

**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 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
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](mailto: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].

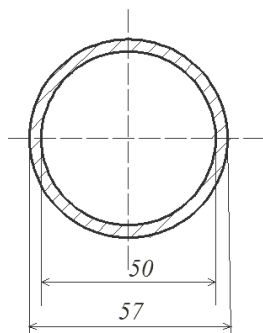
Для начинающих работать с алгоритмическим языком Quick Basic полезным является справочник [8], где изложены основы программирования и приведено большое число программ где изложены основы программирования и приведено большое число программ (более 300), обеспечивающих реализацию основных численных методов,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

## 1. Расчет скорости течения потока в трубе

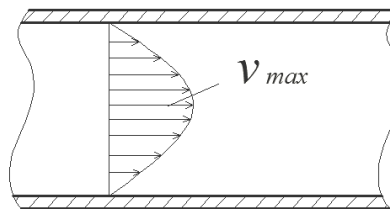
### 1.1. Пример решения типовой задачи

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 38<sup>0</sup> 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

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

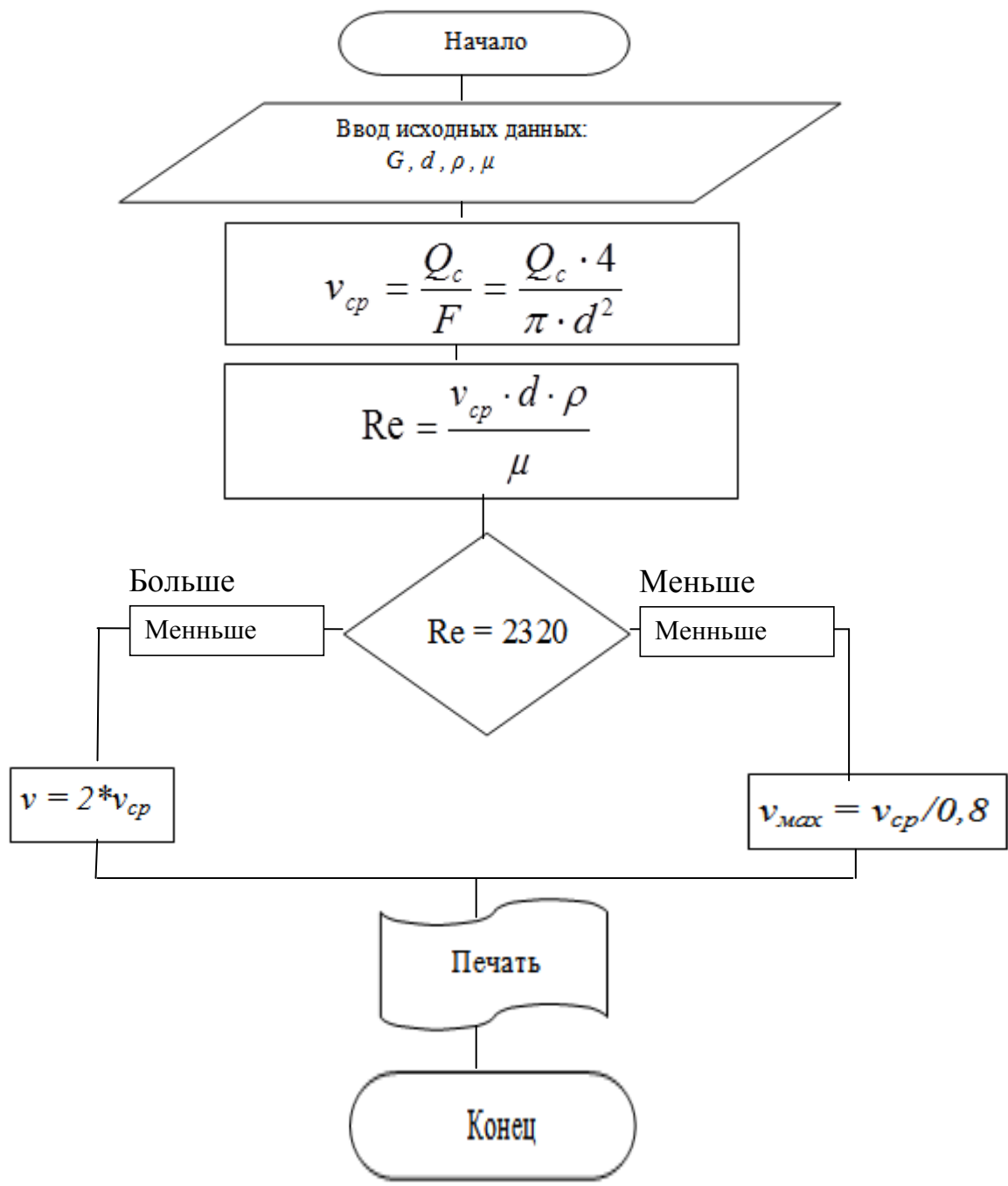
если же  $Re > 2320$ , то течение турбулентное и

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

#### 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  $40^{\circ}$  С.

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

3. Найти среднюю скорость потока и режим движения четыреххлористого углерода, который перемещается в количестве 18 т/ч при  $60^{\circ}$  С. Определить также местную скорость на оси трубопровода. Труба имеет диаметр  $62 \times 2$  мм.

4. Найти режим движения и среднюю скорость потока 50 % глицерина, перемещающегося по трубе  $65 \times 3$  мм в количестве 22 т/ч при  $80^{\circ}$  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  $72 \times 4$  мм при  $40^{\circ}$  С. Определить также местную скорость на оси трубопровода.

6. Определить местную скорость на оси трубы при движении серной кислоты (60 %) по свинцовой трубе диаметром  $32 \times 2$  мм, если расход ее составляет 20 т/ч, а температура  $50^{\circ}$  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  $20 \times 2$  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  $80^{\circ}$  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  $10^{\circ}$  С по трубе диаметром  $62 \times 4$  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  $15^{\circ}$  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 55,5х3,5 мм движется хлорбензол со средней скоростью 1,3 м/с, охлаждаясь от 100<sup>0</sup> С до 40<sup>0</sup> 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<sup>0</sup> С до 110<sup>0</sup> С. Теплообменник имеет 27 труб диаметром 18х1,5 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 62х3,5 мм при температуре 45<sup>0</sup> 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 62х4 мм и предназначена для перекачки ацетона при температуре 60<sup>0</sup> 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 38х2 мм имеет 2 колена под углом 90<sup>0</sup> в горизонтальной плоскости, один нормальный вентиль и задвижку. Найти потерю давления при перемещении бутилового спирта с температурой 60<sup>0</sup> 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

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

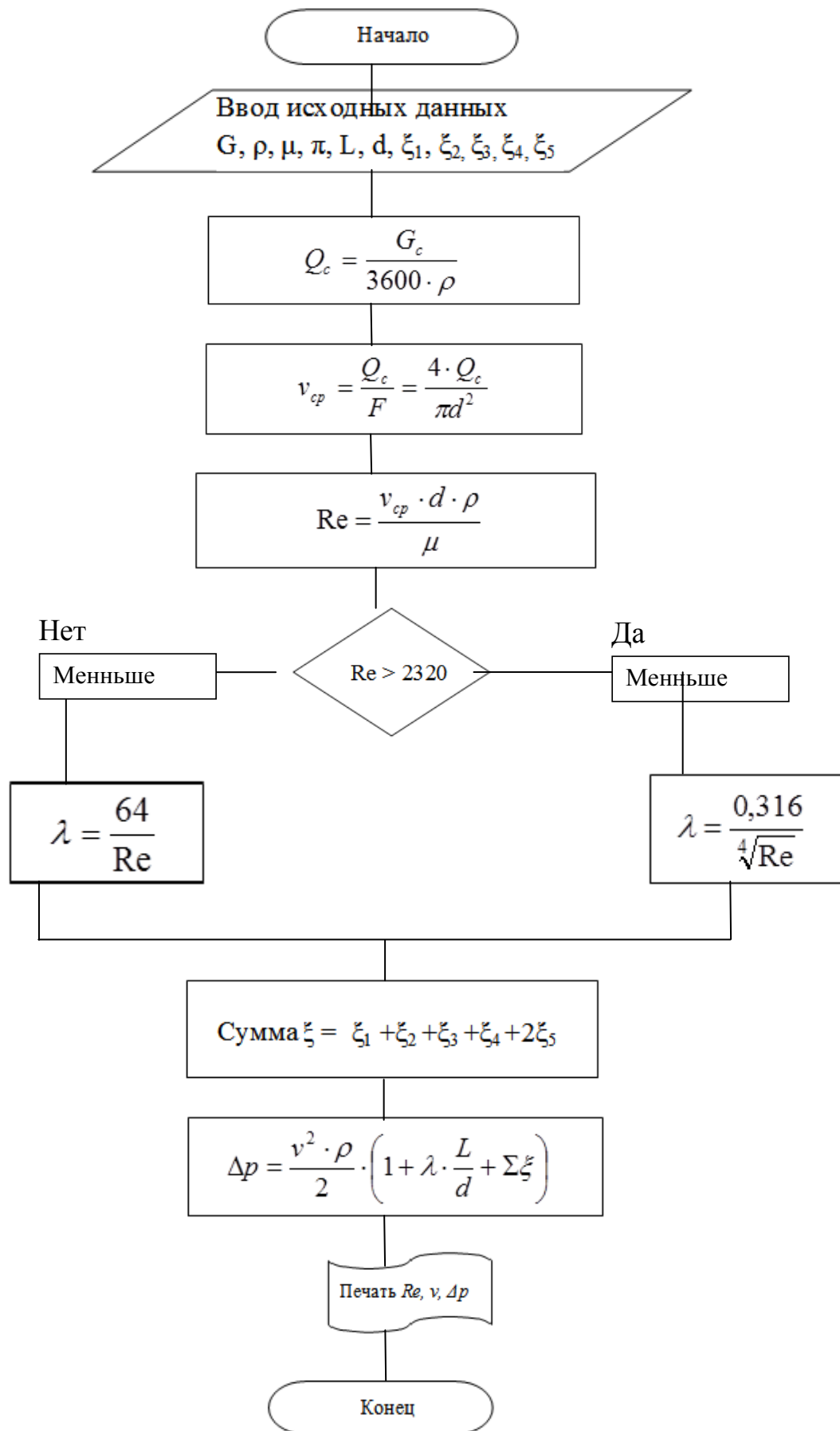
и, если  $Re < 2320$ , то  $\lambda = \frac{64}{Re}$  (ламинарный режим),

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 $G$ =»; $G$	
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	INPUT «Введите плотность $\rho$ =»; $\rho$	
$\mu$ , Па·с	INPUT «Введите вязкость $\mu$ =»; $M$	
$L$ , м	INPUT «Введите длину $L$ =»; $L$	
$d$ , м	INPUT «Введите диаметр $d$ =»; $D$	
$\xi_1$	INPUT «Введите коэффициент сопротивления $\xi_1$ =»; $E1$	
$\xi_2$	INPUT «Введите коэффициент сопротивления $\xi_2$ =»; $E2$	
$\xi_3$	INPUT «Введите коэффициент сопротивления $\xi_3$ =»; $E3$	
$\xi_4$	INPUT «Введите коэффициент сопротивления $\xi_4$ =»; $E4$	
$\xi_5$	INPUT «Введите коэффициент сопротивления $\xi_5$ =»; $E5$	
$Q_c$ , м <sup>3</sup> /с	$Q = G/(3600 * \rho)$	
$\omega_{cp}$ , 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 75<sup>0</sup> 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 90<sup>0</sup>. 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 150<sup>0</sup> и два нормальных вентиля. Расход кислоты составляет 20 м<sup>3</sup>/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 40<sup>0</sup>С. Расчет выполнить для длины трубы в 10 м и 100 м.

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

температуре  $30^{\circ}\text{C}$  по трубе диаметром  $62 \times 3$  мм, если известно, что на трубе имеется 2 нормальных вентиля и 2 колена под углом  $90^{\circ}$  и она переходит при внезапном расширении в трубу диаметром  $72 \times 3$  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  $110^{\circ}$  и 2 колена под углом  $90^{\circ}$ . Определить потери давления потока в трубе.

7. Труба диаметром  $64 \times 3$  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  $90^{\circ}$  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  $68 \times 4$  до  $52 \times 3$  мм, а также два прямооточных вентиля и два колена под углом  $90^{\circ}$ . По трубе перемещается хлорбензол при температуре  $60^{\circ}\text{C}$  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  $46 \times 2$  мм, имеющей 3 колена, 2 вентиля нормальных и один пробковый кран. По данной трубе перемещается вода со скоростью 2 м/с при температуре  $25^{\circ}\text{C}$ .

10. Труба диаметром  $38 \times 2$  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  $30^{\circ}\text{C}$ . Длина трубы 30 м.

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

12. Определить потерю давления в прямой трубе диаметром  $72 \times 3$  мм, если по ней протекает дихлорэтан при температуре  $40^{\circ}\text{C}$  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  $60 \times 3$  мм, диафрагму с отверстием 10 мм и толщиной 5 мм, а также 2 задвижки и 2 колена под углом  $90^{\circ}$ . Найти потери давления при перемещении 20 т/ч изоамилового спирта при температуре  $60^{\circ}\text{C}$ .

14. Для условий задачи № 10 определить потери давления, если по трубе будет перемещаться 25 т/ч глицерина (80 %) при температуре  $60^{\circ}\text{C}$ .

15. Определить потери давления на трение, если в трубе диаметром  $80 \times 3$  мм перемещается фенол при температуре  $90^{\circ}\text{C}$  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  $30^{\circ}\text{C}$ .

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:

$$G = 20 \text{ т/ч};$$

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

$$T = 45 \text{ °С};$$

$$\rho = 1100 \text{ кг/м}^3;$$

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

$$\rho_a = 735 \text{ мм рт.ст.};$$

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

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

$$\eta = 0,7;$$

$$d_0 = 0,068 \text{ м};$$

$$L = 26,6 \text{ м};$$

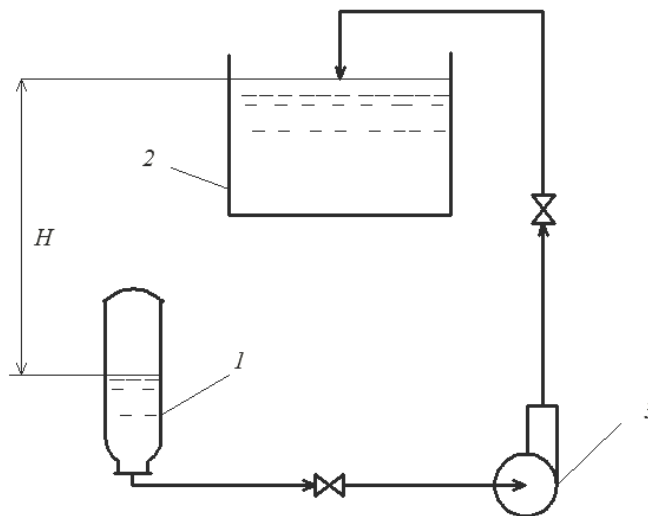
$$H = 15 \text{ м}.$$

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  $\Delta p$  (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

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

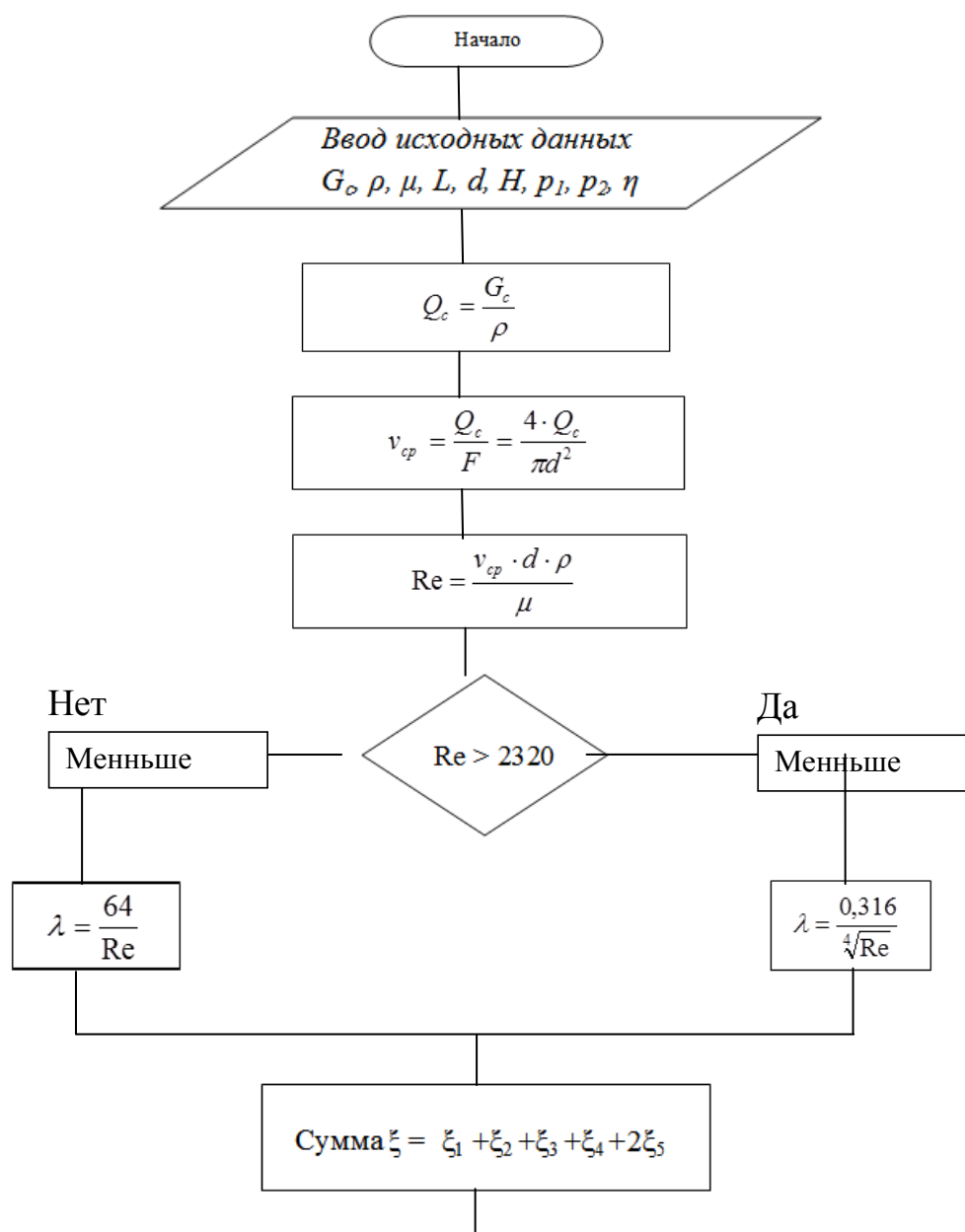
д) сопротивление внешнего трения

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

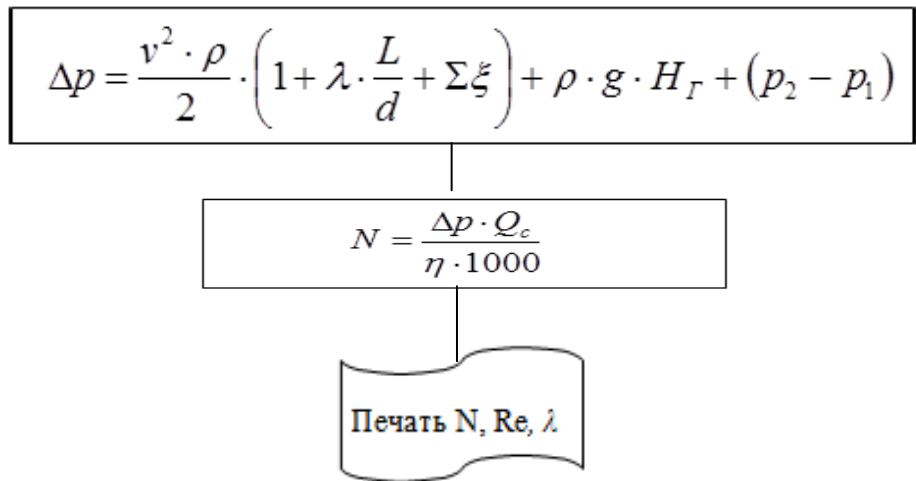
если  $Re > 2320$ , то  $\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$  (турбулентный режим);

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
$\eta$	INPUT «Введите КПД насоса $\eta$ =»; N1
$\xi_1$	INPUT «Введите коэффициент сопротивления $\xi_1$ =»; E1
$\xi_2$	INPUT «Введите $\xi_2$ =»; E2
$\xi_3$	INPUT «Введите $\xi_3$ =»; E3
$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	INPUT «Введите плотность $\rho$ =»; P
$\mu$ , Па·с	INPUT «Введите вязкость $\mu$ =»; M
$Q_c$ , м <sup>3</sup> /с	Q = G/P
$\omega_{cp}$ , м/с	W = 4*Q/(π*D^2)
Re	RE=W*D*P/M
	IF RE > 2320 THEN GOTO 1
$\lambda$	Y = 64/RE
	GOTO 2
$\lambda$	1:Y=0.316*RE^0.25
$\sum \xi_i$	2:E=2*E1+E2+5*E3
$\Delta p$ , 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 λ = 0,0224.

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

1. Насосная установка перекачивает хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ) 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/м<sup>3</sup>. 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 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/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  $1140 \text{ кг/м}^3$  при температуре  $40^\circ \text{C}$ , 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  $90^\circ$  и 2 вентиля. Коэффициент полезного действия установки равен 0,58. Скорость потока 1,8 м/с.

10. Насос перекачивает жидкость плотностью  $920 \text{ кг/м}^3$  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  $60^\circ \text{C}$ , 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 ( $\text{HNO}_3$ ), 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  $90^\circ$ , 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  $90^\circ$  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  $60^\circ \text{C}$  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 ( $\text{CaCl}_2$ ) 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  $1220 \text{ кг/м}^3$ , вязкость  $\mu = 1,8 \text{ сП}$ . На пути движения жидкости имеется 3 колена под углом  $90^\circ$ , 2 вентиля и 3 плавных отвода. Определить потребляемую насосом мощность, если его КПД  $\eta = 0,58$ .

17. Перекачивают 28 т/ч обычного спирта при  $40^\circ \text{C}$  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  $90^\circ$ . 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

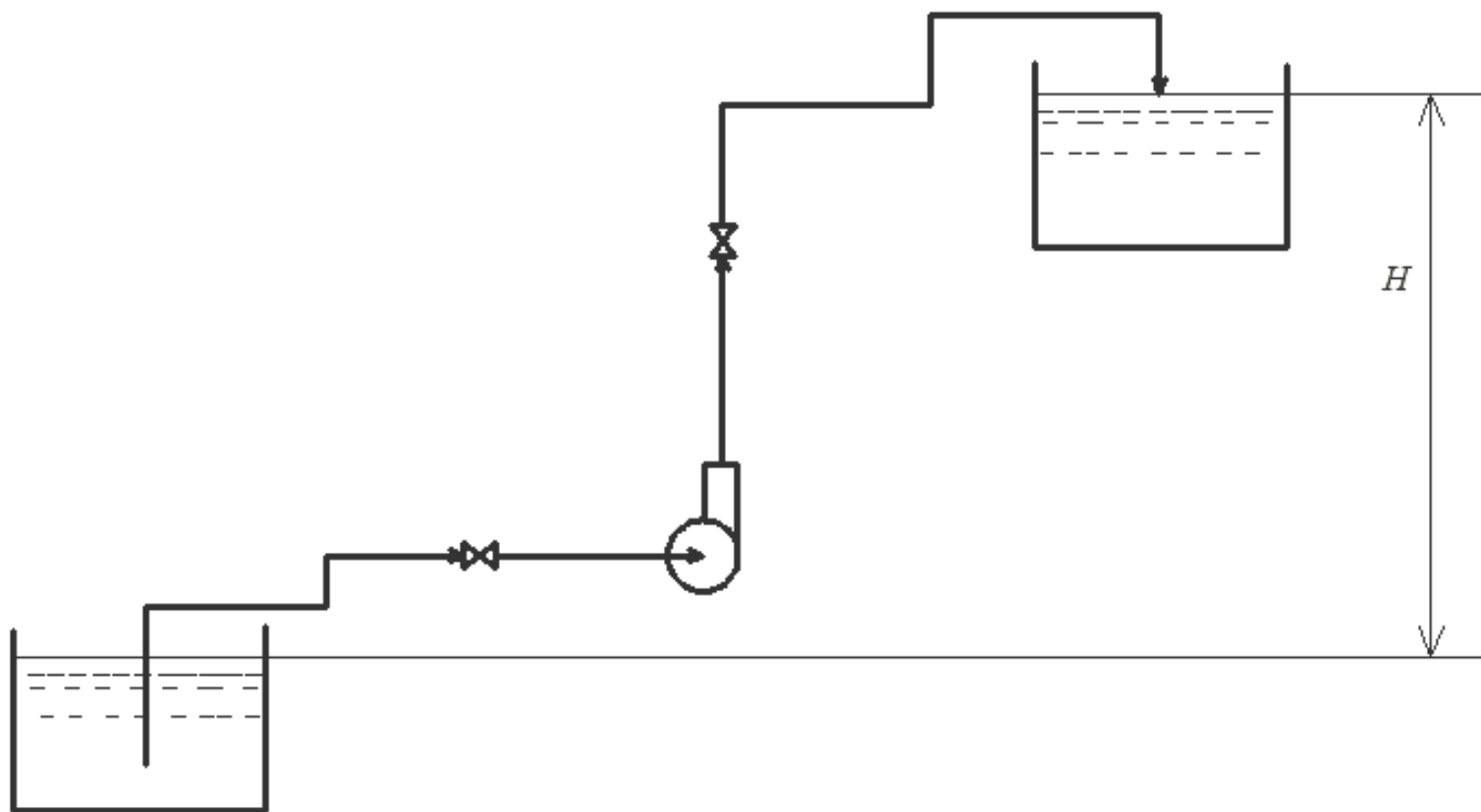


Схема установки

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/м<sup>3</sup>, 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 - 
$$\frac{H_1}{H_2} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2;$$

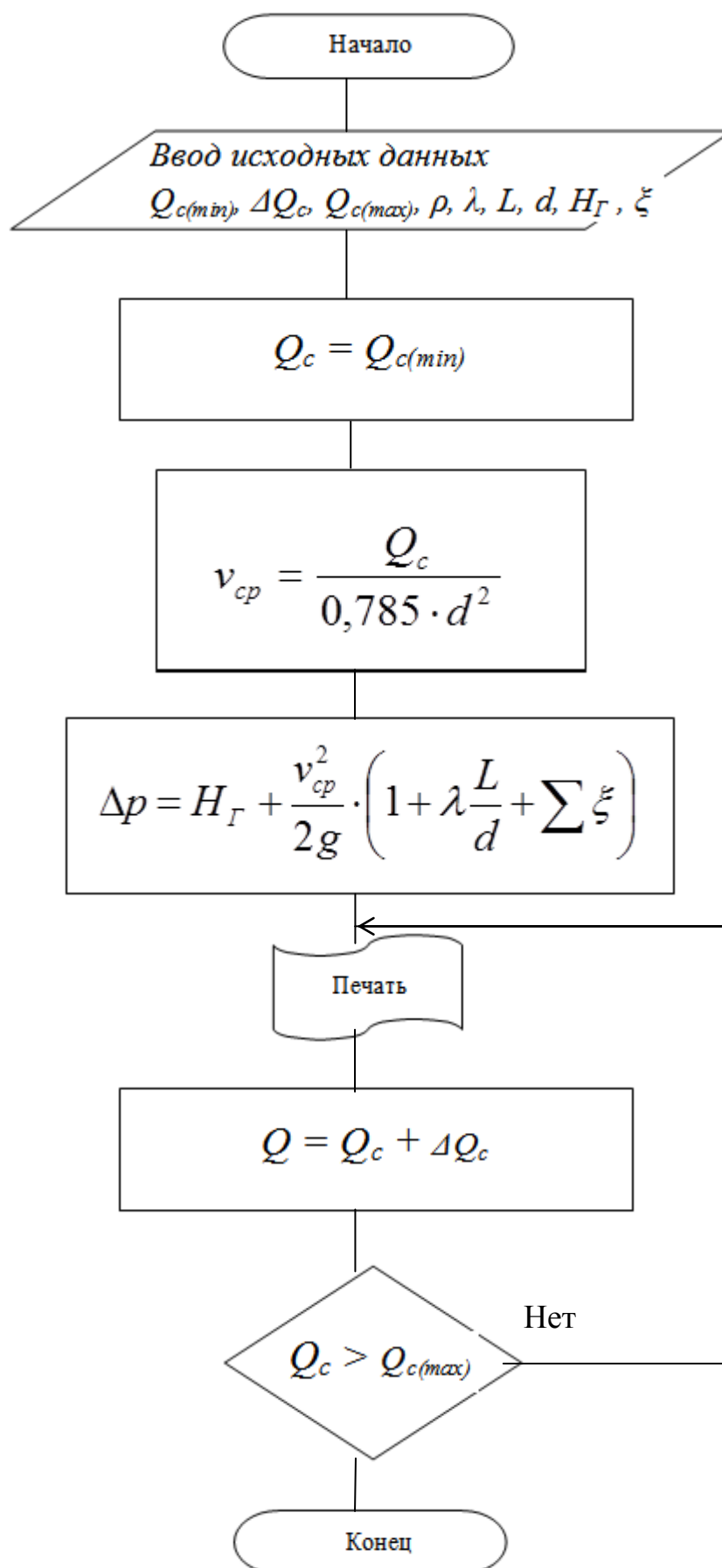
потребляемой мощности – 
$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3.$$

Для определения подачи и напора насоса необходимо определить для сети значения  $\Delta p$  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:

$H_r, \text{ м}; d, \text{ м}$ $L, \text{ м}; \rho,$ $\text{кг/м}^3$ $\lambda; \sum \xi_i$ $Q_{c, \text{ min}},$ $\text{м}^3/\text{с}$ $\Delta Q_{c, \text{ м}^3/\text{с}}$ $Q_{c, \text{ max}},$ $\text{м}^3/\text{с}$ $Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$ $v_{cp}, \text{ м/с}$ $\Delta p, \text{ м}$ $Q_c, \text{ м}^3/\text{с};$ $\Delta p, \text{ м}$ $Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	<p>INPUT «Введите <math>H_r, d, L, \rho, \lambda, \sum \xi_i</math>»; H; D; L; P; H; E</p> <p>INPUT «Введите <math>Q_{c, \text{ min}}</math>»; Q1</p> <p>INPUT «Введите <math>\Delta Q_c</math>»; Q2</p> <p>INPUT «Введите <math>Q_{c, \text{ max}}</math>»; Q3</p> <p><math>Q = Q1</math></p> <p>1: <math>V = Q/(0.785 * D^2)</math></p> <p><math>P1 = H + (V^2 / (2 * 9.81)) * (1 + Y * L / D + E)</math></p> <p>PRINT «<math>Q_c =</math>»; Q, «<math>\Delta p =</math>»; P1</p> <p><math>Q = Q + Q1</math></p> <p>IF <math>Q &lt; Q3</math> 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
$\Delta p$ , 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  $\text{CaCl}_2$  при температуре  $40^\circ\text{C}$  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  $78 \times 4$  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,  $Q = 56$  м<sup>3</sup>/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  $\text{NaOH}$  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  $\text{NaOH}$  при температуре  $40^\circ\text{C}$  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  $73 \times 4$  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;  $Q = 62$  м<sup>3</sup>/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  $54 \times 3$  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;  $Q = 42$  м<sup>3</sup>/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 ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 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;  $Q = 32$  м<sup>3</sup>/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  $60^\circ \text{C}$  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  $20^\circ \text{C}$  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;  $Q = 38$  м<sup>3</sup>/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;  $Q = 42$  м<sup>3</sup>/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 (HNO<sub>3</sub>) при 40° С, если все показатели характеристики насоса сохраняются без изменения?

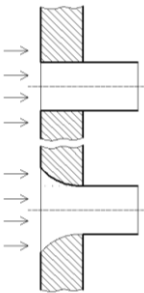
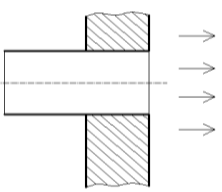
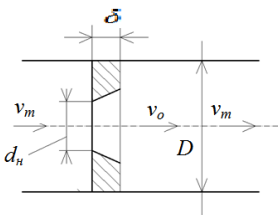
Построить графические характеристики насоса и сети труб.

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

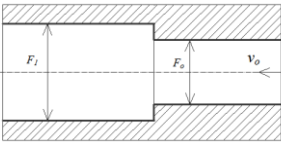
Q, л/с	0	1	2	3	4	5	6	7	8
H, м	42	44	40	38	36	34	32	30	28

Определить какими будут значения потребляемой мощности, а также с какими показателями будет работать этот насос, если его включить в сеть трубопроводов диаметром 48x3 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 $\xi$																																																						
<p>Вход в трубу</p>  <p>С острыми краями <math>\xi = 0,5</math></p> <p>С закругленными краями <math>\xi = 0,2</math></p>																																																							
<p>Выход из трубы</p>  <p><math>\xi = 1</math></p>																																																							
<p>Диафрагма с острыми краями в прямой трубе</p>  <p><math>d_0</math> – диаметр отверстия диафрагмы;  <math>\delta</math> – толщина диафрагмы;  <math>v_0</math> – средняя скорость потока в отверстии;  <math>v_T</math> – средняя скорость в трубе;  <math>D</math> – диаметр трубы.</p>	<p>При <math>(\delta/d_0) = 0 \div 0,015</math> потеря давления</p> $\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v_T^2}{2}$ <p>Значение <math>\xi</math> 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><math>\xi</math></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><math>\xi</math></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><math>\xi</math></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	$\xi$	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	$\xi$	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			$\xi$	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																																															
$\xi$	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																																															
$\xi$	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																																																	
$\xi$	8,25	4,00	2,00	0,97	0,42	0,13																																																	

<p>Отвод круглого или квадратного сечения</p>  <p><math>d</math> – внутренний диаметр трубопровода; <math>R_0</math> – радиус изгиба трубы.</p>	<p>Коэффициент сопротивления <math>\xi = A \cdot B</math> определяется по таблицам:</p> <table border="1" data-bbox="486 235 1388 425"> <tr> <td>Угол <math>\alpha</math>, 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><math>R_0/d</math></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 $\alpha$ , 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 $\alpha$ , 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 <math>90^\circ</math>, 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><math>\xi</math></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	$\xi$	2,2	2,0	1,6	1,1																																						
Условный проход, мм	12,5	25	37	50																																													
$\xi$	2,2	2,0	1,6	1,1																																													
<p>Вентиль нормальный</p>	<p>Значение <math>\xi</math> при полном открытии вентиля:</p> <table border="1" data-bbox="486 940 1388 1019"> <tr> <td><math>D</math>, 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><math>\xi</math></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	$\xi$	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																																									
$\xi$	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><math>\xi</math></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	$\xi$	4	2	2	2	2	2																																		
Условный проход, мм	13	19	25	32	38	50 и выше																																											
$\xi$	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><math>\xi</math></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	$\xi$	0,5	0,25	0,14																																								
Условный проход, мм	15-100	175-200	300 и выше																																														
$\xi$	0,5	0,25	0,14																																														
<p>Внезапное расширение</p>  <p><math>F_0</math> – площадь меньшего поперечного сечения; <math>F_1</math> – площадь большего поперечного сечения; <math>v_0</math> – скорость</p>	<p>Значение <math>\xi</math></p> <table border="1" data-bbox="486 1422 1388 1724"> <tr> <td rowspan="2"><math>Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}</math></td> <td colspan="6"><math>F_0/F_1</math></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 <math>d_0</math>.</p>																																																							
<p><b>Внезапное сужение</b></p>  <p><math>F_0</math> – площадь меньшего поперечного сечения;  <math>F_1</math> – площадь большего поперечного сечения;  <math>v_0</math> – скорость потока в меньшем сечении диаметром <math>d_0</math>.</p>	<p><b>Значение <math>\xi</math></b></p> <table border="1" data-bbox="486 324 1401 593"> <thead> <tr> <th rowspan="2"><math>Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}</math></th> <th colspan="6"><math>F_0/F_1</math></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> $\Delta p_{суж} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot v_0^2}{2}$							$Re = \frac{v_0 \cdot d_0}{\nu}$	$F_0/F_1$						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.