1,7
35	0,8	0,17	1,8
36	0,9	0,18	1,9

Таблица Б.8 – Данные к задаче 2.15

№ варианта	ρ, кг/м ³	d ₁ , см	d ₂ , см	h ₀ , м
1	720	10	5	0,20
2	730	11	6	0,21
3	740	12	7	0,22
4	750	13	8	0,23
5	760	14	9	0,24
6	770	15	10	0,25
7	780	16	11	0,26
8	790	17	12	0,27
9	800	18	13	0,28
10	720	19	14	0,29
11	730	20	15	0,30
12	740	21	16	0,31
13	750	22	17	0,32
14	760	23	18	0,33
15	770	24	19	0,34
16	780	25	20	0,35
17	790	26	21	0,36
18	800	27	22	0,37
19	720	28	23	0,38
20	730	29	24	0,39
21	740	30	25	0,40
22	750	31	26	0,41
23	760	32	27	0,42
24	770	33	28	0,43
25	780	34	29	0,44
26	790	35	30	0,45
27	800	36	31	0,46
28	720	37	32	0,47
29	730	38	33	0,48
30	740	39	34	0,49
31	750	40	35	0,50
32	760	41	36	0,51
33	770	42	37	0,52
34	780	43	38	0,53
35	790	44	39	0,54
36	800	45	40	0,55

ПРИЛОЖЕНИЕ В
ДАННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА
«ГИДРОДИНАМИКА»

Таблица В.1 – Данные к задаче 3.1

№ варианта	a, м	b, м
1	1,0	0,2
2	1,1	0,3
3	1,2	0,4
4	1,3	0,5
5	1,4	0,6
6	1,5	0,7
7	1,6	0,8
8	1,7	0,9
9	1,8	1,0
10	1,9	1,1
11	4,0	1,2
12	4,1	1,3
13	4,2	1,4
14	4,3	1,5
15	4,4	1,6
16	4,5	1,7
17	4,6	1,8
18	4,7	1,9
19	4,8	3,0
20	4,9	3,1
21	7,1	3,2
22	7,2	3,3
23	7,3	3,4
24	7,4	3,5
25	7,5	3,6
26	7,6	3,7
27	7,7	3,8
28	7,8	3,9
29	7,9	5,0
30	9,0	5,1
31	9,1	5,2
32	9,2	5,3
33	9,3	5,4
34	9,4	5,5
35	9,5	5,6
36	9,6	5,7

Таблица В.2 – Данные к задаче 3.3

№ варианта	d, мм	t, с	V, м ³
1	200	10	0,2
2	210	11	0,3
3	220	12	0,4
4	230	13	0,5
5	240	14	0,6
6	250	15	0,7
7	260	16	0,8
8	270	17	0,9
9	280	18	1,0
10	290	19	0,5
11	300	20	0,6
12	310	21	0,7
13	320	22	0,8
14	330	23	0,9
15	340	24	1,0
16	350	25	1,1
17	360	26	1,2
18	370	27	1,3
19	200	28	1,4
20	210	29	1,5
21	220	30	1,6
22	230	31	1,7
23	240	32	1,8
24	250	33	1,9
25	260	34	2,0
26	270	35	1,0
27	280	36	1,1
28	290	37	1,2
29	300	38	1,3
30	310	39	1,4
31	320	40	1,5
32	330	41	1,6
33	340	42	1,7
34	350	43	1,8
35	360	44	1,9
36	370	45	2,0

Таблица В.3 – Данные к задаче 3.6

№ варианта	$f_1, \text{м}^2$	$f_2, \text{м}^2$	$\omega_1, \text{м/с}$
1	0,05	0,005	0,4
2	0,06	0,006	0,6
3	0,07	0,007	0,8
4	0,08	0,008	1,0
5	0,09	0,009	1,2
6	0,1	0,01	1,4
7	0,2	0,02	1,6
8	0,3	0,03	1,8
9	0,4	0,04	2,0
10	0,5	0,05	2,2
11	0,6	0,06	2,4
12	0,7	0,07	2,6
13	0,8	0,08	2,8
14	0,9	0,09	3,0
15	1,0	0,10	2,8
16	0,9	0,11	2,6
17	0,8	0,12	2,4
18	0,7	0,13	2,2
19	0,6	0,14	2,0
20	0,5	0,15	2,1
21	0,4	0,16	2,3
22	0,3	0,17	2,5
23	0,2	0,18	2,7
24	0,1	0,19	2,9
25	0,09	0,20	3,1
26	0,08	0,21	3,3
27	0,07	0,22	3,5
28	0,06	0,23	3,7
29	0,05	0,24	3,9
30	0,04	0,25	4,1
31	0,03	0,26	4,3
32	0,02	0,27	4,4
33	0,01	0,28	4,5
34	0,01	0,29	4,6
35	0,02	0,30	4,7
36	0,03	0,31	4,8

Таблица В.4 – Данные к задаче 3.9

№ варианта	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\omega_1, \text{кг/м}^3$	$\omega_2, \text{кг/м}^3$
1	1000	3,0	2,5
2	1050	3,1	2,6
3	1100	3,2	2,7
4	1150	3,3	2,8
5	1200	3,4	2,9
6	1250	3,5	3,0
7	1300	3,6	3,1
8	1350	3,7	3,2
9	1400	3,8	3,3
10	1000	3,9	3,4
11	1050	4,0	3,5
12	1100	4,1	3,6
13	1150	4,2	3,7
14	1200	4,3	3,8
15	1250	4,4	3,9
16	1300	4,5	4,0
17	1350	4,6	4,1
18	1400	4,7	4,5
19	1000	4,8	4,6
20	1050	4,9	4,7
21	1100	1,0	0,9
22	1150	1,1	1,0
23	1200	1,2	1,0
24	1250	1,3	1,1
25	1300	1,4	1,2
26	1350	1,5	1,3
27	1400	1,6	1,4
28	1000	1,7	1,5
29	1050	1,8	1,6
30	1100	1,9	1,7
31	1150	2,0	1,9
32	1200	2,1	2,0
33	1250	2,2	2,1
34	1300	2,3	2,2
35	1350	2,4	2,3
36	1400	2,5	2,4

Таблица В.5 – Данные к задаче 3.12

№ варианта	ρ , кг/м ³	$H_{\text{г.д.}}$, м	p , кПа	z , м
1	800	5,5	10	1,0
2	810	5,4	11	1,1
3	820	5,3	12	1,2
4	830	5,2	13	1,3
5	840	5,1	14	1,4
6	850	5,0	15	1,5
7	860	4,9	16	1,6
8	870	4,8	17	1,7
9	880	4,7	18	1,8
10	890	4,6	19	1,9
11	900	4,5	20	2,0
12	910	4,4	30	2,1
13	920	4,3	31	2,2
14	930	4,2	32	2,3
15	940	4,1	33	2,4
16	950	4,0	34	2,5
17	960	7,0	35	2,6
18	970	7,1	36	2,7
19	980	7,2	37	2,8
20	990	7,3	38	2,9
21	1000	7,4	39	3,0
22	990	7,5	40	3,1
23	980	7,6	41	3,2
24	970	7,7	42	3,3
25	960	7,8	43	3,4
26	950	7,9	44	3,5
27	940	8,0	45	3,6
28	930	8,1	46	3,7
29	920	8,2	47	3,8
30	910	8,3	48	3,9
31	900	8,4	49	4,0
32	890	8,5	50	1,0
33	880	8,6	20	1,1
34	870	8,7	21	1,2
35	860	8,8	22	1,3
36	850	8,9	23	1,4

Таблица В.6 – Данные к задаче 3.14

№ варианта	ω , м/с
1	2,0
2	2,1
3	2,2
4	2,3
5	2,4
6	2,5
7	2,6
8	2,7
9	2,8
10	2,9
11	3,0
12	5,0
13	5,1
14	5,2
15	5,3
16	5,4
17	5,5
18	5,6
19	5,7
20	5,8
21	5,9
22	6,0
23	6,1
24	3,1
25	3,2
26	3,3
27	3,4
28	3,5
29	3,6
30	3,7
31	3,8
32	3,9
33	4,0
34	4,1
35	4,2
36	4,3

Таблица В.7 – Данные к задаче 3.19

№ варианта	d ₁ , м	d ₂ , м	h ₁ , м	h ₂ , м
1	0,1	0,05	0,2	0,15
2	0,15	0,1	0,25	0,2
3	0,2	0,15	0,3	0,25
4	0,25	0,2	0,35	0,3
5	0,3	0,25	0,4	0,35
6	0,35	0,3	0,45	0,4
7	0,4	0,35	0,2	0,15
8	0,45	0,4	0,25	0,2
9	0,5	0,45	0,3	0,25
10	0,55	0,5	0,35	0,3
11	0,6	0,55	0,4	0,35
12	0,65	0,6	0,45	0,4
13	0,7	0,65	0,2	0,15
14	0,75	0,7	0,25	0,2
15	0,8	0,75	0,3	0,25
16	0,85	0,8	0,35	0,3
17	0,9	0,85	0,4	0,35
18	0,95	0,9	0,45	0,4
19	1,0	0,95	0,2	0,15
20	0,91	0,9	0,25	0,2
21	0,81	0,8	0,3	0,25
22	0,71	0,7	0,35	0,3
23	0,61	0,6	0,4	0,35
24	0,51	0,5	0,45	0,4
25	0,41	0,4	0,2	0,15
26	0,31	0,3	0,25	0,2
27	0,21	0,2	0,3	0,25
28	0,11	0,1	0,35	0,3
29	0,23	0,2	0,4	0,35
30	0,33	0,3	0,45	0,4
31	0,43	0,4	0,2	0,15
32	0,53	0,5	0,25	0,2
33	0,63	0,6	0,3	0,25
34	0,73	0,7	0,35	0,3
35	0,83	0,8	0,4	0,35
36	0,93	0,9	0,45	0,4

Таблица В.8 – Данные к задаче 3.21

№ варианта	d, мм	v, *10 ⁻⁶ м ² /с	ω, м/с
1	50	1,01	1,0
2	60	1,02	1,2
3	70	1,03	1,4
4	80	1,04	1,6
5	90	1,05	1,8
6	100	1,06	2,0
7	50	1,07	2,2
8	60	1,08	2,4
9	70	1,09	2,6
10	80	1,10	2,8
11	90	1,11	3,0
12	100	1,12	3,2
13	50	1,13	3,4
14	60	1,14	3,6
15	70	1,15	3,8
16	80	1,16	4,0
17	90	1,17	4,2
18	100	1,18	4,4
19	50	1,19	4,6
20	60	1,20	4,8
21	70	1,21	5,0
22	80	1,22	3,2
23	90	1,23	3,4
24	100	1,24	3,6
25	50	1,25	3,8
26	60	1,26	4,0
27	70	1,27	4,2
28	80	1,28	4,4
29	90	1,29	4,6
30	100	1,30	4,8
31	50	1,31	5,0
32	60	1,32	5,2
33	70	1,33	5,4
34	80	1,34	5,6
35	90	1,35	5,8
36	100	1,36	6,0

Таблица В.9 – Данные к задаче 3.24

№ варианта	d, мм	l, м	t, с	V, л
1	15	10	1,5	1,1
2	20	11	2,0	1,2
3	25	12	2,5	1,3
4	30	13	3,0	1,4
5	25	14	3,5	1,5
6	20	15	4,0	1,6
7	15	16	1,5	1,7
8	10	17	2,0	1,8
9	15	18	2,5	1,9
10	20	19	3,0	2,0
11	25	20	3,5	2,1
12	30	21	4,0	2,2
13	15	22	1,5	2,3
14	20	23	2,0	2,4
15	25	24	2,5	2,5
16	30	25	3,0	2,6
17	25	26	3,5	2,7
18	20	27	4,0	2,8
19	15	28	1,5	1,1
20	10	29	2,0	1,2
21	15	30	2,5	1,3
22	20	31	3,0	1,4
23	25	32	3,5	1,5
24	30	33	4,0	1,6
25	15	34	1,5	1,7
26	20	35	2,0	1,8
27	25	36	2,5	1,9
28	30	37	3,0	2,0
29	25	38	3,5	2,1
30	20	39	4,0	2,2
31	15	40	1,5	2,3
32	10	41	2,0	2,4
33	15	42	2,5	2,5
34	20	43	3,0	2,6
35	25	44	3,5	2,7
36	30	45	4,0	2,8

Таблица В.10 – Данные к задаче 3.26

№ варианта	v, $\times 10^{-6}$ м ² /с	ω, м/с
1	1,1	1,0
2	1,2	1,2
3	1,3	1,4
4	1,4	1,6
5	1,5	1,8
6	1,6	2,0
7	1,5	2,2
8	1,4	2,4
9	1,3	2,6
10	1,2	2,8
11	1,1	3,0
12	1,05	3,2
13	1,15	3,4
14	1,25	3,6
15	1,35	3,8
16	1,45	4,0
17	1,55	4,2
18	1,65	4,4
19	1,1	4,6
20	1,2	4,8
21	1,3	5,0
22	1,4	5,2
23	1,5	5,4
24	1,6	5,6
25	1,5	5,8
26	1,4	6,0
27	1,3	6,2
28	1,2	6,4
29	1,1	6,6
30	1,05	6,8
31	1,15	7,0
32	1,25	7,2
33	1,35	7,4
34	1,45	7,6
35	1,55	7,8
36	1,65	8,0

Таблица В.11 – Данные к задаче 3.27

№ варианта	d, мм	l, м	ρ, кг/м ³	V, м ³
1	20	10	790	2,0
2	25	11	795	2,1
3	30	12	800	2,2
4	35	13	805	2,3
5	40	14	810	2,4
6	45	15	815	2,5
7	20	16	820	2,6
8	25	17	825	2,7
9	30	18	830	2,8
10	35	19	790	2,9
11	40	20	795	3,0
12	45	30	800	3,1
13	20	31	805	3,2
14	25	32	810	3,3
15	30	33	815	3,4
16	35	34	820	3,5
17	40	35	825	3,6
18	45	36	830	3,7
19	20	37	790	3,8
20	25	38	795	3,9
21	30	39	800	4,0
22	35	40	805	4,1
23	40	41	810	4,2
24	45	42	815	4,3
25	20	43	820	4,4
26	25	44	825	4,5
27	30	45	830	4,6
28	35	46	790	4,7
29	40	47	795	4,8
30	45	48	800	4,9
31	20	49	805	6,0
32	25	50	810	6,1
33	30	51	815	6,2
34	35	52	820	6,3
35	40	53	825	6,4
36	45	54	830	6,5

Таблица В.12 – Данные к задаче 3.29

№ варианта	d ₁ , мм	d ₂ , мм	ω, м/с
1	50	40	1,0
2	60	50	1,1
3	70	60	1,2
4	80	70	1,3
5	90	80	1,4
6	100	90	1,5
7	110	100	1,6
8	120	110	1,7
9	130	120	1,8
10	140	130	1,9
11	150	140	2,0
12	160	150	2,1
13	170	160	2,2
14	180	170	2,3
15	190	180	2,4
16	200	190	2,5
17	210	150	2,6
18	220	160	2,7
19	230	170	2,8
20	240	180	2,9
21	250	190	3,0
22	260	200	3,1
23	270	250	3,2
24	280	260	3,3
25	290	270	3,4
26	300	280	3,5
27	310	100	3,6
28	320	120	3,7
29	330	140	3,8
30	340	160	3,9
31	350	180	4,0
32	360	200	4,1
33	370	210	4,2
34	380	220	4,3
35	390	230	4,4
36	400	240	4,5

Таблица В.13 – Данные к задаче 3.31

№ варианта	d, мм	δ, мм	l, м
1	1000	8	1500
2	900	8	1550
3	800	8	1600
4	700	8	1650
5	600	8	1700
6	500	8	1750
7	400	8	1800
8	300	8	1850
9	250	7	1900
10	200	6	1950
11	150	4	2000
12	125	4	2050
13	1000	8	2100
14	900	8	2150
15	800	8	2200
16	700	8	2250
17	600	8	2300
18	500	8	2350
19	400	8	2400
20	300	8	2450
21	250	7	2500
22	200	6	2600
23	150	4	2650
24	125	4	2700
25	1000	8	2750
26	900	8	2800
27	800	8	2850
28	700	8	2900
29	600	8	2950
30	500	8	3000
31	400	8	3050
32	300	8	3100
33	250	7	3150
34	200	6	3200
35	150	4	3250
36	125	4	3300

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

ДАННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА «ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ ИЗ ОТВЕРСТИЙ И ЧЕРЕЗ НАСАДКИ»

Таблица Г.1 – Данные к задаче 4.1

№ варианта	H, м	d _{отв} , мм
1	1,0	2,0
2	1,1	2,5
3	1,2	3,0
4	1,3	3,5
5	1,4	4,0
6	1,5	4,5
7	1,6	5,0
8	1,7	5,5
9	1,8	6,0
10	1,9	2,0
11	2,0	2,5
12	2,1	3,0
13	2,2	3,5
14	2,3	4,0
15	2,4	4,5
16	2,5	5,0
17	2,6	5,5
18	2,7	6,0
19	2,8	2,0
20	2,9	2,5
21	3,0	3,0
22	3,1	3,5
23	3,2	4,0
24	3,3	4,5
25	3,4	5,0
26	3,5	5,5
27	3,6	6,0
28	3,7	2,0
29	3,8	2,5
30	3,9	3,0
31	4,0	3,5
32	4,1	4,0
33	4,2	4,5
34	4,3	5,0
35	4,4	5,5
36	4,5	6,0

Таблица Г.2 – Данные к задаче 4.2

№ варианта	f _{отв} , м ²	ρ, кг/м ³	H, м
1	0,003	800	2,0
2	0,004	810	2,2
3	0,005	820	2,4
4	0,006	830	2,6
5	0,007	840	2,8
6	0,008	850	3,0
7	0,009	800	3,2
8	0,01	810	3,4
9	0,015	820	3,6
10	0,003	830	3,8
11	0,004	840	4,0
12	0,005	850	4,2
13	0,006	800	4,4
14	0,007	810	4,6
15	0,008	820	4,8
16	0,009	830	5,0
17	0,01	840	5,1
18	0,015	850	5,2
19	0,003	800	5,3
20	0,004	810	5,4
21	0,005	820	5,5
22	0,006	830	5,6
23	0,007	840	5,7
24	0,008	850	5,8
25	0,009	800	5,9
26	0,01	810	6,0
27	0,015	820	6,1
28	0,003	830	6,2
29	0,004	840	6,3
30	0,005	850	6,4
31	0,006	800	6,5
32	0,007	810	6,6
33	0,008	820	6,7
34	0,009	830	6,8
35	0,01	840	6,9
36	0,015	850	7,0

Таблица Г.3 – Данные к задаче 4.4

№ варианта	Q, л/с	H, м
1	10	1,5
2	11	2,0
3	12	2,5
4	13	3,0
5	14	3,5
6	15	4,0
7	16	4,5
8	17	5,0
9	18	5,5
10	19	6,0
11	20	6,5
12	21	7,0
13	20	7,5
14	19	8,0
15	18	1,0
16	17	1,2
17	16	1,4
18	15	1,6
19	14	1,8
20	13	2,0
21	12	2,2
22	11	2,4
23	10	2,6
24	9	2,8
25	8	3,0
26	7	1,1
27	6	1,2
28	7	1,3
29	8	1,2
30	9	1,1
31	10	1,0
32	11	0,9
33	12	0,8
34	13	0,7
35	14	0,6
36	15	0,5

Таблица Г.4 – Данные к задаче 4.7

№ варианта	d, м	H ₁ , м	H ₂ , м	d _{отв} , мм
1	2,0	1,1	0,1	10
2	2,5	1,2	0,2	15
3	3,0	1,3	0,3	20
4	3,5	1,4	0,4	25
5	4,0	1,5	0,5	30
6	4,5	1,6	0,6	35
7	5,0	1,7	0,7	40
8	2,0	1,8	0,8	45
9	2,5	1,9	0,9	50
10	3,0	2,0	1,0	55
11	3,5	2,1	1,1	60
12	4,0	2,2	1,2	65
13	4,5	2,3	1,3	70
14	5,0	2,4	1,4	75
15	2,0	2,5	1,5	80
16	2,5	2,6	1,6	85
17	3,0	2,7	1,7	90
18	3,5	2,8	1,8	95
19	4,0	2,9	1,9	100
20	4,5	3,0	1,0	10
21	5,0	3,1	1,2	20
22	2,0	3,2	1,3	30
23	2,5	3,3	1,4	40
24	3,0	3,4	1,5	50
25	3,5	3,5	1,6	60
26	4,0	3,6	1,7	70
27	4,5	3,7	1,8	80
28	5,0	3,8	1,9	90
29	2,0	3,9	2,0	100
30	2,5	4,0	0,1	90
31	3,0	4,1	0,2	80
32	3,5	4,2	0,3	70
33	4,0	4,3	0,4	60
34	4,5	4,4	0,5	50
35	5,0	4,5	0,6	40
36	4,0	4,6	0,7	30

Таблица Г.5 – Данные к задаче 4.8

№ варианта	H, мм	d _{нас} , мм
1	2000	25
2	2050	30
3	2100	35
4	2150	40
5	2200	45
6	2250	50
7	2300	55
8	2350	60
9	2400	65
10	2450	70
11	2500	75
12	2550	80
13	2600	85
14	2650	90
15	2700	95
16	2750	100
17	2800	110
18	2850	120
19	2900	115
20	2950	105
21	2900	55
22	2850	50
23	2800	45
24	2750	40
25	2700	35
26	2650	30
27	2600	25
28	2550	20
29	2500	15
30	2450	10
31	2400	15
32	2350	20
33	2300	25
34	2250	30
35	2200	35
36	2150	100

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

ДАННЫЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАЗДЕЛА
«НАСОСЫ И ВЕНТИЛЯТОРЫ»

Таблица Д.1 – Данные к задаче 5.1

№ варианта	Q, л/с	d, мм	Σh_{bc} , м
1	1	50	0,2
2	2	60	0,3
3	3	70	0,4
4	4	80	0,5
5	5	90	0,6
6	6	100	0,7
7	7	50	0,8
8	8	60	0,9
9	9	70	1,0
10	10	80	1,1
11	9	90	1,2
12	8	100	1,3
13	7	50	1,4
14	6	60	1,5
15	5	70	1,45
16	4	80	1,35
17	3	90	1,25
18	2	100	1,15
19	1	50	1,05
20	2	60	0,95
21	3	70	0,85
22	4	80	0,75
23	5	90	0,65
24	6	100	0,55
25	7	50	0,45
26	8	60	0,35
27	9	70	0,25
28	10	80	0,15
29	9	90	0,05
30	8	100	0,12
31	7	50	0,22
32	6	60	0,32
33	5	70	0,42
34	4	80	0,52
35	3	90	0,62
36	2	100	0,72

Таблица Д.2 – Данные к задаче 5.3

№ варианта	h_{bc} , м	h_{nag} , м	Σh_{bc} , м	Σh_{nag} , м
1	5	90	0,5	0,1
2	6	91	0,6	0,2
3	7	92	0,7	0,3
4	5	93	0,8	0,4
5	6	94	0,9	0,5
6	7	95	1,0	0,6
7	5	96	1,1	0,7
8	6	97	1,2	0,8
9	7	98	1,3	0,9
10	5	99	1,4	1,0
11	6	100	1,5	1,1
12	7	101	1,6	1,2
13	5	102	1,7	1,3
14	6	103	1,8	1,4
15	7	104	1,75	1,5
16	5	105	1,65	1,6
17	6	106	1,55	1,7
18	7	107	1,45	1,8
19	5	108	1,35	1,9
20	6	109	1,25	2,0
21	7	110	1,15	2,1
22	5	112	1,05	2,2
23	6	113	0,95	2,3
24	7	114	0,85	2,4
25	5	115	0,75	2,5
26	6	116	0,65	2,6
27	7	117	0,63	2,7
28	5	118	0,61	2,8
29	6	119	0,59	2,9
30	7	120	0,57	3,0
31	5	121	0,55	3,1
32	6	122	0,53	3,2
33	7	123	0,51	3,3
34	5	124	0,49	3,4
35	6	125	0,47	3,5
36	7	126	0,45	3,6

Таблица Д.3 – Данные к задаче 5.6

№ варианта	h _B , м	h _M , м	ω _B , м/с	ω _H , м/с
1	0,05	50	2,0	3,0
2	0,06	52	2,1	3,1
3	0,07	54	2,2	3,2
4	0,08	56	2,3	3,3
5	0,09	58	2,4	3,4
6	0,1	60	2,5	3,5
7	0,11	62	2,6	3,6
8	0,12	64	2,7	3,7
9	0,13	66	2,8	3,8
10	0,14	68	2,9	3,9
11	0,15	70	3,0	4,0
12	0,16	72	3,1	4,1
13	0,17	74	2,0	4,2
14	0,18	76	2,1	4,3
15	0,19	78	2,2	4,4
16	0,2	80	2,3	4,5
17	0,21	82	2,4	4,6
18	0,22	84	2,5	4,7
19	0,21	86	2,6	4,8
20	0,20	88	2,7	4,9
21	0,19	90	2,8	5,0
22	0,18	92	2,9	5,1
23	0,17	94	3,0	5,2
24	0,16	96	3,1	5,3
25	0,15	98	2,0	5,4
26	0,14	100	2,1	5,5
27	0,13	102	2,2	5,6
28	0,12	104	2,3	5,7
29	0,11	106	2,4	5,8
30	0,10	108	2,5	5,9
31	0,09	110	2,6	6,0
32	0,08	112	2,7	6,1
33	0,07	114	2,8	6,2
34	0,06	116	2,9	6,3
35	0,05	118	3,0	6,4
36	0,04	120	3,1	6,5

Таблица Д.4 – Данные к задаче 5.7

№ варианта	d, мм	S, мм	n
1	50	200	3
2	60	210	6
3	70	220	9
4	80	230	12
5	90	240	18
6	100	250	24
7	110	260	30
8	120	270	60
9	130	280	3
10	50	290	6
11	60	300	9
12	70	310	12
13	80	320	18
14	90	330	24
15	100	340	30
16	110	350	60
17	120	360	3
18	130	370	6
19	50	380	9
20	60	390	12
21	70	400	18
22	80	395	24
23	90	385	30
24	100	375	60
25	110	365	3
26	120	355	6
27	130	345	9
28	50	335	12
29	60	325	18
30	70	315	24
31	80	305	30
32	90	295	60
33	100	285	30
34	110	275	24
35	120	265	18
36	130	255	12

Таблица Д.5 – Данные к задаче 5.8

№ варианта	H, м	Q, л/с
1	50	1,5
2	55	1,6
3	60	1,7
4	65	1,8
5	70	1,9
6	75	2,0
7	80	2,1
8	85	2,2
9	90	2,3
10	95	2,4
11	100	2,5
12	105	2,6
13	110	2,7
14	115	2,8
15	120	2,9
16	125	4,0
17	130	4,1
18	135	4,2
19	140	4,3
20	145	4,4
21	150	4,5
22	155	4,6
23	160	4,7
24	165	4,8
25	170	4,9
26	175	6,1
27	180	6,2
28	185	6,3
29	190	6,4
30	195	6,5
31	200	6,6
32	191	6,7
33	181	6,8
34	171	6,9
35	161	8,0
36	151	8,1

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ

Таблица Е.1 – Плотность чистой воды, свободной от воздуха, в зависимости от температуры (при давлении 0,1 МПа)¹

Температура воды, °С	Плотность воды, кг/м ³
0	999,87
4	1000
10	999,73
20	998,23
30	995,68
40	992,25
50	988,1
60	983,2
70	977,8
80	971,8
90	965,3
100	958,4

Таблица Е.2 – Плотность некоторых жидкостей при стандартных условиях (0,1 МПа и 20 °С)²

Жидкость	Плотность жидкости, кг/м ³
Нефть	760÷920
Бензин	680÷780
Керосин	700÷820
Глицерин	1259
Спирт метиловый	792
Спирт этиловый	808
Ртуть	13550

¹ Фонарев А.Л. Методические указания по выполнению контрольных заданий для студентов специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». Калининград: КГТУ, 1995. – С. 64.

² Там же; Чернов В.А., Бессребреников Н.К., Силецкий В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Учебник для техникумов, изд 2-е, перераб. М.: Энергия, 1976. – С. 18.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ ЖИДКОСТЕЙ

Таблица Ж.1 – Кинематическая вязкость воды в зависимости от температуры на линии насыщения³

Температура воды, °C	Кинематическая вязкость воды $\times 10^{-6}$, $\text{м}^2/\text{с}$
0	1,789
5	1,515
10	1,306
15	1,142
20	1,006
25	0,897
30	0,805
40	0,658
50	0,556
60	0,478
70	0,415
80	0,366
90	0,326
100	0,294

Таблица Ж.2 – Кинематическая вязкость некоторых жидкостей при стандартных условиях (0,1 МПа и 20 °C)⁴

Жидкость	Кинематическая вязкость жидкости $\times 10^{-4}$, $\text{м}^2/\text{с}$
Нефть	0,1÷1,5
Бензин	0,005÷0,009
Керосин	0,01÷0,03
Глицерин	9,7
Ртуть	0,0016
Масло касторовое	15
Масло трансформаторное	0,28

³ Фонарев А.Л. Методические указания по выполнению контрольных заданий для студентов специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». Калининград: КГТУ, 1995. – С. 65.

⁴ Там же; Чернов В.А., Бессребреников Н.К., Силецкий В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Учебник для техникумов, изд 2-е, перераб. М.: Энергия, 1976. – С. 22.

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Таблица И – Коэффициент термического расширения для некоторых жидкостей (при стандартных условиях)⁵

Жидкость	Коэффициент термического расширения, 1/К
Вода	0,00015
Нефть, нефтепродукты	0,0006÷0,0008
Ртуть	0,00013

⁵ Чернов В.А., Бессребреников Н.К., Силецкий В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Учебник для техникумов, изд 2-е, перераб. М.: Энергия, 1976. – С. 20.

ПРИЛОЖЕНИЕ К
ШЕРОХОВАТОСТЬ ТРУБ И МЕСТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

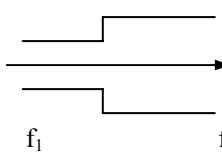
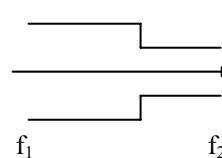
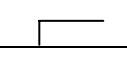
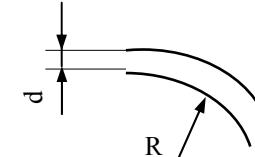
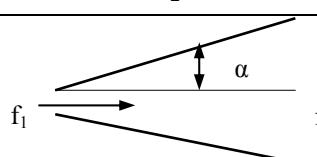
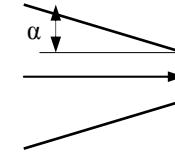
Таблица К.1 – Некоторые значения эквивалентной шероховатости для труб⁶

Материал и вид трубы	Состояние трубы	Диапазон значений эквивалентной шероховатости $\times 10^{-3}$, м
Стеклянные и из цветных металлов, тянутые	Новые	0,001÷0,002
Стальные бесшовные	Новые и чистые	0,01÷0,02
	После нескольких лет эксплуатации	0,15÷0,3
Стальные сварные	Новые и чистые	0,03÷0,1
	Умеренно заржавевшие	0,3÷0,7
	Старые заржавевшие	0,8÷1,5
	Сильно заржавевшие	2,0÷4,0
Полиэтиленовые	Новые	0,007
	После нескольких лет эксплуатации	0,01
Чугунные	Новые	0,2÷0,5
	После нескольких лет эксплуатации	0,6÷1,0

⁶ Там же. С. – 61.

СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб.

Таблица К.2 – Коэффициенты местных сопротивлений при турбулентном режиме движения жидкости⁷

Вид местного сопротивления	Эскиз фасонных частей	Коэффициент местного сопротивления
1	2	3
Внезапное расширение потока		$\zeta = (f_2/f_1 - 1)^2$
Внезапное сужение потока		$\zeta = 0,5*(1 - f_2/f_1)$
Вход в трубу: а) при острых кромках		$\zeta = 0,5$
		$\zeta = 0,2$ (до 0,05)
Вход из трубы в резервуар больших размеров, в том числе в реку	-	$\zeta = 1,0$
Колено (плавное закругление с углом поворота 90°)		Для труб малых сечений $\zeta = (0,131 + 0,163*(d/R)^{3,5})$ при $R > 2d$ $\zeta = 0,5$ при $R = (3 \div 7)d$ (оптимальное соотношение) $\zeta = 0,3$
Поворот на 90° угольником	-	$\zeta = 1,1$
Расходящийся переходный конус (диффузор)		$\zeta = K*(f_2/f_1 - 1)^2$ при $\alpha = 2^\circ, 4^\circ, 6^\circ$ соответственно $K = 0,12, 0,14, 0,23$
Суживающийся переходный конус (конфузор)		При $7^\circ < \alpha < 30^\circ$ $\zeta = 0,16 \div 0,24$ При $35^\circ < \alpha < 80^\circ$ $\zeta = 0,26 \div 0,35$

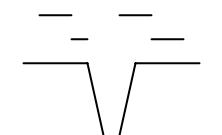
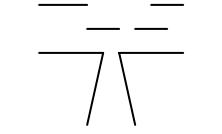
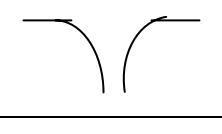
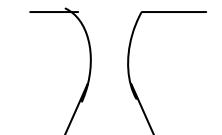
⁷ Чернов В.А., Бессребреников Н.К., Силецкий В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Учебник для техникумов, изд 2-е, перераб. М.: Энергия, 1976. – С. 65-66.

Продолжение таблицы К.2

1	2	3
Задвижка на круглой трубе: а) полностью открытая б) открытая на $\frac{3}{4}$ в) открытая наполовину	-	$\zeta = 0,12$ $\zeta = 0,26$ $\zeta = 2,06$
Кран пробочный на круглой трубе: а) полностью открытый б) при среднем открытии	-	$\zeta = 2,0$ $\zeta = 3 \div 5$
Кран шаровый	-	$\zeta = 0,3$
Тройник проходной	-	$\zeta = 1,0$
Тройник поворотный	-	$\zeta = 1,5$
Крестовина проходная	-	$\zeta = 2,0$
Крестовина поворотная	-	$\zeta = 3,0$
Вентиль прямой: а) полностью открытый б) при среднем открытии	-	$\zeta = 5,0$ $\zeta = 7,0$
Вентиль «косва»: а) полностью открытый б) при среднем открытии	-	$\zeta = 2,0$ $\zeta = 3,0$

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

Таблица Л – Коэффициент сжатия струи, коэффициент скорости и коэффициент расхода для насадков⁸

Вид насадка	Коэффициенты			Эскиз насадка
	сжатия струи ϵ	скорости ϕ	расхода μ	
Внешний цилиндрический	1	0,82	0,82	
Внутренний цилиндрический	1 (при длине насадка меньше 1,5 его диаметра соответственно 0,5)	0,71 (0,98)	0,71 (0,49)	
Конический сходящийся	0,98 (при угле конусности 13°)	0,96	0,945	
Конический расходящийся	1 (при угле конусности 8°)	0,45	0,45	
Коноидальный	1	0,97÷0,99	0,97÷0,99	
Комбинированный	1	0,97÷0,99	0,97÷0,99	

⁸ Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики: Учебник для техникумов. – М.: Стройиздат, 1980. – С. 123-128.

ПРИЛОЖЕНИЕ М

Таблица М – Давление паров воды в зависимости от температуры⁹

Температура, °С	Давление паров воды, кПа
5	0,88
10	1,18
20	2,36
30	4,22
40	7,36
50	12,30
60	19,80
70	31,10
80	47,30
90	70,30
100	101,30

⁹ Чернов В.А., Бессребреников Н.К., Силецкий В.С. Основы гидравлики и теплотехники: Учебник для техникумов, изд 2-е, перераб. М.: Энергия, 1976. – С. 84.