

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Металлорежущие станки и инструменты»

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

*Методические рекомендации к практическим занятиям
для студентов специальностей
6-05-0714-02 «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»
и 6-05-0611-01 «Информационные системы и технологии»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 532
ББК 30.123
М55

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
«1» сентября 2025 г., протокол № 1

Составитель канд. техн. наук В. Б. Попов

Рецензент канд. техн. наук, доц. Е. В. Ильюшина

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов специальностей 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» и 6-05-0611-01 «Информационные системы и технологии» дневной и заочной форм обучения.

Учебное издание

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Ответственный за выпуск	С. Н. Хатетовский
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 56 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2025

Содержание

1 Практическое занятие № 1. Введение в механику жидкости и газа	4
2 Практическое занятие № 2. Свойства жидкостей и газов.....	4
3 Практическое занятие № 3. Гидростатическое давление	6
4 Практическое занятие № 4. Сила давления на плоскую и криволинейную стенки	9
5 Практическое занятие № 5. Средняя скорость. Расход. Уравнение неразрывности движения (расхода)	11
6 Практическое занятие № 6. Уравнение Бернулли	14
7 Практическое занятие № 7. Режимы течения жидкости.....	16
8 Практическое занятие № 8. Гидравлические сопротивления.....	17
9 Практическое занятие № 9. Истечение жидкости через отверстия и насадки.....	19
10 Практическое занятие № 10. Простой и сложный трубопроводы	22
11 Практическое занятие № 11. Взаимодействие потока со стенками.....	26
12 Практическое занятие № 12. Компьютерное моделирование течения жидкости по цилиндрической трубе	28
13 Практическое занятие № 13. Компьютерное моделирование течения жидкости по трубе переменного сечения	30
14 Практическое занятие № 14. Компьютерное моделирование турбулентного течения жидкости.....	31
Список литературы	34

1 Практическое занятие № 1. Введение в механику жидкости и газа

Рассмотреть теоретические вопросы: несжимаемая жидкость; идеальный газ; внешние и внутренние силы; объемные и поверхностные силы; напряженное состояние жидкости.

Контрольные вопросы

- 1 Что является основной физической характеристикой несжимаемой жидкости?
- 2 Дайте определение идеального газа. Свойства идеального газа.
- 3 Чему равна равнодействующая всех внутренних сил?
- 4 В чем отличие поверхностных сил от объемных?
- 5 Определение теплопроводности.
- 6 Определение сжимаемости жидкости.

2 Практическое занятие № 2. Свойства жидкостей и газов

Здесь и далее использованы материалы из [1–7].

Задача 1. Определить плотность жидкости, полученной смешиванием 10 л жидкости плотностью $\rho_1 = 900 \text{ кг/м}^3$ и 20 л жидкости плотностью $\rho_2 = 870 \text{ кг/м}^3$.

Решение

Плотность смеси находим путем деления ее массы на объем:

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2}{V_1 + V_2}, \quad (1)$$

где V_1 – объем первой жидкости;
 V_2 – объем второй жидкости.

$$\rho = \frac{900 \cdot 0,01 + 870 \cdot 0,02}{0,01 + 0,02} = 880 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 2. Определить повышение давления, при котором начальный объем воды уменьшится на 1 %.

Решение

Повышение давления находим из формулы

$$\Delta p = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot \frac{1}{\beta_p}, \quad (2)$$

где β_p – коэффициент объемного сжатия для воды, $\beta_p = 4,85 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$;
 $\Delta V/V_0 = 0,01$ (по условию задачи).

Откуда

$$\Delta p = 0,01 \cdot \frac{1}{4,85 \cdot 10^{-10}} = 2,06 \cdot 10^7 \text{ Па.}$$

Решить следующие задачи.

Задача 3. Стальной трубопровод длиной $l = 300$ м и диаметром $D = 500$ мм испытывается на прочность гидравлическим способом. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в трубопровод за время испытания для подъема давления от $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 5$ МПа. Расширение трубопровода не учитывать. Объемный модуль упругости воды $E = 2060$ МПа.

Задача 4. Определить, насколько уменьшится давление масла в закрытом объеме ($V_0 = 150$ л) гидропривода, если утечки масла составили $\Delta V = 0,5$ л, а коэффициент объемного сжатия жидкости $\beta_p = 7,5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$. Деформацией элементов объемного гидропривода, в которых находится указанный объем масла, пренебречь.

Задача 5. Высота цилиндрического вертикального резервуара $h = 10$ м, его диаметр $D = 3$ м. Определить массу мазута ($\rho_0 = 920 \text{ кг/м}^3$), которую можно налить в резервуар при 15°C , если его температура может подняться до 40°C . Расширением стенок резервуара пренебречь, температурный коэффициент объемного расширения жидкости $\beta_t = 0,0008 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Задача 6. Кольцевая щель между двумя цилиндрами ($D = 210$ мм, $d = 202$ мм) залита трансформаторным маслом ($\rho = 910 \text{ кг/м}^3$) при температуре 20°C . Внутренний цилиндр равномерно вращается с частотой $n = 120 \text{ мин}^{-1}$. Определить динамическую и кинематическую вязкость масла, если момент, приложенный к внутреннему цилиндру, $M = 0,065 \text{ Н}\cdot\text{м}$, а высота столба жидкости в щели между цилиндрами $h = 120$ мм. Трением основания цилиндра о жидкость пренебречь.

Задача 7. Найти значение удельного веса воздуха при температуре $t = 50^\circ\text{C}$ и давлении $P = 10 \text{ кг/см}^2$.

Задача 8. Определить абсолютную вязкость воды в технической системе единиц при температуре 100°C .

Задача 9. Нефть удельного веса $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$ имеет вязкость в градусах Энглера $^\circ E = 5$. Определить кинематическую и абсолютную вязкость в физической системе единиц.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое жидкость?
- 2 Дайте определение сжимаемости жидкости.
- 3 Формула плотности однородной жидкости.
- 4 Определение вязкости.
- 5 Назовите шкалы определения вязкости жидкостей.
- 6 Дайте определение удельному весу жидкости.
- 7 Что такое удельная масса жидкости?
- 8 Какая жидкость является Ньютоновской?
- 9 Что такое идеальная жидкость?

3 Практическое занятие № 3. Гидростатическое давление

Задача 1. В сообщающиеся сосуды налиты вода ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) и бензин. Определить плотность бензина, если высота столба воды $h = 150 \text{ мм}$, а разность уровней жидкости в сосудах $a = 60 \text{ мм}$.

Решение

Во всех точках горизонтальной плоскости, проходящей в однородной жидкости, гидростатическое давление одинаково. Следовательно,

$$p_a + \rho \cdot g \cdot h = p_a + \rho_1 \cdot g \cdot (h + a), \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность бензина.

Откуда

$$\rho_1 = \rho \cdot \frac{h}{h + a} = 1000 \cdot \frac{150}{150 + 60} = 714 \text{ кг/м}^3. \quad (4)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Манометр, подключенный к закрытому резервуару с нефтью ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$), показывает избыточное давление $p_{\text{ман}} = 36 \text{ кПа}$. Определить абсолютное давление воздуха на поверхности жидкости p_0 и положение пьезометрической плоскости, если уровень нефти в резервуаре $H = 3,06 \text{ м}$, а расстояние от точки подключения до центра манометра $z = 1,02 \text{ м}$ (рисунок 1), атмосферное давление $p_a = 100 \text{ кПа}$.

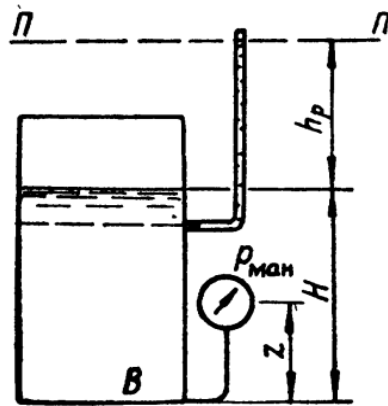


Рисунок 1 – К задаче 2

Задача 3. Поршень пружинного гидроаккумулятора диаметром $D = 250$ мм во время зарядки поднялся вверх на высоту $x = 14$ см (рисунок 2). Определить жесткость пружины c , если давление жидкости $p = 1,0$ МПа. Трением между поршнем и цилиндром и весом поршня пренебречь.

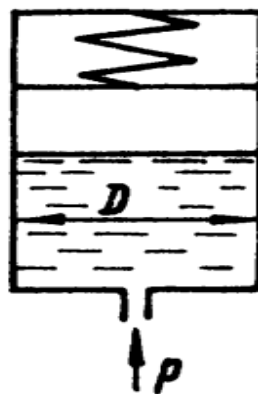


Рисунок 2 – К задаче 3

Задача 4. Определить давление масла p_1 , подводимого в поршневую полость гидроцилиндра, если избыточное давление в штоковой полости $p_2 = 80$ кПа (рисунок 3). Усилие на штоке $R = 10$ кН, сила трения поршня о цилиндр $F = 0,4$ кН, диаметр поршня $D = 125$ мм, диаметр штока $d = 70$ мм.

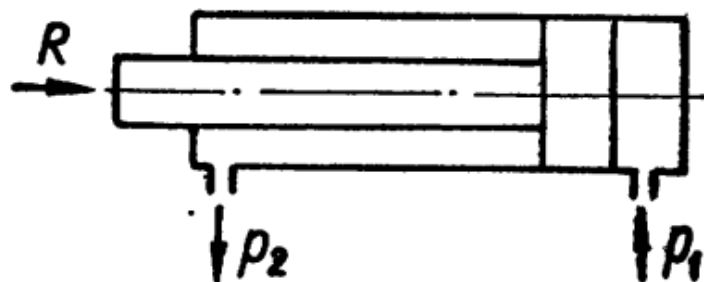


Рисунок 3 – К задаче 4

Задача 5. Определить повышение давления в закрытом объеме гидропривода при повышении температуры масла от $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, если температурный коэффициент объемного расширения $\beta_t = 7 \cdot 10^{-4}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, коэффициент объемного сжатия $\beta_p = 6,5 \cdot 10^{-10}\text{ Па}^{-1}$. Утечками жидкости и деформацией элементов конструкции объемного гидропривода можно пренебречь.

Задача 6. Определить полное гидравлическое давление на дно сосуда, наполненного водой. Сосуд сверху открыт, давление на свободной поверхности – атмосферное, глубина воды в сосуде $h = 0,60\text{ м}$.

Задача 7. Квадратное отверстие ($a \times a = 0,4 \times 0,4\text{ м}$) в вертикальной стенке резервуара с бензином ($\rho = 750\text{ кг/м}^3$) закрыто крышкой (рисунок 4). Найти силу давления на крышку и точку ее приложения, если центр отверстия находится на глубине $H = 2,0\text{ м}$, вакуум на поверхности жидкости $P_{\text{вак}} = 60\text{ кПа}$.

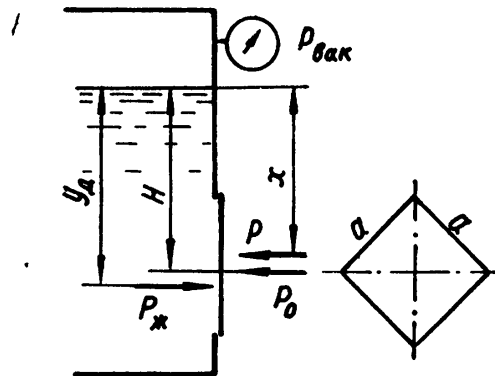


Рисунок 4 – К задаче 7

Задача 8. Круглое отверстие в вертикальной стенке закрытого резервуара с водой перекрыто сферической крышкой (рисунок 5). Радиус сферы $R = 0,3\text{ м}$, угол $\alpha = 120^{\circ}$, глубина погружения центра тяжести отверстия $H = 0,5\text{ м}$. Определить силу давления на крышку, если избыточное давление на поверхности воды $P_0 = 10\text{ кПа}$.

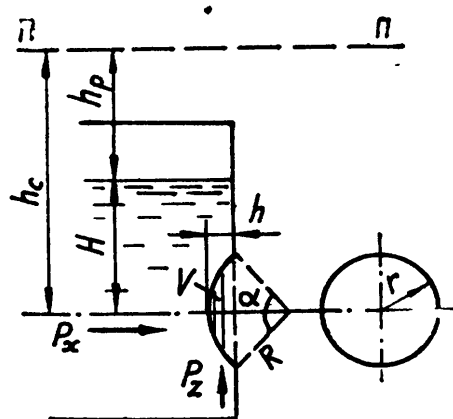


Рисунок 5 – К задаче 8

Задача 9. Определить, во сколько раз увеличится сила давления на дно сосуда диаметром D , наполненного водой на высоту $h = 1$ м, если к его верхней крышке присоединить трубку диаметром $d = 2$ см и наполнить ее водой на высоту $h_1 = 9$ м (рисунок 6).

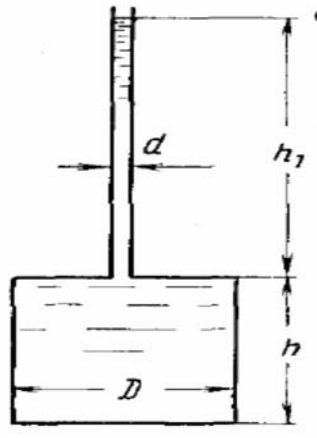


Рисунок 6 – К задаче 9

Контрольные вопросы

- 1 Что такое гидростатическое давление?
- 2 Основное уравнение гидростатики.
- 3 Что такое вакуум?
- 4 В каких единицах измеряется давление?
- 5 Объясните гидравлический парадокс.

4 Практическое занятие № 4. Сила давления на плоскую и криволинейную стенки

Задача 1. Определить величину силы давления на крышку, перекрывающую круглое отверстие диаметром $d = 500$ мм в вертикальной перегородке закрытого резервуара, если левый отсек резервуара заполнен нефтью ($\rho = 900$ кг/м³), правый – воздухом. Избыточное давление на поверхности жидкости $p_{ман} = 15$ кПа, показание ртутного мановакуумметра, подключенного к правому отсеку резервуара, $h = 80$ мм, центр отверстия расположен на глубине $H = 0,8$ м (рисунок 7), атмосферное давление $p_a = 100$ кПа.

Решение

Находим давление воздуха в правом отсеке резервуара p_p . Поскольку давления в точках B и C , принадлежащих горизонтальной плоскости, одинаковы и равны атмосферному давлению (100 кПа), то абсолютное давление воздуха в правом отсеке

$$p_n = p_a - \rho_{pm} \cdot g \cdot h = 100000 - 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 89300 \text{ Па.} \quad (5)$$

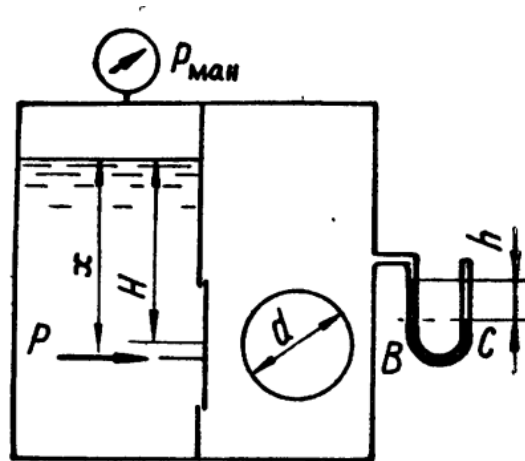


Рисунок 7 – К задаче 1

Сила давления воздуха на крышку справа

$$P_n = p_n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 89300 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 17500 \text{ Н.} \quad (6)$$

Эта сила приложена в центре тяжести крышки. Абсолютное давление воздуха на поверхности жидкости в левом отсеке

$$p_l = p_a + p_{ман} = 100000 + 15000 = 115000 \text{ Па.} \quad (7)$$

Сила давления воздуха на крышку слева

$$P_l = p_l \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 115000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 22600 \text{ Н.} \quad (8)$$

Эта сила приложена в центре тяжести крышки. Сила давления жидкости на стенку

$$P_{жс} = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 900 \cdot 9,81 \cdot 0,8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 1380 \text{ Н.} \quad (9)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Определить силу давления жидкости на закругление (рисунок 8), а также отрывающее и сдвигающее усилия, которые возникают на стыках закругления с прямолинейными участками трубопровода, если диаметр трубы $d = 250$ мм, угол поворота $\alpha = 60^\circ$, избыточное давление жидкости $p = 0,5$ МПа. Весом жидкости пренебречь.

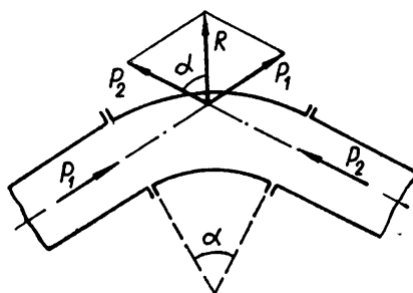


Рисунок 8 – К задаче 2

Задача 3. Найти минимальную толщину стенок стальной трубы диаметром $d = 25$ мм, если давление жидкости $p = 10$ МПа, а допускаемое напряжение на растяжение для стали $[\sigma] = 150$ МПа. Весом жидкости пренебречь.

Задача 4. Определить величину предварительной деформации пружины, прижимающей шарик к седлу предохранительного клапана диаметром $d = 25$ мм, если он открылся при давлении $p_1 = 2,5$ МПа. Давление после клапана $p_2 = 0,35$ МПа, жесткость пружины $c = 150$ Н/мм. Весом шарика и пружины пренебречь.

Контрольные вопросы

- 1 По какой формуле определяется избыточная сила на плоскую стенку?
- 2 Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность.
- 3 Сила для цилиндрической криволинейной поверхности.

5 Практическое занятие № 5. Средняя скорость. Расход. Уравнение неразрывности движения (расхода)

Рассмотреть теоретические вопросы: уравнение неразрывности.

Задача 1. Определить расход, среднюю и максимальную скорость в поперечном сечении трубопровода диаметром $d = 250$ мм, если распределение местных скоростей по сечению описывается уравнением $u = 50(r_0^2 - r^2)$, где r_0 – внутренний радиус трубы, $r_0 = 0,5d$; r – расстояние, м, от оси трубы до точки, в которой вычисляется скорость u .

Решение

Элементарную площадку выберем в виде кольца радиусом r и шириной dr (скорости во всех ее точках одинаковы):

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr. \quad (10)$$

Расход жидкости

$$\begin{aligned}
 Q &= \int_S u dS = \int_0^{d/2} 50 \cdot \left(\left(\frac{d}{2} \right)^2 - r^2 \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r dr = \int_0^{d/2} 50 \cdot \left(\left(\frac{0,25}{2} \right)^2 - r^2 \right) \cdot 2 \cdot \pi \cdot r dr = \\
 &= \int_0^{d/2} 100 \cdot \pi \cdot r (0,015625 - r^2) dr = \int_0^{d/2} (1,5625\pi r - 100 \cdot \pi r^3) dr = 0,78125\pi r^2 - \\
 &- 25\pi r^4 = 0,78125 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2 - 25 \cdot 3,14 \cdot 0,125^4 = 0,0192 \text{ м}^3/\text{с} = 19,2 \text{ л/с}. \quad (11)
 \end{aligned}$$

Средняя скорость

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 0,0192}{3,14 \cdot 0,25^2} = 0,39 \text{ м/с}. \quad (12)$$

Максимальная скорость на оси трубы ($r = 0$)

$$u_{\max} = 50 \cdot r_0^2 = 50 \cdot \left(\frac{0,25}{2} \right)^2 = 0,78 \text{ м/с}. \quad (13)$$

Задача 2. Подача шестеренного насоса объемного гидропривода $Q = 80$ /мин. Подобрать диаметры всасывающей, напорной и сливной гидролиний, принимая следующие расчетные скорости: для всасывающей гидролинии $v_{вс} = 0,6 \dots 1,4$ м/с; для напорной – $v_n = 3,0 \dots 5,0$ м/с; для сливной – $v_c = 1,4 \dots 2,0$ м/с.

Задача 3. Определить расход в водопроводной трубе, если средняя скорость воды $V = 1,1$ м/с, а диаметр трубы $d = 300$ мм.

Задача 4. В расширяющейся трубе имеет место напорное движение жидкости, при этом средние скорости в первом и втором сечении равны соответственно 1,6 и 0,9 м/с; диаметр трубы в первом сечении $d_1 = 0,5$ м. Определить диаметр трубы во втором сечении.

Задача 5. По трубопроводу диаметром 150 мм перекачивается нефть удельного веса $\rho = 900$ кг/м³ в количестве 1200 т в сутки. Определить секундный объемный расход нефти и среднюю скорость ее течения.

Задача 6. Определить расход воды, вытекающей из трубки диаметром $d = 25$ мм и длиной $l = 400$ мм под напором $H = 1,0$ м, если она вращается вокруг вертикальной оси с частотой $n = 120$ мин⁻¹ (рисунок 9). Каким будет расход воды из неподвижной трубки? Потерями напора пренебречь.

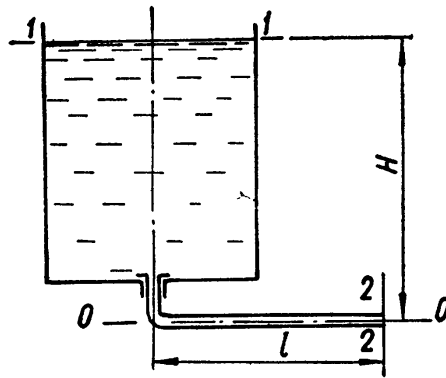


Рисунок 9 – К задаче 6

Задача 7. На трубопроводе установлен водомер Вентури. Определить расход воды, протекающей по трубопроводу, если разность показаний пьезометров $h = 20$ см, диаметр трубопровода $d_1 = 10$ см, а диаметр горловины $d_2 = 5,6$ см (рисунок 10). При расчете потерями напора, а также сжатием струи в горловине пренебречь.

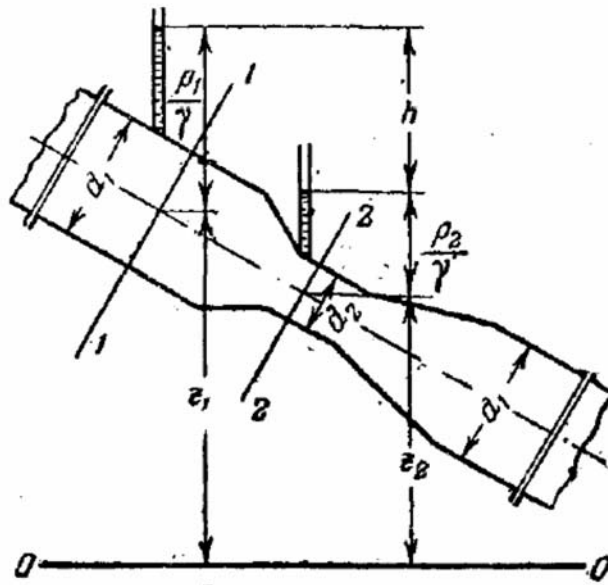


Рисунок 10 – К задаче 7

Контрольные вопросы

- 1 Формула для определения средней скорости.
- 2 Уравнение неразрывности.
- 3 Как связаны средние скорости и площади живых сечений?
- 4 Объясните принцип действия расходомера Вентури.
- 5 Для чего применяются трубки Пито? Объясните принцип их действия.

6 Практическое занятие № 6. Уравнение Бернулли

Задача 1. По горизонтальной трубе диаметром $d_1 = 100$ мм, имеющей сужение $d_2 = 40$ мм, движется вода (расход $Q = 6$ л/с). Определить абсолютное давление в узком сечении, если уровень воды в открытом пьезометре перед сужением $h_1 = 1,5$ м (рисунок 11). При каком расходе воды ртуть в трубке, присоединенной к трубопроводу в узком сечении, поднимется на высоту $h = 10$ см, если при этом $h_1 = 1,2$ м, $p_a = 101,325$ кПа ? Потерями напора пренебречь.

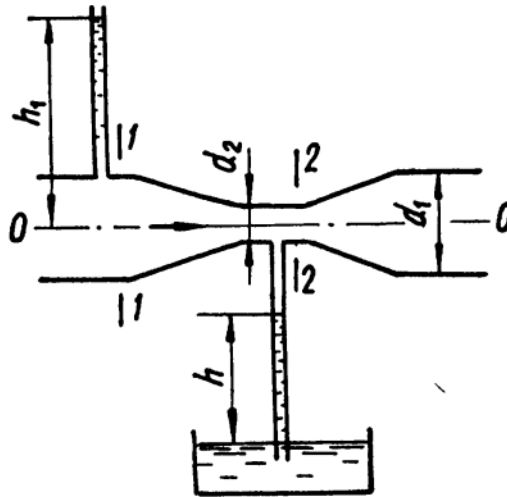


Рисунок 11 – К задаче 1

Решение

Из уравнения Бернулли для сечений 1–1 и 2–2 относительно плоскости сравнения $O-O$

$$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2, \quad (14)$$

где $z_1 = z_2 = 0$;

$$p_1 = p_a + \rho \cdot g \cdot h_1; \quad (15)$$

$$v_1 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_1^2}; \quad (16)$$

$$v_2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_2^2}, \quad (17)$$

находим давление в узком сечении:

$$p_2 = p_a + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\pi^2} \cdot \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right) = 101325 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,5 +$$

$$+ \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0,006^2}{3,14^2} \cdot \left(\frac{1}{0,04^4} - \frac{1}{0,1^4} \right) = 127,2 \text{ кПа.} \quad (18)$$

Если ртуть в трубке, присоединенной к трубопроводу в узком сечении, поднимется на высоту $h = 10$ см, то абсолютное давление в узком сечении трубопровода

$$p_2 = p_a - \rho_{рт} \cdot g \cdot h. \quad (19)$$

Подставляя это значение в левую часть предыдущего уравнения, выражаем и вычисляем Q :

$$Q = \frac{\pi d_2^2}{4} \sqrt{\frac{2g \left(h_1 + \frac{\rho_{рт}}{\rho} \cdot h \right)}{1 - \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^4}} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,981 \left(1,2 + \frac{13600}{1000} \cdot 0,1 \right)}{1 - \left(\frac{0,04}{0,1} \right)^2}} = 0,009 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Выходное сечение жиклера карбюратора (рисунок 12) расположено выше уровня бензина в поплавковой камере на $\Delta h = 5$ мм, вакуум в диффузоре $p_{\text{вак}} = 12$ кПа. Пренебрегая потерями напора, найти расход бензина Q , если диаметр жиклера $d = 1$ мм. Плотность бензина $\rho = 680$ кг/м³.

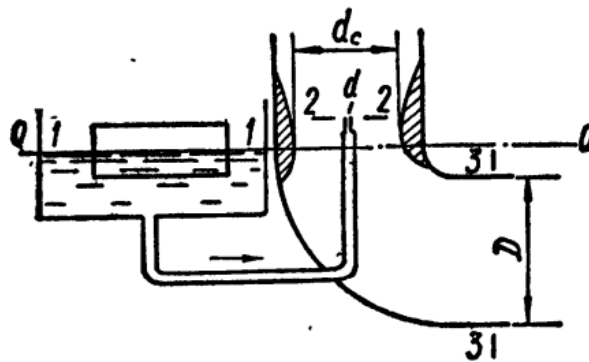


Рисунок 12 – К задаче 2

Задача 3. Определить расход бензина ($\rho = 700$ кг/м³), подаваемого по горизонтальной трубе диаметром $D = 25$ мм, в которой установлены сопло диаметром $d = 10$ мм и дифференциальный ртутный манометр, показания которого $h = 100$ мм. Потерями напора пренебречь (рисунок 13).

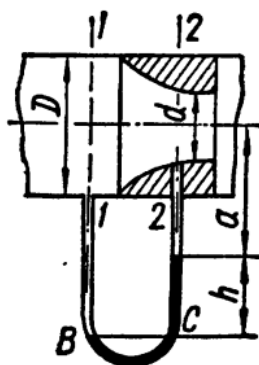


Рисунок 13 – К задаче 3

Контрольные вопросы

- 1 Что такое гидравлический и пьезометрический уклоны?
- 2 Слагаемые уравнения Бернулли с геометрической точки зрения.
- 3 Что представляет собой сумма высот в уравнении Бернулли?

7 Практическое занятие № 7. Режимы течения жидкости

Рассмотреть теоретические вопросы: режимы движения жидкости.

Задача 1. Индустриальное масло ИС-30, температура которого $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, поступает от насоса в гидроцилиндр по трубопроводу $d = 22\text{ мм}$. Определить режим течения масла, если подача насоса $Q = 105\text{ л/мин}$.

Решение

Скорость течения масла в трубе

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 105 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 2,2^2 \cdot 60} = 461\text{ см/с.} \quad (20)$$

При $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ кинематическая вязкость масла $\nu = 150\text{ мм}^2/\text{с}$. Число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{461 \cdot 2,2}{1,5} = 676 < 2300. \quad (21)$$

Следовательно, режим движения ламинарный. При переходе ламинарного режима на турбулентный число Рейнольдса равно критическому. Отсюда находим кинематическую вязкость:

$$\nu = \frac{\nu \cdot d}{2300} = \frac{461 \cdot 2,2}{2300} = 0,44 \text{ мм/с}^2. \quad (22)$$

Задача 2. Определить режим движения воды в трубе диаметром $d = 0,3$ м при средней скорости $V = 1,2$ м/с и кинематической вязкости $\nu = 0,01$ Ст при $t = 20$ °С.

Задача 3. Определить характер режима движения воды по трубопроводу диаметром 10 см, если расход равен 4 л/с при температуре воды $t = 14$ °С.

Задача 4. Определить режим движения воды в канале с гидравлическим радиусом $R = 1,21$ м при средней скорости $V = 0,8$ м/с, температуре воды $t = 15$ °С и кинематической вязкости $\nu = 0,0114$ Ст.

Контрольные вопросы

- 1 Назовите режимы течения жидкости.
- 2 Что является критерием для определения режима движения жидкости?

8 Практическое занятие № 8. Гидравлические сопротивления

Задача 1. При прокачке бензина ($\rho = 700$ кг/м³) по трубе длиной $l = 5,5$ м и диаметром $d = 15$ мм падение давления в трубопроводе $\Delta p = 0,11$ МПа. Принимая закон сопротивления квадратичным, определить эквивалентную шероховатость трубы, если расход $Q = 0,9$ л/с.

Решение

Скорость движения жидкости

$$\nu = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 900}{3,14 \cdot 1,5^2} = 5,1 \text{ м/с}. \quad (23)$$

Находим коэффициент гидравлического трения:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot d}{\rho \cdot l \cdot \nu^2} = \frac{2 \cdot 110000 \cdot 0,015}{700 \cdot 5,5 \cdot 5,1^2} = 0,033 \text{ мм}. \quad (24)$$

Эквивалентная шероховатость

$$\Delta = d \cdot \left(\frac{\lambda}{0,11} \right)^4 = 15 \cdot \left(\frac{0,033}{0,11} \right)^4 = 0,12 \text{ мм}. \quad (25)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. По трубопроводу диаметром $d = 12$ мм перекачивается масло индустриальное ИС-20 ($\rho = 890$ кг/м³) с температурой 30 °С. Определить показание h ртутного дифференциального манометра, присоединенного к трубопроводу в двух точках, удаленных друг от друга на расстояние $l = 3$ м, если расход масла $Q = 0,3$ л/с (рисунок 14).

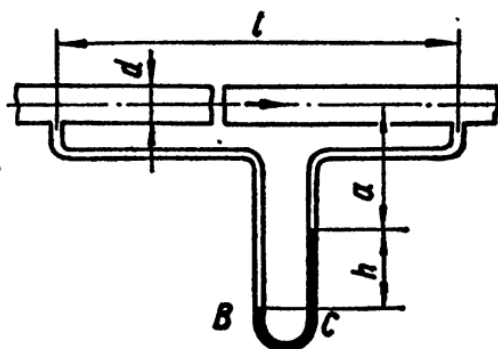


Рисунок 14 – К задаче 2

Задача 3. Определить утечку рабочей жидкости (масло МГ-30) через радиальный зазор 80 мкм между цилиндром и неподвижным поршнем, если давление с одной стороны поршня $p_1 = 4$ МПа, с другой – $p_2 = 0,5$ МПа, ширина поршня $l = 40$ мм, диаметр поршня $D = 60$ мм, температура жидкости 50 °С.

Задача 4. Рабочая жидкость – масло ИС-20 (температура 50 °С) подводится в поршневую полость гидроцилиндра (рисунок 15). Определить давление p_1 и расход масла Q , при котором скорость перемещения $v_n = 2$ см/с, если утечка рабочей жидкости через кольцевой зазор $\delta = 60$ мкм между цилиндром и поршнем $q = 5$ см³/с, диаметр поршня $D = 100$ мм, ширина поршня $l = 70$ мм, $p_2 = 80$ кПа. Чему будет равно усилие на штоке R , если диаметр штока $d = 50$ мм? Трением в гидроцилиндре пренебречь.

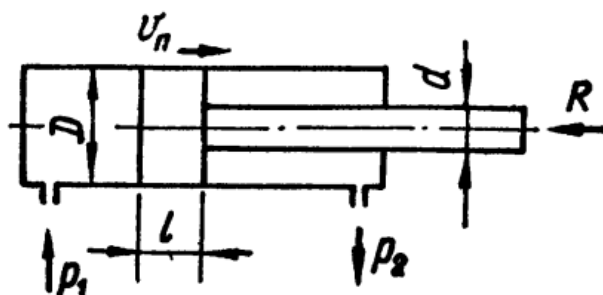


Рисунок 15 – К задаче 4

Задача 5. Определить коэффициент гидравлического сопротивления λ для случая движения воды по чугунному трубопроводу диаметром $d = 0,2$ м со средней скоростью $V = 2$ м/с.

Задача 6. Определить потери напора на трение по длине водопровода диаметром $d = 15$ см, длиной $L = 10$ км при расходе $Q = 35$ л/с.

Задача 7. По трубе длиной $L = 100$ м, диаметром $d = 10$ мм перекачивается масло с расходом 10 л/с, удельная плотность масла составляет $\rho = 0,8$ г·см³, кинематическая вязкость $\nu = 0,726$ см²/с. Определить потери напора.

Задача 8. Определить потери напора в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания (рисунок 16), включающей в себя центробежный насос, радиатор ($\zeta_1 = 5$), термостат ($\zeta_2 = 3$), трубопроводы ($\zeta_3 = 1,5$) и водяную рубашку двигателя ($\zeta_4 = 4,5$), если расход воды $Q = 4,2$ л/с. Все коэффициенты местных сопротивлений отнесены к скорости в трубе диаметром $d = 50$ мм. Потерями напора на трение пренебречь.

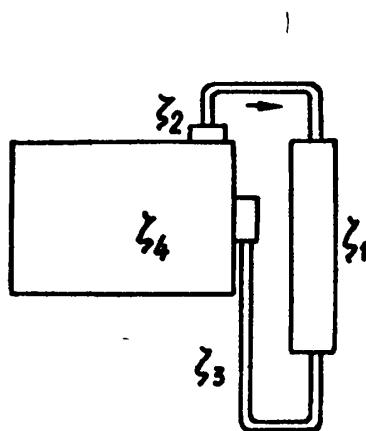


Рисунок 16 – К задаче 8

Контрольные вопросы

- 1 Назовите виды потерь напора.
- 2 Как зависят потери напора на трение от длины трубопровода?
- 3 Как зависят потери напора на трение от диаметра трубопровода?
- 4 Как определяется коэффициент Дарси для ламинарного режима движения в круглой трубе?
- 5 Области гидравлических сопротивлений.

9 Практическое занятие № 9. Истечение жидкости через отверстия и насадки

Задача 1. Вода под постоянным напором $H = 2,0$ м вытекает в атмосферу через внешний цилиндрический насадок диаметром $d = 10$ мм (рисунок 17). Принимая коэффициент сжатия струи в насадке равным $\varepsilon = 0,63$, коэффициент сопротивления входа в насадок $\zeta_{\text{вх}} = 0,06$ (отнесен к скорости в сжатом сечении), определить расход воды.

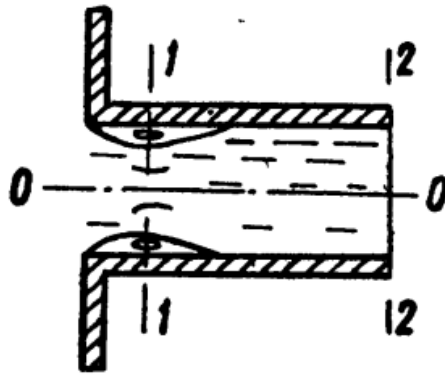


Рисунок 17 – К задаче 1

Решение

Из уравнения Бернулли, записанного для сечения, совпадающего со свободной поверхностью воды в баке, и сечения 2–2 получаем

$$H = \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + h_n. \quad (26)$$

Потери напора включают потери на вход и потери на внезапное расширение

$$h_n = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \cdot \left(\zeta_{ex} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2} + \zeta_{ep} \right), \quad (27)$$

где

$$\zeta_{ep} = \left(\frac{S_2}{S_c} - 1 \right)^2 = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1 \right)^2 = \left(\frac{1}{0,63} - 1 \right)^2 = 0,345. \quad (28)$$

Скорость истечения

$$v_2 = \phi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (29)$$

где

$$\phi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \frac{\zeta_{ex}}{\varepsilon^2} + \zeta_{ep}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{0,06}{0,63^2} + 0,345}} = 0,818. \quad (30)$$

Следовательно, скорость истечения

$$v_2 = 0,818 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2} = 5,12. \quad (31)$$

Расход воды через насадок

$$Q = v_2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 512 \cdot \frac{3,14 \cdot 1}{4} = 402 \text{ см}^3/\text{с}. \quad (32)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Сопоставить расходы жидкости и потери напора при истечении через малое отверстие в тонкой стенке ($\mu_0 = 0,62$, $\varphi_0 = 0,97$), внешний цилиндрический насадок ($\mu_1 = \varphi_1 = 0,82$), конический сходящийся насадок ($\mu_2 = \varphi_2 = 0,95$) и коноидальный насадок ($\mu_3 = \varphi_3 = 0,97$). Напоры H и диаметры выходных сечений во всех случаях одинаковы.

Задача 3. Масло через дроссель диаметром $d_0 = 1,5$ мм подводится в поршневую полость гидроцилиндра (рисунок 18). Давление перед дросселем $p = 12,5$ МПа, давление на сливе $p_2 = 200$ кПа, усилие на штоке $R = 20$ кН. Диаметр поршня $D = 80$ мм, диаметр штока $d = 50$ мм. Определить скорость перемещения поршня, если коэффициент расхода дросселя $\mu = 0,62$, плотность рабочей жидкости $\rho = 895$ кг/м³. Весом поршня и штока, трением в гидроцилиндре и утечками жидкости пренебречь. Движение поршня считать равномерным. Каким должен быть диаметр дросселя d_{01} , чтобы скорость перемещения поршня стала $v_1 = 5$ см/с?

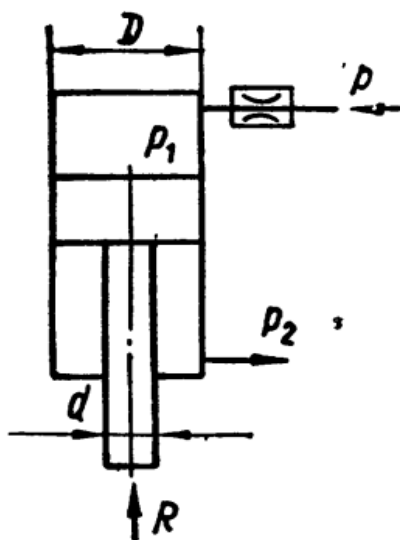


Рисунок 18 – К задаче 3

Контрольные вопросы

- 1 Формула для определения коэффициента сжатия.
- 2 Что собой представляют насадки? Виды насадок.
- 3 Что такое инверсия струи?

10 Практическое занятие № 10. Простой и сложный трубопроводы

Задача 1. Всасывающий трубопровод насоса имеет длину $l = 5$ м и диаметр $d = 32$ мм, высота всасывания $h = 0,8$ м (рисунок 19). Определить давление в конце трубопровода (перед насосом), если расход масла ($\rho = 890$ кг/м³, $\nu = 10$ мм²/с), $Q = 50$ л/мин, коэффициент сопротивления колена $\zeta_k = 0,3$, вентиля $\zeta_v = 4,5$, фильтра $\zeta_\phi = 10$.

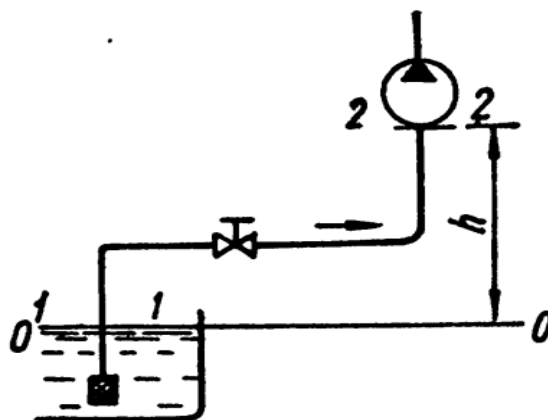


Рисунок 19 – К задаче 1

Решение

Определяем скорость, число Рейнольдса и коэффициент гидравлического трения по длине при расходе $Q = 833$ см³/с:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 833}{3,14 \cdot 3,2^2} = 104 \text{ см/с}; \quad (33)$$

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{104 \cdot 3,2}{0,1} = 3330; \quad (34)$$

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}} = \frac{0,3164}{3330^{0,25}} = 0,042. \quad (35)$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений

$$\sum \zeta = \zeta_\phi + 2 \cdot \zeta_k + \zeta_v = 10 + 2 \cdot 0,3 + 4,5 = 15,1. \quad (36)$$

Потери напора во всасывающем трубопроводе

$$h_n = \left(\lambda \cdot \frac{l}{d} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \left(0,042 \cdot \frac{5}{0,032} + 15,1 \right) \cdot \frac{1,04^2}{2 \cdot 9,81} = 1,2 \text{ м.} \quad (37)$$

Принимая во внимание, что $v_1 = 0$, $p_1 = p_a = 10^5$ Па, $z_1 = 0$, $v_2 = 1,04$ м/с, $z_2 = h$, $h_n = 1,2$ м, $\alpha = 1$, из уравнения Бернулли находим давление перед насосом:

$$\begin{aligned} p_2 &= p_a - \rho \cdot g \cdot (h + h_n) - \frac{\rho}{2} \cdot v_2^2 = \\ &= 100000 - 890 \cdot 9,81 \cdot (0,8 + 1,2) - \frac{890}{2} \cdot 1,04^2 = 82000 \text{ Па.} \end{aligned} \quad (38)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Определить диаметр напорной гидролинии объемного гидропривода (рисунок 20), по которой масло подается насосом 3 через обратный гидроклапан 4 и гидрораспределитель 5 в гидроцилиндр 6, если общая длина гидролинии $l = 7,3$ м, потеря давления в ней $\Delta p = 0,1$ МПа, подача насоса $Q = 94$ л/мин. Рабочая жидкость имеет плотность $\rho = 880$ кг/м³, кинематическую вязкость $\nu = 10$ мм²/с. В расчетах учесть коэффициенты местных сопротивлений: обратного гидроклапана ($\zeta_{кл} = 2$), колена ($\zeta_k = 0,33$), гидрораспределителя ($\zeta_p = 2,5$). Вертикальным расстоянием между насосом 3 и гидроцилиндром 6 пренебречь. Трубы – гладкие.

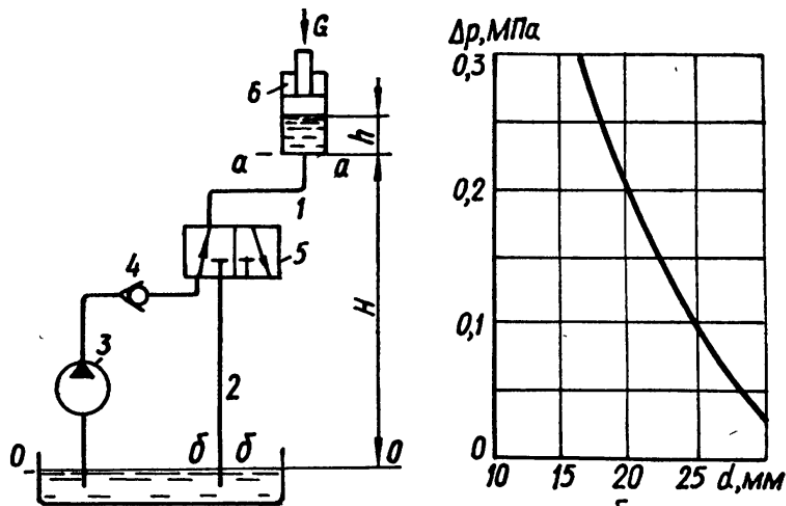


Рисунок 20 – К задаче 2

Задача 3. Насос перекачивает нефть ($\rho = 900$ кг/м³, $\nu = 140$ мм²/с) по трубопроводу длиной $l = 3700$ м и диаметром $d = 100$ мм. Какое давление p_1 должен создавать насос в начале трубопровода, если его конечное сечение расположено

выше начального на величину $h = 37$ м, давление на выходе атмосферное, а подача насоса $Q = 36$ м³/ч? Определить длину последовательно включенной вставки диаметром $D = 150$ мм, при которой в трубопроводе сохранится тот же расход нефти, если давление в начале трубопровода станет равным 2,0 МПа. Потерями напора в местных сопротивлениях пренебречь.

Задача 4. Произвести проверку на прочность стальной трубы диаметром $d = 200$ мм, в которой возможен прямой гидравлический удар. Толщина стенок трубы $\delta = 4$ мм, допускаемое напряжение на растяжение $[\sigma] = 140$ МПа, скорость движения воды $v_0 = 5$ м/с, давление до удара $p_0 = 0,25$ МПа.

Задача 5. Насос перекачивает нефть ($\rho = 900$ кг/м³, $\nu = 140$ мм²/с) по трубопроводу длиной $L = 3700$ м и диаметром $d = 100$ мм. Какое давление P должен создавать насос в начале трубопровода, если его конечное сечение расположено выше начального на величину $h = 37$ м, давление на выходе атмосферное, а подача насоса $Q = 36$ м³/ч?

Задача 6. Насос создает в начале горизонтального трубопровода, имеющего разветвление ($l_2 = 8$ м, $d_2 = 16$ мм, $l'_2 = 5,9$ м, $d'_2 = 20$ мм), избыточное давление $P_1 = 120$ кПа (рисунок 21). Определить подачу насоса и расход жидкости ($\rho = 880$ кг/м³, $\nu = 20$ мм²/с) в отдельных ветвях, если размеры трубопровода перед разветвлением $l_1 = 6$ м, $d_1 = 32$ мм, после разветвления – $l_3 = 8$ м, $d_3 = 32$ мм. В расчетах учесть сопротивление вентиля ($\zeta = 4$), остальными местными сопротивлениями пренебречь.

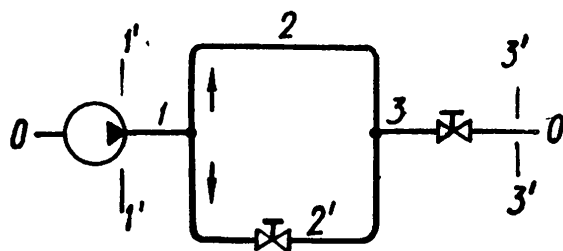


Рисунок 21 – К задаче 6

Задача 7. Определить подачу насоса и давление P_1 , которое он создает в начале трубопровода l (рисунок 22), если расход масла Q_2 (при $\rho = 880$ кг/м³ и $\nu = 12$ мм²/с) в трубопроводе 2' $Q'_2 = 1,5$ л/с, длины и диаметры трубопроводов соответственно $l_1 = 2,5$ м, $d_1 = 25$ мм; $l_2 = 1,4$ м, $d_2 = 16$ мм; $l'_2 = 3,2$ м, $d'_2 = 20$ мм; $l_3 = 1,5$ м, $d_3 = 32$ мм. Учесть коэффициенты местных сопротивлений фильтра ($\zeta_{\phi} = 10$), вентиля ($\zeta_{\text{в}} = 5,0$) и колен ($\zeta_{\kappa} = 0,5$), давление в конце трубы 3 – атмосферное.

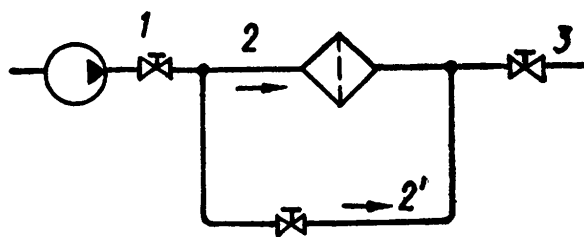


Рисунок 22 – К задаче 7

Задача 8. Дана кольцевая система горизонтальных трубопроводов (рисунок 23) с расходными пунктами в точках C и D . Определить превышение напора H в начальной точке A над напором в точках C и D , если подача воды в этих точках происходит в атмосферу; расходы составляют в точке $C \rightarrow Q_c = 20$ л/с, в точке $D \rightarrow = 30$ л/с, а длины и диаметры отдельных участков соответственно $L_1 = 400$ м, $d_1 = 200$ мм; $L_2 = 1000$ м, $d_2 = 150$ мм; $L_3 = 1000$ м, $d_3 = 100$ мм; $L_4 = 500$ м, $d_4 = 75$ мм.

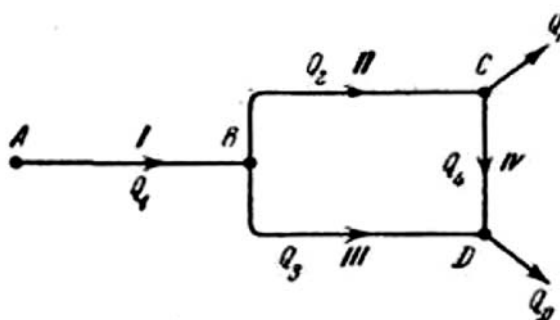


Рисунок 23 – К задаче 8

Задача 9. Определить полезную мощность насоса, перекачивающего воду $Q = 100$ л/с, если показания манометра и вакуумметра равны соответственно $P_m = 2,45 \cdot 10^5$ Па, $P_{\text{вак}} = 0,49 \cdot 10^5$ Па.

Задача 10. Определить мощность двигателя к насосу производительностью $Q = 0,15$ м³/с, если геометрическая высота всасывания $H_{\text{вс}} = 3$ м, потери напора на всасывание $h_{\text{вс}} = 0,9$ м, потери на нагнетание $h_{\text{нг}} = 7,2$ м, полный КПД насоса $\eta = 0,83$, высота подъема воды $H_n = 65$ м.

Контрольные вопросы

- 1 Определение простого трубопровода.
- 2 Определение сложного трубопровода.
- 3 Транзитный и путевой расход жидкости.
- 4 Как делятся трубопроводы в зависимости от характера сопротивлений?

11 Практическое занятие № 11. Взаимодействие потока со стенками

Задача 1. По трубе диаметром $d = 50$ мм вода движется со скоростью $v = 3$ м/с. Определить силу, с которой жидкость действует на колено (рисунок 24), если избыточное давление перед ним $p_1 = 10$ кПа, а коэффициент сопротивления $\zeta = 1,3$. Весом жидкости пренебречь.

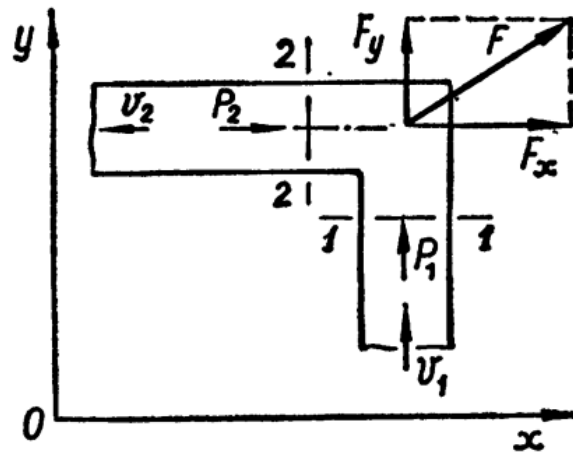


Рисунок 24 – К задаче 1

Решение

Из уравнения Бернулли для сечений 1–1 и 2–2 при $v_1 = v_2 = v$, $z_1 = z_2$ находим избыточное давление после колена

$$p_2 = p_1 - \zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 10000 - 1,3 \cdot \frac{1000 \cdot 3^2}{2} = 4150 \text{ Па.} \quad (39)$$

Полная сила, с которой жидкость действует на колено,

$$\vec{F} = \rho \cdot Q \cdot (\vec{v}_1 - \vec{v}_2) + \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{G}, \quad (40)$$

где расход воды

$$Q = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,0059 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (41)$$

а силы давления

$$P_1 = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 10000 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 19,6 \text{ Н;} \quad (42)$$

$$P_2 = p_2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4150 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 8,14 \text{ Н.} \quad (43)$$

Весом G жидкости пренебрегаем.

Проецируя векторное равенство на координатные оси, находим составляющие искомой силы:

$$F_x = P_2 + \rho \cdot Q \cdot v_2 = 8,14 + 1000 \cdot 0,0059 \cdot 3 = 25,8 \text{ Н;} \quad (44)$$

$$F_y = P_1 + \rho \cdot Q \cdot v_1 = 19,6 + 1000 \cdot 0,0059 \cdot 3 = 37,3 \text{ Н.} \quad (45)$$

Решить следующие задачи.

Задача 2. Определить осевую силу, приложенную к трубопроводу на участке постепенного сужения ($D_1 = 100$ мм, $D_2 = 50$ мм), если избыточное давление перед сужением $p_1 = 120$ кПа, расход воды $Q = 15$ л/с, а коэффициент сопротивления сужающегося участка $\zeta = 0,4$ (рисунок 25).

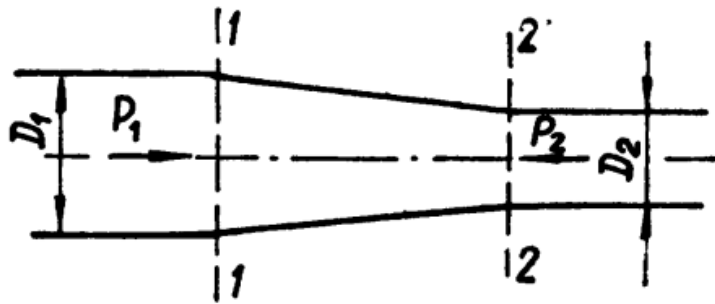


Рисунок 25 – К задаче 2

Задача 3. Колесо радиусом $r = 1,0$ м с радиальными плоскими лопатками вращается под действием силы давления струи воды, вытекающей из конического насадка ($d = 100$ мм, $\varphi = 0,95$) под напором $H = 5$ м (рисунок 26). Определить частоту вращения колеса и мощность на валу, если приложенный к нему момент $M = 40$ Н·м. Потерями мощности в процессе преобразования кинетической энергии жидкости в механическую энергию вращающегося колеса пренебречь.

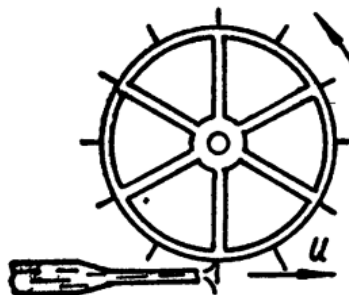


Рисунок 26 – К задаче 3

Контрольные вопросы

- 1 Чему равна реактивная сила взаимодействия между струей и твердым телом?
- 2 Чему равно реактивное давление струи на плоскую стенку?

12 Практическое занятие № 12. Компьютерное моделирование течения жидкости по цилиндрической трубе

Задача. Смоделировать течение жидкости в цилиндрической трубе с внутренним диаметром 50 мм.

Указания к решению задачи.

В приложении «Modeling» системы автоматизированного проектирования NX создаем твердотельную модель полости трубы – цилиндра диаметром 50 мм и длиной 70 мм (рисунок 27).

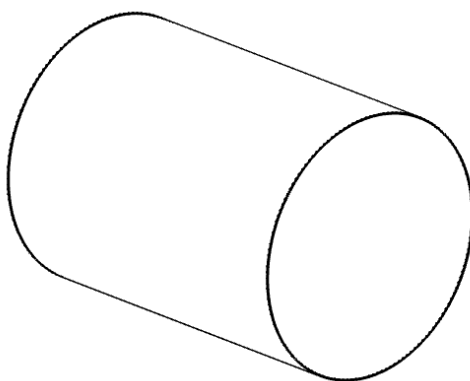


Рисунок 27 – Твердотельная модель полости трубы

Активируем приложение «Advanced Simulation» («Pre/Post»), в котором создаем файл идеализированной модели, файл FEM и файл симуляции (файл SIM). Выбираем решатель NX Thermal/Flow (Simcenter Thermal/Flow). Выбираем тип анализа Flow.

Активируем файл FEM. Разбиваем твердотельную модель на конечные элементы типа HEXA8 (рисунок 28). Задаем материал: Water (вода).

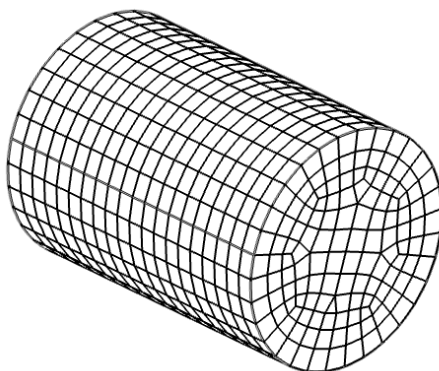


Рисунок 28 – Конечно-элементная модель полости трубы

Активируем файл SIM. Создаем решение. В параметрах решения задаем временной шаг 0,5 с; критерий схождения – RMS Residuals = 0,000001. В опциях решения задаем ламинарное течение – «Laminar Flow»; тип решателя – «Parallel Solver».

Создаем объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Inlet Flow» (рисунок 29). Задаем скорость течения жидкости 10 мм/с.

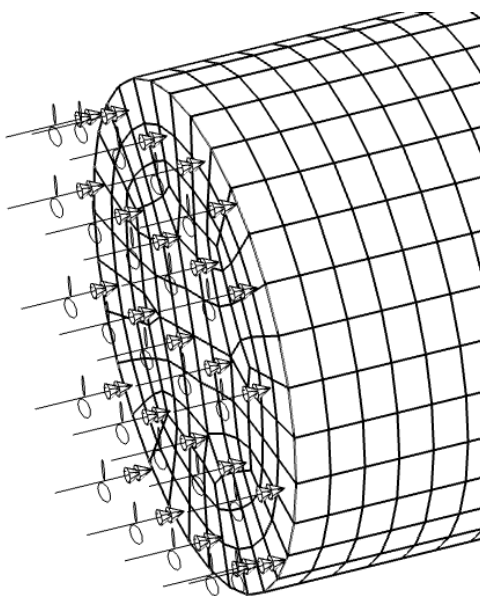


Рисунок 29 – Объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Inlet Flow»

Создаем объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Opening» (рисунок 30).

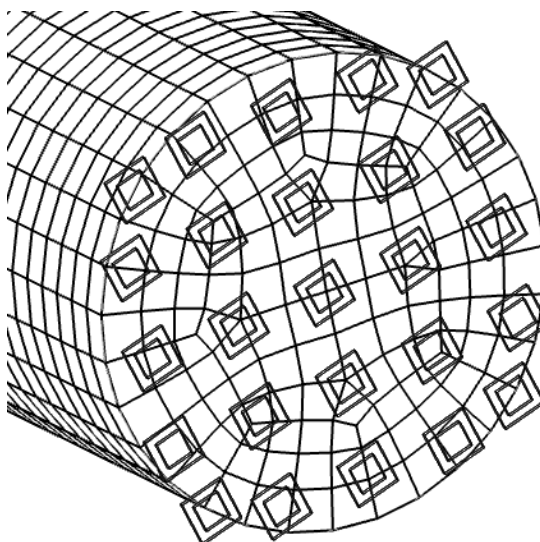


Рисунок 30 – Объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Opening»

Решаем задачу.

В постпроцессоре строим линии потока (рисунок 31).

tube_sim1 : Solution 1 Result
Load Case 1, Static Step 1
Velocity - Element-Nodal, Unaveraged, Magnitude
Min : 4.645, Max : 11.452, Units = mm/sec
Streamlines : Velocity - Element-Nodal, Seeds : Seed Set 1

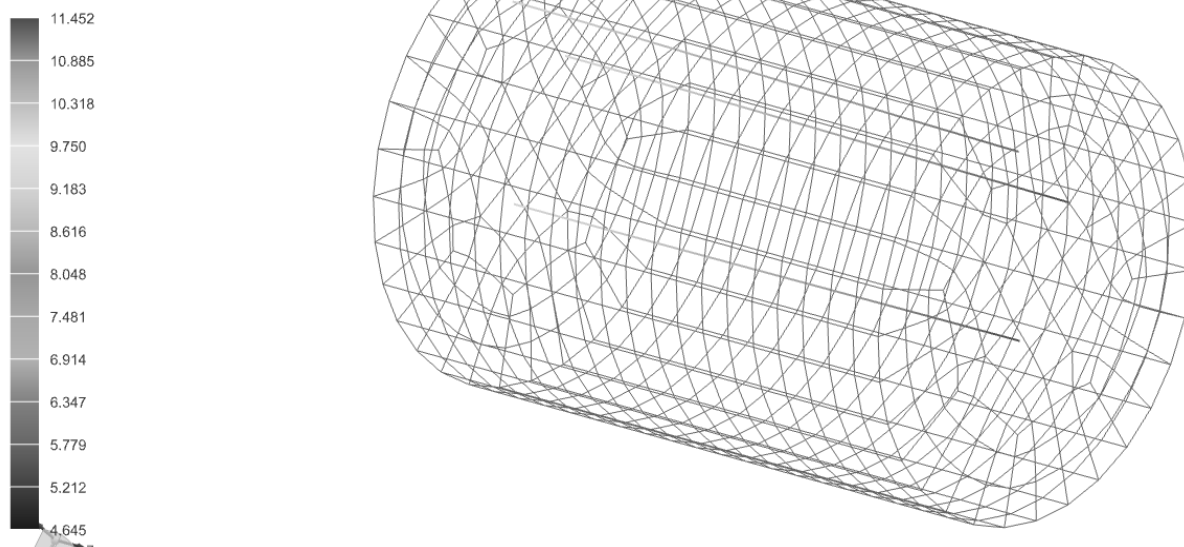


Рисунок 31 – Линии потока

Контрольные вопросы

- 1 Что такое твердотельная модель?
- 2 Что такое конечно-элементная модель?
- 3 Что такое идеализированная деталь?
- 4 Какие объекты симуляции применяются в приложении NX Thermal/Flow (Simcenter Thermal/Flow)?

13 Практическое занятие № 13. Компьютерное моделирование течения жидкости по трубе переменного сечения

Задача. Смоделировать течение жидкости в цилиндрической трубе с внутренним диаметром 50 мм. Полость трубы перпендикулярно ее оси пересекает штифт диаметром 10 мм. Ось штифта совпадает с осью симметрии поперечного сечения трубы.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое твердотельная модель?
- 2 Что такое конечноэлементная модель?
- 3 Что такое идеализированная деталь?
- 4 Какие объекты симуляции применяются в приложении NX Thermal/Flow (Simcenter Thermal/Flow)?

14 Практическое занятие № 14. Компьютерное моделирование турбулентного течения жидкости

Задача. Смоделировать турбулентное течение жидкости в тройнике с внутренним диаметром отверстий 50 мм. Расстояния от точки пересечения осей отверстий до торцов принять равным 60 мм.

Указания к решению задачи.

В приложении «Modeling» системы автоматизированного проектирования NX создаем твердотельную модель полости тройника (рисунок 32).

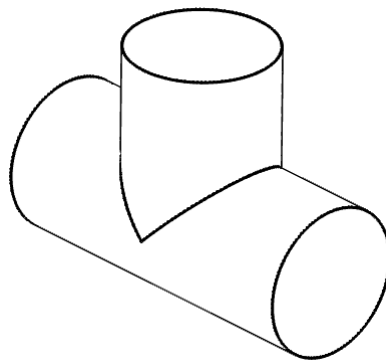


Рисунок 32 – Твердотельная модель полости тройника

Активируем приложение «Advanced Simulation» («Pre/Post»), в котором создаем файл идеализированной модели, файл FEM и файл симуляции (файл SIM). Выбираем решатель NX Thermal/Flow (Simcenter Thermal/Flow). Выбираем тип анализа Flow.

Активируем файл FEM. Разбиваем твердотельную модель на конечные элементы типа TET4 (рисунок 33). Задаем материал: Water (вода).

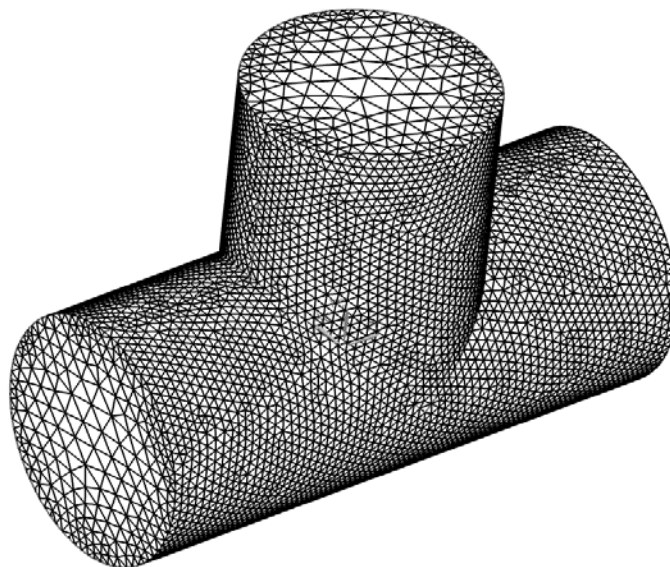


Рисунок 33 – Конечно-элементная модель полости тройника

Активируем файл SIM. Создаем решение. В параметрах решения задаем временной шаг 0,5 с; критерий схождения – $\text{RMS Residuals} = 0,00003$. В опциях решения задаем модель турбулентного течения – «K-Epsilon»; тип решателя – «Parallel Solver»; параметры трения – «Use Wall Function».

Создаем объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Inlet Flow» (рисунок 34). Задаем скорость течения жидкости 300 мм/с.

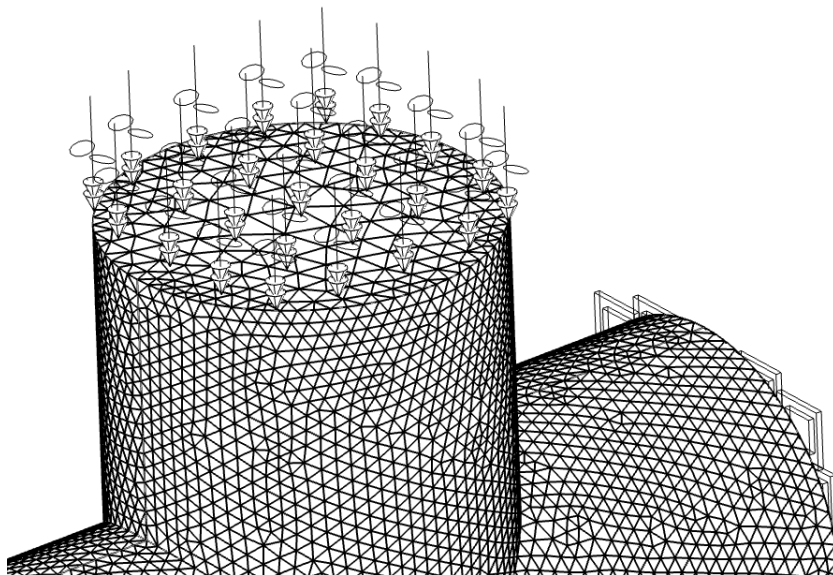


Рисунок 34 – Объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Inlet Flow»

Создаем два объекта симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Opening» (рисунок 35).

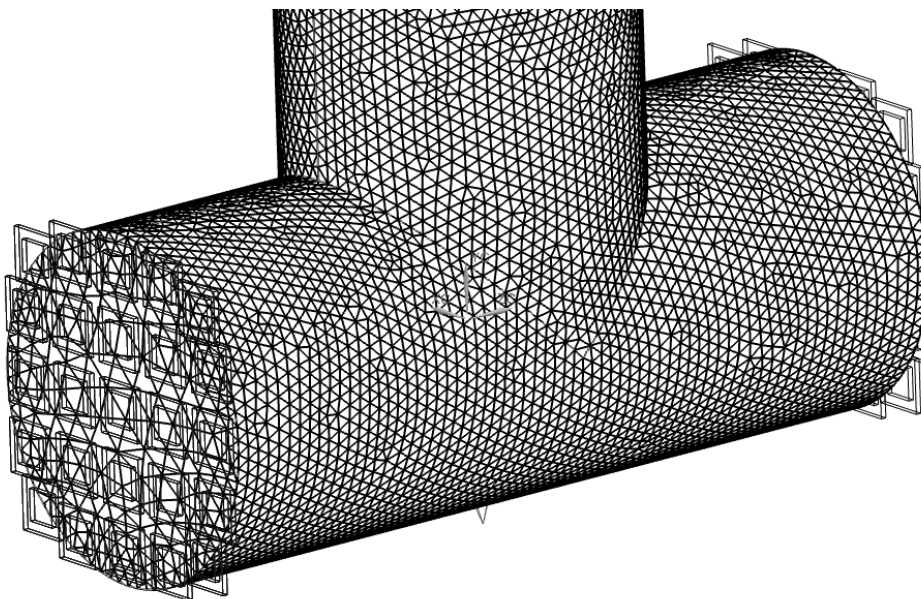


Рисунок 35 – Объект симуляции «Flow Boundary Condition» типа «Opening»

Создаем также объект симуляции «Flow Surface» типа «Boundary Flow Surface» на цилиндрических гранях (рисунок 36).

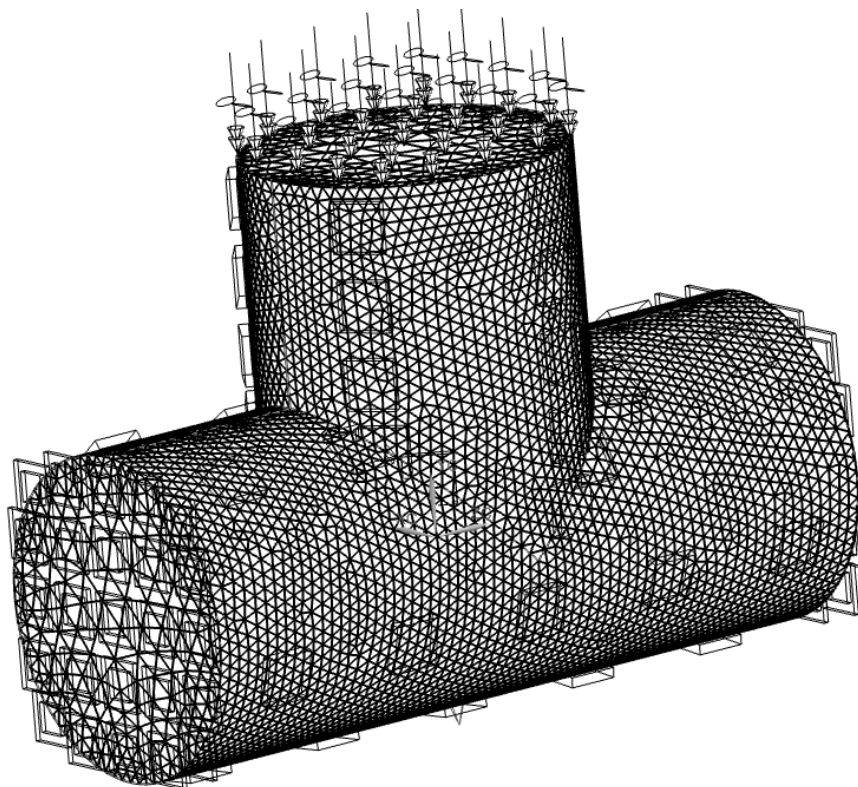


Рисунок 36 – Объект симуляции «Flow Surface» типа «Boundary Flow Surface»

Решаем задачу.

В постпроцессоре строим линии потока (рисунок 37).

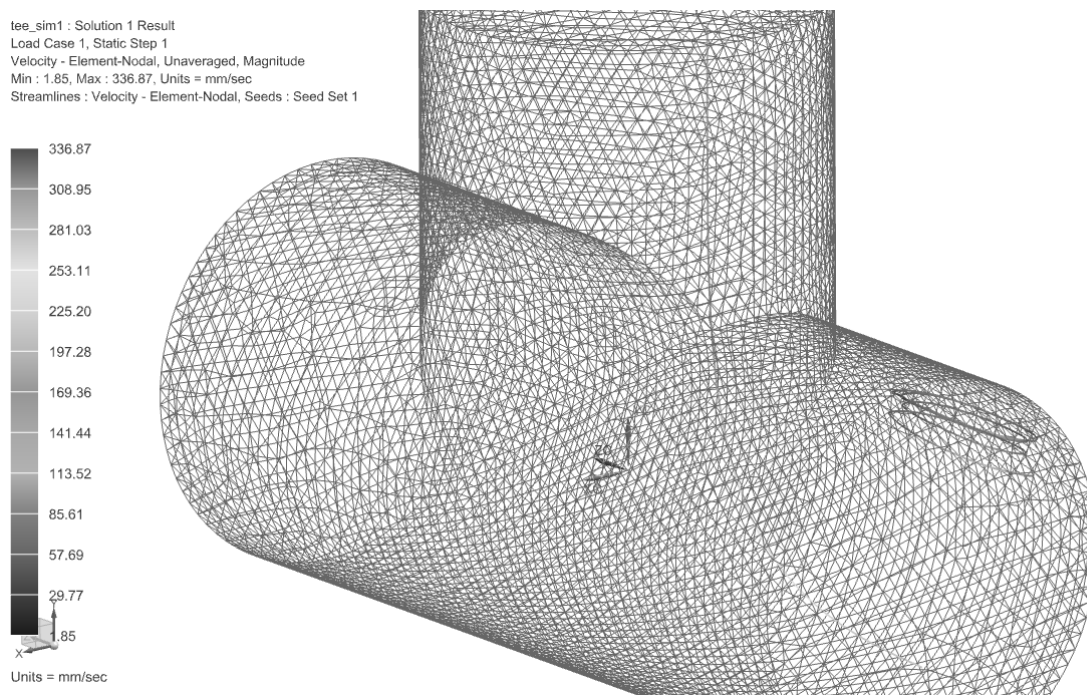


Рисунок 37 – Линии потока

Контрольные вопросы

- 1 Что такое твердотельная модель?
- 2 Что такое конечноэлементная модель?
- 3 Что такое идеализированная деталь?
- 4 Какие объекты симуляции применяются в приложении NX Thermal/Flow (Simcenter Thermal/Flow)?

Список литературы

- 1 **Сазанов, И. И.** Гидравлика: учебник / И. И. Сазанов, А. Г. Схиртладзе, В. И. Иванов. – М. : КУРС; ИНФРА-М, 2022. – 320 с.
- 2 **Гусев, А. А.** Гидравлика: учебник для академ. бакалавриата / А. А. Гусев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2017. – 285 с.
- 3 Гидравлика : учебник и практикум для академ. бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, А. Г. Коваленко, И. В. Кудинов ; под ред. В. А. Кудинова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Юрайт, 2018. – 386 с.
- 4 Примеры расчетов по гидравлике : учеб. пособие / А. Д. Альтшуль, В. И. Калицун, Ф. Г. Майрановский, П. П. Пальгунов ; под ред. А. Д. Альтшуля. – М. : Альянс, 2016. – 255 с.
- 5 Гидравлика. Основы механики жидкостей и газов: учебник: в 2 т. / В. И. Иванов, И. И. Сазанов, А. Г. Схиртладзе, Г. О. Трифонова. – М.: Академия, 2012. – Т. 1. – 192 с.
- 6 Гидравлика. Гидравлические машины и приводы: учебник: в 2 т. / В. И. Иванов, И. И. Сазанов, А. Г. Схиртладзе, Г. О. Трифонова. – М. : Академия, 2012. – Т. 2. – 288 с.
- 7 **Вакина, В. В.** Машиностроительная гидравлика. Примеры расчетов / В. В. Вакина, И. Д. Денисенко, А. Л. Столяров. – К. : Вища школа, 1986. – 208 с.
- 8 **Гиргидов, А. Д.** Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник / А. Д. Гиргидов. – М. : ИНФРА-М, 2025. – 704 с.
- 9 **Баранов, А. В.** Механика жидкости и газа : учеб. пособие / А. В. Баранов. – М. ; Вологда: ИНФРА-Инженерия, 2024. – 176 с.