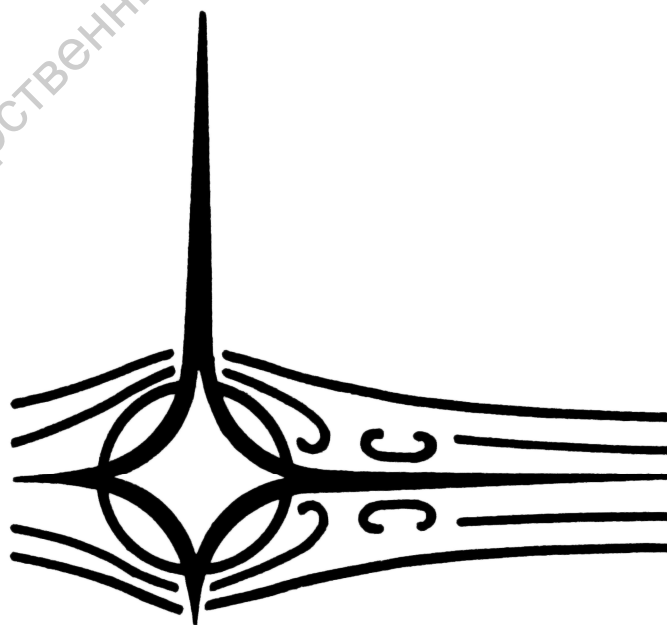


Ю. Я. Печенегов, Р. И. Кузьмина

Гидравлические процессы



Саратовский государственный университет имени Н. Г. Герасимовского

Министерство образования и науки Российской Федерации

Саратовский государственный университет
им. Н.Г. Чернышевского

Ю. Я. Печенегов, Р. И. Кузьмина

Гидравлические процессы

**примеры расчетов на ЭВМ и задачи для самостоятельного
решения**

Учебно-методическое пособие к практическим работам по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» с применением ЭВМ для студентов специальности 250400 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов»

Издательство Саратовского университета
2009

УДК 66.011 (076)

ББК

П

Печенегов Ю. Я., Кузьмина Р. И.

Гидравлические процессы: Примеры расчетов на ЭВМ и задачи для самостоятельного решения: Учебно-методическое пособие к практическим работам по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» с применением ЭВМ для студентов специальности 250400 «Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов» - Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2009. - 37 с., ил.

ISBN

Приведены условия контрольных задач по темам раздела «Гидравлические процессы» курса ПАХТ. Даны указания по решению задач с применением ЭВМ. Рассмотрены решения типовых задач, включающие составление блок-схемы и программы расчёта на ЭВМ.

Рекомендуют к печати:

Кафедра «Машины и аппараты химических производств» Энгельсского технологического института (филиал) СГТУ;

Кандидат технических наук, доцент *В. П. Бирюков*

Работа выполнена в рамках инновационной образовательной программы Саратовского государственного университета

УДК 66.011 (076)

ББК

ISBN

© Печенегов Ю. Я., Кузьмина Р.И., 2009

© Саратовский государственный университет, 2009

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 расчёта и выполнение самих расчётов, проводимых студентами самостоятельно по индивидуальным заданиям. Среди требований, предъявляемых к профессиональной подготовке студентов, в числе важных – умение использовать ЭВМ при выполнении расчётов.

Можно рекомендовать следующую последовательность действий при решении задачи:

1. соотнести поставленный в задаче вопрос с конкретным производственным процессом и аппаратом;
2. составить расчётную 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 и номограммам значения физических свойств величин, необходимых для расчёта;
8. составить блок-схему решения задачи на ЭВМ;
9. составить программу расчета на ЭВМ;
10. осуществить ввод программы в ЭВМ и выполнить решение 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 настоящем пособии программы расчётов составлены на языке Quick Basic, который можно отнести к самым простым из ныне живущих языков программирования. Он позволяет научиться всем базовым приёмам составления программ и освоить практику использования наиболее важных операторов и функций.

Справочные сведения по алгоритмическому языку 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 (более 300), обеспечивающих реализацию основных численных методов, вычисление большинства специальных функций и решение ряда практических задач в различных областях науки и техники.

Набор текста настоящего пособия на ЭВМ выполнен студентом 4-го курса СГУ Болбатовым А. А.

1. Расчёт скорости течения потока в трубе

1.1. Пример решения типовой задачи

Определить местную скорость на оси трубопровода и режим движения в трубе, имеющей диаметр 57х3,5 мм, при протекании по ней 70% уксусной кислоты в количестве 214 кг/ч, при 38°C.

1. Составляем таблицу исходных данных:

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

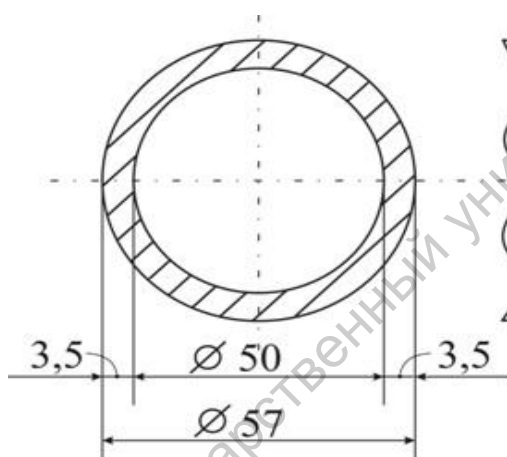
Объёмный расход $Q_c = (214 / 3600) / 1070 = 5,55 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$;

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

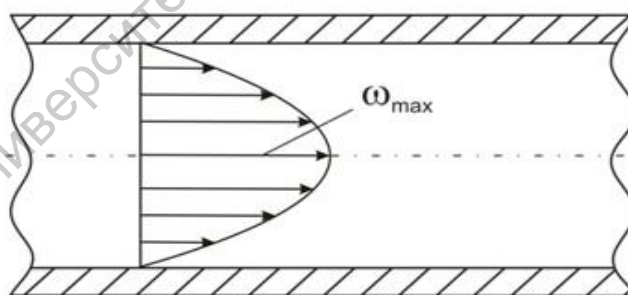
Плотность уксусной кислоты $\rho = 1070 \text{ кг/м}^3$;

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

2. Схема к расчёту:



а) поперечное сечение трубы



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

3. Составляем схему решения:

а) находим среднюю скорость потока в трубе:

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

б) определяем число Рейнольдса

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

в) находим местную скорость по оси трубопровода: если $\text{Re} < 2320$, то режим

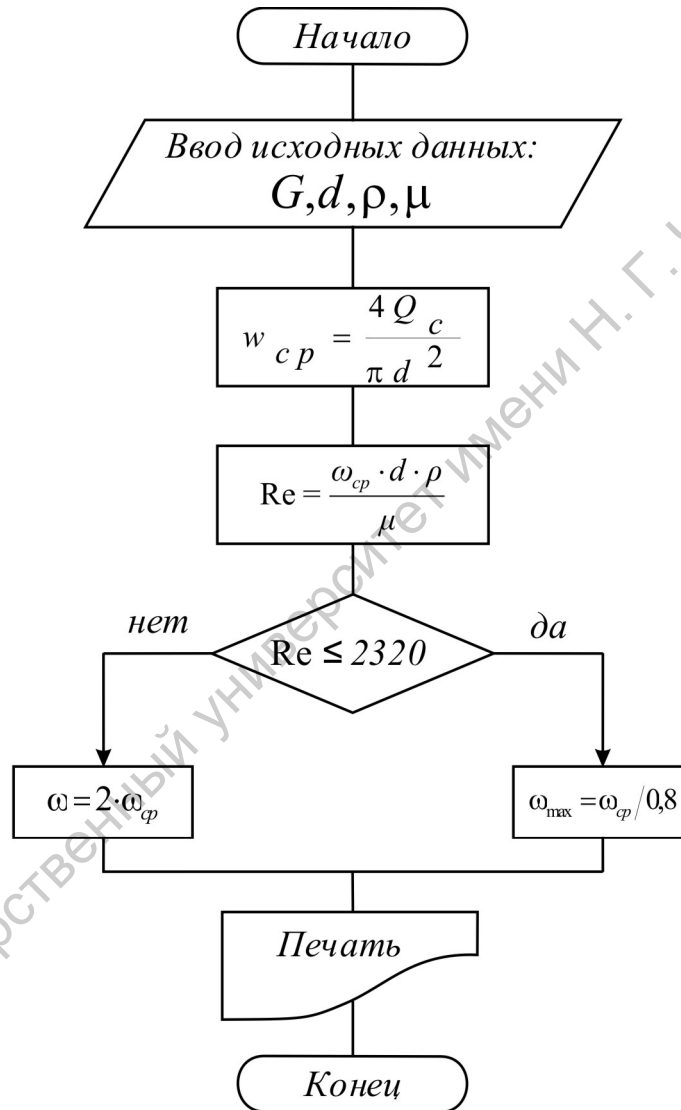
течения ламинарный и

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

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

$$\omega_{\max} \approx \frac{\omega_{cp}}{0,8}$$

4. Составляем блок-схему решения:



5. Программа:

Q_c , м ³ /с	INPUT «Введите расход Q_c =»;	Q
d , м	INPUT «Введите диаметр d =»;	D
ρ , кг/м ³	INPUT «Введите плотность ρ =»;	P
μ , Па·с	INPUT «Введите вязкость μ =»;	M
ω_{cp} , м/с	W=4*Q/(π*D^2)	
Re	RE=W*D*P/M	
	IF RE > 2320 THEN GOTO 1	

ω_{\max} , м/с	W1 = 2*W
	GOTO 2
ω_{\max} , м/с	1: W1 = W/0.8
	2: PRINT «Скорость на оси Wmax=»; W1;
	«Число Рейнольдса Re=»;RE
	END

Результат расчёта: $\omega_{\max} = 0,056$ м/с; $Re = 1414,71$, то есть 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°C.
2. Определить режим движения и среднюю скорость движения 12 т/ч этилацетата по трубе диаметром 58x2,5 мм при 60°C.
3. Найти среднюю скорость потока и режим движения четырёххлористого углерода, который перемещается в количестве 18 т/ч при 60°C. Определить также местную скорость на оси трубопровода. Труба имеет диаметр 62x2 мм.
4. Найти режим движения и среднюю скорость потока 50 % глицерина, перемещающегося по трубе 65x3 мм в количестве 22 т/ч при 80°C. 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 72x4 мм при 40°C. Определить также местную скорость на оси трубопровода.
6. Определить местную скорость на оси трубы при движении серной кислоты (60%) по свинцовой трубе диаметром 32x2 мм, если расход её составляет 20 т/ч, а температура 50°C. 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 20x2 мм. В трубное пространство его поступает вода по трубопроводу диаметром 57x3,5 мм. Вода идёт снизу вверх. Определить среднюю скорость в трубах холодильника и regime движения, если в подающем трубопроводе средняя скорость воды 2 м/с.

9. Теплообменник состоит из 27 труб диаметром 20x2 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°C. Определить расход его и местную скорость по оси трубопровода, если известно, что диаметр трубы 50x2,5 мм.

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

13. Вода подаётся в холодильник при температуре 10°C по трубе диаметром 62x4 мм. Средняя скорость ее в трубе равна 2,2 м/с. Определить местную скорость по оси трубы и средний расход воды.

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

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

16. 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°C до 40°C. Найти местную скорость по оси, расход хлорбензола за час, режим течения.

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

18. В трубах теплообменника нагревается 100 % глицерин от 40°C до 110°C. Теплообменник имеет 27 труб диаметром 18x1,5 мм. Расход глицерина

составляет 12 т/ч. Определить местную скорость на оси в каждой трубе теплообменника.

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

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

21. Насосная установка имеет подводящие и отводящие трубы диаметром 62x4 мм и предназначена для перекачки ацетона при температуре 60°C 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. Составляем таблицу исходных данных:

$$G = 12 \text{ т/ч} = 12\,000 \text{ кг/ч};$$

$$G_e = 12\,000 / 3\,600 \text{ кг/с};$$

$$\rho = 810 \text{ кг/м}^3;$$

$$\mu = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с} \text{ (номограмма в приложении);}$$

$$L = 55 \text{ м};$$

$$d = 38 \times 2 \text{ мм};$$

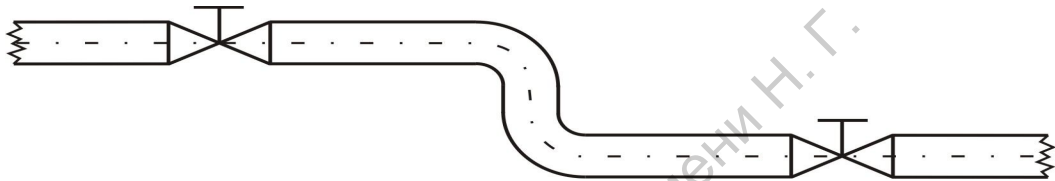
$$d_{расч} = 0,034 \text{ м}.$$

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	$\xi_5 = 1,8$ (табл. 2 в прилож.)

Определить: $\Delta p = ?$

2. Расчётная схема трубопровода:



3. Разрабатываем схему решения задачи:

Главная формула решения:

а) общий вид

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

б) расчётная формула

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

в) для расчёта находим

секундный объёмный расход

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

средняя скорость

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

значение коэффициента внешнего трения в зависимости от режима движения,

т.е. $\lambda = f(\text{Re})$, для этого определим режим движения жидкости по числу

Рейнольдса

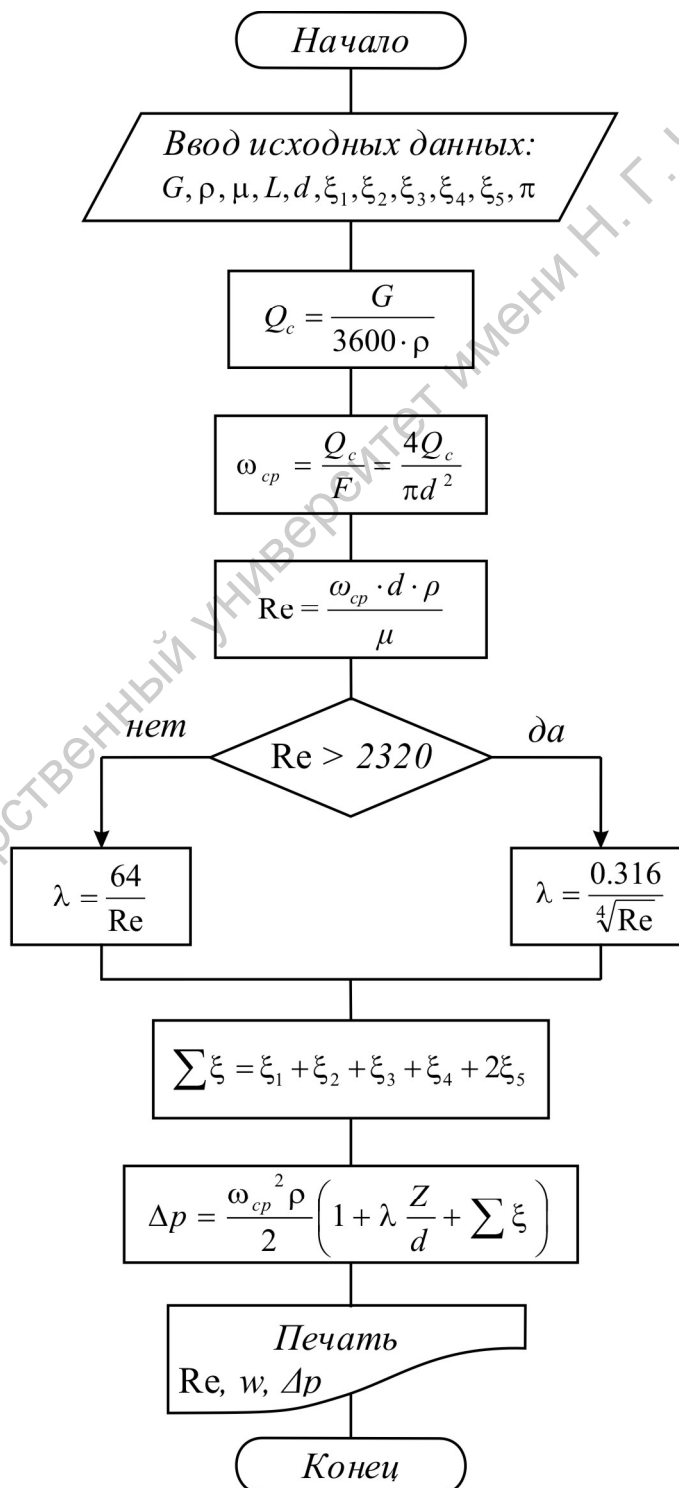
$$\text{Re} = \frac{\omega_{cp} \cdot d \cdot \rho}{\mu}$$

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 $\sum \xi$: для этого используем данные справочной таблицы (табл. 2 в приложении).

4. Составляем блок-схему решения задачи:



5. 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	$W=4*Q/(\pi*D^2)$	
Re	$RE=W*D*\rho/M$	
	IF RE > 2320 THEN GOTO 1	
λ	$Y=64/RE$	
	GOTO 2	
λ	1: $Y=0.316*RE^{(-0.25)}$	
$\sum \xi_i$	2: $E=E1+E2+E3+E4+2*E5$	
Δp , Па	$P1=0.5*W^2*\rho*(1+Y*L/D+E)$	
	PRINT «Средняя скорость ω_{cp} =»; W , «Число Рейнольдса Re =»; RE ,	
	«Потеря давления Δp =»; $P1$	
	END	

Результаты расчёта: скорость движения $\omega_{cp}=4.53$ м/с; Число Рейнольдса $Re=138767$, т.е. режим течений турбулентный; потеря давления потока $\Delta p=324\ 833,5$ 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°C 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 вентиль, 1 задвижку, диафрагму толщиной 5 мм с отверстием диаметром 10 мм, а также 2 колена под углом 90°. Общая длина трубы 115 м.
3. Определить потерю давления при перемещении серной кислоты (30%) по свинцовой трубе диаметром 56x4 мм, если на трубе имеется 3 отвода под углом 150° 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 40°C. Расчёт 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 62x3 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 72x3 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 64x3 мм имеет внезапное сужение до диаметра 50x2,5 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 68x4 до 52x3 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 46x2 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 38x2 мм имеет на выходе внезапное расширение до 52x2,5 мм, диафрагму с отверстием 10 мм и толщиной 5 мм, а также задвижку и нормальный ventиль. 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 48x2,5 мм, если известно, что труба имеет задвижку, нормальный ventиль, плавный отвод под углом 120° и 2 колена под углом 90°. Общая длина трубы 47 м.
12. Определить потерю давления в прямой трубе диаметром 72x3 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 45x2,5 мм имеет на выходе внезапное расширение до диаметра 60x3 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 80x3 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°C.

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°C.

3. Определение потребляемой насосом мощности при перекачивании жидкости

3.1. Пример решения задачи

Хлорбензол в количестве 20 т/ч при температуре 45°C 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°C ($R/d=3$). Хлорбензол перекачивается на высоту $H=15$ м. Найти мощность, потребляемую насосом, приняв общий КПД насосной установки 0,7.

1. Составляем таблицу исходных данных:

$$G = 20 \text{ т/ч};$$

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

$$t = 45^\circ\text{C};$$

$$\rho = 1100 \text{ кг/м}^3;$$

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

$$p_a = 735 \text{ мм рт.ст.};$$

$$p_1 = (p_a - 200) \cdot 133,3 \text{ Па};$$

$$p_2 = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па};$$

$$\eta = 0,7;$$

$$d_0 = 0,068 \text{ м};$$

$$L = 26,6 \text{ м};$$

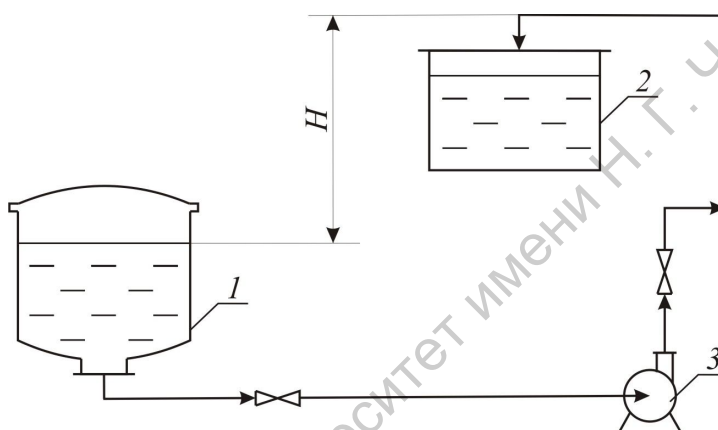
$H = 15$ м.

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)

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

расчётное уравнение

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

в) объёмный секундный расход

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

средняя скорость потока

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

г) число Рейнольдса

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

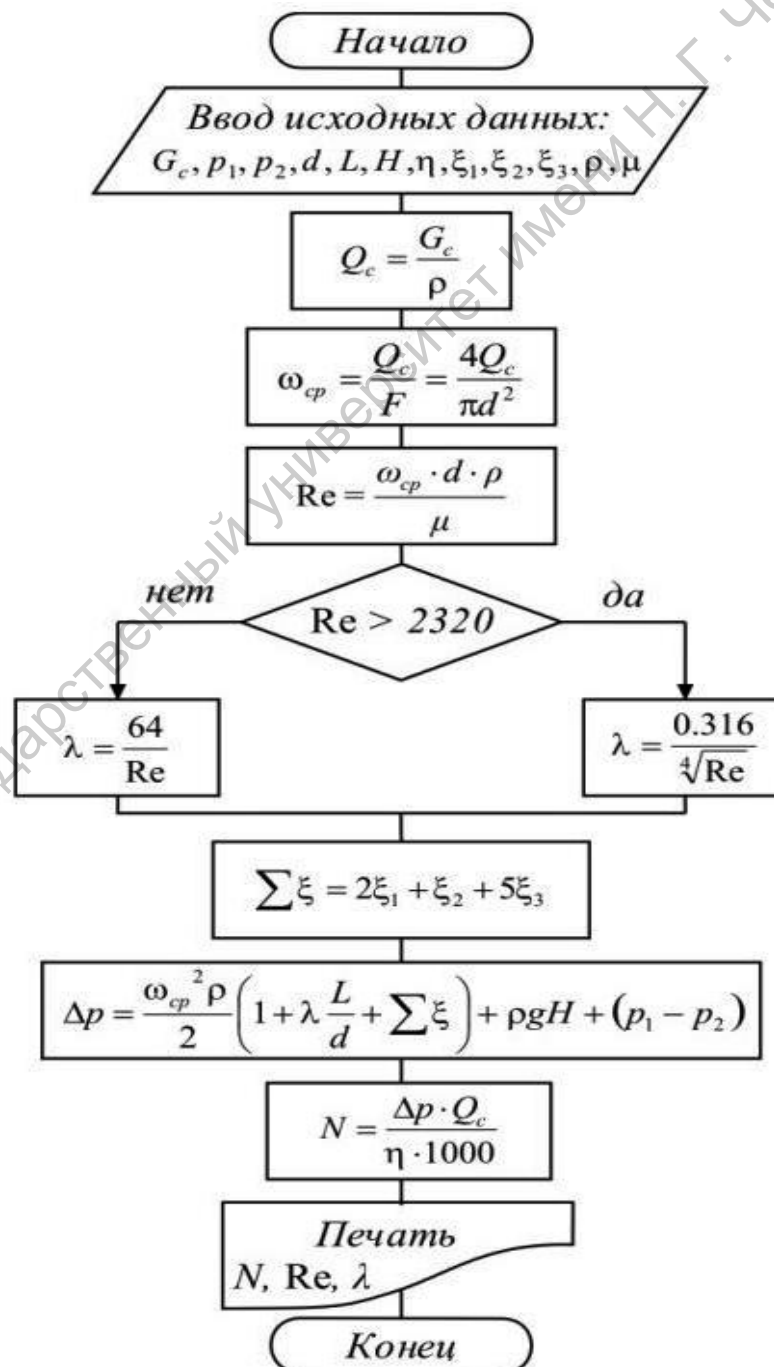
д) сопротивление внешнего трения

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

если $\text{Re} > 2320$, то $\lambda = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}$ (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 баке 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 2: E=2*E1+E2+5*E3
Δp , Па	P3=0.5*P*W^2*(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 расчёта: 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°C. 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 пропилового 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°C 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 подъём 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 протяжённостью 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 протяжённость 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/м³ при температуре 40°C, если подъём равен 24 м. Трубы из органического стекла, гладкие, диаметром 60x4 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/м³ из резервуара с атмосферным давлением в аппарат, давление в котором составляет $p_2 = 2,5$ атм. Высота подъёма 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 64x3 мм.

11. Перекачивается 100% этиловый спирт при температуре 60°C, в количестве 8 т/ч по трубе диаметром 50x2,5 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 48x2 мм; общая длина 62 м; высота подъёма 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 (HNO₃),

имеющую вязкость 0,57 сП, по трубам диаметром 60x2,5 мм со скоростью 2 м/с. КПД насоса $\eta = 0,62$. Определить потребляемую насосом мощность, если осуществляется подъём 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 89x4,5 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 подъёма 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 62x2,5 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 пропилового спирта при 40°C по трубе длиной 62 м и диаметром 88x2 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°C работает при числе оборотов 900 об/мин и КПД $\eta = 0,6$. Общая длина труб равна 46 м. Суммарная потеря напора и высоты подъёма 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 $d = 52 \times 2 \text{ мм}$.

19. Перекачивается толуол при 60°C по трубам диаметром 58x4 мм со скоростью 1,4 м/с. Высота подъёма 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 водоёма 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

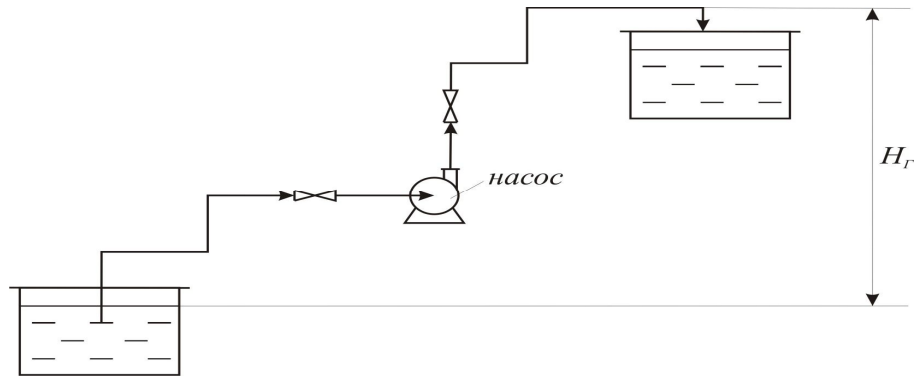
При испытании центробежного насоса, имеющего число оборотов $n=1400$ об/мин, получены следующие данные:

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

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 $\Sigma\xi=5$, 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. Схема установки:



2. Исходные данные:

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

$$L = 355 \text{ м};$$

$$H_r = 4,8 \text{ м};$$

$$\lambda = 0,03;$$

$$\Sigma \xi = 5;$$

$$\eta = 0,62;$$

$$\rho = 1070 \text{ кг/м}^3;$$

$$n_1 = 1400 \text{ об/мин};$$

$$n_2 = 1700 \text{ об/мин}.$$

3. Схема решения задачи.

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

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

Скорость движения жидкости в трубе

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

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:

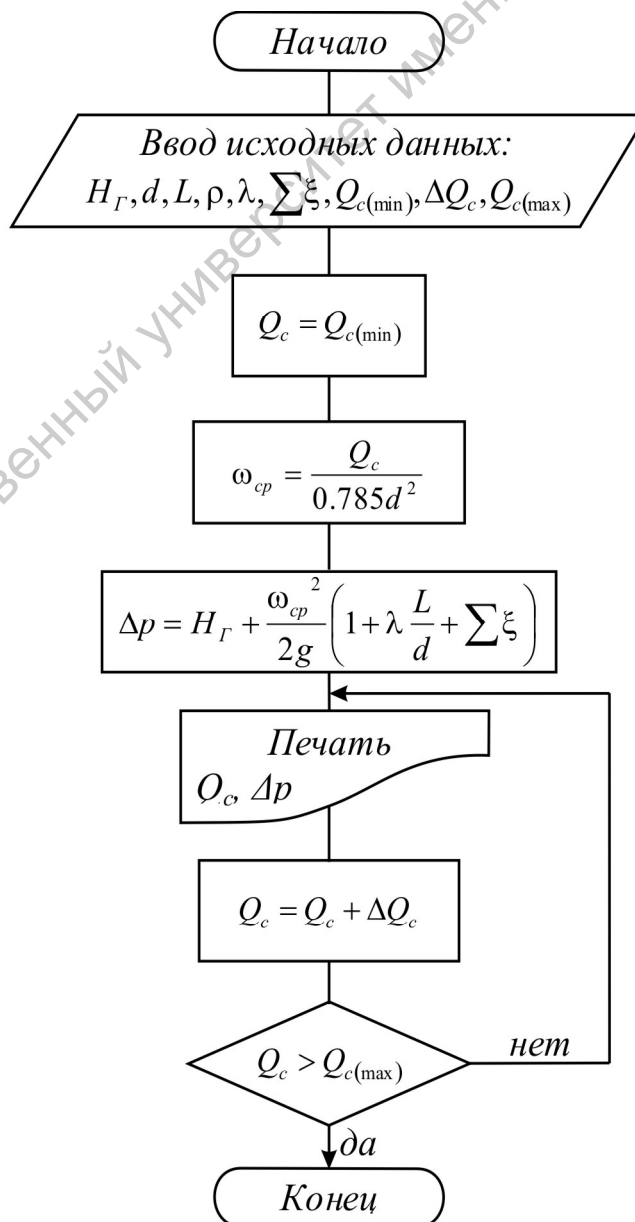
подачи -
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2};$$

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 значение Δp при разных расходах Q_c жидкости и построить график зависимости $\Delta p = f(Q_c)$. На поле графика нанести характеристику насоса $H = f(Q_c)$, 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 .

4. Блок-схема решения на ЭВМ:



5. Программа расчёта:

$H_r, \text{ м}; d, \text{ м};$	INPUT "Введите $H_r, d, L, \rho, \lambda, \Sigma\xi$ "; H; D; L; P; Y; E
$L, \text{ м}; \rho,$	
$\text{кг/м}^3; \lambda;$	
$\Sigma\xi$	
$Q_{c, \text{ min}}, \text{ м}^3/\text{с}$	INPUT "Введите $Q_{c, \text{ min}}$ "; Q1
$\Delta Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	INPUT "Введите ΔQ_c "; Q2
$Q_{c, \text{ max}}, \text{ м}^3/\text{с}$	INPUT "Введите $Q_{c, \text{ max}}$ "; Q3
$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	Q=Q1
$\omega_{\text{cp}}, \text{ м/с}$	1: W=Q/(0.785*D^2)
$\Delta p, \text{ м}$	P1=H+(W^2/(2*9.81))*(1+Y*L/D+E)
$Q_c, \text{ м}^3/\text{с};$	PRINT "Qc="; Q, " Δp="; P1
$\Delta p, \text{ м}$	
$Q_c, \text{ м}^3/\text{с}$	Q=Q+Q2
	IF Q<Q3 THEN GOTO 1
	END

6. Результаты расчёта по программе:

$Q_c, \text{ л/с}$	0	2	4	6	8	10	12
$\Delta p, \text{ м}$	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 (см. рис.). 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 даёт величины подачи насоса $Q_{c,1}=7$ л/с и напора $H_1=36$ м. Потребляемая мощность

$$N_1 = \frac{Q_{c,1} \cdot \rho \cdot g \cdot H_1}{1000 \cdot \eta} = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot 1070 \cdot 9,81 \cdot 36}{1000 \cdot 0,62} = 4,27 \text{ кВт.}$$

Используя соотношения $Q_2=Q_1(n_2/n_1)$ и $H_2=H_1(n_2/n_1)^2$, пересчитываем характеристику насоса $H_1 = f(Q_{c,1})$, полученную при испытаниях для $n_1 =$

1400 об/мин, на новое число оборотов рабочего насоса $n_2 = 1700$ об/мин.

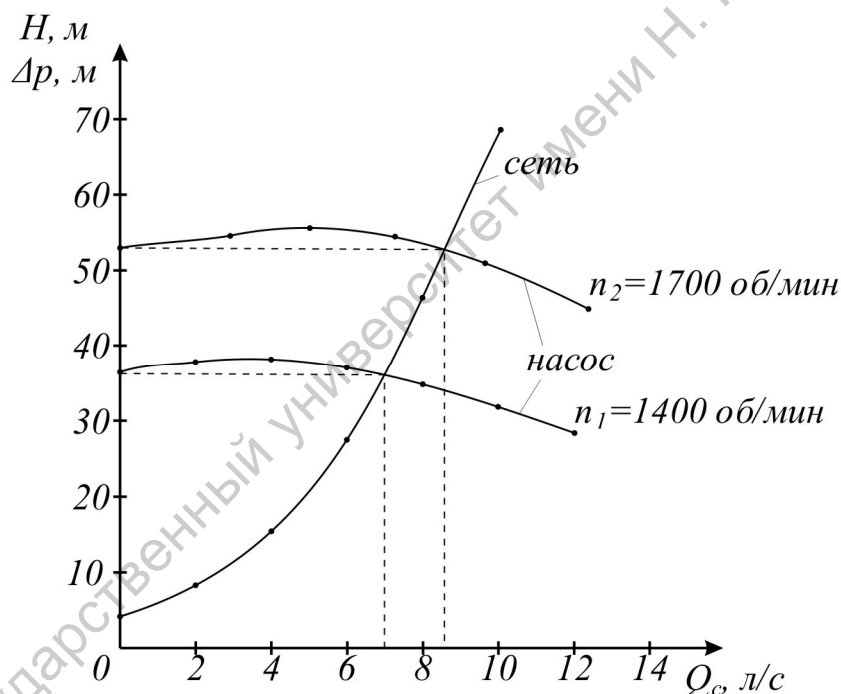
Результаты пересчёта:

$Q_{c,2}$, 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

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

Характеристика сети и насоса:



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 $H_T = 19$ 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 78×4 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 58x2,5 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 54x3 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 $H_r = 30$ 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 шаг изменения 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 $d = 56x3$ мм; $L = 92$ м; $\lambda = 0,02$; $H_r = 7$ 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 трубопроводов диаметром 58x3 мм при длине 93 м, если $\lambda = 0,02$; $H_r = 21$ 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 $\lambda = 0,02$; $H_r = 9$ 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 (HNO_3) 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.

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., Романков 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. Расчётные 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.

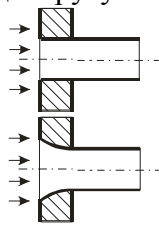
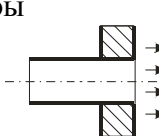
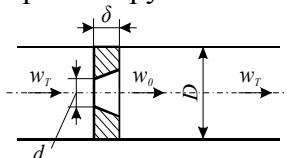
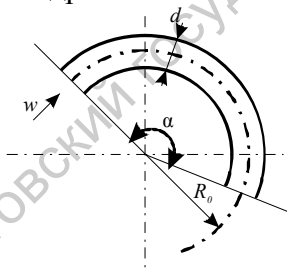
Приложения

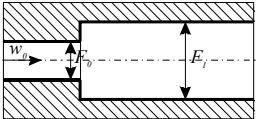
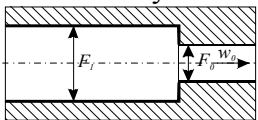
Таблица № 1

*Плотность жидких веществ и водных растворов
в зависимости от температуры*

Вещество	Плотность, кг/м ³							
	- 20 °С	0 °С	20 °С	40 °С	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С
Азотная кислота, 100%	1582	1547	1513	1478	1443	1408	1373	1338
50%	–	1334	1310	1287	1263	1238	1212	1186
Аммиак жидкий Аммиачная вода	665	639	610	580	545	510	462	390
25%	–	918	907	897	887	876	866	856
Анилин	–	1039	1022	1004	987	969	952	933
Ацетон	–	813	791	768	746	717	693	665
Бензол	–	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловый спирт	838	824	810	795	781	766	751	735
Вода	–	1000	998	992	983	972	958	943
Гексан	693	667	660	641	622	602	581	559
Глицерин, 50%	–	1139	1126	1116	1106	1006	996	956
Двуокись серы (жид.)	1484	1434	1383	1327	1264	1193	1111	1010
Дихлорэтан	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Диэтиловый эфир	758	736	714	689	666	640	611	576
Изопропиловый спирт	817	801	785	768	752	735	718	700
Кальций хлористый, 25% раствор	1248	1239	1230	1220	1210	1200	1190	1180
Метиловый спирт, 100%	828	810	792	774	756	736	714	–
40%	–	946	935	924	913	902	891	880
Муравьиная кислота	–	1244	1220	1195	1171	1147	1121	1096
Серная кислота 98%	–	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1712
60%	1532	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Сероуглерод	1323	1293	1263	1233	1200	1165	1125	1082
Соляная кислота, 30%	1173	1161	1149	1138	1126	1115	1103	1050
Толуол	902	884	866	847	828	808	788	766
Уксусная кислота, 100%	–	1072	1048	1027	1004	981	958	922
50%	–	1074	1058	1042	1026	1010	994	978
Хлорбензол	1150	1128	1107	1085	1065	1041	1021	995
Четырёххлористый углерод	1670	1633	1594	1556	1517	1471	1434	1390
Этиловый спирт, 100%	823	806	789	772	754	735	716	693
40%	–	947	935	923	910	897	885	872
20%	–	977	969	957	946	934	922	910

Коэффициенты местных сопротивлений

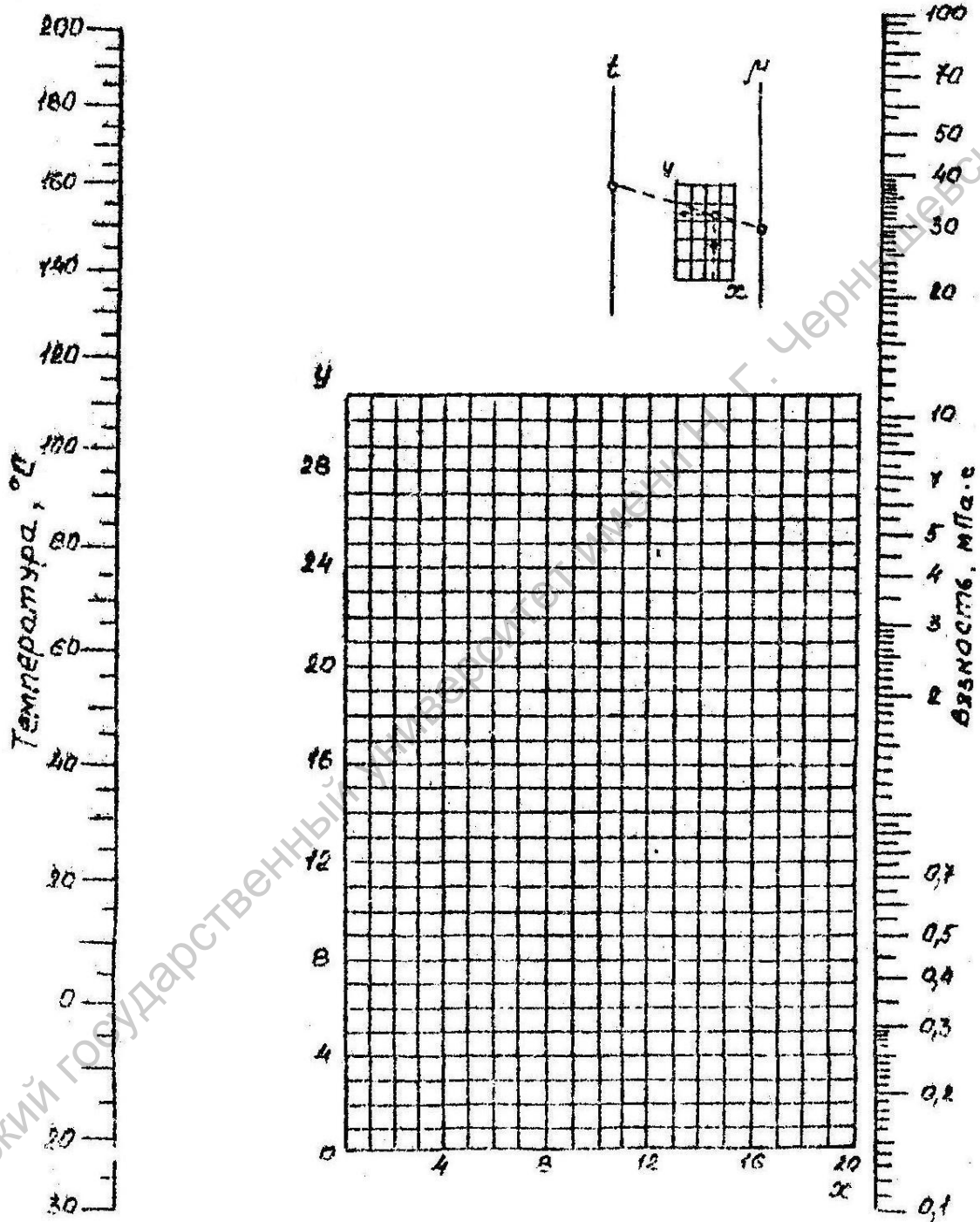
Вид сопротивления	Значение коэффициента местного сопротивления ξ																																																						
<p>Вход в трубу</p> 	<p>С острыми краями $\xi = 0,5$</p> <p>С закруглёнными краями $\xi = 0,2$</p>																																																						
<p>Выход из трубы</p> 	$\xi=1$																																																						
<p>Диафрагма с острыми краями в прямой трубе</p>  <p>d_0 – диаметр отверстия диафрагмы; δ – толщина диафрагмы; w_0 – средняя скорость потока в отверстии; w_T – средняя скорость в трубе; D – диаметр трубы.</p>	<p>При $\frac{\delta}{d_0} = 0 \div 0,015$ потеря давления</p> $\Delta p = \xi \cdot \frac{\rho \cdot w_T^2}{2}$ <p>Значение ξ определяется по таблице</p> <table border="1"> <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 colspan="2"></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 colspan="2"></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"> <thead> <tr> <th>Угол α, градусы</th> <th>20</th> <th>30</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>90</th> <th>110</th> <th>130</th> <th>150</th> <th>180</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0,31</td> <td>0,45</td> <td>0,60</td> <td>0,781</td> <td>1,0</td> <td>1,13</td> <td>1,2</td> <td>1,28</td> <td>1,4</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <tbody> <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> <td colspan="2"></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> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>	Угол α , градусы	20	30	45	60	90	110	130	150	180	A	0,31	0,45	0,60	0,781	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 , градусы	20	30	45	60	90	110	130	150	180																																														
A	0,31	0,45	0,60	0,781	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"> <tbody> <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> </tbody> </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</p>	<p>Значения ξ при полном открытии вентиля:</p>																																																						

нормальный	$D, \text{ мм}$	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
Кран пробочный	Условный проход, мм	13	19	25	32	38	50 и выше		
	ξ	4	2	2	2	2	2		
Задвижка	Условный проход, мм	15-100		175-200		300 и выше			
	ξ	0,5		0,25		0,14			
Внезапное расширение 	Значения ξ								
	$Re = \frac{\omega_0 \cdot d_0}{\nu}$	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	0,60		
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		
	$\Delta p_{рас} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_0^2}{2}$								
Внезапное сужение 	Значения ξ								
	$Re = \frac{\omega_0 \cdot d_0}{\nu}$	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		
1 000		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		
	$\Delta p_{суж} = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_0^2}{2}$								

Номограмма для определения вязкости жидкостей

Жидкость	Координаты точки на номограмме	
	x	y
Азотная кислота, 95%	12,8	13,8
Азотная кислота, 60%	10,8	17,0
Аммиак, 100%	12,6	2,0
Аммиак, 26%	10,1	13,9
Анилин	8,1	18,7
Ацетон, 100%	14,5	7,2
Ацетон, 35%	7,9	15,0
Бензол	12,5	10,9
н-Бутиловый спирт	8,6	17,2
Вода	10,2	13,0
Гексан	14,7	7,0
Глицерин, 100%	2,0	30,0
Глицерин, 50%	6,9	19,6
Едкий натр, 50%	3,2	25,8
Метиловый спирт, 100%	12,4	10,5
Метиловый спирт, 40%	7,8	15,5
Нитробензол	10,6	16,2
Серная кислота, 98%	7,0	24,8
Серная кислота, 60%	10,2	21,3
Серовуглерод	16,1	7,5
Соляная кислота, 31,5 %	13,0	16,6
Толуол	13,7	10,4
Уксусная кислота, 100%	12,1	14,2
Уксусная кислота, 70%	9,5	17,0
Фенол	6,9	20,8
Хлорбензол	12,3	12,4
Хлористый кальций, 25%	6,6	15,9
Хлористый натрий, 25%	10,2	16,6
Хлороформ	14,4	10,2
Четырёххлористый углерод	12,7	13,1
Этиловый спирт, 100%	10,5	13,8
Этиловый спирт, 95%	9,8	14,3

Связь размерностей: $1 \text{ сП} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с} = 1 \text{ мПа} \cdot \text{с}$.



Содержание

Введение	3
1. Расчет скорости течения потока в трубе	5
1.1. Пример решения типовой задачи	5
1.2. Задачи по определению скорости движения для самостоятельного решения	7
2. Определение потери давления потока жидкости	9
2.1. Пример решения задачи	9
2.2. Задачи по определению потери давления для самостоятельного решения	12
3. Определение потребляемой насосом мощности при перекачивании жидкости.....	15
3.1. Пример решения задачи	15
3.2. Задачи по определению потребляемой мощности при перекачивании жидкости по трубопроводу для самостоятельного решения	18
4. Определение характеристик центробежного насоса при работе в сети	22
4.1. Пример решения задачи	22
4.2. Задания для самостоятельного решения	26
Литература	31
Приложения	32
Табл. № 1. Плотность жидких веществ и водных растворов в зависимости от температуры	32
Табл. № 2. Коэффициенты местных сопротивлений	34
Номограмма для определения вязкости жидкостей	35