

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

Кафедра «МЕХАНИКА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ»

**Методические указания для практических занятий по
дисциплине «Механика жидкости и газа» с применением ЭВМ
для студентов инженерных направлений очной и дистантной
форм обучения**

Бишкек 2015

«Рассмотрено»
на заседании кафедры
«Механика и промышленная
инженерия»
Прот. № 7 от 24.02.2015 г.

«Одобрено»
Методической комиссией
Кыргызско-Германского технического
института
Прот. № 5 от 06.04.2015 г.

УДК 626.35.55

Составители: Тургумбаев Ж.Ж., Гапарова Ж.Т., Тургумбаев С.Дж.

Методические указания для практических занятий по дисциплине «Механика жидкости и газа» с применением ЭВМ для студентов инженерных направлений очной и дистантной форм обучения /КГТУ им. И. Раззакова; Сост.: Тургумбаев Ж.Ж., Гапарова Ж.Т., Тургумбаев С.Дж. / - Б.: ИЦ «Текник», 2015. - 32 с.

Даны математические зависимости для определения параметров гидравлических систем. Приведены графические иллюстрации схем гидравлических приводов. Текст сопровождается с блоками алгоритма для расчета на ЭВМ.

Предназначено для студентов, магистров и аспирантов инженерных направлений очной и дистантной форм обучения.

Рецензент - д.т.н., профессор Давлятов У.Р.

Корректор *Эркинбек к. Ж.*
Редактор *Турдукулова А.К.*
Тех.редактор *Кочоров А.Д*

Подписано к печати 12.05.2015 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 2 п.л. Тираж 50 экз. Заказ 233. Цена 34,2с.
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Текник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru

Введение

В современных образовательных технологиях важное место отводится самостоятельной работе студентов под контролем преподавателя. Одной из форм такой работы по учебным дисциплинам является освоение методов расчета и выполнение самих расчетов, проводимых студентами самостоятельно по индивидуальным заданиям. Среди требований, предъявляемых к профессиональной подготовке студентов, в числе важных – умение использовать ЭВМ при выполнении расчетов.

Можно рекомендовать следующую последовательность действий при решении задачи:

- 1) соотнести поставленный в задаче вопрос с конкретным производственным процессом и аппаратом;
- 2) составить расчетную схему установки, отвечающую основному содержанию задачи;
- 3) выписать в виде таблицы исходные данные задачи;
- 4) выявить цель решения задачи, т.е. определить что надо найти;
- 5) записать главную формулу для решения задачи;
- 6) записать выражения для входящих в главную формулу элементов и составить логическую схему последовательного решения задачи в общем виде;
- 7) выбрать по таблицам значения физических свойств величин, необходимых для расчета;
- 8) составить блок-схему решения задачи на ЭВМ;
- 9) составить программу расчета на ЭВМ;
- 10) осуществить ввод программы в ЭВМ и выполнить решения задачи в числовом выражении;
- 11) полученное решение подвергнуть логическому осмыслению и критическому обсуждению.

При самостоятельном решении задач может встретиться такая ситуация, что не достаёт численных значений каких-либо конструктивных параметров. В этом случае студент сам может принять численные значения данных параметров, основываясь на здравом смысле и следуя известным из литературы сведениям. Теоретической базой для решения рассматриваемых в настоящем пособии задач являются источники [1÷5]. В [4,5] приведены необходимые справочные данные по свойствам веществ.

Наиболее употребляемые в рассматриваемых задачах справочные данные приведены в приложении.

Представленные в настоящей работе программы расчетов составлены на языке Quick Basic, который можно отнести к самым простым из ныне живущих языков программирования. Он позволяет научиться всем базовым приемам составления программ и освоить практику использования наиболее важных операторов и функций.

Справочные сведения Quick Basic, а также примеры его использования приведены в [6,7].

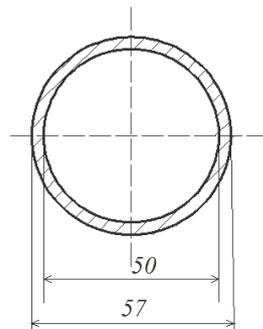
Для начинающих работать с алгоритмическим языком Quick Basic полезным является справочник [8], где изложены основы программирования и приведено большое число программ где изложены основы программирования и приведено большое число программ (более 300), обеспечивающих реализацию основных численных методов, вычисление большинства специальных функций и решение ряда практических задач в различных областях науки и техники.

1. Расчет скорости течения потока в трубе

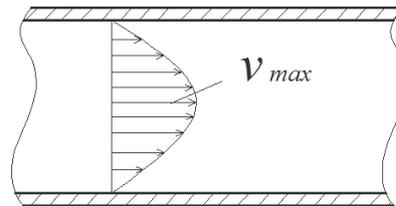
1.1. Пример решения типовой задачи

Определить местную скорость на оси трубопровода и режим движения в трубе, имеющий диаметр 57х3,5 мм, при протекании по ней 70 % уксусной кислоты в количестве 214 кг/ч, при 38⁰ С.

1. Схема к расчету:



а) поперечное сечение трубы



б) распределение скорости потока в сечении (парабола при ламинарном режиме течения)

2. Составляем таблицу исходных данных:

Массовый расход 214 кг/ч = 214 / 3600 кг/с;

Объемный расход $Q_c = (214/3600)/1070 = 5,55 \times 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;

Диаметр трубы 57х3,5 мм; $d_{\text{расч}} = 0,05 \text{ м}$;

Плотность уксусной кислоты $\rho = 1070 \text{ кг/м}^3$;

Динамический коэффициент вязкости $\mu = 1,7 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

3. Составляем схему решения:

а) находим среднюю скорость потока в трубе:

$$v_{cp} = \frac{Q_c}{F} = \frac{Q_c \cdot 4}{\pi \cdot d^2};$$

б) определяем число Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{cp} \cdot d \cdot \rho}{\mu};$$

в) находим местную скорость по оси трубопровода: если $Re < 2320$, то режим течения ламинарный и

$$v_{\max} = 2 \cdot v_{cp}$$

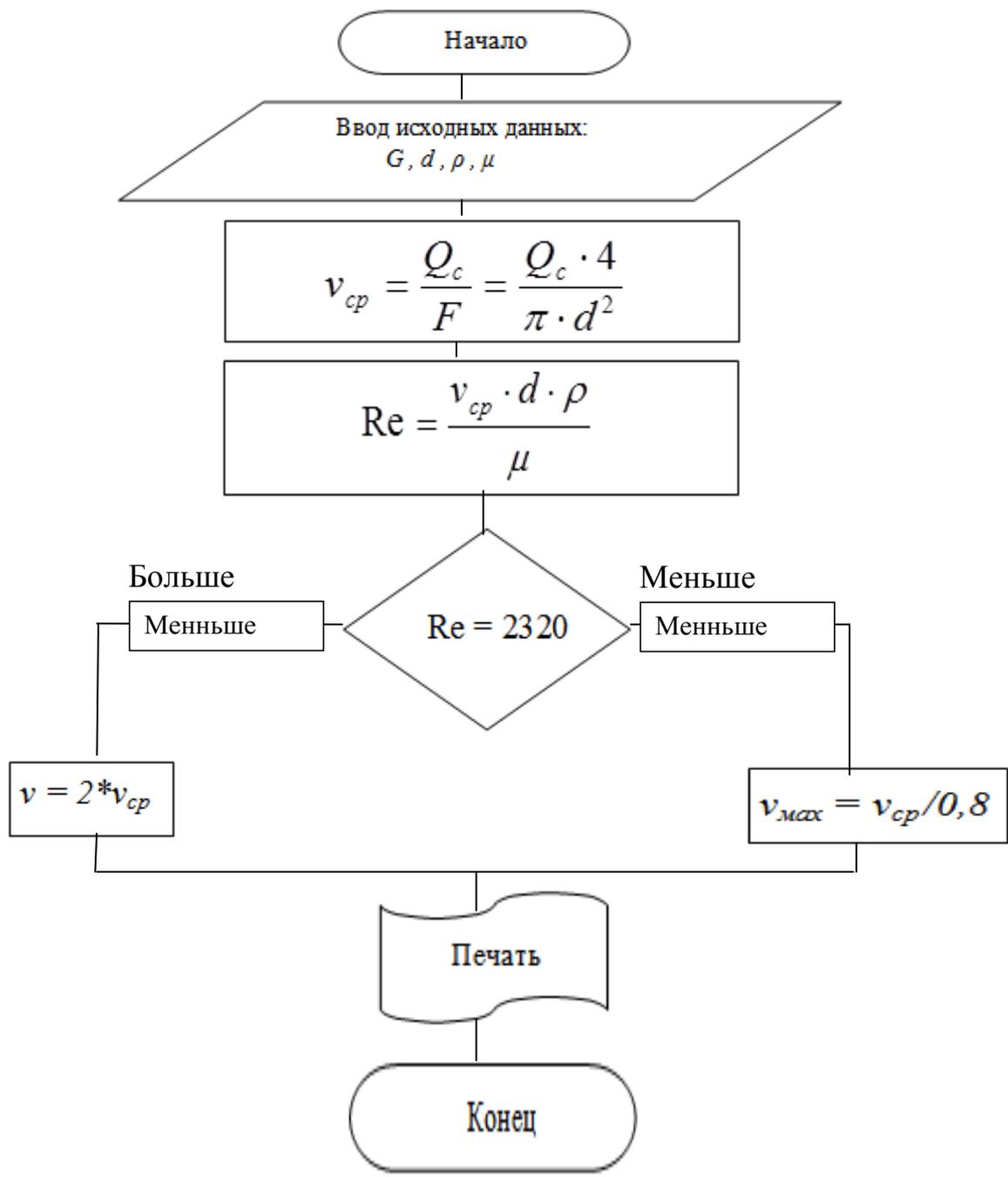
если же $Re > 2320$, то течение турбулентное и

$$v_{\max} \approx \frac{v_{cp}}{0,8}.$$

4. Программа:

$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	INPUT «Введите расход $Q_c =$ »; Q_c
$d, \text{ м}$	INPUT «Введите диаметр $d =$ »; D
$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	INPUT «Введите плотность $\rho =$ »; P
$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$	INPUT «Введите вязкость $\mu =$ »; M
$\omega_{cp}, \text{ м}/\text{с}$	$W = 4*Q/(\pi*D^2)$
Re	$RE=W*D*P/M$
	IF RE > 2320 THEN GOTO 1
$\omega_{max}, \text{ м}/\text{с}$	$W1 = 2*W$
	GOTO 2
$\omega_{max}, \text{ м}/\text{с}$	1: PRINT «Скорость на оси $W_{\max} =$ »; $W1$;
	«Число Рейнольдса $Re =$ »; RE
	END

Составляем блок-схему решения:



Результат расчета: $v_{max} = 0,056$ м/с; $Re = 1414,71$, т.е. режим течения потока ламинарный.

1.2. Задачи по определению скорости движения для самостоятельного решения

1. Определить местную скорость на оси трубы, имеющей диаметр $d = 50 \times 2,0$ мм, при движении по ней аммиака (26 %) в количестве 5 т/ч при температуре 40° С.

2. Определить режим движения и среднюю скорость движения 12 т/ч этилацетата по трубе диаметром $58 \times 2,5$ мм при 60° С.

3. Найти среднюю скорость потока и режим движения четыреххлористого углерода, который перемещается в количестве 18 т/ч при 60° С. Определить также местную скорость на оси трубопровода. Труба имеет диаметр 62×2 мм.

4. Найти режим движения и среднюю скорость потока 50 % глицерина, перемещающегося по трубе 65×3 мм в количестве 22 т/ч при 80° С. Определить также местную скорость на оси трубопровода.

5. Найти режим движения и среднюю скорость для толуола, движущегося в количестве 32 т/ч по трубе диаметром 72×4 мм при 40° С. Определить также местную скорость на оси трубопровода.

6. Определить местную скорость на оси трубы при движении серной кислоты (60 %) по свинцовой трубе диаметром 32×2 мм, если расход ее составляет 20 т/ч, а температура 50° С. Найти также среднюю скорость и режим движения.

7. Для условий задачи № 5 найти местную скорость движущегося гексана на оси трубопровода.

8. Холодильник состоит из 19 труб диаметром 20×2 мм. В трубное пространство его поступает вода по трубопроводу диаметром $57 \times 3,5$ мм. Вода идет снизу вверх. Определить среднюю скорость в трубах холодильника и режиме движения, если в подающем трубопроводе средняя скорость воды 2 м/с.

9. Теплообменник состоит из 27 труб диаметром $20,2$ мм. По трубам движется этиловый спирт (50 %). Определить скорость спирта в трубах, если расход его 16 т/ч. Найти также режим движения.

10. По внутренней трубе теплообменника типа «труба в трубе» перемещается изопропиловый спирт со средней скоростью 2,1 м/с и температурой 80° С. Определить расход его и местную скорость по оси трубопровода, если известно, что диаметр трубы $50 \times 2,5$ мм.

11. для условий задачи № 10 найти расход и местную скорость 70 %-ной уксусной кислоты.

12. Вода подается в холодильник при температуре 10° С по трубе диаметром 62×4 мм. Средняя скорость ее в трубе равна 2,2 м/с. Определить местную скорость по оси трубы и средний расход воды.

13. Определить диаметр трубы, которую нужно присоединить к холодильнику для подвода 18 т/ч воды со средней скоростью 1,8 м/с при температуре 15° С. Какова будет в ней местная скорость по оси трубы?

14. Какова будет местная скорость по оси трубы, если в условиях задачи № 13 изменить среднюю скорость до 0,6 м/с?

15. В теплообменнике типа «труба в трубе» по центральной трубе диаметром 55,5x3,5 мм движется хлорбензол со средней скоростью 1,3 м/с, охлаждаясь от 100° С до 40° С. Найти местную скорость по оси, расход хлорбензола за час, режим течения.

16. Как изменятся характеристики потока, если применительно к задаче № 15 хлорбензола уменьшить в 2,5 раза?

17. В трубах теплообменника нагревается 100 % глицерин от 40° С до 110° С. Теплообменник имеет 27 труб диаметром 18x1,5 мм. Расход глицерина составляет 12 т/ч. Определить местную скорость на оси в каждой трубе теплообменника.

18. Как изменится местная скорость на оси в трубах теплообменника в задаче № 17, если вместо глицерина будет нагреваться бутиловый спирт?

19. В реактор поступает этиловый спирт (100 %) по трубе диаметром 62x3,5 мм при температуре 45° С. Какова будет местная скорость на оси трубы, если известно, что производительность реактора по переработке спирта составляет 28 т/ч.

20. Насосная установка имеет подводящие и отводящие трубы диаметром 62x4 мм и предназначена для перекачки ацетона при температуре 60° С в количестве 32 т/ч. Какова будет местная скорость на оси труб?

2. Определение потери давления потока жидкости

2.1. Пример решения задачи

Гидравлически гладкая труба длиной 55 м и диаметром 38x2 мм имеет 2 колена под углом 90° в горизонтальной плоскости, один нормальный вентиль и задвижку. Найти потерю давления при перемещении бутилового спирта с температурой 60° С в количестве 12 т/ч.

1. Составляет таблицу исходных данных:

$$G = 12 \text{ т/ч} = 12000 \text{ кг/ч};$$

$$G_c = 12000 / 3600 \text{ кг/с};$$

$$\rho = 810 \text{ кг/м}^3;$$

$$\mu = 0,9 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$L = 55 \text{ м};$$

$$d = 38 \times 2 \text{ мм};$$

$$d_{\text{расч}} = 0,034 \text{ м}.$$

Местные сопротивления:

Вид сопротивления	Число сопротивлений	Коэффициент сопротивления
Вход	1	$\xi_1 = 0,5$
Выход	1	$\xi_2 = 1$

Нормальный вентиль	1	$\xi_3 = 6$
Задвижка	1	$\xi_4 = 0,5$
Колено	2	$\xi_5 = 1,8$

Определить $\Delta p = ?$

2. Расчетная схема трубопровода:



3. Разрабатываем схему решения задачи:

а) общий вид

$$\Delta p = \Delta p_{ск} + \Delta p_{тр} + \Sigma \Delta p_{сопр};$$

б) расчетная формула

$$\Delta p = \frac{v^2 \cdot \rho}{2} \cdot \left(1 + \lambda \cdot \frac{L}{d} + \Sigma \xi \right), \text{ Па};$$

в) для расчета находим секундный объемный расход

$$Q_c = \frac{G_c}{\rho}, \text{ м}^3/\text{с}; \quad Q_c = \frac{G_c}{3600 \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{с};$$

средняя скорость

$$v_{cp} = \frac{Q_c}{F} = \frac{4 \cdot Q_c}{\pi d^2}, \text{ м/с}$$

значение коэффициента внешнего трения в зависимости от режима движения, т.е. $\lambda = f(Re)$, для этого определим режим движения по числу Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{cp} \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

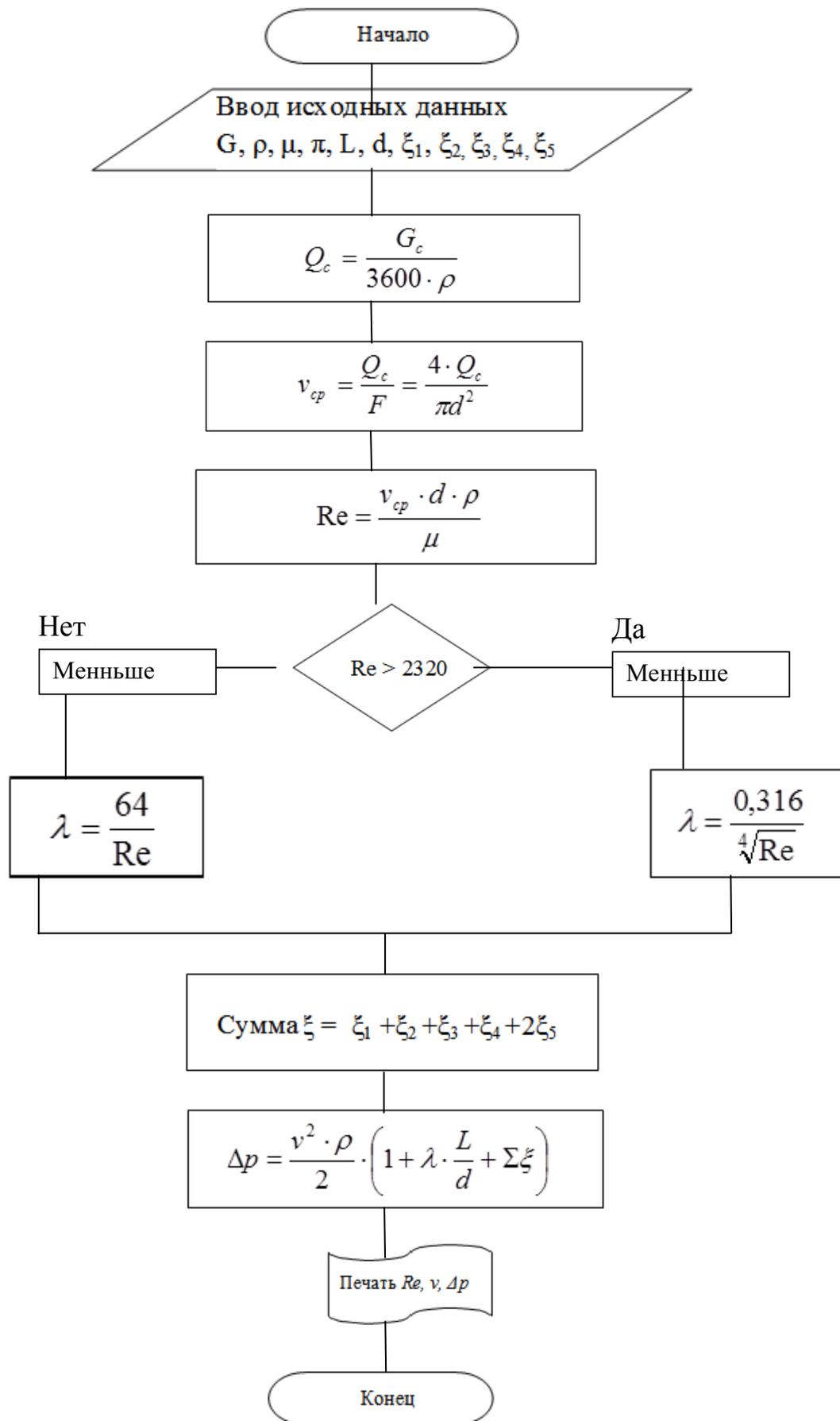
и, если $Re < 2320$, то $\lambda = \frac{64}{Re}$ (ламинарный режим),

если $Re > 2320$, то $\lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$ (турбулентный режим);

г) находим сумму коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$: для этого используем данные справочной таблицы (табл. 2 в приложении).

4. Составляем программу:

G , кг/ч	INPUT «Введите расход G =»; G	
ρ , кг/м ³	INPUT «Введите плотность ρ =»; ρ	
μ , Па·с	INPUT «Введите вязкость μ =»; M	
L , м	INPUT «Введите длину L =»; L	
d , м	INPUT «Введите диаметр d =»; D	
ξ_1	INPUT «Введите коэффициент сопротивления ξ_1 =»; $E1$	
ξ_2	INPUT «Введите коэффициент сопротивления ξ_2 =»; $E2$	
ξ_3	INPUT «Введите коэффициент сопротивления ξ_3 =»; $E3$	
ξ_4	INPUT «Введите коэффициент сопротивления ξ_4 =»; $E4$	
ξ_5	INPUT «Введите коэффициент сопротивления ξ_5 =»; $E5$	
Q_c , м ³ /с	$Q = G/(3600 * \rho)$	
ω_{cp} , м/с	$W = 4 * Q / (\pi * D^2)$	



Продолжение программы;

```
Re      RE=W*D*P/M
        IF RE > 2320 THEN GOTO 1
λ       Y = 64/RE
        GOTO 2
λ       1:Y=0.316*RE^(-0.25)
Σξi    2:E=E1+E2+E3+E4+2*E5
Δp, Па P1=0.5*W^2*P*(1+Y*L/D+E)
        PRINT «Средняя скорость ωср = »; W,
        «Число Рейнольдса Re = »; RE,
        «Потеря давления Δp=»;P1
        END
```

5. Составляем блок-схему решения задачи:

Результаты расчета: скорость движения $\omega_{ср} = 4.53$ м/с; Число Рейнольдса $Re = 138767$, т.е. режим течений турбулентный; потеря давления потока $\Delta_p = 324833,5$ Па.

2.2. Задачи по определению потери давления для самостоятельного решения

1. Определить потерю давления в прямой трубе диаметром 65x2,5 мм, если по ней движется бензол при температуре 75⁰ С со скоростью 1,3 м/с. Общая длина трубы 42 м. На трубе имеется два нормальных вентиля.

2. Определить потерю давления на трение и на местные сопротивления при перемещении 25 т/ч глицерина (80 %) по трубе диаметром 58x3 мм, если известно, что труба имеет 1 нормальный ventиль, 1 задвижку, диафрагму толщиной 5 мм с отверстием диаметром 10 мм, а также 2 колена под углом 90⁰. Общая длина трубы 115 м.

3. Определить потерю давления при серной кислоты (30%) по свинцовой трубе диаметром 56x4 мм, если на трубе имеется 3 отвода под углом 150⁰ и два нормальных вентиля. Расход кислоты составляет 20 м³/ч. Общая длина трубы 88 м.

4. Определить потери давления на трение, если в трубе диаметром 60x2,5 мм перемещается уксусная кислота со скоростью 1,8 м/с при температуре 40⁰С. Расчет выполнить для длины трубы в 10 м и 100 м.

5. Определить потерю давления при перекачке 30 т/ч керосина при

температуре 30°C по трубе диаметром 62×3 мм, если известно, что на трубе имеется 2 нормальных вентиля и 2 колена под углом 90° и она переходит при внезапном расширении в трубу диаметром 72×3 мм. Длина трубы 33 м до расширения и 7 м после расширения.

6. Перекачивается 32 т/ч азотной кислоты по трубе диаметром 64 мм и толщиной 3 мм, выполненной из нержавеющей стали. На трубе имеется вентиль нормальный, задвижка, 2 отвода под углом 110° и 2 колена под углом 90° . Определить потери давления потока в трубе.

7. Труба диаметром 64×3 мм имеет внезапное сужение до диаметра $50 \times 2,5$ мм, диафрагму толщиной 6 мм с отверстием диаметром 12 мм, а также 2 колена под углом 90° и 2 нормальных вентиля. Каковы будут потери давления при перекачке по ней метилового спирта (90%) в количестве 40 т/ч, если общая длина трубы 50 м, а длина участка после сужения составляет 5 м.

8. Определить потерю давления в трубе, имеющей внезапное сужение от 68×4 до 52×3 мм, а также два прямооточных вентиля и два колена под углом 90° . По трубе перемещается хлорбензол при температуре 60°C со скоростью 1,4 м/с. Длина трубы до сужения 150 м, а участок после сужения имеет длину 10 м.

9. Определить потерю давления в трубе длиной 28 м и диаметром 46×2 мм, имеющей 3 колена, 2 вентиля нормальных и один пробковый кран. По данной трубе перемещается вода со скоростью 2 м/с при температуре 25°C .

10. Труба диаметром 38×2 мм имеет на выходе внезапное расширение до $52 \times 2,5$ мм, диафрагму с отверстием 10 мм и толщиной 5 мм, а также задвижку и нормальный вентиль. Чему будут равны потери давления при перемещении по данной трубе 18 т/ч бензина при температуре 30°C . Длина трубы 30 м.

11. Найти потерю давления при перемещении 15 т/ч ацетона при температуре 35°C по трубе диаметром $48 \times 2,5$ мм, если известно, что труба имеет задвижку, нормальный вентиль, плавный отвод под углом 120° и 2 колена под углом 90° . Общая длина трубы 47 м.

12. Определить потерю давления в прямой трубе диаметром 72×3 мм, если по ней протекает дихлорэтан при температуре 40°C со скоростью 1,8 м/с. Общая длина трубы 38 м. На трубе имеется две задвижки.

13. Труба длиной 44 м и диаметром $45 \times 2,5$ мм имеет на выходе внезапное расширение до диаметра 60×3 мм, диафрагму с отверстием 10 мм и толщиной 5 мм, а также 2 задвижки и 2 колена под углом 90° . Найти потери давления при перемещении 20 т/ч изоамилового спирта при температуре 60°C .

14. Для условий задачи № 10 определить потери давления, если по трубе будет перемещаться 25 т/ч глицерина (80 %) при температуре 60°C .

15. Определить потери давления на трение, если в трубе диаметром 80×3 мм перемещается фенол при температуре 90°C со скоростью 2,1 м/с. Длина трубы 18 м, расположение горизонтальное.

16. Для условий задачи № 5 определить потерю давления, если по трубе будет перемещаться 28 т/ч сероуглерода при температуре 30°C .

17. Для условий задачи № 13 определить потери давления, если по трубе будет перемещаться вода в количестве 26 т/ч.

18. Для условий задачи № 3 определить потерю давления, если по трубе будет перемещаться уксусная кислота (70%).

19. Для условий задачи № 4 определить потери давления, если по трубе будет перемещаться 28 т/ч мазута при температуре 60° С.

20. Определить потерю давления в трубе длиной 74 м и диаметром 52x2 мм, имеющей 4 колена, 2 вентиля нормальных, один пробковый кран и плавный отвод под углом 120°. По данной трубе перемещается вода со скоростью 1,5 м/с при температуре 60° С.

3. Определение потребляемой насосом мощности при перекачивании жидкости

3.1. Пример решения задачи

Хлорбензол в количестве 20 т/ч при температуре 45° С перекачивается насосом 3 из реактора 1 (см. схему) в напорный бак 2. В реакторе над жидкостью поддерживается разрежение 200 мм рт. ст. (26,6 кПа), в напорном баке атмосферное давление. Трубопровод выполнен из стальных труб, имеет диаметр 76x4 мм и общую длину 26.6 м. На трубопроводе установлены 2 крана, диафрагма ($d_0 = 48$ мм) и 5 отводов под углом 90° С ($R/d=3$). Хлорбензол перекачивается на высоту $H = 15$ м. Найти мощность, потребляемую насосом, приняв общий КПД насосной установки 0,7.

1. Составляем таблицу исходных данных:

$$G = 20 \text{ т/ч};$$

$$G_c = 20\,000 / 3\,600 \text{ кг/с};$$

$$T = 45 \text{ °С};$$

$$\rho = 1100 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho = 0,64 \cdot 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\rho_a = 735 \text{ мм рт.ст.};$$

$$\rho_1 = (\rho_a - 200) \cdot 133,3 \text{ Па};$$

$$\rho_2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$\eta = 0,7;$$

$$d_0 = 0,068 \text{ м};$$

$$L = 26,6 \text{ м};$$

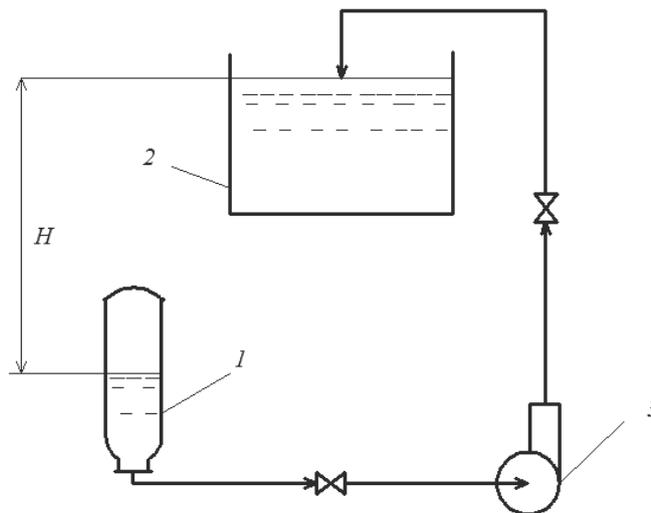
$$H = 15 \text{ м}.$$

Местные сопротивления:

Вид	Число	Коэффициент
Краны	2	$\xi_1 = 2$
Диафрагма	1	$\xi_2 = 4$
Отводы под углом 90°	5	$\xi_3 = 0,13$

Найти мощность N - ?

2. Схема установки:



3. Разрабатываем схему решения задачи:

а) главная формула решения — потребляемая насосом мощность

$$N = \frac{\Delta p \cdot Q_c}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт};$$

б) находим решение для Δp (перепад давления на насосе)

$$\Delta p = \Delta p_{ск} + \Delta p_{тр} + \sum \Delta p_{м.с.} + \Delta p_{под} + \Delta p_{доп};$$

расчетное уравнение

$$\Delta p = \frac{v_{cp}^2 \cdot \rho}{2} + \left(\lambda \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v_{cp}^2 \cdot \rho}{2} + \sum \xi \cdot \frac{v_{cp}^2 \cdot \rho}{2} \right) + \rho \cdot g \cdot H_z + (p_2 - p_1);$$

в) объемный секундный расход

$$Q_c = \frac{20000}{3600 \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{с};$$

средняя скорость потока

$$v_{cp} = \frac{4 \cdot Q_c}{\pi \cdot d^2};$$

г) число Рейнольдса

$$Re = \frac{v_{cp} \cdot d \cdot \rho}{\mu};$$

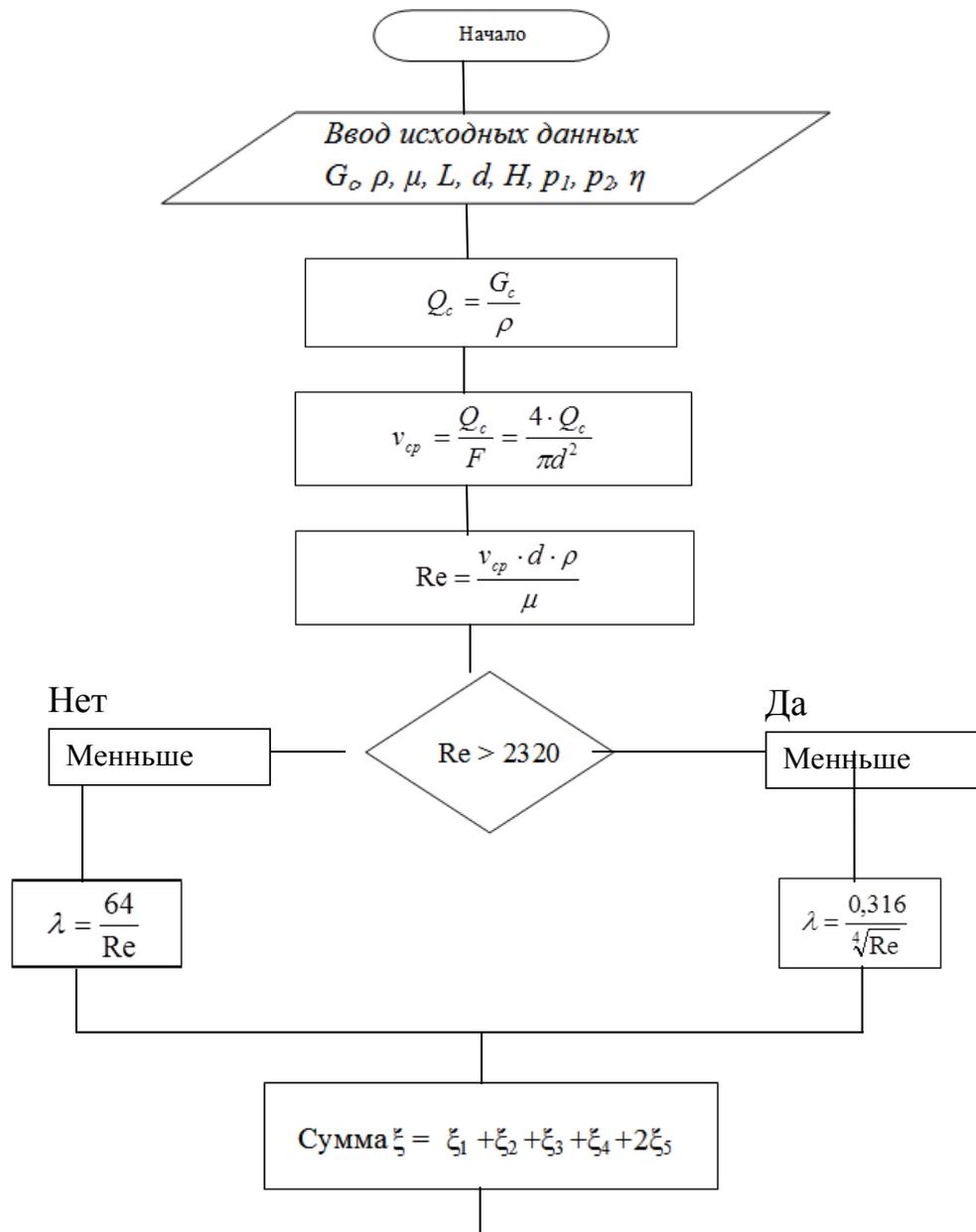
д) сопротивление внешнего трения

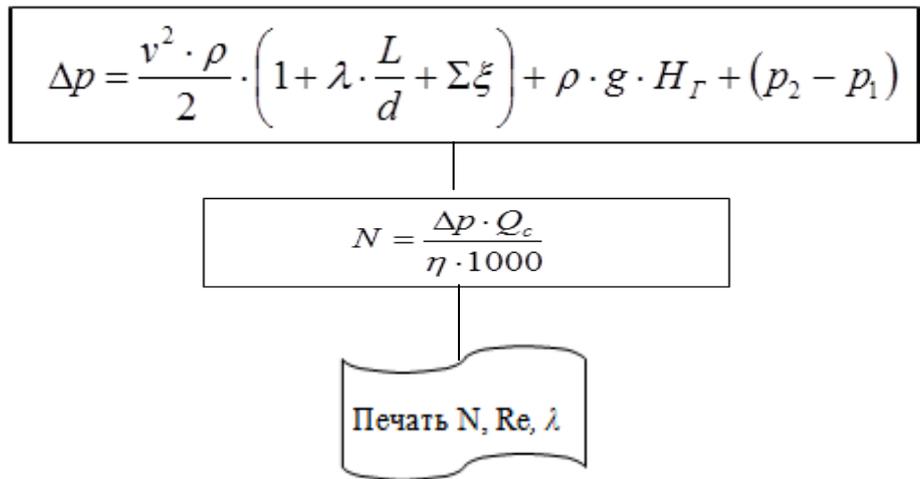
если $Re < 2320$, то $\lambda = \frac{64}{Re}$ (ламинарный режим),

если $Re > 2320$, то $\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$ (турбулентный режим);

е) сумма коэффициентов местных сопротивлений (сопротивлением входа и выхода пренебрегаем) $\sum \xi = 2\xi_1 + \xi_2 + 5\xi_3$.

4. Составляем блок-схему решения задачи:





5. Программа:

G_c , кг/с	INPUT «Введите расход G_c =»; G
p_1 , Па	INPUT «Введите давление в реакторе p_1 =»; P1
p_2 , Па	INPUT «Введите давление в реакторе p_2 =»; P2
d , м	INPUT «Введите диаметр d =»; D
L , м	INPUT «Введите длину L =»; L
H , м	INPUT «Введите высоту подачи H =»; H
η	INPUT «Введите КПД насоса η =»; N1
ξ_1	INPUT «Введите коэффициент сопротивления ξ_1 =»; E1
ξ_2	INPUT «Введите ξ_2 =»; E2
ξ_3	INPUT «Введите ξ_3 =»; E3
ρ , кг/м ³	INPUT «Введите плотность ρ =»; P
μ , Па·с	INPUT «Введите вязкость μ =»; M
Q_c , м ³ /с	Q = G/P
ω_{cp} , м/с	W = 4*Q/(π*D^2)
Re	RE=W*D*P/M
	IF RE > 2320 THEN GOTO 1
λ	Y = 64/RE
	GOTO 2
λ	1:Y=0.316*RE^0.25
$\sum \xi_i$	2:E=2*E1+E2+5*E3
Δp , Па	P3=0.5*W^2*P*(1+Y*L/D+E)+P*9.81*H+(P2-P1)
N , кВт	N=P3*Q/(1000*N1)
	PRINT «Мощность на перекачку N = »; N, «Re = »; Re,
	«λ = »; Y
	END

Результат расчета: мощность потребляемая насосом $N = 1,89$ кВт; число Рейнольдса $Re = 39402,6$ и режим течения в трубе - турбулентный; коэффициент трения $\lambda = 0,0224$.

3.2. Задачи по определению потребляемой мощности при перекачивании жидкости по трубопроводу для самостоятельного решения

1. Насосная установка перекачивает хлористый кальций (CaCl_2) с концентрацией 25 % в резервуар на высоту 32 м. Диаметр трубы 50x2,5 мм. Общая длина трубы 74 м. Скорость перемещения раствора 1,8 м/с. Плотность раствора 1220 кг/м³. Вязкость 1,8 сП. На пути движения жидкости имеется 3 колена под углом 90° и 2 вентиля. Определить потребляемую мощность, если КПД насоса 0,65.

2. Насосная установка перекачивает глицерин 50% концентрации при температуре 60° С. Высота всасывания равна 5 м, высота нагнетания 24 м. Общая потеря напора равна 58 м. Длина трубопровода 44 м. Определить потребляемую мощность, если КПД равен 0,7. Диаметр трубы 48x2 мм. Скорость потока 1,6 м/с.

3. Насосная установка перекачивает воду на высоту 44 м по трубе диаметром 60x2,5 мм в количестве 30 м³/ч. На трубе имеется три плавных отвода и 2 вентиля. Длина трубы составляет 95 м. Определить потребляемую мощность, если КПД насосной установки равен 0,6.

4. Для перекачки обычного спирта в количестве 12 т/ч используется насосная установка с диаметром труб 48x2,5 мм при их общей длине 112 м. Высота всасывания равна 7 м, высота нагнетания - 32 м. Вязкость жидкости равна 1,33 сП. На трубе имеется 2 нормальных вентиля, 3 колена под углом 90° и кольцевая диафрагма с отверстием диаметром 10 мм. Определить потребляемую мощность, если КПД насосной установки равен 0,68.

5. Для перекачки 18 т/ч толуола при температуре 40° С используется насосная установка, имеющая трубы диаметром 46x3 мм при общей их длине 64 м. Высота всасывания 5 м, высота нагнетания 17 м. На трубе имеется 2 плавных отвода, 3 колена под углом 90°, кольцевая диафрагма и 2 нормальных вентиля. Определить полный гидродинамический напор.

6. Насосная установка для перекачки 70% уксусной кислоты в количестве 14 т/ч выполнена из труб диаметром 53x2,5 мм длиной 88 м. Общая потеря напора составляет 77 м. Определить потребляемую мощность, если осуществляется подъем жидкости на 18 м при КПД установки равном 0,7.

7. Насосная установка для перекачки воды в количестве 28 м³/ч работает при числе оборотов $n = 700$ об/мин. Установка выполнена из труб диаметром 60x3 мм протяженностью 48 м. Общая потеря напора составляет 58 м. Как изменится характеристика насоса, если число оборотов станет равным 2500 об/мин. КПД установки равен 0,58.

8. Насосная установка для перекачки этилового спирта 60 % концентрации и производительностью 18 м³/ч работает при числе оборотов 1200 об/мин и КПД $\eta = 0,72$. Общая протяженность труб равна 62 м. Общая потеря напора составляет 72 м. Найти как изменится характеристика насоса при числе оборотов 2500 об/мин.

9. Определить какая потребуется мощность насосной установки для

перекачки соляной кислоты концентрации 30 %, имеющей плотность 1140 кг/м^3 при температуре 40°C , если подъем равен 24 м. Трубы из органического стекла, гладкие, диаметром $60 \times 4 \text{ мм}$ при длине 82 м. Имеется 4 колена под углом 90° и 2 вентиля. Коэффициент полезного действия установки равен 0,58. Скорость потока 1,8 м/с.

10. Насос перекачивает жидкость плотностью 920 кг/м^3 из резервуара с атмосферным давлением в аппарат, давление в котором составляет $p_2 = 2,5 \text{ атм}$. Высота подъема 21 м. Общее сопротивление всасывающей и нагнетательной линий составляет 77 м. Определить потребляемую насосом мощность, если производительность составляет 18 т/ч, а КПД $\eta = 0,6$. Диаметр труб $64 \times 3 \text{ мм}$.

11. Перекачивается 100 % этиловый спирт при температуре 60°C , в количестве 8 т/ч по трубе диаметром $50 \times 2,5 \text{ мм}$ по горизонтальному трубопроводу, имеющему 2 вентиля и кольцевую диафрагму при общей длине трубы 92 м. Определить потребляемую насосом мощность, если КПД $\eta = 0,62$.

12. Насосная установка для перекачки 60 % серной кислоты работает при числе оборотов 900 об/мин, имея производительность 9 т/ч. Характеристика труб: диаметр $48 \times 2 \text{ мм}$; общая длина 62 м; высота подъема 14 м. Суммарная потеря напора 68 м. Как изменится характеристика насоса при работе электродвигателя с числом оборотов 2400 об/мин: если КПД $\eta = 0,58$.

13. Насосная установка перекачивает 50% азотную кислоту (HNO_3), имеющую вязкость 0,57 сП, по трубам диаметром $60 \times 2,5 \text{ мм}$ со скоростью 2 м/с. КПД насоса $\eta = 0,62$. Определить потребляемую насосом мощность, если осуществляется подъем кислоты на высоту 18 м при длине труб 64 м. На трубах имеется 3 плавных отвода, 2 колена под углом 90° , кольцевая диафрагма и 2 нормальных вентиля.

14. Насосная установка перекачивает воду на высоту 56 м по трубе диаметром $89 \times 4,5 \text{ мм}$ со скоростью 2,8 м/с. Стальная труба имеет 4 плавных отвода, 2 колена под углом 90° и 2 вентиля. Общая длина трубы 174 м. Определить потребляемую насосом мощность, если КПД равен 0,72.

15. Насосная установка для перекачки 100 % глицерина при 60°C в количестве 30 т/час работает при 900 об/мин и КПД $\eta = 0,52$. Общая длина труб составляет 32 м. Суммарная потеря напора и высоты подъема равна 44 м. Как изменится характеристика насоса, если число оборотов рабочего колеса составит 2400 об/мин.

16. Насосная установка перекачивает хлористый кальций (CaCl_2) с концентрацией 25 % в резервуар, расположенный на высоте 9 м. Диаметр труб $62 \times 2,5 \text{ мм}$. Общая длина труб 66 м. Скорость перемещения раствора 2,1 м/с. Плотность раствора 1220 кг/м^3 , вязкость $\mu = 1,8 \text{ сП}$. На пути движения жидкости имеется 3 колена под углом 90° , 2 вентиля и 3 плавных отвода. Определить потребляемую насосом мощность, если его КПД $\eta = 0,58$.

17. Перекачивают 28 т/ч обычного спирта при 40°C по трубе длиной 62 м и диаметром $88 \times 2 \text{ мм}$ на высоту 16 м. Вязкость жидкости $\mu = 1,33 \text{ сП}$. На трубе имеется 2 нормальных вентиля, 3 колена под углом 90° . Определить потребляемую насосом мощность, если его КПД $\eta = 0,61$.

18. Насосная установка для перекачки 100 % глицерина при 60° С работает при числе оборотов 900 об/мин и КПД $\eta = 0,6$. Общая длина труб равна 46 м. Суммарная потеря напора и высоты подъема составляет 58 м. Скорость потока по трубам 1,2 м/с. Как изменится характеристика насоса, если его переключить на работу при 2400 об/мин. Диаметр труб $d = 52 \times 2$ мм.

19. Перекачивается толуол при 60° С по трубам диаметром 58x4 мм со скоростью 1,4 м/с. Высота подъема 17 м. Общая длина труб 90 м. На трубе имеется 4 плавных отвода, 2 колена под углом 90°, кольцевая диафрагма и 2 нормальных вентиля. Определить потребляемую насосом мощность, если его КПД $\eta = 0,55$.

20. Перекачивается из открытого водоема вода на высоту 16 м по трубе диаметром 80x4 мм со скоростью 2,8 м/с. На трубе имеется 2 вентиля, 3 колена под углом 90°, кольцевая диафрагма. Общая длина труб 112 м. Определить потребляемую насосом мощность, если его КПД $\eta = 0,62$.

4. Определение характеристик центробежного насоса при работе в сети

4.1. Пример решения задачи

При испытании центробежного насоса, имеющего число оборотов $n = 1400$ об/мин, получены следующие данные:

Q, л/с		0		2		4		6		8		10		12
H, м		36		37		38		37		34		31		28

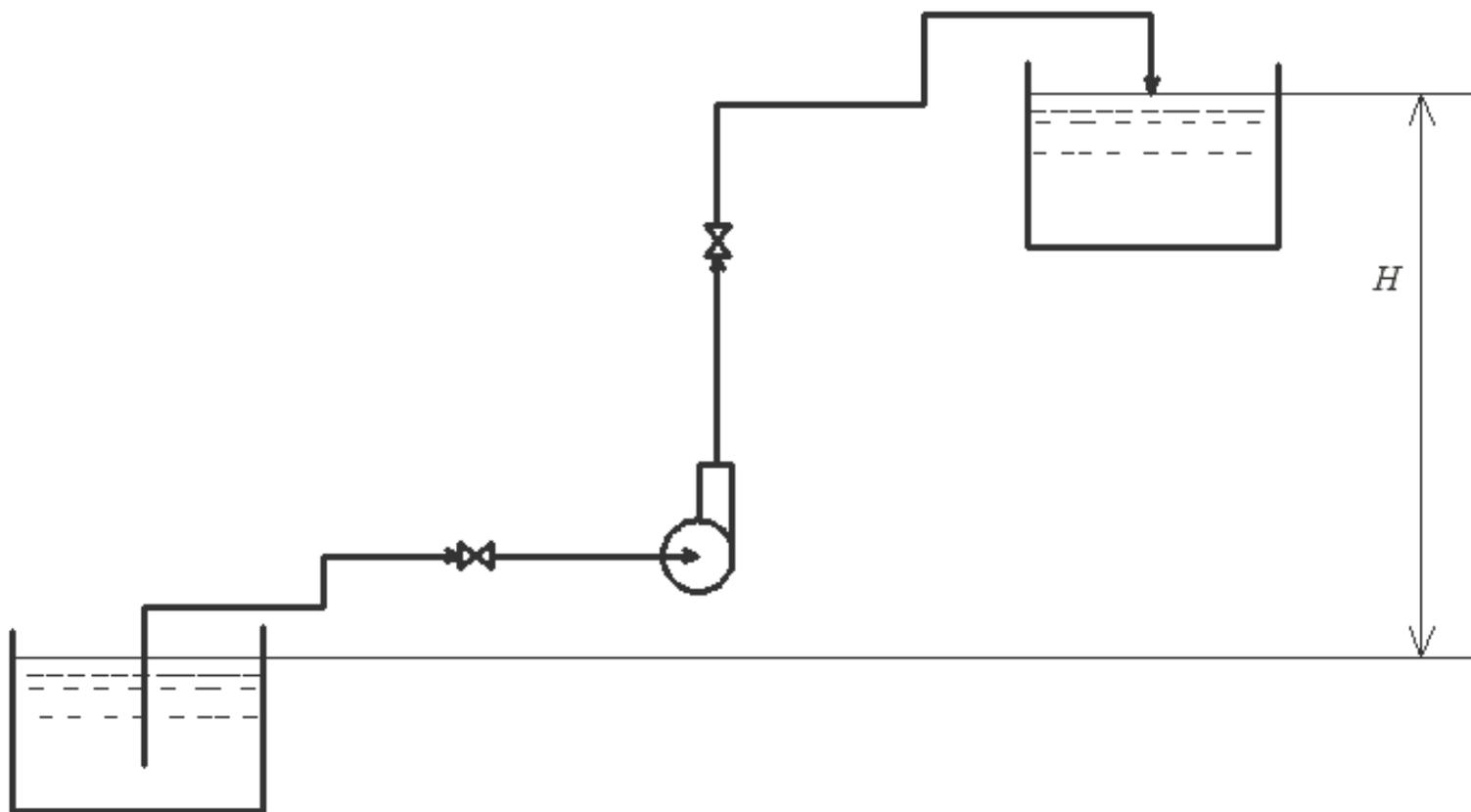


Схема установки

Определить, сколько жидкости будет подавать этот насос по трубопроводу диаметром 76x4 мм, длиной 355 м при условии, что геометрическая высота подачи $H_r = 4,8$ м, сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi = 5$, коэффициент сопротивления трения $\lambda = 0,03$, плотность жидкости $\rho = 1070$ кг/м³, КПД насосной установки $\eta = 0,62$. Какой будет потребляемая мощность?

Определить также каковы будут подача, напор и потребляемая насосом мощность, если число оборотов рабочего колеса будет равным $n=1700$ об/мин.

1. Исходные данные:

$$d = 76 - 2 \cdot 4 = 68 \text{ мм} = 0,068 \text{ м};$$

$$L = 355 \text{ м};$$

$$H_r = 4,8 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,03;$$

$$\sum \xi = 5;$$

$$\eta = 0,62;$$

$$\rho = 1070 \text{ кг/м}^3;$$

$$n_1 = 1400 \text{ об/мин};$$

$$n_2 = 1700 \text{ об/мин}.$$

2. Схема решения задачи:

Полное гидравлическое сопротивление трубопровода (сети) для подачи жидкости насосом определяется выражением

$$\Delta p = H_e + h_{ном} = 4,8 + \frac{v_{cp}^2}{2g} \cdot \left(1 + \lambda \frac{L}{d} + \sum \xi \right), \text{ м}.$$

Скорость движения жидкости в трубе

$$v_{cp} = \frac{Q_c}{0,785 \cdot d^2}, \text{ м/с}.$$

Потребляемая насосом мощность

$$N = \frac{Q_c \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт}.$$

Связь между числами оборотов рабочего колеса насоса и:

подачи -
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2};$$

напора -
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2;$$

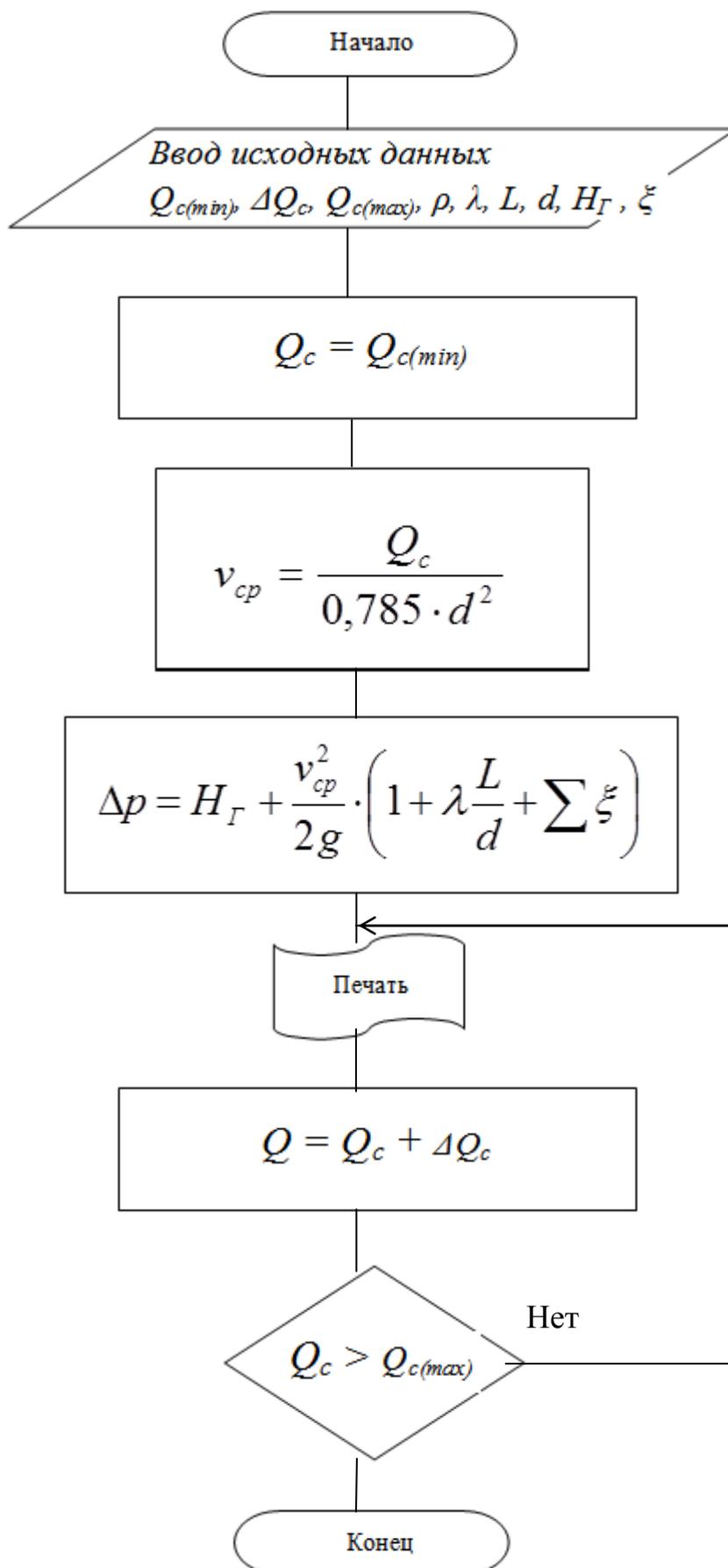
потребляемой мощности –
$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3.$$

Для определения подачи и напора насоса необходимо определить для сети значения Δp при разных расходах Q_c жидкости и построить график зависимости $\Delta p=f(Q_c)$. На поле графика нанести характеристику $H=f(Q_c)$, полученную по результатам испытаний при $n_1 = 1400$ об/мин. С учетом связей Q_c и H с числом оборотов рабочего колеса насоса построить на поле графика кривую $H=f(Q_c)$ при $n_2 = 1700$ об/мин. Точки пересечения кривых $H_1=f(Q_c)$ и $H_2=f(Q_c)$ с кривой $\Delta p=f(Q_c)$ для сети будут соответствовать соответствующим искомым величинам Q и H .

3. Программа расчета:

$H_r, \text{ м}; d, \text{ м}$ $L, \text{ м}; \rho,$ кг/м^3 $\lambda; \sum \xi_i$ $Q_{c, \text{ min}},$ $\text{м}^3/\text{с}$ $\Delta Q_{c, \text{ м}^3/\text{с}}$ $Q_{c, \text{ max}},$ $\text{м}^3/\text{с}$ $Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$ $v_{cp}, \text{ м/с}$ $\Delta p, \text{ м}$ $Q_c, \text{ м}^3/\text{с};$ $\Delta p, \text{ м}$ $Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	<p>INPUT «Введите $H_r, d, L, \rho, \lambda, \sum \xi_i$»; H; D; L; P; H; E</p> <p>INPUT «Введите $Q_{c, \text{ min}}$»; Q1</p> <p>INPUT «Введите ΔQ_c»; Q2</p> <p>INPUT «Введите $Q_{c, \text{ max}}$»; Q3</p> <p>$Q = Q1$</p> <p>1: $V = Q/(0.785 * D^2)$</p> <p>$P1 = H + (V^2 / (2 * 9.81)) * (1 + Y * L / D + E)$</p> <p>PRINT «$Q_c =$»; Q, «$\Delta p =$»; P1</p> <p>$Q = Q + Q1$</p> <p>IF $Q < Q3$ THEN GOTO 1</p> <p>END</p>
--	--

4. Блок-схема решения на ЭВМ:



5. Результаты расчета по программе:

Q_c , л/с	0	2	4	6	8	10	12
Δp , м	4,8	7,31	14,2	27,4	44,87	67,4	95

Полученные результаты используем для построения характеристики $\Delta p = f(Q_c)$ сети. На поле рисунка наносим характеристику $H = f(Q_c)$ насоса, полученную при испытании с числом оборотов рабочего колеса $n_1 = 1400$ об/мин.

Точка пересечения этих двух характеристик дает величины подачи насоса $Q_{c1} = 7$ л/с и напора $H_1 = 36$ м. Потребляемая мощность

$$N_1 = \frac{Q_{c1} \cdot \rho \cdot g \cdot H_1}{1000 \cdot \eta} = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot 1070 \cdot 9,81 \cdot 36}{1000 \cdot 0,62} = 4,27, \text{ кВт}$$

Используя соотношения $Q_2 = Q_1(n_2/n_1)$ и $H_2 = H_1(n_2/n_1)^2$, пересчитываем характеристику насоса $H_1 = f(Q_c)$, полученную при испытаниях для $n_1 = 1400$ об/мин, на новое число оборотов рабочего насоса $n_2 = 1700$ об/мин.

Результаты пересчета:

$Q_{c,2}$, л/с	0	2,43	4,86	7,29	9,72	12,15	14,58
H_2 , м	53	54,63	56,1	54,63	50,2	45,77	41,34

Полученные результаты пересчета представляем на рисунке в виде графика $H_2 = f(Q_{c,2})$. Точка пересечения характеристики насоса $H_2 = f(Q_{c,2})$ при $n_2 = 1700$ об/мин с характеристикой сети дает величины подачи насоса $Q_{c,2} = 8,9$ л/с и напора $H_2 = 52,5$ м. При этом потребляемая мощность

$$N_2 = \frac{Q_{c,2} \cdot \rho \cdot g \cdot H_2}{1000 \cdot \eta} = \frac{8,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1070 \cdot 9,81 \cdot 52,5}{1000 \cdot 0,62} = 7,81, \text{ кВт}$$

4.2. Задания для самостоятельного решения

1. Центробежный насос для перекачки 70 % уксусной кислоты имеет следующие паспортные данные:

Q , л/с	0	1	3	5	7	9	11
H , м	38	40	36	34	32	30	28

Определить потребляемую мощность, а также найти сколько жидкости будет подавать насос по трубе диаметром 86x3 мм и длиной 355 м при геометрической высоте подачи $H_r = 19$ м, если $\lambda = 0,03$; $\eta = 0,62$. Построить графические характеристики сети и насоса.

2. Центробежный насос для перекачки 25% раствора CaCl_2 при температуре 40°C имеет следующие паспортные данные:

Q, л/с	0	2	4	6	8	10	12
H, м	40	42	38	38	34	32	30

Определить потребляемую мощность, а также найти, сколько жидкости будет подавать насос по прямой трубе диаметром 78×4 мм и длиной 280 м при геометрической высоте подачи 16 м, если $\lambda = 0,03$, $\eta = 0,62$. Построить графические характеристики насоса и трубы.

3. Как изменится характеристика насоса для условий задачи № 2, если число оборотов насоса будет меняться от $n_1 = 1400$ об/мин до $n_2 = 1700$ об/мин.

Построить графические характеристики насоса и сети.

4. На складе имеется центробежный насос паспортные данные которого следующие: $n = 1400$ об/мин, $Q = 56$ м³/ч; $H = 42$ м; $N = 10,9$ кВт. Какая получится испытательная характеристика насоса, если шаг изменения производительности и напора будет равен 2? Будет ли пригоден данный насос для сети трубопроводов перекачки 20 % раствора NaOH при $t = 20^\circ\text{C}$, если $H_T = 22$ м; $d = 64 \times 3$ мм; $L = 128$ м; $\lambda = 0,02$? Построить графические характеристики насоса и сети труб.

5. Центробежный насос для перекачки 30 % раствора NaOH при температуре 40°C имеет следующую характеристику: $\eta = 0,58$;

Q, л/с	0	3	6	9	12	15	18
H, м	28	30	26	24	22	20	18

Определить какими будут значения потребляемой мощности, а также с какими показателями будет работать этот насос, если его включить в сеть трубопроводов диаметром 73×4 мм при длине 72 м, если $\lambda = 0,02$, $H_T = 12$ м.

Построить графические характеристики насоса и сети труб.

6. Как изменится характеристика насоса и сети (условия задачи № 5), если насос будет перекачивать бутиловый спирт при $t = 60^\circ\text{C}$? Построить графические характеристики насоса и сети труб.

7. На складе имеется центробежный насос, имеющий следующие паспортные данные: $n = 1400$ об/мин; $Q = 62$ м³/ч; $H = 54$ м; $N = 12$ кВт.

Какая получится испытательная характеристика насоса, если производительность и напор будут изменяться с шагом равным 2? Будет ли пригоден данный насос для перекачки воды по трубам диаметром $58 \times 2,5$ мм при длине 44 м, $\lambda = 0,02$?

Построить графические характеристики насоса и сети труб.

8. Будет ли пригоден насос задачи № 5 для установки в систему труб диаметром 54×3 мм для перекачки аммиачной воды при длине труб 88 м, если $\lambda = 0,02$? Построить характеристики насоса и сети труб.

9. На складе имеется центробежный насос, у которого паспортные данные: $n = 1700$ об/мин; $Q = 42$ м³/ч; $H = 58$ м; $N = 9,9$ кВт.

Какая получится характеристика насоса, если производительность и напор

будет меняться с шагом равным 3? Как изменятся все показатели характеристики насоса, если число оборотов изменится до 2700 об/мин, $\eta = \text{const}$?

10. Центробежный насос для перекачки 75 % серной кислоты (H_2SO_4) при $t = 20^\circ \text{C}$ имеет следующую характеристику:

Q, л/с	0	2	4	6	8	10	12	14	16
H, м	46	48	44	42	40	38	36	34	32

Определить какими будут значения потребляемой мощности, а также с какими показателями будет работать этот насос, если его включить в сеть трубопроводов диаметром 82x6 мм при длине 63 м, если $H_{\Gamma} = 30$ м, $\lambda = 0,015$.

Построить графические характеристики насоса и сети труб.

11. На складе имеется центробежный насос, паспортные данные которого следующие: $n = 900$ об/мин; $Q = 32$ м³/ч; $H = 28$ м; $\eta = 0,64$. Какая получится испытательная характеристика насоса, если шагизменения производительности и напора равен 3? Пригоден ли данный насос для установки в сеть трубопроводов перекачки 30 % соляной кислоты при $t = 20^\circ \text{C}$, если $d = 56 \times 3$ мм; $L = 92$ м; $\lambda = 0,02$; $H_{\Gamma} = 7$ м?

Построить графические характеристики насоса и сети труб.

12. Как изменится характеристика насоса задачи № 11, если изменить число оборотов насоса до 2400 об/мин? Будет ли он пригоден для работы в той же сети? Построить графики.

13. Центробежный насос для перекачки 40 % метилового спирта при 60°C имеет следующую характеристику: $\eta = 0,56$;

Q, л/с	0	2	4	6	8	10	12	14
H, м	27	29	25	23	21	19	17	15

Определить какими будут значения потребляемой мощности, а также с какими показателями будет работать насос, если его включить в сеть трубопровод диаметром 58x3 мм при длине 93 м, если $\lambda = 0,02$; $H_{\Gamma} = 21$ м. Построить графические характеристики насоса и сети труб.

14. Центробежный насос для перекачки анилина при 20°C имеет следующую характеристику при $\eta = 0,58$;

Q, л/с	0	2	4	8	10	12	14	16
H, м	16	18	14	10	8	6	4	2

Определить какими будут значения потребляемой мощности, а также с какими показателями будет работать этот насос, если его включить в сеть трубопроводов диаметром 56x3 мм при длине 68 м, если $\lambda = 0,02$; $H_{\Gamma} = 9$ м. Построить графические характеристики насоса и сети труб.

15. Как изменится характеристика насоса задачи № 14, если изменить число оборотов от 900 до 1700 об/мин? Будет ли пригоден насос для работы в той же сети?

Построить график.

16. На складе имеется центробежный насос, паспортные данные которого следующие: $n = 900$ об/мин; $Q = 38$ м³/час; $H = 56$ м; $\eta = 0,6$. Какая получится испытательная характеристика насоса, если шаг изменения производительности и напора равен 2? Будет ли пригоден этот насос для установки в сеть трубопроводов перекачки 10 % NaOH при $t = 40^\circ \text{C}$, если диаметр $d = 58 \times 4$ мм; $L = 107$ м; $\lambda = 0,02$; $H_r = 32$ м? Построить графические характеристики насоса и сети труб.

17. Будет ли пригоден насос задачи № 16 для перекачки 20 % NaCl при всех тех же условиях?

Построить графические характеристики насоса и сети труб.

18. На складе имеется центробежный насос, имеющий паспортную характеристику: $n = 2400$ об/мин; $Q = 42$ м³/ч; $H = 72$ м; $\eta = 0,62$. Какая получится испытательная характеристика насоса, если шаг изменения производительности и напора равен 1? Будет ли пригоден данный насос для установки в сеть трубопроводов перекачки 60 % этилового спирта при $t = 30^\circ \text{C}$, если диаметр $d = 62 \times 2,5$ мм; длина $L = 115$ м; $\lambda = 0,015$; $H_r = 17$ м? Построить графические характеристики насоса и сети труб.

19. Будет ли пригоден насос задачи № 18 для перекачки 50 % азотной кислоты (HNO₃) при 40°C , если все показатели характеристики насоса сохраняются без изменения?

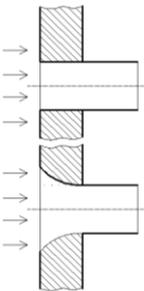
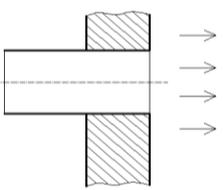
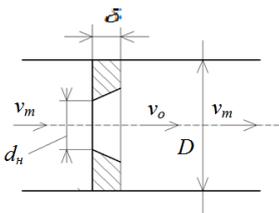
Построить графические характеристики насоса и сети труб.

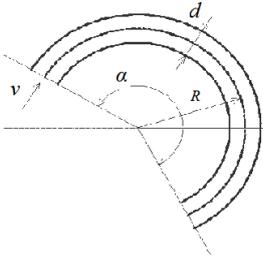
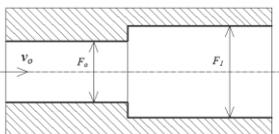
20. Центробежный насос для перекачки 50 % глицерина при $t = 60^\circ \text{C}$ имеет следующую характеристику: $\eta = 0,58$;

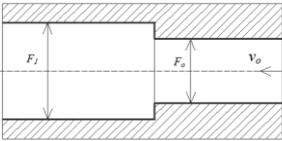
Q, л/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8
H, м	42	44	40	38	36	34	32	30	28

Определить какими будут значения потребляемой мощности, а также с какими показателями будет работать этот насос, если его включить в сеть трубопроводов диаметром 48×3 мм при длине 96 м, если $\lambda = 0,015$; $H_r = 26$ м. Построить графические характеристики насоса и сети труб.

Коэффициент местных сопротивлений

Вид сопротивления	Значение коэффициента местного сопротивления ξ																																																						
<p>Вход в трубу</p>  <p>С острыми краями $\xi = 0,5$</p> <p>С закругленными краями $\xi = 0,2$</p>																																																							
<p>Выход из трубы</p>  <p>$\xi = 1$</p>																																																							
<p>Диафрагма с острыми краями в прямой трубе</p>  <p>d_0 – диаметр отверстия диафрагмы; δ – толщина диафрагмы; v_0 – средняя скорость потока в отверстии; v_T – средняя скорость в трубе; D – диаметр трубы.</p>	<p>При $(\delta/d_0) = 0 \div 0,015$ потеря давления</p> $\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v_T^2}{2}$ <p>Значение ξ определяется по таблице</p> <table border="1" data-bbox="486 1411 1404 1646"> <tbody> <tr> <td>m</td> <td>0,02</td> <td>0,04</td> <td>0,06</td> <td>0,08</td> <td>0,10</td> <td>0,12</td> <td>0,14</td> <td>0,16</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>7000</td> <td>1670</td> <td>730</td> <td>400</td> <td>245</td> <td>165</td> <td>177</td> <td>86,0</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>0,48</td> <td>0,20</td> <td>0,22</td> <td>0,34</td> <td>0,26</td> <td>0,28</td> <td>0,30</td> <td>0,34</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>65,0</td> <td>51,5</td> <td>40,0</td> <td>32,0</td> <td>26,8</td> <td>22,3</td> <td>18,2</td> <td>13,1</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> <td>0,9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>8,25</td> <td>4,00</td> <td>2,00</td> <td>0,97</td> <td>0,42</td> <td>0,13</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> $m = \left(\frac{d_0}{D} \right)^2$	m	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	ξ	7000	1670	730	400	245	165	177	86,0	m	0,48	0,20	0,22	0,34	0,26	0,28	0,30	0,34	ξ	65,0	51,5	40,0	32,0	26,8	22,3	18,2	13,1	m	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9			ξ	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13		
m	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16																																															
ξ	7000	1670	730	400	245	165	177	86,0																																															
m	0,48	0,20	0,22	0,34	0,26	0,28	0,30	0,34																																															
ξ	65,0	51,5	40,0	32,0	26,8	22,3	18,2	13,1																																															
m	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9																																																	
ξ	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13																																																	

<p>Отвод круглого или квадратного сечения</p>  <p>d – внутренний диаметр трубопровода; R_0 – радиус изгиба трубы.</p>	<p>Коэффициент сопротивления $\xi = A \cdot B$ определяется по таблицам:</p> <table border="1" data-bbox="486 235 1388 425"> <tr> <td>Угол α, град</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>45</td> <td>60</td> <td>90</td> <td>110</td> <td>130</td> <td>150</td> <td>180</td> </tr> <tr> <td>усы</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>0,31</td> <td>0,45</td> <td>0,60</td> <td>0,78</td> <td>1,0</td> <td>1,13</td> <td>1,2</td> <td>1,28</td> <td>1,4</td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="486 459 1388 548"> <tr> <td>R_0/d</td> <td>1,0</td> <td>2,0</td> <td>4,0</td> <td>6,0</td> <td>15</td> <td>40</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0,21</td> <td>0,15</td> <td>0,11</td> <td>0,09</td> <td>0,06</td> <td>0,04</td> <td>0,03</td> </tr> </table>	Угол α , град	20	30	45	60	90	110	130	150	180	усы										A	0,31	0,45	0,60	0,78	1,0	1,13	1,2	1,28	1,4	R_0/d	1,0	2,0	4,0	6,0	15	40	50	B	0,21	0,15	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03		
Угол α , град	20	30	45	60	90	110	130	150	180																																								
усы																																																	
A	0,31	0,45	0,60	0,78	1,0	1,13	1,2	1,28	1,4																																								
R_0/d	1,0	2,0	4,0	6,0	15	40	50																																										
B	0,21	0,15	0,11	0,09	0,06	0,04	0,03																																										
<p>Колено 90°, стандартное чугунное</p>	<table border="1" data-bbox="486 772 1388 851"> <tr> <td>Условный проход, мм</td> <td>12,5</td> <td>25</td> <td>37</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>2,2</td> <td>2,0</td> <td>1,6</td> <td>1,1</td> </tr> </table>	Условный проход, мм	12,5	25	37	50	ξ	2,2	2,0	1,6	1,1																																						
Условный проход, мм	12,5	25	37	50																																													
ξ	2,2	2,0	1,6	1,1																																													
<p>Вентиль нормальный</p>	<p>Значение ξ при полном открытии вентиля:</p> <table border="1" data-bbox="486 940 1388 1019"> <tr> <td>D, мм</td> <td>13</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>80</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>200</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>10,8</td> <td>8,0</td> <td>4,9</td> <td>4,0</td> <td>4,1</td> <td>4,4</td> <td>4,7</td> <td>5,1</td> </tr> </table>	D , мм	13	20	40	80	100	150	200	250	ξ	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	4,7	5,1																														
D , мм	13	20	40	80	100	150	200	250																																									
ξ	10,8	8,0	4,9	4,0	4,1	4,4	4,7	5,1																																									
<p>Кран пробочный</p>	<table border="1" data-bbox="486 1086 1388 1198"> <tr> <td>Условный проход, мм</td> <td>13</td> <td>19</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>38</td> <td>50 и выше</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </table>	Условный проход, мм	13	19	25	32	38	50 и выше	ξ	4	2	2	2	2	2																																		
Условный проход, мм	13	19	25	32	38	50 и выше																																											
ξ	4	2	2	2	2	2																																											
<p>Задвижка</p>	<table border="1" data-bbox="486 1265 1388 1377"> <tr> <td>Условный проход, мм</td> <td>15-100</td> <td>175-200</td> <td>300 и выше</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>0,5</td> <td>0,25</td> <td>0,14</td> </tr> </table>	Условный проход, мм	15-100	175-200	300 и выше	ξ	0,5	0,25	0,14																																								
Условный проход, мм	15-100	175-200	300 и выше																																														
ξ	0,5	0,25	0,14																																														
<p>Внезапное расширение</p>  <p>F_0 – площадь меньшего поперечного сечения; F_1 – площадь большего поперечного сечения; v_0 – скорость</p>	<p>Значение ξ</p> <table border="1" data-bbox="486 1422 1388 1724"> <tr> <td rowspan="2">$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$</td> <td colspan="6">$F_0/F_1$</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>3,1</td> <td>3,1</td> <td>3,1</td> <td>3,1</td> <td>3,1</td> <td>3,1</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1,70</td> <td>1,40</td> <td>1,20</td> <td>1,10</td> <td>0,90</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>2,0</td> <td>1,60</td> <td>1,30</td> <td>1,05</td> <td>0,90</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>3000</td> <td>1,0</td> <td>1,0</td> <td>0,70</td> <td>0,60</td> <td>0,40</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>3500 и более</td> <td>0,81</td> <td>0,64</td> <td>0,50</td> <td>0,36</td> <td>0,25</td> <td>0,16</td> </tr> </table> $\Delta p_{pac} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v_0^2}{2}$	$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$	F_0/F_1						0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	10	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	100	1,70	1,40	1,20	1,10	0,90	0,80	1000	2,0	1,60	1,30	1,05	0,90	0,80	3000	1,0	1,0	0,70	0,60	0,40	0,20	3500 и более	0,81	0,64	0,50	0,36	0,25	0,16
$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$	F_0/F_1																																																
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6																																											
10	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1																																											
100	1,70	1,40	1,20	1,10	0,90	0,80																																											
1000	2,0	1,60	1,30	1,05	0,90	0,80																																											
3000	1,0	1,0	0,70	0,60	0,40	0,20																																											
3500 и более	0,81	0,64	0,50	0,36	0,25	0,16																																											

<p>потока в меньшем сечении диаметром d_0.</p>																																																							
<p>Внезапное сужение</p>  <p>F_0 – площадь меньшего поперечного сечения; F_1 – площадь большего поперечного сечения; v_0 – скорость потока в меньшем сечении диаметром d_0.</p>	<p>Значение ξ</p> <table border="1" data-bbox="486 324 1401 593"> <thead> <tr> <th rowspan="2">$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$</th> <th colspan="6">$F_0/F_1$</th> </tr> <tr> <th>0,1</th> <th>0,2</th> <th>0,3</th> <th>0,4</th> <th>0,5</th> <th>0,6</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> <td>5,0</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>1,30</td> <td>1,20</td> <td>1,10</td> <td>1,00</td> <td>0,90</td> <td>0,80</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>0,64</td> <td>0,50</td> <td>0,44</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,21</td> </tr> <tr> <td>10 000</td> <td>0,50</td> <td>0,40</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td>100 000</td> <td>0,45</td> <td>0,40</td> <td>0,35</td> <td>0,30</td> <td>0,25</td> <td>0,20</td> </tr> </tbody> </table> $\Delta p_{сж} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v_0^2}{2}$							$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$	F_0/F_1						0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	100	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80	1000	0,64	0,50	0,44	0,35	0,30	0,21	10 000	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	100 000	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$	F_0/F_1																																																						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6																																																	
10	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0																																																	
100	1,30	1,20	1,10	1,00	0,90	0,80																																																	
1000	0,64	0,50	0,44	0,35	0,30	0,21																																																	
10 000	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20																																																	
100 000	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20																																																	

Литература

1. Касаткин. А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. девятое. перер. и доп. - М.: Химия, 1973. - 754 с.
2. Гельперин. Н. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Книги 1-я и 2-я. - М.: Химия, 1981. - 811 с.
3. Фролов. В. Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». - СПб.: Химиздат, 2003. - 608 с.
4. Павлов. К. Ф., Ромашов П. Г., Носков. А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Изд. десятое, перер. и доп. – Л.: Химия, 1987. - 575 с.
5. Романков. П. Г., Курочкина М. И. Расчетные диаграммы и номограммы по курсу «Процессы и аппараты химической промышленности». - Л.: Химия, 1985. - 56 с.
6. Сафронов. И. К. Бейсик в задачах и примерах. - СПб.: БХВ-Петербург, 2003. - 224 с.
7. Мамонтов. Д. В. Quick Basic в задачах и примерах - СПб.: Питер, 2006. - 256 с.
8. Дьяконов. В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке бейсик для персональных ЭВМ: Справочник: - М.: Наука. Гл. ред. физ.- мат. лит., 1989. - 240 с.
9. Печенегов. Ю. Я., Кузьмина Р. И. Гидравлические процессы: Примеры расчетов на ЭВМ. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2009. – 37 с.
10. Сборник задач по гидравлике: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Большакова. В. А. – 4-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа. 1979.- 336 с.