

Морской государственный университет
имени адмирала Г. И. Невельского

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ РАБОТАМ
ПО ГИДРОМЕХАНИКЕ И ГИДРАВЛИКЕ
«РАСЧЕТ ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА»**
для всех инженерных специальностей

Составили Б. И. Друзь
И. Б. Друзь
А. С. Огай

ВЛАДИВОСТОК
2007

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Типы трубопроводов и их классификация

В зависимости от гидравлической схемы работы трубопроводы разделяются на *простые*, не имеющие ответвлений (рис. 1 а, б), и *сложные* – с ответвлениями или состоящие из нескольких линий (рис. 1 в, г). Различают также *тупиковые* трубопроводы (рис. 1в), по которым жидкость подается в одном направлении, и *замкнутые (кольцевые)* (рис. 1 г), по которым жидкость в заданную точку может подаваться по двум или более линиям. Замкнутые трубопроводы являются более надежными в работе, обеспечивая, в частности, бесперебойное водоснабжение при повреждении отдельных линий или производстве ремонтных работ. Наконец, трубопроводы могут быть с *транзитным расходом* жидкости, когда он по всей длине трубопровода остается постоянным, и с *путевым* – когда по пути происходит раздача жидкости и расход трубопровода является переменным.

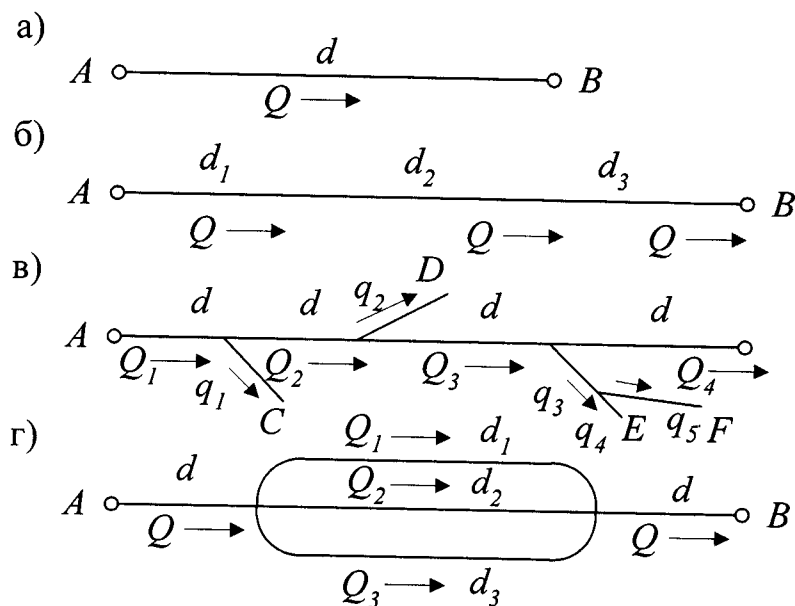


Рис. 1. Гидравлические схемы работы трубопроводов

1.2. Методика расчета простого трубопровода

За основу возьмем простой трубопровод с постоянным диаметром по длине. Расчетная схема изображена на рис. 2.

Параметры простого трубопровода:

H – напор, под которым работает трубопровод;

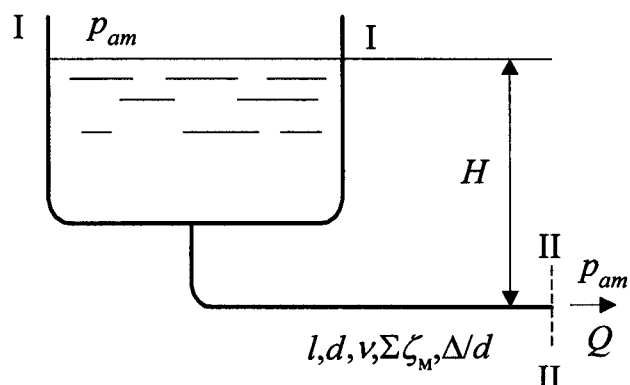


Рис. 2. Расчетная схема простого трубопровода с постоянным диаметром по длине

Q – расход, проходящий по трубопроводу;

d, l – диаметр и длина трубопровода;

$\Sigma\zeta_M$ – сумма коэффициентов потерь местных сопротивлений, имеющих-ся на трубопроводе;

ν – кинематическая вязкость жидкости потока;

Δ/d – относительная шероховатость трубопровода.

Существуют три задачи расчета простого трубопровода.

1. Определить необходимый напор H , чтобы был обеспечен заданный расход Q , при известных параметрах трубопровода $l, d, \Sigma\zeta_M, \nu, \Delta/d$.

2. Определить, какой будет расход жидкости Q у простого трубопровода с заданными параметрами $H, l, d, \Sigma\zeta_M, \nu$.

3. Подобрать диаметр трубы для простого трубопровода с параметрами $H, Q, l, \Sigma\zeta_M, \nu, \Delta/d$.

Воспользуемся уравнением Бернулли для потока реальной жидкости, чтобы получить расчетное уравнение для решения задач простого трубопровода

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_{mp}.$$

Запишем уравнение Бернулли для расчетной схемы простого трубопровода, изображенной на рис. 2. Первое сечение потока примем на свободной поверхности резервуара, на которой действует атмосферное давление p_{atm} . Второе сечение потока проведем на выходе из трубопровода, в котором тоже действует p_{atm} .

В первом сечении из-за его большой площади по сравнению с площадью поперечного сечения трубопровода можно принять

$\alpha_1 = v_1 = 0$. Во втором сечении примем $\alpha_2 = \alpha$, $v_2 = v$. За основную плоскость отсчета примем горизонтальную плоскость, совпадающую с осью трубопровода.

Уравнение Бернулли для расчетной схемы простого трубопровода

$$H + \frac{p_{at}}{\rho g} + 0 = 0 + \frac{p_{at}}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + h_{mp},$$

или

$$H = \frac{\alpha v^2}{2g} + h_{mp}.$$

Весь напор H расходуется на преодоление сил трения h_{mp} и кинетическую энергию выходящей из трубы струи $\frac{\alpha v^2}{2g}$.

Как известно, потери напора на трение состоят из местных и по длине:

$$h_{mp} = \sum \zeta_m \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

Поэтому

$$H = \frac{v^2}{2g} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_m + \alpha \right),$$

где λ – коэффициент потерь напора по длине потока, α – коэффициент кинетической энергии.

Так как определяющим параметром трубопровода является расход Q , а не средняя скорость потока v , воспользуемся уравнением неразрывности потока $Q = v \times \pi d^2 / 4$ и заменим в уравнении v на Q . Постоянные величины запишем в виде коэффициента

$$\frac{v^2}{2g} = \left(\frac{4Q}{\pi d^2} \right)^2 \frac{1}{2g} = 0,0827 \frac{Q^2}{d^4}.$$

Расчетное уравнение в окончательном виде

$$H = 0,0827 \frac{Q^2}{d^4} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_m + \alpha \right).$$

Здесь нужно учитывать, что коэффициент 0,0827 имеет размерность $\text{с}^2/\text{м}$, поэтому в расчетную формулу нужно подставлять расход Q в $\text{м}^3/\text{с}$, а диаметр d в м, тогда размерность напора H будет выражаться в м.

Для ламинарного режима потока нужно принимать $\alpha = 2$, для турбулентного режима $\alpha \approx 1$.

Это расчетное уравнение можно использовать для расчетов трубопроводов при ламинарном режиме движения потока и во всех трех зонах определения λ при турбулентном режиме.

1.3. Определение коэффициента сопротивления трения по длине λ для трубопровода

В общем случае коэффициент сопротивления трения по длине λ зависит от режима движения жидкости, числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости Δ/d , $\lambda = f(Re, \Delta/d)$.

1. Ламинарный режим движения

Область существования потока жидкости в трубопроводе определяется по числу Рейнольдса $0 < Re < 2320$. Для этого режима величина коэффициента λ получена теоретически

$$\lambda = 64/Re.$$

При ламинарном режиме $\lambda = f(Re)$. Потери напора на трение по длине $h_{\text{дл}}$ зависят только от числа Re и не зависят от относительной шероховатости.

2. Турбулентный режим движения

При турбулентном режиме движения жидкости в трубопроводе существуют три зоны определения коэффициента λ .

А. Зона гидравлически гладких труб

Область существования зоны для технически гладких труб (цельнотянутые из цветных металлов – медные, латунные, свинцовые и др. и стеклянные трубы) во всем диапазоне их практического использования по числам Re . Для некорродированных стальных труб в диапазоне значений числа Рейнольдса $2320 < Re < 20 \frac{d}{\Delta}$.

В этой зоне коэффициент λ можно определить по эмпирической формуле Блазиуса

$$\lambda = 0,316 / \sqrt[4]{Re}.$$

Здесь λ и потери напора на трение по длине $h_{\text{дл}}$, так же как и при ламинарном режиме движения жидкости, зависят только от числа Рейнольдса $\lambda = f(Re)$. Физически это объясняется так.

Турбулентный режим движения жидкости в потоке при увеличении скорости начинает образовываться в местах с наибольшей скоростью, т. е. в центре трубы, и распространяться к стенкам (рис. 3).

Существуют такие средние скорости потока v , при которых выступы шероховатости стенок трубы не захватываются турбулентными завихрениями, они закрыты так называемой «ламинарной пленкой». В этом случае шероховатость стенок не оказывает влияния на потери напора.

Б. Переходная зона

Область существования зоны $20 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta}$.

В этой зоне коэффициент λ можно подсчитать по универсальной формуле Альтшуля

$$\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25},$$

здесь $\lambda = f \left(Re, \frac{\Delta}{d} \right)$. Потери напора зависят как от числа Рейнольдса, так и от относительной шероховатости.

Физически это объясняется тем, что выступы шероховатости в переходной зоне частично захватываются турбулентными завихрениями.

В. Зона гидравлически шероховатых труб (квадратичная зона)

Область существования зоны, определяемой по числу Рейнольдса, $Re > 500 \frac{d}{\Delta}$.

Коэффициент λ можно определить по формуле Шифринсона

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}.$$

В квадратичной зоне λ и $h_{\text{ол}}$ зависят только от относительной шероховатости Δ/d . Объясняется это тем, что турбулентные завихрения полностью охватывают выступы шероховатости, а действительные скорости u в поперечном сечении потока имеют одинаковую величину по всему поперечному сечению.

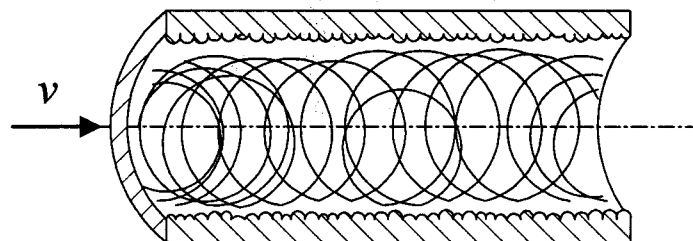


Рис. 3. Турбулентный режим движения жидкости

1. При решении первой задачи расчета простого трубопровода используется непосредственно расчетное уравнение:

$$H = 0,0827 \frac{Q^2}{d^4} \left(\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta_m + \alpha \right).$$

В правую часть подставляются известные параметры простого трубопровода $Q, d, l, \sum \zeta$, а λ и α определяются по числу Re , которое находится также по заданным параметрам трубопровода,

$$Re = \frac{vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d \nu}.$$

Если $Re < 2320$, то $\alpha = 2$, $\lambda = 64/Re$.

Если $2320 < Re < 20 \frac{d}{\Delta}$, то $\alpha = 1$, $\lambda = 0,316 / \sqrt[4]{Re}$.

Если $20 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta}$, то $\alpha = 1$, $\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}$.

Если $Re > 500 \frac{d}{\Delta}$, то $\alpha = 1$, $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$.

При выполнении расчетно-графической работы используется решение первой задачи расчета простого трубопровода. Необходимо определить параметры насоса: Q_n – расход насоса и H_n – напор, создаваемый насосом, для прокачивания через систему простого трубопровода необходимого расхода Q ($Q = Q_n$).

Расход для трубопровода является заданной величиной, которая определяется как постоянный расход жидкости из бака Q_6 через отверстие в днище или стенке при заданном постоянном напоре H_6 (схема 1), в стенке $H_1 = H_2$ (схема 2) или H_c (схема 3), по формуле

$$Q_n = Q_6 = \mu S_{отв} \sqrt{2gH_6}.$$

где μ – коэффициент расхода (для отверстия $\mu = 0,62$); $S_{отв}$ – площадь отверстия, через которое вытекает жидкость.

Напор H_n , создаваемый насосом, состоит из двух частей

$$H_n = H + H_o.$$

где H – напор, затрачиваемый на преодоление сил трения при продвижении жидкости по трубопроводу, (определяется по формуле,

приведенной выше); H_0 – статический напор, создаваемый вертикально стоящими трубами (см. схемы)

$$H_0 = L_1 - L_3 + L_5 - L_7.$$

2. Типовой пример

Вариант 1. Схема 1

Для всех вариантов необходимо принимать кинематическую вязкость воды $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$), относительную шероховатость труб $\Delta/d_{\text{тр}} = 1 \times 10^{-3}$, коэффициент расхода при истечении воды из отверстия $\mu = 0,62$.

Расход насоса равен расходу воды из бака и определяется по формуле

$$Q_{\text{н}} = Q_{\text{б}} = \mu S_{\text{отв}} \sqrt{2gH_0} = 0,62 \frac{\pi \times 0,02^2}{4} \sqrt{2 \times 9,8 \times 1,5} = 1,056 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Напор, развиваемый насосом

$$H_{\text{н}} = H + H_0.$$

Напор, преодолевающий силы трения в трубопроводе,

$$H = 0,0827 \frac{Q^2}{d_{\text{тр}}^4} \left(\lambda \frac{l}{d_{\text{тр}}} + \sum \zeta_{\text{м}} + \alpha \right).$$

Для нахождения λ и α сначала нужно определить число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{4 \times Q}{\pi d_{\text{тр}} \nu} = \frac{4 \times 1,056 \times 10^{-3}}{\pi \times 0,06 \times 1 \times 10^{-6}} = 22,4 \times 10^3.$$

Так как $\text{Re} > 2320$, то режим движения потока турбулентный и $\alpha = 1$. Полученное число Рейнольдса лежит в пределах

$$20 \frac{d}{\Delta} < \text{Re} < 500 \frac{d}{\Delta}; \quad 20 \times 10^3 < 22,4 \times 10^3 < 500 \times 10^3,$$

поэтому коэффициент сопротивления трения по длине – λ необходимо подсчитывать по формуле для переходной зоны

$$\lambda = 0,1 \times \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{\text{Re}} \right)^{0,25} = 0,1 \times \left(1,46 \times 1 \times 10^{-3} + \frac{100}{22,4 \times 10^3} \right)^{0,25} = 0,0277.$$

Длина трубопровода

$$l = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 = 7 + 40 + 2 + 40 + 3 + 60 + 3 = 155 \text{ м}.$$

Сумма коэффициентов местных потерь

$$\sum \zeta_m = 6\zeta_{\perp} + 3\zeta_{\perp} + \zeta_{\text{кл}} + \zeta_{\text{вых}} = 6 \times 0,4 + 3 \times 2 + 1,5 + 1 = 10,9.$$

Затем определяем

$$H = 0,0827 \frac{(1,056 \times 10^{-3})^2}{0,06^4} \left(0,0277 \frac{155}{0,06} + 10,9 + 1 \right) = 0,475 \text{ м.}$$

Статический напор

$$H_0 = L_1 - L_3 + L_5 - L_7 = 7 - 2 + 3 - 3 = 5 \text{ м.}$$

Напор развиваемый насосом

$$H_n = H + H_0 = 0,475 + 5 = 5,475 \text{ м.}$$

Основные обозначения



– насос,



– кран,



– клапан.

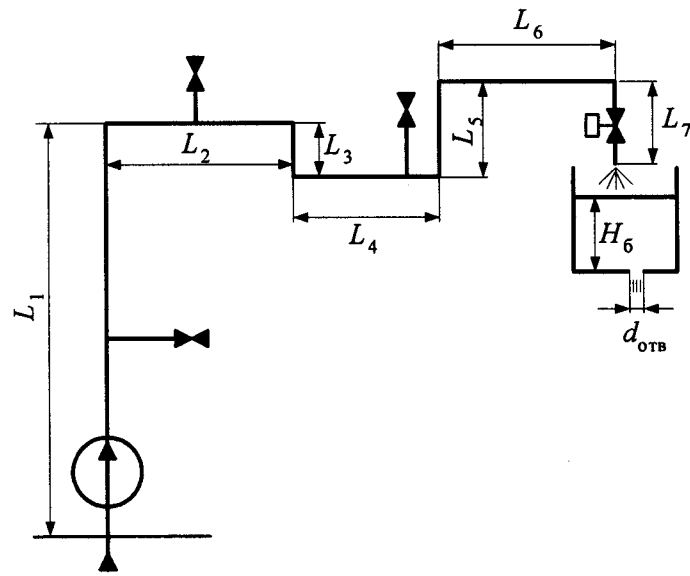


Схема 1

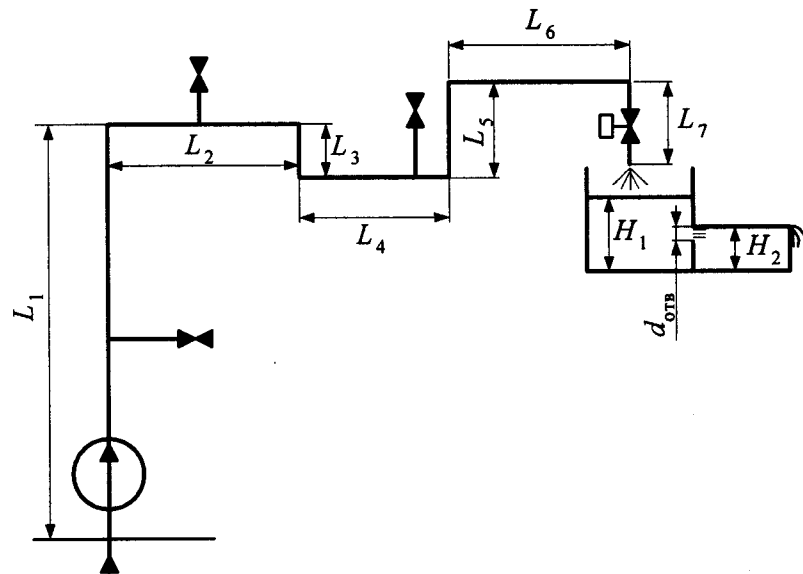


Схема 2

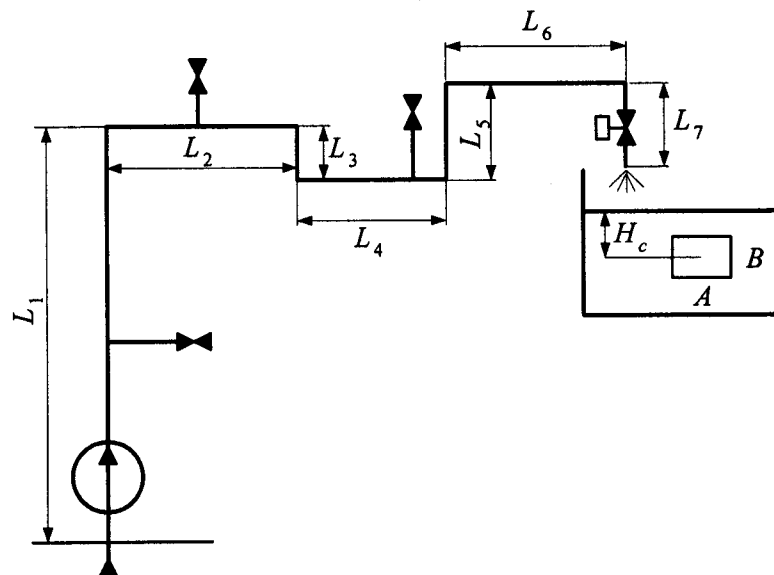


Схема 3

Определить параметры насоса Q_H и H_H , если уровень в цистерне ($H_6, H_c, H_1 - H_2$) остается постоянным.

Схема № 1							
Вариант 1				Вариант 6			
$\zeta_{\perp} = 0,4$	$L_1 = 7 \text{ м}$	$L_5 = 3 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 60 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,4$	$L_1 = 7,6 \text{ м}$	$L_5 = 3,1 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 80 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 2,0$	$L_2 = 40 \text{ м}$	$L_6 = 60 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 20 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 2,0$	$L_2 = 35 \text{ м}$	$L_6 = 60 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 20 \text{ мм}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,5$	$L_3 = 2 \text{ м}$	$L_7 = 3 \text{ м}$	$H_6 = 1,5 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,5$	$L_3 = 2,1 \text{ м}$	$L_7 = 3,0 \text{ м}$	$H_c = 1,5 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 40 \text{ м}$			$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 42 \text{ м}$		
Вариант 2				Вариант 7			
$\zeta_{\perp} = 0,41$	$L_1 = 7,7 \text{ м}$	$L_5 = 3,5 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 61 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,41$	$L_1 = 7,9 \text{ м}$	$L_5 = 3,35 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 79 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,9$	$L_2 = 44 \text{ м}$	$L_6 = 62 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 19 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 1,9$	$L_2 = 37 \text{ м}$	$L_6 = 62 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 21 \text{ мм}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,6$	$L_3 = 2,2 \text{ м}$	$L_7 = 3,1 \text{ м}$	$H_6 = 1,5 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,6$	$L_3 = 2,25 \text{ м}$	$L_7 = 3,1 \text{ м}$	$H_6 = 1,6 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 46 \text{ м}$			$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 45 \text{ м}$		
Вариант 3				Вариант 8			
$\zeta_{\perp} = 0,42$	$L_1 = 7,6 \text{ м}$	$L_5 = 3,5 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 62 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,42$	$L_1 = 8,2 \text{ м}$	$L_5 = 3,6 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 78 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,8$	$L_2 = 44 \text{ м}$	$L_6 = 64 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 18 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 1,8$	$L_2 = 39 \text{ м}$	$L_6 = 64 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 22 \text{ мм}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,7$	$L_3 = 2,2 \text{ м}$	$L_7 = 3,5 \text{ м}$	$H_6 = 1,7 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,7$	$L_3 = 2,4 \text{ м}$	$L_7 = 3,2 \text{ м}$	$H_6 = 1,7 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 46 \text{ м}$			$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 48 \text{ м}$		
Вариант 4				Вариант 9			
$\zeta_{\perp} = 0,43$	$L_1 = 7,9 \text{ м}$	$L_5 = 3,75 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 63 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,43$	$L_1 = 8,5 \text{ м}$	$L_5 = 3,85 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 76 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,7$	$L_2 = 46 \text{ м}$	$L_6 = 66 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 17 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 1,7$	$L_2 = 41 \text{ м}$	$L_6 = 66 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 24 \text{ мм}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,8$	$L_3 = 2,3 \text{ м}$	$L_7 = 3,3 \text{ м}$	$H_6 = 1,8 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,8$	$L_3 = 2,55 \text{ м}$	$L_7 = 3,3 \text{ м}$	$H_6 = 1,9 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 49 \text{ м}$			$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 51 \text{ м}$		
Вариант 5				Вариант 10			
$\zeta_{\perp} = 0,44$	$L_1 = 8,2 \text{ м}$	$L_5 = 4,0 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 64 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,44$	$L_1 = 8,8 \text{ м}$	$L_5 = 4,1 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 76 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,6$	$L_2 = 48 \text{ м}$	$L_6 = 68 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 16 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 1,6$	$L_2 = 43 \text{ м}$	$L_6 = 68 \text{ м}$	$d_{\text{отв}} = 24 \text{ мм}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,9$	$L_3 = 2,4 \text{ м}$	$L_7 = 3,4 \text{ м}$	$H_6 = 1,9 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,9$	$L_3 = 2,7 \text{ м}$	$L_7 = 3,4 \text{ м}$	$H_6 = 1,9 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 52 \text{ м}$			$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 54 \text{ м}$		

Схема № 2							
Вариант 11				Вариант 16			
$\zeta_{\perp} = 0,4$	$L_1 = 7,0$ м	$L_5 = 3,0$ м	$d_{\text{ТР}} = 65$ мм	$\zeta_{\perp} = 0,45$	$L_1 = 8,5$ м	$L_5 = 4,25$ м	$d_{\text{ТР}} = 60$ мм
$\zeta_{\perp} = 2,0$	$L_2 = 40$ м	$L_6 = 60$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 25$ мм	$\zeta_{\perp} = 1,5$	$L_2 = 50$ м	$L_6 = 70$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 28$ мм
$\zeta_{\text{КЛ}} = 1,5$	$L_3 = 2,0$ м	$L_7 = 3,0$ м	$H_2 = 0,45$ м	$\zeta_{\text{КЛ}} = 2,0$	$L_3 = 2,75$ м	$L_7 = 3,5$ м	$H_2 = 0,4$ м
$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 40$ м	$H_1 = 1,2$ м		$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 55$ м	$H_1 = 1,1$ м	
Вариант 12				Вариант 17			
$\zeta_{\perp} = 0,41$	$L_1 = 7,3$ м	$L_5 = 3,25$ м	$d_{\text{ТР}} = 64$ мм	$\zeta_{\perp} = 0,46$	$L_1 = 8,8$ м	$L_5 = 4,5$ м	$d_{\text{ТР}} = 59$ мм
$\zeta_{\perp} = 1,9$	$L_2 = 42$ м	$L_6 = 62$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 26$ мм	$\zeta_{\perp} = 1,4$	$L_2 = 52$ м	$L_6 = 72$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 27$ мм
$\zeta_{\text{КЛ}} = 1,6$	$L_3 = 2,15$ м	$L_7 = 3,1$ м	$H_2 = 0,35$ м	$\zeta_{\text{КЛ}} = 2,1$	$L_3 = 2,9$ м	$L_7 = 3,6$ м	$H_2 = 0,35$ м
$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 43$ м	$H_1 = 1,05$ м		$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 58$ м	$H_1 = 0,98$ м	
Вариант 13				Вариант 18			
$\zeta_{\perp} = 0,42$	$L_1 = 7,6$ м	$L_5 = 3,5$ м	$d_{\text{ТР}} = 63$ мм	$\zeta_{\perp} = 0,47$	$L_1 = 9,1$ м	$L_5 = 4,75$ м	$d_{\text{ТР}} = 58$ мм
$\zeta_{\perp} = 1,8$	$L_2 = 44$ м	$L_6 = 64$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 27$ мм	$\zeta_{\perp} = 1,3$	$L_2 = 54$ м	$L_6 = 74$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 26$ мм
$\zeta_{\text{КЛ}} = 1,7$	$L_3 = 2,3$ м	$L_7 = 3,2$ м	$H_2 = 0,25$ м	$\zeta_{\text{КЛ}} = 2,2$	$L_3 = 3,05$ м	$L_7 = 3,7$ м	$H_2 = 0,3$ м
$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 46$ м	$H_1 = 0,9$ м		$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 61$ м	$H_1 = 0,86$ м	
Вариант 14				Вариант 19			
$\zeta_{\perp} = 0,43$	$L_1 = 7,9$ м	$L_5 = 3,75$ м	$d_{\text{ТР}} = 62$ мм	$\zeta_{\perp} = 0,48$	$L_1 = 9,4$ м	$L_5 = 5,0$ м	$d_{\text{ТР}} = 57$ мм
$\zeta_{\perp} = 1,7$	$L_2 = 46$ м	$L_6 = 66$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 28$ мм	$\zeta_{\perp} = 1,2$	$L_2 = 56$ м	$L_6 = 76$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 25$ мм
$\zeta_{\text{КЛ}} = 1,8$	$L_3 = 2,45$ м	$L_7 = 3,3$ м	$H_2 = 0,15$ м	$\zeta_{\text{КЛ}} = 2,3$	$L_3 = 3,2$ м	$L_7 = 3,8$ м	$H_2 = 0,25$ м
$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 49$ м	$H_1 = 0,75$ м		$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 64$ м	$H_1 = 0,74$ м	
Вариант 15				Вариант 20			
$\zeta_{\perp} = 0,4$	$L_1 = 8,2$ м	$L_5 = 4,0$ м	$d_{\text{ТР}} = 61$ мм	$\zeta_{\perp} = 0,49$	$L_1 = 9,7$ м	$L_5 = 5,25$ м	$d_{\text{ТР}} = 56$ мм
$\zeta_{\perp} = 2,2$	$L_2 = 48$ м	$L_6 = 68$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 29$ мм	$\zeta_{\perp} = 1,1$	$L_2 = 58$ м	$L_6 = 78$ м	$d_{\text{ОТВ}} = 28$ мм
$\zeta_{\text{КЛ}} = 1,5$	$L_3 = 2,6$ м	$L_7 = 3,4$ м	$H_2 = 0,05$ м	$\zeta_{\text{КЛ}} = 2,0$	$L_3 = 3,35$ м	$L_7 = 3,9$ м	$H_2 = 0,2$ м
$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 52$ м	$H_1 = 0,6$ м		$\zeta_{\text{ВЫХ}} = 1$	$L_4 = 67$ м	$H_1 = 0,62$ м	

Вариант 21				Вариант 26			
$\zeta_{\perp} = 0,40$	$L_1 = 7,0 \text{ м}$	$L_5 = 3,0 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 80 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,45$	$L_1 = 8,5 \text{ м}$	$L_5 = 4,25 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 85 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 2,0$	$L_2 = 40 \text{ м}$	$L_6 = 60 \text{ м}$	$A = 0,03 \text{ м}$	$\zeta_{\perp} = 1,5$	$L_2 = 50 \text{ м}$	$L_6 = 70 \text{ м}$	$A = 0,035 \text{ м}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,5$	$L_3 = 2,0 \text{ м}$	$L_7 = 3,0 \text{ м}$	$B = 0,05 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 2,0$	$L_3 = 2,75 \text{ м}$	$L_7 = 3,5 \text{ м}$	$B = 0,040 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 40 \text{ м}$	$H_c = 0,3 \text{ м}$		$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 55 \text{ м}$	$H_c = 0,40 \text{ м}$	
Вариант 22				Вариант 27			
$\zeta_{\perp} = 0,41$	$L_1 = 7,3 \text{ м}$	$L_5 = 3,25 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 81 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,46$	$L_1 = 8,8 \text{ м}$	$L_5 = 4,5 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 86 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,9$	$L_2 = 42 \text{ м}$	$L_6 = 62 \text{ м}$	$A = 0,031 \text{ м}$	$\zeta_{\perp} = 1,4$	$L_2 = 52 \text{ м}$	$L_6 = 72 \text{ м}$	$A = 0,036 \text{ м}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,6$	$L_3 = 2,15 \text{ м}$	$L_7 = 3,1 \text{ м}$	$B = 0,048 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 2,1$	$L_3 = 2,9 \text{ м}$	$L_7 = 3,6 \text{ м}$	$B = 0,038 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 43 \text{ м}$	$H_c = 0,32 \text{ м}$		$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 58 \text{ м}$	$H_c = 0,42 \text{ м}$	
Вариант 23				Вариант 28			
$\zeta_{\perp} = 0,42$	$L_1 = 7,6 \text{ м}$	$L_5 = 3,5 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 80 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,47$	$L_1 = 9,1 \text{ м}$	$L_5 = 4,75 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 87 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,8$	$L_2 = 44 \text{ м}$	$L_6 = 64 \text{ м}$	$A = 0,032 \text{ м}$	$\zeta_{\perp} = 1,3$	$L_2 = 54 \text{ м}$	$L_6 = 74 \text{ м}$	$A = 0,037 \text{ м}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,7$	$L_3 = 2,3 \text{ м}$	$L_7 = 3,2 \text{ м}$	$B = 0,046 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 2,2$	$L_3 = 3,05 \text{ м}$	$L_7 = 3,7 \text{ м}$	$B = 0,036 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 46 \text{ м}$	$H_c = 0,34 \text{ м}$		$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 61 \text{ м}$	$H_c = 0,44 \text{ м}$	
Вариант 24				Вариант 29			
$\zeta_{\perp} = 0,43$	$L_1 = 7,9 \text{ м}$	$L_5 = 3,75 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 83 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,45$	$L_1 = 9,4 \text{ м}$	$L_5 = 5,0 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 88 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,7$	$L_2 = 46 \text{ м}$	$L_6 = 66 \text{ м}$	$A = 0,033 \text{ м}$	$\zeta_{\perp} = 1,5$	$L_2 = 56 \text{ м}$	$L_6 = 76 \text{ м}$	$A = 0,038 \text{ м}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 1,5$	$L_3 = 2,45 \text{ м}$	$L_7 = 3,3 \text{ м}$	$B = 0,044 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 2,0$	$L_3 = 3,2 \text{ м}$	$L_7 = 3,8 \text{ м}$	$B = 0,034 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 49 \text{ м}$	$H_c = 0,36 \text{ м}$		$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 64 \text{ м}$	$H_c = 0,46 \text{ м}$	
Вариант 25				Вариант 30			
$\zeta_{\perp} = 0,45$	$L_1 = 8,5 \text{ м}$	$L_5 = 4,25 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 85 \text{ мм}$	$\zeta_{\perp} = 0,49$	$L_1 = 9,7 \text{ м}$	$L_5 = 5,25 \text{ м}$	$d_{\text{тр}} = 89 \text{ мм}$
$\zeta_{\perp} = 1,5$	$L_2 = 50 \text{ м}$	$L_6 = 70 \text{ м}$	$A = 0,035 \text{ м}$	$\zeta_{\perp} = 1,1$	$L_2 = 58 \text{ м}$	$L_6 = 78 \text{ м}$	$A = 0,039 \text{ м}$
$\zeta_{\text{кЛ}} = 2,0$	$L_3 = 2,25 \text{ м}$	$L_7 = 3,5 \text{ м}$	$B = 0,040 \text{ м}$	$\zeta_{\text{кЛ}} = 2,4$	$L_3 = 3,35 \text{ м}$	$L_7 = 3,9 \text{ м}$	$B = 0,032 \text{ м}$
$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 55 \text{ м}$	$H_c = 0,40 \text{ м}$		$\zeta_{\text{вЫХ}} = 1$	$L_4 = 67 \text{ м}$	$H_c = 0,48 \text{ м}$	

Позиция №
в плане издания
учебной литературы
МГУ на 2007 г.

Борис Иванович Друзь, Иван Борисович Друзь,
Алексей Сергеевич Огай
**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКИМ РАБОТАМ
ПО ГИДРОМЕХАНИКЕ И ГИДРАВЛИКЕ
«РАСЧЕТ ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА»**

10,1 уч.–изд. л.

Формат 60×84 $\frac{1}{6}$

Тираж 200

Заказ №

Отпечатано в ИПК МГУ им. адм. Г. И. Невельского
Владивосток, 59, ул. Верхнепортовая, 50^а