

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**

Кафедра технологического
и холодильного оборудования

ГИДРАВЛИКА

*Методические указания и контрольные задания к самостоятельной
работе студентов для студентов специальностей
271000 "Технология рыбы и рыбных продуктов",
170600 "Машины и аппараты пищевых производств",
271300 "Пищевая инженерия малых предприятий",
271200 "Технология продуктов общественного питания"
всех форм обучения*

Мурманск
Издательство МГТУ
2013

Составители: Борис Васильевич Голубев, канд. техн. наук, профессор кафедры технологического и холодильного оборудования Мурманского государственного технического университета;

Наталья Александровна Сергеева, зав. кафедрой портовой подъемно-транспортной техники и гидротехнического строительства Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций (мурманский филиал);

Андрей Валентинович Шутов, ст. преподаватель кафедры технологического и холодильного оборудования Мурманского государственного технического университета

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой 28 мая 2012 г., протокол № 10

Рецензент – Е. А. Глазунов, канд. техн. наук, доцент кафедры технологического и холодильного оборудования МГТУ

Печатается в авторской редакции

Компьютерная верстка Е. Э. Белицыной

© Мурманский государственный
технический университет, 2013

© Б. В. Голубев, 2013

© Н. А. Сергеева, 2013

© А. В. Шутов, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ.....	4
2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ С ПРИМЕРОМ РАСЧЕТА.....	6
2.1. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ УРАВНЕНИЕМ БАЛАНСА НАПОРОВ (УРАВНЕНИЯ Д. БЕРНУЛЛИ)	7
2.2. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДА ПО МЕТОДИКЕ АКАДЕМИКА Н. Н. ПАВЛОВСКОГО	14
2.3. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВОДОПРОВОДА	17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	19
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РГЗ	21
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИЦА ДЛЯ РАСЧЕТОВ ПО МЕТОДИКЕ АКАДЕМИКА Н. Н. ПАВЛОВСКОГО.....	24
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ МОДУЛЯ РАСХОДА ОТ ДИАМЕТРА ТРУБЫ ДЛЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ТРУБ.....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ.....	26

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Целью расчетно-графического задания (РГЗ) по дисциплине "Гидравлика" является получение студентами практических навыков гидравлического расчета напорного трубопровода. Успешное выполнение и защита РГЗ является условием допуска к зачету по данной дисциплине.

В РГЗ необходимо провести расчет основных параметров магистрального водопровода по данным индивидуального варианта задания в рамках решения следующей задачи.

Для подачи воды из реки в поселок были сконструированы и изготовлены насосная станция, магистральный трубопровод, состоящий из четырех участков труб разного диаметра и расходной емкости, установленной в поселке на башне (вышке) (рис. А. 1).

Вода из реки забирается по всасывающему трубопроводу через приемный сетчатый фильтр и невозвратный клапан в центробежный насос, с помощью которого вода подается в магистральный трубопровод в поселок, где она по трубопроводу поднимается на башню (вышку) и поступает в расходный резервуар, откуда под напором подается в водопроводную систему поселка.

Для решения данной задачи необходимо:

1. Определить с помощью уравнения Д. Бернулли расход воды Q , л/с и $\text{м}^3/\text{с}$, если известны диаметры труб d и их длины l на отдельных участках водопровода, напор воды H_1 , создаваемый центробежным насосом, высота напорной (расходной) башни H_2 и отношение площадей открытия задвижки ω_0 и живого сечения трубы ω на насосной станции $\frac{\omega_0}{\omega}$. Считать магистральные трубы водопровода новыми с заданным коэффициентом трения $\lambda_{\text{тр}}$.

2. По тем же исходным данным определить расход воды Q , л/с и $\text{м}^3/\text{с}$ по методике Н. Н. Павловского.

3. Определить потери напора воды на каждом участке водопровода каждым из методов.

4. По результатам расчетов составить сравнительную таблицу параметров работы водопровода.

5. В графической части необходимо по результатам расчетов каждым из методов построить линии гидродинамического напора и пьезометрические линии для идеальной и реальной жидкости. С помощью графиков наглядно представляется изменение полного напора и его составляющих по длине водопровода.

Линия полного напора строится путем последовательного вычитания потерь, нарастающих вдоль потока, из начального напора потока, заданного пьезометрическим уравнением в питающем резервуаре, а пьезометрическая линия – путем вычитания скоростного напора в каждом сечении из полного напора.

Графическую часть РГЗ необходимо выполнять в следующем порядке:

- вычертить схемы насосной станции, центробежного насоса, магистрального трубопровода, расходного резервуара на вышке выполняются в соответствии с требованиями ЕСКД;

- на схеме трубопровода отметить расчетные сечения, в которых происходит изменение давления за счет потерь напора от местных сопротивлений и гидравлических потерь на трение по длине;

- для каждого местного сопротивления и между ними на участках трубопровода определенной длины рассчитать потери напора в местных сопротивлениях и гидравлические потери на трение по длине;

- определить скоростные напоры для участков с разными диаметрами труб;

- выбрать масштаб и нанести линию начального напора потока (вертикальную – для горизонтального трубопровода и горизонтальную – для вертикального);

- отложить в каждом сечении параллельно линии начального напора значения величин общих потерь (по вертикали вниз – для горизонтального трубопровода и по горизонтали – для вертикального);

- на полученных линиях отложить значения величин скоростных напоров;

- полученные точки соединить прямыми линиями.

Кроме того, в графической части РГЗ следует привести таблицу значений потерь напора на каждом расчетном участке водопровода, полученных в результате расчетов каждым из методов.

Графическую часть РГЗ необходимо выполнить на листе формата А2, учитывая, что масштаб напора центробежного насоса H_1 должен выбираться таким, чтобы малые перепады (потери напора) на отдельных участках магистрального водопровода не обращались бы в точку, а вся графическая часть должна выполняться в одном масштабе.

Данные для выполнения РГЗ приведены в таблицах А. 1–А. 2. Вариант индивидуального задания для выполнения РГЗ студент выбирает самостоятельно по порядковому номеру в списке группы.

При оформлении РГЗ следует руководствоваться общими правилами оформления письменных работ.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ С ПРИМЕРОМ РАСЧЕТА

Рассмотрим порядок расчета основных параметров работы магистрального водопровода на примере.

Вода перетекает из напорного бака в открытый расходный резервуар по трубопроводу, состоящему из трех участков труб разного диаметра (рис. 2.1).

Манометрическое давление в напорном баке $P_m = 0,22$ МПа, длины труб и их диаметры на разных участках составляют соответственно: $l_1 = 500$ м, $d_1 = 180$ мм; $l_2 = 800$ м, $d_2 = 250$ мм; $l_3 = 270$ м, $d_3 = 150$ мм, высота уровней $H_1 = 3$ м, а $H_2 = 1$ м. В расчетах для новых гладких стальных труб принять $\lambda_{тр} = 0,02$, коэффициент местного сопротивления на входе $\xi_{вх} = 0,5$, коэффициент местного сопротивления на выходе $\xi_{вых} = 1$.

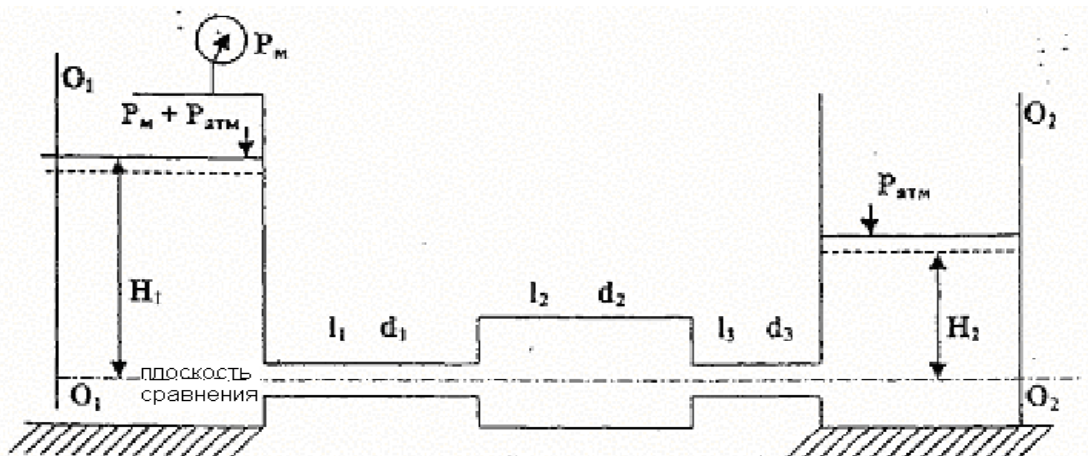


Рис. 2.1. Схема течения жидкости

Определить расход воды Q , $\text{м}^3/\text{с}$ и $\text{л}/\text{с}$, в водопроводе, состоящем из системы последовательно соединенных труб разной длины и диаметров, пользуясь уравнением Д. Бернулли и по методике Н. Н. Павловского.

Построить гидродинамическую и пьезометрическую линии для идеальной и реальной жидкостей и сравнить полученные данные потерь напора на каждом участке водопровода.

2.1. Расчет основных параметров работы водопровода с помощью уравнением баланса напоров (уравнения Д. Бернулли)

Уравнение Д. Бернулли для идеальной жидкости имеет вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g},$$

где Z_1 и Z_2 – геометрические высоты центров тяжести рассматриваемых характерных сечений над плоскостью сравнения, м;

P_1, P_2 – давления на поверхности жидкости в питающем и приемном резервуарах соответственно, $\text{Н}/\text{м}^2$;

γ – удельный вес жидкости, $\text{Н}/\text{м}^3$, для воды $\gamma = 10 \text{ Н}/\text{м}^3$;

α – коэффициент кинетической энергии, для ламинарного режима течения в круглой трубе $\alpha = 2$, для турбулентного режима течения $\alpha = 1$;

v_1, v_2 – средние скорости потока в выбранных характерных сечениях, $\text{м}/\text{с}$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g}, \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g}$ – скоростные напоры в рассматриваемых сечениях, м.

Уравнение Д. Бернулли для реальной жидкости имеет вид

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_w,$$

где $\sum h_w$ – сумма потерь напора на пути между выбранными характерными сечениями, которая разделяется на местные потери напора $\sum h_{w_m}$ и потери напора на трение по длине потока $\sum h_{w_{тр}}$, т. е.

$$\sum h_w = \sum h_{w_m} + \sum h_{w_{тр}}.$$

Местные потери напора h_{w_m} , м, определяют как произведение скоростного напора непосредственно вблизи местного сопротивления с коэффициентом ξ , по формуле

$$h_{w_m} = \xi \frac{v^2}{2g}.$$

Потери напора на трение по длине потока $h_{w_{тр}}$, м, возникающие при равномерном напорном движении жидкости в трубах, определяют по уравнению

$$h_{w_{тр}} = \lambda_{тр} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g},$$

где l – длина участка трубы, м;

d – внутренний диаметр трубопровода на данном участке, м;

v – средняя скорость потока, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$\lambda_{тр}$ – безразмерный коэффициент гидравлического трения, величина которого определяется в зависимости от режима течения жидкости, материала труб и срока их службы.

Таким образом, уравнение Д. Бернулли для реальной жидкости может быть записано в виде

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + \sum h_{w_m} + \sum h_{w_{тр}}.$$

Как правило, в качестве характерных сечений принимаются уровни жидкости в питательном и приемном резервуарах (в общем случае – в начале и конце схемы).

Выберем плоскость сравнения, а также сечения O_1-O_1 и O_2-O_2 вдали от входа и выхода жидкости (рис. 2.1). За плоскость сравнения принимаем осевую линию трубопровода.

Запишем уравнение Д. Бернулли для реальной жидкости относительно сечений O_1-O_1 и O_2-O_2 :

$$Z_{01} + \frac{P_{01}}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_{01}^2}{2 \cdot g} = Z_{02} + \frac{P_{02}}{\gamma} + \frac{\alpha \cdot v_{02}^2}{2 \cdot g} + \sum h_{w_m} + \sum h_{w_{тр}}.$$

Определим параметры уравнения относительно плоскости сравнения и выбранных сечений

$$Z_{01} = H_1; \quad \frac{P_{01}}{\gamma} = \frac{P_M + P_{\text{атм}}}{\gamma}; \quad v_{01} = 0;$$

$$Z_{02} = H_2; \quad \frac{P_{02}}{\gamma} = \frac{P_{\text{атм}}}{\gamma}; \quad v_{02} = 0,$$

где $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление.

Преобразуем уравнение Д. Бернулли относительно располагаемого напора

$$H_1 + \frac{P_M + P_{\text{атм}}}{\gamma} = H_2 + \frac{P_{\text{атм}}}{\gamma} + \sum h_{w_M} + \sum h_{w_{\text{тр}}},$$

$$H_1 - H_2 + \frac{P_M}{\gamma} + \frac{P_{\text{атм}}}{\gamma} - \frac{P_{\text{атм}}}{\gamma} = \sum h_{w_M} + \sum h_{w_{\text{тр}}},$$

$$H_1 - H_2 + \frac{P_M}{\gamma} = \sum h_{w_M} + \sum h_{w_{\text{тр}}}.$$

Выражение в левой части равенства определяет располагаемый напор H , м, т. е.

$$H = H_1 - H_2 + \frac{P_M}{\gamma},$$

$$H = 3 - 1 + 22 = 24 \text{ м.}$$

Следовательно:

$$H = \sum h_{w_M} + \sum h_{w_{\text{тр}}} = 24 \text{ м.}$$

Составим уравнение потерь напора:

$$\sum h_w = \xi_{\text{вх}} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{уд}} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{суж}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{вых}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \lambda \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \lambda \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g}, \quad (2.1)$$

где $\xi_{\text{вх}}$ – коэффициент местного сопротивления на входе;

$\xi_{\text{суж}}$ – коэффициент местного сопротивления сужения при переходе трубы с диаметра d_2 , м, на диаметр d_3 , м;

$\xi_{\text{уд}}$ – коэффициент местного сопротивления удара при переходе трубы с диаметра d_1 , м, на диаметр d_2 , м;

$\xi_{\text{вых}}$ – коэффициент местного сопротивления на выходе.

Далее для определения расхода воды Q , м³/с, воспользуемся основным уравнением гидродинамики – уравнением неразрывности для потока жидкости, по которому расход жидкости через любое сечение потока при установившемся движении есть величина постоянная, т. е.

$$Q = Q = Q = Q = \text{const.} \quad (2.2)$$

Расход воды Q м³/с, вычисляется как

$$Q = \omega \cdot v,$$

где ω – площадь живого сечения, м²;

v – средняя скорость потока, м/с.

Тогда

$$Q_1 = \omega_1 \cdot v_1;$$

$$Q_2 = \omega_2 \cdot v_2; \quad (2.3)$$

$$Q_3 = \omega_3 \cdot v_3.$$

Пользуясь уравнением (2.2) и равенствами (2.3), выразим v_1 и v_2 через v_3 :

$$\omega_1 \cdot v_1 = \omega_3 \cdot v_3;$$

$$v_1 = v_3 \cdot \frac{\omega_3}{\omega_1} = v_3 \cdot \frac{d_3^2}{d_1^2};$$

$$v_1 = v_3 \cdot \left(\frac{150}{180}\right)^2 = 0,694 \cdot v_3;$$

$$\omega_2 \cdot v_2 = \omega_3 \cdot v_3;$$

$$v_2 = v_3 \cdot \frac{\omega_3}{\omega_2} = v_3 \cdot \frac{d_3^2}{d_2^2};$$

$$v_2 = v_3 \cdot \left(\frac{150}{250}\right)^2 = 0,36 \cdot v_3.$$

Преобразуем уравнение потерь напора (2.1) с учетом полученных значений:

$$\begin{aligned} \sum h_w = & \xi_{\text{вх}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot 0,694^2 + \xi_{\text{уд}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot 0,36^2 + \xi_{\text{суж}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \xi_{\text{вых}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} + \\ & + \lambda \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot 0,694^2 + \lambda \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot 0,36^2 + \lambda \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g}; \end{aligned}$$

$$\sum h_w = \frac{v_3^2}{2 \cdot g} \cdot \left[\xi_{\text{вх}} \cdot 0,694^2 + \xi_{\text{уд}} \cdot 0,36^2 + \xi_{\text{суж}} + \xi_{\text{ввх}} + \lambda \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot 0,694^2 + \lambda \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot 0,36^2 + \lambda \cdot \frac{l_3}{d_3} \right]. \quad (2.4)$$

Определим коэффициент местного сопротивления удара $\xi_{\text{уд}}$ при переходе трубы с диаметра d_1 , м, на диаметр d_2 , м, по формуле

$$\xi_{\text{уд}} = \left[\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right]^2 = \left[\left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2 - 1 \right]^2,$$

$$\xi_{\text{уд}} = \left[\left(\frac{250}{180} \right)^2 - 1 \right]^2 = 0,86.$$

Определим коэффициент местного сопротивления сужения $\xi_{\text{суж}}$ при переходе трубы с диаметра d_2 , м, на диаметр d_3 , м, по формуле

$$\xi_{\text{суж}} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_3}{\omega_2} \right),$$

$$\xi_{\text{суж}} = 0,5 \left[1 - \left(\frac{150}{250} \right)^2 \right] = 0,34.$$

Продолжим преобразование уравнения потерь напора, подставим имеющиеся данные в равенство (2.4) и получим

$$\sum h_w = \frac{v_3^2}{2 \cdot g} [0,240 + 0,111 + 0,34 + 1 + 26,78 + 8,256 + 36],$$

$$\sum h_w = 72,724 \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g}.$$

Учитывая, что $\sum h_w = 24$ м, определим скоростной напор $\frac{v_3^2}{2 \cdot g}$, м,

и скорость v_3 , м/с, на третьем участке:

$$72,724 \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g} = 24 \text{ м},$$

$$\frac{v_3^2}{2 \cdot g} = \frac{24}{72,724} = 0,33 \text{ м},$$

$$v_3 = \sqrt{2 \cdot g} \cdot \sqrt{0,33},$$

$$v_3 = 4,43 \cdot 0,574 = 2,54 \text{ м/с}.$$

Тогда расход воды в водопроводе Q , м³/с, может быть определен по формуле

$$Q = v_3 \cdot \omega_3 = v_3 \cdot \frac{\pi \cdot d_3^2}{4},$$

$$Q = 2,54 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 0,0447 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Определим скорости и скоростные напоры на первом и втором участках водопровода

$$v_1 = 0,694 \cdot v_3,$$

$$v_1 = 0,694 \cdot 2,54 = 0,91 \text{ м/с},$$

$$v_2 = 0,36 \cdot v_3,$$

$$v_2 = 0,36 \cdot 2,54 = 1,83 \text{ м/с};$$

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{1,83}{2 \cdot 9,81} = 0,170 \text{ м},$$

$$\frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{0,91^2}{2 \cdot 9,81} = 0,042 \text{ м}.$$

Уточним скоростной напор на третьем участке водопровода

$$\frac{v_3^2}{2 \cdot g} = \frac{2,54^2}{2 \cdot 9,81} = 0,328 \text{ м}.$$

Определим местные потери напора в водопроводе:

– местные потери напора на входе:

$$h_{w_{\text{BX}}} = \xi_{\text{BX}} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{BX}}} = 0,5 \cdot 0,170 = 0,085 \text{ м};$$

– местные потери напора при гидравлическом ударе:

$$h_{w_{\text{удара}}} = \xi_{\text{уд}} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{удара}}} = 0,86 \cdot 0,042 = 0,036 \text{ м};$$

– местные потери напора при сужении:

$$h_{w_{\text{суж}}} = \xi_{\text{суж}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{суж}}} = 0,34 \cdot 0,328 = 0,111 \text{ м}.$$

Определим потери напора на трение на отдельных участках водопровода:

– на первом участке:

$$h_{w_{\text{тр1}}} = \lambda \cdot \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{v_1^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{тр1}}} = 0,02 \cdot \frac{500}{0,18} \cdot 0,170 = 9,444 \text{ м};$$

– на втором участке:

$$h_{w_{\text{тр2}}} = \lambda \cdot \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{тр2}}} = 0,02 \cdot \frac{800}{0,25} \cdot 0,042 = 1,866 \text{ м};$$

– на третьем участке:

$$h_{w_{\text{тр3}}} = \lambda \cdot \frac{l_3}{d_3} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{тр3}}} = 0,02 \cdot \frac{270}{0,15} \cdot 0,328 = 11,808 \text{ м}.$$

Определим суммарные потери напора на отдельных участках водопровода:

– на первом участке:

$$\sum h_{w_1} = h_{w_{\text{мвх}}} + h_{w_{\text{тр1}}},$$

$$\sum h_{w_1} = 0,085 + 9,444 = 9,529 \text{ м};$$

– на втором участке:

$$\sum h_{w_2} = h_{w_{\text{муд}}} + h_{w_{\text{тр}_2}},$$

$$\sum h_{w_2} = 0,036 + 1,866 = 1,902 \text{ м};$$

– на втором участке:

$$\sum h_{w_3} = h_{w_{\text{мсуж}}} + h_{w_{\text{тр}_3}},$$

$$\sum h_{w_3} = 0,111 + 11,808 = 11,919 \text{ м}.$$

Определим местные потери напора на выходе в расходный резервуар $h_{w_{\text{ВЫХ}}}$, м, по формуле

$$h_{w_{\text{МВЫХ}}} = \xi_{\text{ВЫХ}} \cdot \frac{v_3^2}{2 \cdot g},$$

$$h_{w_{\text{МВЫХ}}} = 1 \cdot 0,328 \text{ м}.$$

Тогда суммарные потери напора на всех участка водопровода определяются равенством:

$$\sum h_w = \sum h_{w_1} + \sum h_{w_2} + \sum h_{w_3} + h_{w_{\text{МВЫХ}}},$$

$$\sum h_w = 9,529 + 1,902 + 11,919 + 0,328 = 23,678 \text{ м}.$$

Следует отметить, что несовпадение полученного результата суммарных потерь $\sum h_w = 23,678 \text{ м}$ с располагаемым напором $H = 24 \text{ м}$ возникло в связи с округлением некоторых промежуточных результатов вычислений.

2.2. Расчет основных параметров работы водопровода по методике академика Н. Н. Павловского

Рассмотрим основное уравнение водопровода с последовательно соединенными трубами относительно располагаемого напора H в виде

$$H = \alpha \cdot Q^2 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{k_i^2}.$$

Для определения расхода воды Q , м³/с, формула преобразуется к виду

$$Q = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{\alpha \cdot \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{k_i^2}}} = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{\alpha \cdot \left[\frac{l_1}{k_1^2} + \frac{l_2}{k_2^2} + \frac{l_3}{k_3^2} \right]}}$$

где α – коэффициент местных потерь, который может иметь значения $\alpha = 1,05 \div 1,1$; принимаем $\alpha = 1,05$;

k_i – модуль расхода воды на i -м участке водопровода, м³/с.

Модули расхода k_i для каждого участка водопровода определяются по справочной таблице Н. Н. Павловского (табл. Б.1). Если диаметры труб на участках водопровода отличаются от стандартного размера, то значение модуля расхода k_i определяют методом графоаналитической интерполяции (рис. В.1).

Для труб на втором и третьем участках рассматриваемого водопровода диаметром $d_2 = 250$ мм и $d_3 = 150$ мм табличные значения модуля расхода составляют соответственно $k_2 = 0,692$ м³/с и $k_3 = 0,179$ м³/с. На первом участке диаметр трубы $d_1 = 180$ мм является нестандартным, поэтому модуль расхода $k_1 = 0,301$ м³/с найден методом графоаналитической интерполяции.

Определим располагаемый напор H , м, по формуле

$$H = H_1 - H_2 + \frac{P_M}{\gamma},$$

$$H = 3 - 1 + 22 = 24 \text{ м.}$$

Определим расход воды Q , м³/с, в водопроводе:

$$Q = \frac{\sqrt{24}}{\sqrt{1,05 \cdot \left[\frac{500}{0,301^2} + \frac{800}{0,692^2} + \frac{270}{0,179^2} \right]}} = \frac{4,898}{\sqrt{16\,407,726}} = 0,0383 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

Определим средние скорости потока на каждом участке водопровода:

– на первом участке:

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_1^2}{4}},$$

$$v_1 = \frac{0,0383}{0,785 \cdot 0,18^2} = \frac{0,0383}{0,0254} = 1,507 \text{ м/с;}$$

– на втором участке:

$$v_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_2^2}{4}},$$

$$v_2 = \frac{0,0383}{0,785 \cdot 0,25^2} = \frac{0,0383}{0,0490} = 0,78 \text{ м/с};$$

– на третьем участке:

$$v_3 = \frac{Q}{\omega_3} = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}},$$

$$v_3 = \frac{0,0383}{0,785 \cdot 0,15^2} = \frac{0,0383}{0,0176} = 2,17 \text{ м/с}.$$

Определим скоростные напоры на каждом участке водопровода:

– на первом участке:

$$\frac{v_1^2}{2 \cdot g} = \frac{1,507^2}{2 \cdot 9,81} = 0,076 \text{ м};$$

– на втором участке:

$$\frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{0,78^2}{2 \cdot 9,81} = 0,03 \text{ м};$$

– на третьем участке:

$$\frac{v_3^2}{2 \cdot g} = \frac{2,17^2}{2 \cdot 9,81} = 0,24 \text{ м}.$$

Определим потери напора (местные потери и потери на трение) на каждом участке водопровода:

– на первом участке:

$$h_{w_1} = \frac{\alpha \cdot l_1 \cdot Q^2}{k_1^2},$$

$$h_{w_1} = \frac{1,05 \cdot 500 \cdot 0,0383^2}{0,301^2} = 8,51 \text{ м};$$

– на втором участке:

$$h_{w_2} = \frac{\alpha \cdot l_2 \cdot Q^2}{k_2^2},$$

$$h_{w_2} = \frac{1,05 \cdot 800 \cdot 0,0383^2}{0,692^2} = 2,57 \text{ м};$$

– на третьем участке:

$$h_{w_3} = \frac{\alpha \cdot l_3 \cdot Q^2}{k_3^2},$$

$$h_{w_3} = \frac{1,05 \cdot 270 \cdot 0,0383^2}{0,179^2} = 13,02 \text{ м}.$$

Тогда суммарные потери напора на всех участка водопровода определяются равенством

$$\sum h_w = \sum h_{w_1} + \sum h_{w_2} + \sum h_{w_3},$$

$$\sum h_w = 8,51 + 2,57 + 13,02 = 24,1 \text{ м}.$$

Следует отметить, что несовпадение полученного результата суммарных потерь $\sum h_w = 24,1 \text{ м}$ с располагаемым напором $H = 24 \text{ м}$ возникло в связи с округлением некоторых промежуточных результатов вычислений.

2.3. Сравнительный анализ основных параметров работы водопровода

Сведем в табл. 2.1 основные параметры работы водопровода, вычисленные с помощью уравнения Д. Бернулли (метод № 1) и по методике академика Н. Н. Павловского (метод № 2) и оценим расхождения между соответствующими результатами, полученными разными методами.

Таблица 2.1

Сводная таблица параметров работы водопровода

№ п/п	Наименование параметров работы водопровода	Метод вычисления	Номер участка водопровода		
			1 участок	2 участок	3 участок
1	Диаметр трубы, d , мм	–	180	250	180
2	Длина трубы, l , м	–	500	800	500

Окончание табл. 2.1

№ п/п	Наименование параметров работы водопровода	Метод вычисления	Номер участка водопровода		
			1 участок	2 участок	3 участок
3	Площадь поперечного сечения труб, ω , м ²	–	0,0254	0,0510	0,0176
4	Средняя скорость потока воды, v , м/с	№ 1	1,83	0,91	2,54
		№ 2	1,507	0,78	2,17
		Отклонение, %	17	14	14,56
5	Скоростной напор, $\frac{v^2}{2 \cdot g}$, м	№ 1	0,170	0,042	0,328
		№ 2	0,076	0,03	0,24
		Отклонение, %	55,29	28,57	26,66
6	Расход воды, Q , м ³ /с	№ 1	0,0447		
		№ 2	0,0383		
		Отклонение, %	14,54		
7	Потери напора в конце каждого участка, $\sum h_w$, м	№ 1	9,529	1,9	11,919
		№ 2	8,51	2,57	13,02
		Отклонение, %	10,72	26,07	8,45

Значительное расхождение полученных результатов вызвано занижением коэффициента потерь на трение в трубах $\lambda_{тр}$, значение которого дано в составе исходных данных и для упрощения расчетов принято равным $\lambda = 0,02$. Для получения более точных результатов для труб диаметром $d_1 = 180$ мм коэффициент $\lambda_{тр}$ должен быть равным $\lambda_{тр1} = 0,0234$, для труб диаметром $d_2 = 250$ мм – $\lambda_{тр2} = 0,0247$ и для труб диаметром $d_3 = 150$ мм – $\lambda_{тр3} = 0,0286$ (табл. Б.1).

На рис. 2.2 приведены гидродинамические и пьезометрические линии, построенные по расчетным данным.

Следует отметить, что пьезометрические линии проходят параллельно соответствующим гидродинамическим линиям на расстоянии $\frac{v^2}{2 \cdot g}$, м, на соответствующем участке и выходят на свободную поверхность воды в резервуаре.

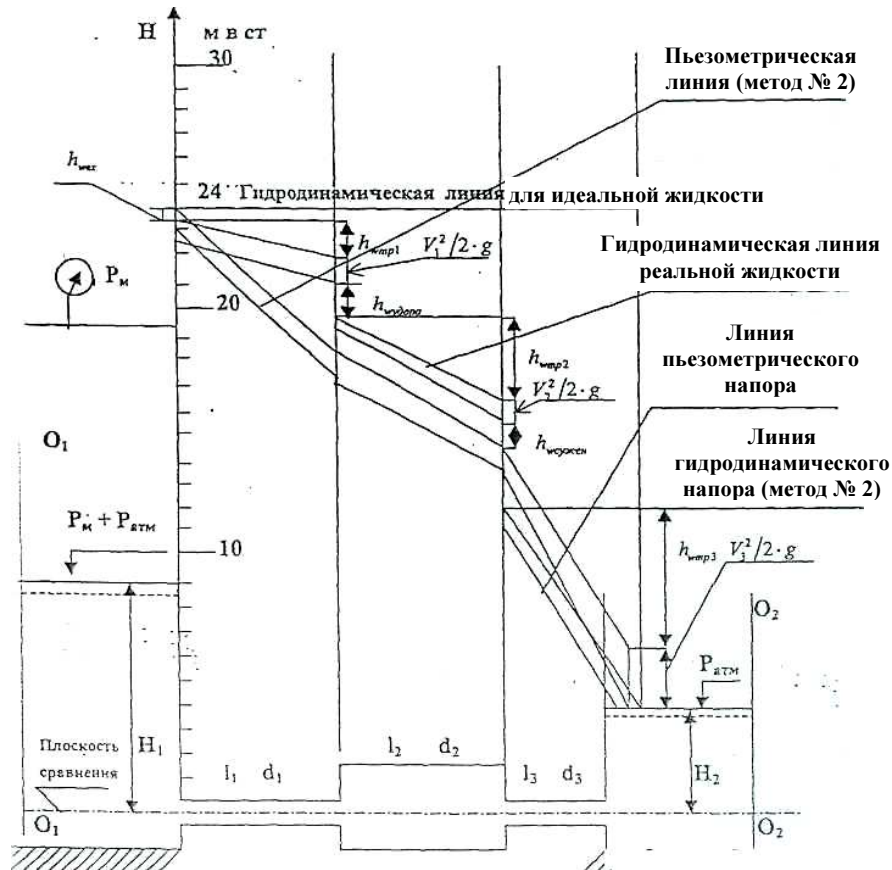


Рис. 2.2. Гидродинамические и пьезометрические линии напора

Примечание:

В отличие от приведенного примера в расчетной части РГЗ роль напорного бака выполняет насос, а сечение O_1-O_1 следует сделать на входе воды в магистральный трубопровод, поэтому в записи уравнения Д. Бернулли относительно сечения O_1-O_1 в качестве слагаемого сохранится скоростной напор $\frac{v_1^2}{2 \cdot g}$.

Сечение O_2-O_2 в данном случае проведено вертикально на выходе воды из магистрального трубопровода в расходный бак, поэтому в уравнении Д. Бернулли относительно сечения O_2-O_2 сохраняется в качестве слагаемого скоростной напор $\frac{v_4^2}{2 \cdot g}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК*Основная литература*

1. Гривнин, Ю. А. Гидравлика. Гидравлические машины и гидропривод / Ю. А. Гривнин, Ю. К. Ивановский. – СПб. : СПГУВК, 2004. – 24 с.

2. Земцов, В. М. Гидравлика : учеб. пособие / В. М. Земцов. – М. : АСВ, 2007. – 352 с.
3. Исаев, Ю. М. Гидравлика и гидропневмопривод : учебник / Ю. М. Исаев. – М. : Академия, 2009. – 176 с.
4. Лапшев, Н. Н. Гидравлика : учебник / Н. Н. Лапшев. – 3-е изд., стер. – М. : Академия, 2010. – 272 с.
5. Малюшенко, В. В. Энергетические насосы : справ. пособие / В. В. Малюшенко, А. К. Михайлов. – М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.
6. Скугорова, Л. П. Материалы для сооружения газонефтепроводов и хранилищ : учебник для вузов / Л. П. Скугорова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Нефть и газ, 1996. – 350 с.
7. Угинчус, А. А. Гидравлика и гидравлические машины. – 4-е изд., перераб. / А. А. Угинчус. – Харьков : Изд-во Харьковского университета, 1970. – 396 с.

Дополнительная литература

1. Байбоков, О. В. Гидравлика и насосы : учебник / О. В. Байбоков. – М. : Энергоиздат, 1957. – 240 с.
2. Бобровский, С. А. Гидравлика, насосы и компрессоры : учебник / С. А. Бобровский, С. Н. Соколовский. – М. : Недра, 1972. – 296 с.
3. Гейер, В. Г. Гидравлика и гидропривод : учеб. пособие / В. Г. Гейер, В. С. Дулин, А. Г. Боруменский, А. Н. Заря. – М. : Недра, 1970. – 302 с.
4. Константинов, Н. М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия / Н. М. Константинов, Н. А. Петров, Л. И. Высоцкий. – М. : Высш. шк., 1987. – 304 с.
5. Лимарь, Н. Н. Гидравлика. Гидравлические машины : учеб. пособие / Н. Н. Лимарь. – СПб. : СПГУВК, 2002. – 64 с.
6. Старк, С. Б. Основы гидравлики, насосы и воздуходувные машины. Сборник задач : учеб. пособие / С. Б. Старк. – М. : Металургиздат, 1954. – 368 с.
7. Теплов, А. В. Основы гидравлики : учеб. пособие / А. В. Теплов, Л. Н. Виханский, В. Е. Чарей. – М. : Машиностроение, 1969. – 224 с.
8. Тужилкин, А. П. Примеры гидравлических расчетов : учеб. пособие / А. П. Тужилкин. – М. : АСВ, 2008. – 167 с.
9. Чертоусов, М. Д. Гидравлика. Специальный курс : учеб. пособие / М. Д. Чертоусов. – М. : Стройиздат, 1957. – 640 с.
10. Чугаев, Р. Р. Гидравлические термины / Р. Р. Чугаев. – М. : Высш. шк., 1974. – 104 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Исходные данные для выполнения РГЗ

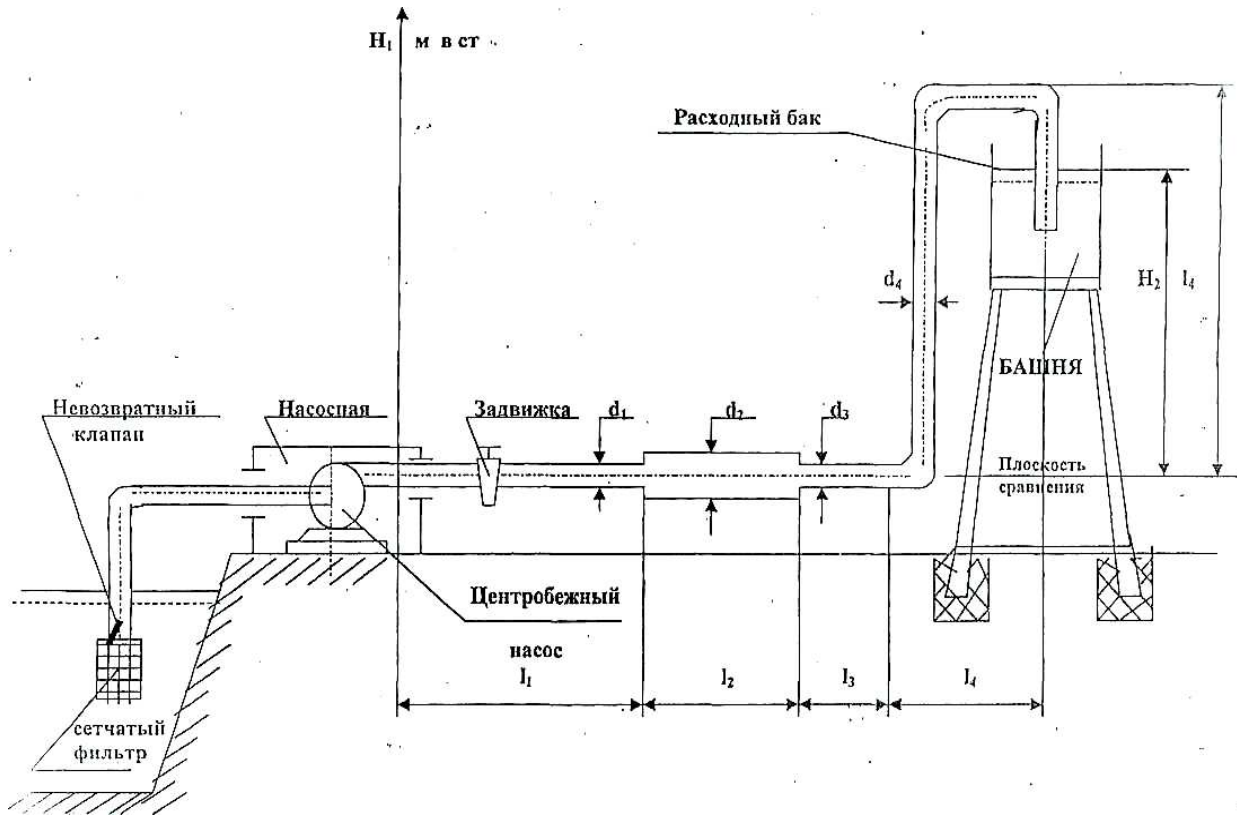


Рис. А.1. Схема насосной установки и магистрального водопровода

**Значения параметров для выполнения РГЗ
для студентов очной формы обучения**

№ варианта	H_1, м	l_1, м	d_1, мм	l_2, м	d_2, мм	l_3, м	d_3, мм	l_4, м	d_4, мм	H_2, м	$\frac{R}{d}$	$\frac{\omega_0}{\omega}$	$\xi_{ВХ}$	$\xi_{ВЫХ}$	$\lambda_{тр}$
1	55	280	220	930	320	460	180	25	180	16	2	0,466	0,5	1	0,02
2	57	290	220	920	320	670	170	25	170	16	2	0,466	0,5	1	0,02
3	59	300	220	940	320	283	160	25	160	16	2	0,466	0,5	1	0,02
4	62	320	245	834	345	834	150	25	150	17	2	0,609	0,5	1	0,02
5	64	340	235	389	345	394	220	25	220	17	2	0,609	0,5	1	0,02
6	66	450	290	294	390	894	210	30	210	18	3	0,609	0,5	1	0,02
7	68	475	300	458	400	984	270	30	270	18	3	0,609	0,5	1	0,02
8	70	490	330	682	430	832	260	30	260	20	3	0,740	0,5	1	0,02
9	72	500	350	620	400	1030	280	30	280	20	3	0,740	0,5	1	0,02
10	73	520	340	650	460	1050	260	30	260	20	4	0,740	0,5	1	0,02
11	74	550	360	480	450	270	275	32	275	22	4	0,78	0,5	1	0,02
12	65	600	380	275	440	300	285	32	285	23	4	0,78	0,5	1	0,02
13	63	570	390	490	420	380	265	32	265	24	4	0,78	0,5	1	0,02
14	61	560	320	375	430	294	300	35	300	25	5	0,78	0,5	1	0,02
15	58	510	370	597	400	300	350	35	350	26	5	0,79	0,5	1	0,02
16	56	480	280	749	350	375	320	35	320	27	5	0,80	0,5	1	0,02
17	54	460	270	481	370	494	340	35	340	28	5	0,82	0,5	1	0,02
18	55	330	330	1 000	230	460	300	25	300	15	5	0,466	0,5	1	0,025
19	57	340	340	980	240	520	310	25	310	15	5	0,464	0,5	1	0,025
20	59	350	350	970	250	270	320	25	320	15	5	0,466	0,5	1	0,020

**Значения параметров для выполнения РГЗ
для студентов заочной формы обучения**

№ варианта	H_1 , м	l_1 , м	d_1 , мм	l_2 , м	d_2 , мм	l_3 , м	d_3 , мм	l_4 , м	d_4 , мм	H_2 , м	$\frac{R}{d}$	$\frac{\omega_0}{\omega}$	$\xi_{вх}$	$\xi_{вых}$	$\lambda_{тр}$
1	62	345	345	960	245	830	315	25	315	16	5	0,466	0,5	1	0,020
2	64	355	355	950	255	389	325	25	325	16	4	0,609	0,5	1	0,025
3	66	360	360	940	260	585	330	30	330	16	4	0,609	0,5	1	0,020
4	68	370	370	930	270	387	340	30	340	17	4	0,609	0,5	1	0,025
5	70	365	365	920	265	475	335	30	335	18	4	0,609	0,5	1	0,020
6	72	375	375	910	275	283	345	30	345	19	3	0,740	0,5	1	0,025
7	73	410	410	900	300	425	380	30	380	20	3	0,740	0,5	1	0,020
8	74	400	400	850	310	248	370	32	370	22	3	0,740	0,5	1	0,025
9	65	420	420	840	320	482	390	32	390	23	3	0,740	0,5	1	0,020
10	63	430	430	860	330	974	400	32	400	24	3	0,78	0,5	1	0,025
11	61	440	440	870	340	378	410	35	410	25	2	0,79	0,5	1	0,020
12	58	435	435	820	335	984	405	35	405	27	2	0,80	0,5	1	0,025
13	56	425	425	895	325	920	395	35	395	28	2	0,80	0,5	1	0,020
14	54	415	415	900	315	287	385	35	385	29	2	0,80	0,5	1	0,025
15	61	100	100	800	75	470	200	25	200	16	5	0,948	0,5	1	0,025
16	62	100	100	850	75	480	200	25	200	16	5	0,948	0,5	1	0,025
17	63	100	100	875	75	490	200	25	200	16	5	0,948	0,5	1	0,025
18	64	100	100	900	75	500	200	25	200	16	5	0,856	0,5	1	0,025
19	65	125	125	925	100	550	250	300	250	17	5	0,856	0,5	1	0,025
20	66	125	125	950	100	600	250	30	250	17	4	0,856	0,5	1	0,025
21	67	125	125	975	100	650	250	30	250	18	4	0,856	0,5	1	0,025
22	68	125	125	1 000	100	700	250	30	250	20	4	0,740	0,5	1	0,025
23	69	150	150	1 100	125	750	300	30	300	20	4	0,740	0,5	1	0,025
24	70	150	150	1 200	125	800	300	35	300	22	4	0,740	0,5	1	0,025
25	71	150	150	1 300	125	850	300	35	300	23	4	0,740	0,5	1	0,025
26	72	150	150	1 400	125	900	300	35	300	24	3	0,609	0,5	1	0,025
27	50	200	200	1 500	150	950	350	35	350	25	3	0,609	0,5	1	0,025
28	55	200	200	1 600	150	1000	350	35	350	26	3	0,609	0,5	1	0,025
29	58	200	200	1 700	150	1050	350	40	350	27	3	0,609	0,5	1	0,025
30	59	200	200	1 800	150	1100	350	40	350	28	2	0,609	0,5	1	0,025
31	60	250	250	1 900	150	1150	350	40	350	21	2	0,609	0,5	1	0,025

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

**Справочная таблица для расчетов
по методике академика Н. Н. Павловского**

Таблица Б.1

**Значения параметров для круглых труб
(по методике академика Н. Н. Павловского для $n = 0,020$)**

Диаметр трубы d , м	Коэффициент потерь на трение $\lambda_{тр}$	Модуль расхода K , м ³ /с
0,050	0,0391	0,00987
0,075	0,0349	0,0287
0,100	0,0321	0,0614
0,125	0,0301	0,111
0,150	0,0286	0,179
0,200	0,0263	0,384
0,250	0,0247	0,692
0,300	0,0234	1,121
0,350	0,0224	1,684
0,400	0,0216	2,397
0,450	0,0209	4,259
0,500	0,0202	4,324
0,600	0,0192	6,999
0,700	0,0184	10,517
0,800	0,0177	14,965
0,900	0,0171	20,430
1,000	0,0166	26,485

ПРИЛОЖЕНИЕ В

График зависимости модуля расхода от диаметра трубы
для нестандартных труб

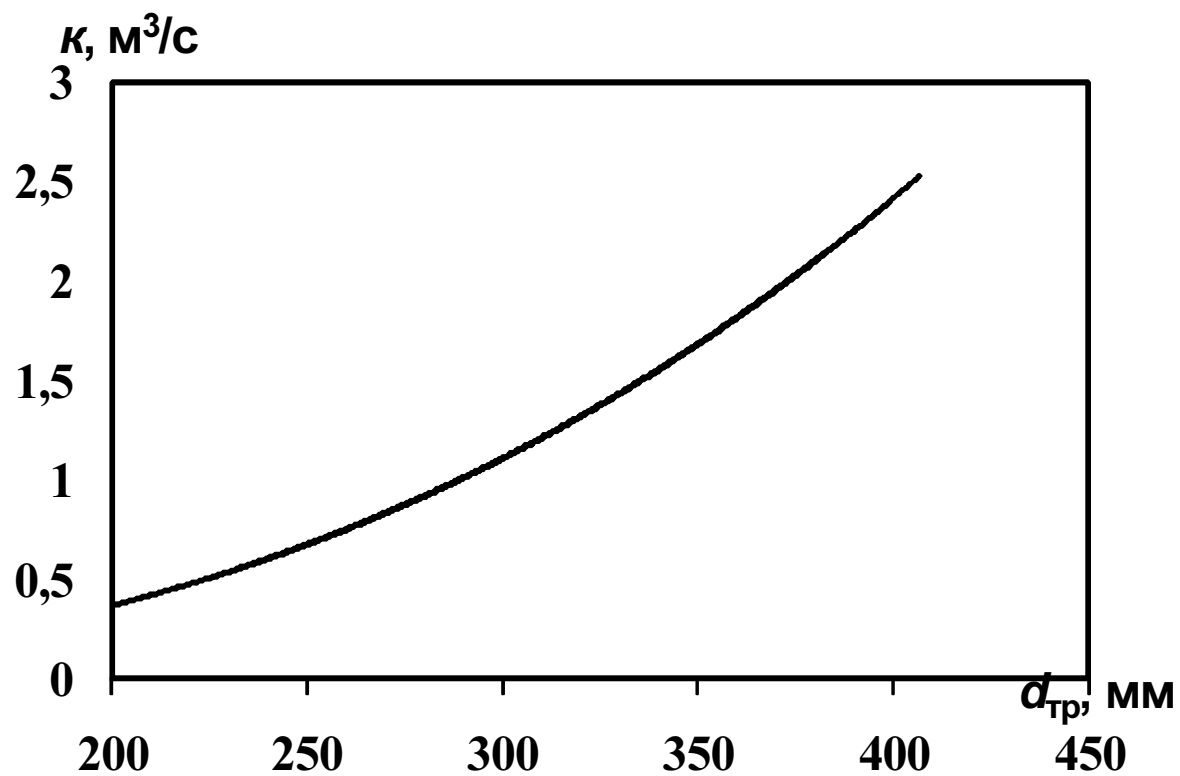


Рис. В.1. График зависимости модуля расхода от диаметра труб
(графоаналитическая интерполяция для нестандартных труб)

Значения коэффициентов местных сопротивлений

а) Внезапное расширение

Коэффициент сопротивления $\xi_{\text{расш}}$ определяется зависимостью:

$$\xi_{\text{расш}} = k \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1 \right).$$

Для труб диаметром от 1,25 до 15 см при отношении $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 2 \div 12$ по-

правочный коэффициент определяется по формуле

$$k = 1,025 \div 0,0025 \frac{\omega_2}{\omega_1} - 0,0079 d_1,$$

где d_1 – меньший диаметр трубы.

Таблица Г.1

Значения коэффициентов местных сопротивлений внезапного расширения

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\xi_{\text{расш}}$	81	64	49	36	25	16	9	4	1	0

б) Внезапное сужение

При внезапном сужении потока наблюдаются меньшие потери напора, чем при расширении.

Коэффициент сопротивления $\xi_{\text{суж}}$ определяется зависимостью

$$\xi_{\text{суж}} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1} \right).$$

**Значения коэффициентов местных сопротивлений
внезапного сужения**

$\frac{\omega_2}{\omega_1}$	0,00	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
$\xi_{\text{суж}}$	0,50	0,45	0,40	0,30	0,20	0,10	0,00

в) Вход в трубу (рис. Г.1)

Коэффициент сопротивления $\xi_{\text{вх}}$ определяется в зависимости от угла входа:

1. Цилиндрическая труба отходит под углом α , входные кромки острые:

$$\xi_{\text{вх}} = 0,505 + 0,803 \sin\alpha + 0,226 \sin^2\alpha.$$

2. Труба отходит перпендикулярно:

– при острых входных кромках $\xi_{\text{вх}} = 0,50$;

– при закругленных кромках и плавном входе $\xi_{\text{вх}} = 0,20 \div 0,25$;

– при весьма плавном очертании входа $\xi_{\text{вх}} = 0,05$.



Рис. Г.1. Вход в трубу

г) Выход из трубы в резервуар больших размеров (рис. Г.2)

Рассматривая явление как внезапное расширение потока при ω_1 , значительно большем ω_2 , и принимая $k = 1$, получаем значение коэффициента сопротивления выхода $\xi_{\text{вых}} = 1$.

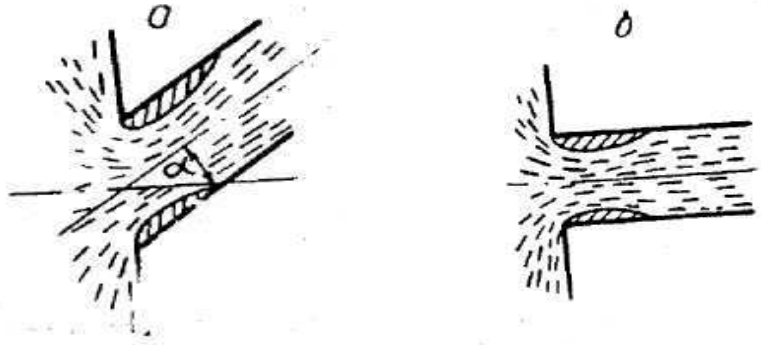


Рис. Г.2. Выход из трубы в резервуар

д) Переходные конусы

1. Для конически расходящегося переходного конуса (рис. Г.3) коэффициент сопротивления $\xi_{\text{кон}}$ определяется по зависимости:

$$\xi_{\text{кон}} \approx \frac{\lambda_{\text{тр}}}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{n^2 - 1}{n^2} + \left(\frac{n-1}{n} \right)^2 \sin \alpha,$$

где $\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления, учитывающий потери энергии по длине;

α – угол конусности;

n – степень расширения конуса, вычисляемая как $n = \frac{\omega_2}{\omega_1}$.

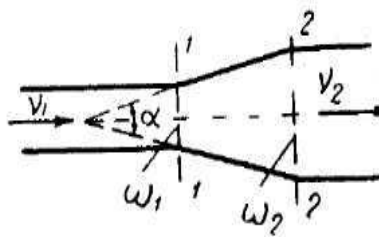


Рис. Г.3. Конически расходящийся переходной конус

2. Для конически сходящегося переходного конуса коэффициент сопротивления $\xi_{\text{кон}}$ может быть определен по формуле

$$\xi_{\text{кон}} \approx \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \frac{n^2 - 1}{n^2}.$$

е) Диафрагма в трубе постоянного сечения (рис. Г.4)

При наличии диафрагмы коэффициент сопротивления $\xi_{\text{дфр}}$ может быть определен по формуле

$$\xi_{\text{дфр}} = \left(1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{\omega}{\omega_1}}} \right)^2 \left(\frac{\omega}{\omega_1} - 1 \right)^2.$$

Таблица Г.3

Значения коэффициентов местных сопротивлений диафрагмы

$\frac{\omega}{\omega_1}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$\xi_{\text{дфр}}$	1070	245	51,0	18,4	8,2	4,0	2,0	0,97	0,41	0,13	0,00

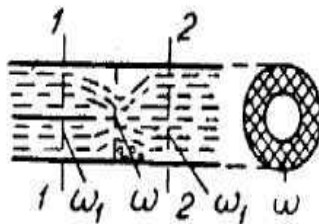


Рис. Г.4. Диафрагма в трубе постоянного сечения

ж) Задвижки

Коэффициент сопротивления задвижки $\xi_{\text{зад}}$ зависит от степени ее открытия, т. е. от соотношения площади открытия ω_0 и площади живого сечения трубы ω (рис. Г.4).

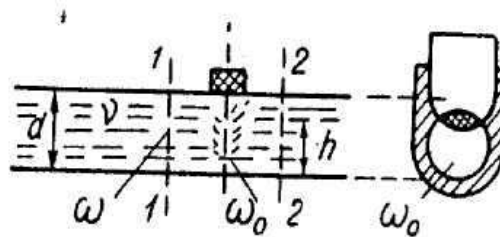


Рис. Г.4. Наличие задвижки

Значения коэффициентов местных сопротивлений задвижки

$\frac{d-h}{h}$	0	1/8	2/8	3/8	4/8	5/8	6/8	7/8
$\frac{\omega_0}{\omega}$	1,000	0,948	0,856	0,740	0,609	0,466	0,315	0,159
$\xi_{зд}$	0,00	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

з) Поворот трубы

1. Плавный поворот трубы на угол α

По формуле Абрамовича для труб круглого сечения коэффициент местных сопротивлений $\xi_{кол}$ определяется по формуле

$$\xi_{кол} = 0,73 ab,$$

где $a = f_1\left(\frac{R}{d}\right)$ и $b = f_2(\alpha)$, определяемые по графикам зависимости радиуса закругления R , диаметра трубы d и угла поворота α (рис. Г.5).

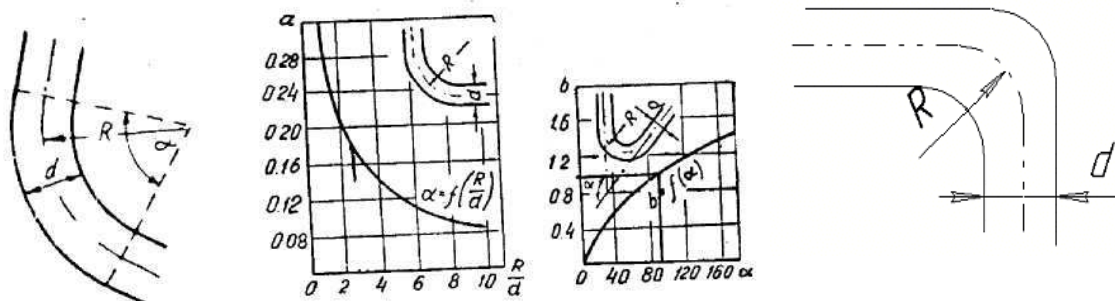


Рис. Г.5. Графики зависимости радиуса закругления R , диаметра трубы d и угла поворота α трубы

Значения коэффициентов местных сопротивлений закруглений труб круглого сечения при центральном угле поворота $\alpha = 90^\circ$

d , мм	50	100	150	200	250	300	350	400
$\xi_{зак}$	0,76	0,39	0,37	0,37	0,40	0,45	0,45	0,42
d , мм	450	500	600	700	800	900	1000	
$\xi_{зак}$	0,42	0,46	0,47	0,48	0,48	0,49	0,50	

Таблица Г.6

**Значения коэффициентов местных сопротивлений
закруглений труб круглого сечения по заданному соотношению
радиуса закругления и диаметра трубы $\frac{R}{d}$**

$\frac{R}{d}$	1	2	3	4	5
$\xi_{\text{кол}} \xi_{\text{изг}}$	0,25	0,15	0,115	0,098	0,089

2. Резкий поворот трубы на угол α (рис. Г.6)

Коэффициент сопротивления колена $\xi_{\text{кло}}$ зависит от угла поворота α .

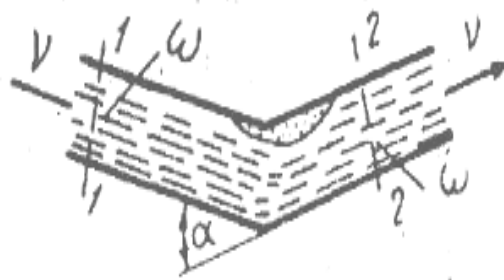
Рис. Г.6. Резкий поворот трубы на угол α

Таблица Г.6

**Значения коэффициентов местных сопротивлений
закруглений труб круглого сечения при резком повороте на угол α**

α	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\xi_{\text{кол}}$	0,20	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90	1,10

и) Клапаны и краны

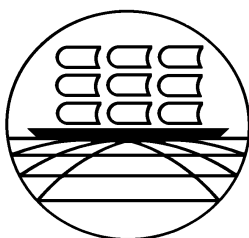
Для ориентировочного расчета могут быть приняты следующие значения коэффициентов сопротивления:

- для дискового клапана при полном открытии $\xi_{\text{кл}} = 0,10$;
- для всасывающего клапана с сеткой на всасывающей линии насоса $\xi_{\text{кл}} = 10,0$;
- для различных клапанов при полном открытии $\xi_{\text{кл}} = 5,0$.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93,
соответствует коду 95 3000

Издательство МГТУ. 183010, Мурманск, Спортивная, 13.
Сдано в набор 09.01.2013. Подписано в печать 15.01.2013. Формат 60×84¹/₁₆.
Бум. типографская. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 0,66. Заказ 06. Тираж 50 экз.

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
"МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ"**



ГИДРАВЛИКА

*Методические указания и контрольные задания к самостоятельной
работе студентов для студентов специальностей
271000 "Технология рыбы и рыбных продуктов",
170600 "Машины и аппараты пищевых производств",
271300 "Пищевая инженерия малых предприятий",
271200 "Технология продуктов общественного питания"
всех форм обучения*

Мурманск
Издательство МГТУ
2013

