

АВТОРСКАЯ РЕДАКЦИЯ

В.И.Сологаев

**ЗАДАЧИ
ПО ГИДРАВЛИКЕ
(МЕХАНИКЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА)**

Омск 2016

ББК 24.62
С 60
УДК 532+533

УДК 532+533

Сологаев Валерий Иванович

Задачи по гидравлике (механике жидкости и газа): Учебное пособие. — Омск: Авторская редакция, 2016. — 24 с. — Электронное стереотипное издание.

ISBN

Учебное пособие является вспомогательным материалом при изучении основ гидравлики и аэродинамики (механики жидкости и газа). Оно содержит задачи, наиболее характерные для строительной практики. Кроме текста задач приводятся необходимые формулы и закономерности в виде краткого предисловия к каждой теме. Имеются необходимые справочные данные, алфавитно-предметный указатель и пример решения задачи.

Табл. 2. Библиогр. 6 назв.

ISBN

© Сологаев В.И., 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Что такое механика жидкости и газа	5
Как пользоваться учебным пособием	5
Как решать и оформлять задачи	5
Гидравлика (механика жидкости)	6
Физические свойства жидкости	6
Теория и формулы	6
Задачи по физическим свойствам жидкости	7
Гидростатика	8
Теория и формулы	8
Задачи по гидростатике.....	9
Гидродинамика	11
Теория и формулы	11
Задачи по гидродинамике.....	14
Фильтрация	17
Теория и формулы	17
Задачи по фильтрации.....	18
Аэродинамика (механика газа)	19
Теория и формулы	19
Задачи по аэродинамике.....	21
Советы студентам	22
Литература для студентов	22
Алфавитно-предметный указатель	23
Пример решения задачи	24

Справочные данные

ПЛОТНОСТЬ ρ И ВЯЗКОСТЬ ν ВОДЫ

$t, ^\circ\text{C}$	+10	+20	+30	+40	+50
$\rho, \text{кг/м}^3$	999,73	998,23	995,67	992,24	988,07
$\nu, \text{см}^2/\text{с}$	0,01306	0,01006	0,00805	0,00659	0,00556

НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Ускорение свободного падения $g = 9,80665 \approx 10 \text{ м/с}^2$

Давление атмосферное (на уровне моря) $p_{\text{атм}} = 101325 \text{ Па} \approx 100000 \text{ Па}$

Газовая постоянная для воздуха $R_g = 287 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$

РАЗМЕРНОСТИ ВЕЛИЧИН В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ИЗМЕРЕНИЯ

Величина	СИ	Перевод в другие единицы
Длина	м	$1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 1000 \text{ мм}$
Площадь	м^2	$1 \text{ м}^2 = 10^4 \text{ см}^2 = 10^6 \text{ мм}^2$
Объём	м^3	$1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ см}^3 = 1000 \text{ л}$
Масса	кг	$1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$
Сила, вес	Н	$10 \text{ Н} \approx 1 \text{ кгс} = 10^{-3} \text{ тс}$
Плотность	кг/м^3	$1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ г/см}^3$
Удельный вес	Н/м^3	$10^4 \text{ Н/м}^3 = 1 \text{ тс/м}^3$
Вязкость кинематическая	$\text{м}^2/\text{с}$	$1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$
Давление	$\text{Па} =$ $= \text{Н/м}^2$	$100000 \text{ Па} \approx 1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10 \text{ м}$ $\text{вод.ст.} = 760 \text{ мм рт.ст.}$

Введение

Что такое механика жидкости и газа

Механика жидкости и газа (МЖГ) — это наука, изучающая закономерности покоя и движения жидкостей и газов. Студенты строительных специальностей изучают прикладную МЖГ, то есть те её закономерности, которые имеют практическое значение в области строительства.

Термин «механика жидкости и газа» имеет следующие синонимы:

- гидравлика и аэродинамика;
- гидрогазодинамика;
- техническая гидродинамика и газовая динамика.

«Гидро...» подразумевает воду, в общем случае — жидкость. «Аэро...» — воздух, в общем случае — газ. В строительстве чаще всего основные расчёты, касающиеся жидкости и газа, связаны с водой и воздухом.

Как пользоваться учебным пособием

Прежде всего надо просмотреть его целиком и обратить внимание на различные вспомогательные разделы:

- справочные данные (с. 4);
- алфавитно-предметный указатель (с. 23);
- пример решения задачи (с. 24).

Затем обратить внимание на то, что задачи сгруппированы по тематическим разделам и перед каждой группой имеется «теория», то есть необходимый минимум формул и закономерностей для решения задач.

Если же такая «теория» покажется слишком краткой, тогда нужно обратиться к более объёмистым книгам и учебникам, список которых приведён в конце пособия под названием "Литература для студентов". Эта литература имеется в библиотеке СибАДИ. В действительности же книг по МЖГ великое множество. По возможности используйте и другие учебники. Подойдут и старые учебники, но с ними осторожней — ведь единицы измерения в них тоже старые, не в СИ. Впрочем, ничего страшного, ведь во многих наших задачах условие специально задано в старых единицах. Правила перевода одних единиц в другие см. с. 4.

Как решать и оформлять задачи

Решение задачи рекомендуется приводить с пояснительным рисунком. Вычисления записываются в такой последовательности:

- формула;
- численные значения в ней;
- ответ с указанием размерности.

Например,

$$V_2 = \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \cdot V_1 = \left(\frac{0,02}{0,01} \right) \cdot 1 = 4 \text{ м / с} .$$

Оформляются задачи на листах писчей бумаги форматом А4 (210х297). Первый лист — титульный. За образец титульного листа можно взять первую страницу данного пособия. Только вместо ФИО автора вписать своё, ниже добавить номер своей группы и фамилию проверяющего. Например,

Проверил профессор Сологаев В.И.

Со второй страницы приводятся решения задач. Над каждой задачей указывается её шифр, например, "Задача 10-2", где 10 — номер задачи, а 2 — вариант исходных данных в ней.

Пример решения задачи дан на с. 24.

Гидравлика (механика жидкости)

Гидравликой называется раздел механики жидкости и газа, изучающий закономерности покоя и движения жидкостей.

Физические свойства жидкости

Теория и формулы

Плотность ρ — это масса единицы объёма жидкости (кг/м^3)

$$\rho = \frac{m}{V} ,$$

где m — масса, кг ; V — объём, м^3 .

Удельный вес γ — это вес единицы объёма жидкости (Н/м^3)

$$\gamma = \frac{G}{V} ,$$

где G — вес (сила тяжести), Н ; V — объём, м^3 .

Связаны удельный вес и плотность через ускорение свободного падения $g = 9,81 \approx 10 \text{ м/с}^2$ так :

$$\gamma = \rho g .$$

Вязкость динамическая μ , $\text{Па} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

Вязкость кинематическая

$$\nu = \mu / \rho , \quad \text{м}^2 / \text{с} .$$

Справочные данные по плотности и вязкости воды, а также по переводу единиц в различные системы измерения приведены на с. 4.

Задачи по физическим свойствам жидкости

ЗАДАЧА № 1

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$\rho, \text{ кг/м}^3$	700	750	800	850	900
$G, \text{ кН}$	80	90	100	110	120

Плотность нефти равна $\rho, \text{ кг/м}^3$. Определить её удельный вес γ в единицах СИ и подсчитать, какой объём занимает нефть весом $G, \text{ кН}$.

ЗАДАЧА № 2

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$\nu, \text{ см}^2/\text{с}$	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32
$\gamma, \text{ кН/м}^3$	6,87	7,36	7,85	8,34	8,83

Кинематическая вязкость жидкости равна $\nu, \text{ см}^2/\text{с}$. Определить её динамическую вязкость в единицах СИ, если удельный вес жидкости равен $\gamma, \text{ кН/м}^3$.

ЗАДАЧА № 3

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$V, \text{ л}$	10	20	30	40	50
$\rho, \text{ кг/м}^3$	800	850	900	950	1000

Объём ёмкости $V, \text{ литров}$. Сколько будет *весить* она, если её заполнить жидкостью плотностью $\rho, \text{ кг/м}^3$. Собственный вес ёмкости 2 кгс. Ответ дать в СИ.

Гидростатика

Гидростатика — это раздел гидравлики (механики жидкости), изучающий покоящиеся жидкости.

Теория и формулы

Давление в системе СИ измеряется в паскалях: $Па = Н / м^2$.

Связь единиц давления в различных системах измерения такая:

$$100000 Па = 0,1 МПа = 1 кгс/см^2 = 1 ат = 10 м вод. ст.$$

Полное давление в жидкости p равно сумме внешнего давления на жидкость p_o и давления веса столба жидкости $p_{жс}$, то есть

$$p = p_o + p_c = p_o + \gamma h ,$$

где h — высота столба жидкости над точкой (глубина её погружения).

В частном случае для открытых резервуаров, сообщающихся с атмосферой, внешнее давление на жидкость p_o равно атмосферному давлению

$$p_{атм} = 101325 Па \approx 1 ат.$$

Избыточное давление (манометрическое) есть разность между полным и атмосферным давлением ($p_{изб} = p_{ман}$).

Пьезометрическая высота h_p связана с избыточным давлением так:

$$p_{изб} = \gamma h_p .$$

Закон Архимеда о подъёмной (архимедовой) силе F_n , действующей на погруженное в жидкость тело, имеет вид

$$F_n = \gamma V_m ,$$

где V_m — объём жидкости, вытесненной телом.

Гидростатический напор

$$H = z + h_p = z + \frac{p_{изб}}{\gamma} ,$$

где z — геометрический напор или высота точки над нулевой горизонтальной плоскостью отсчёта напора. Напор измеряется в метрах по высоте (по вертикали).

Задачи по гидростатике

ЗАДАЧА № 4

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$p_{ман}, \text{кгс/см}^2$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

На водопроводной трубе установлен манометр, который показывает давление $p_{ман}$, кгс/см^2 . Какой пьезометрической высоте соответствует это давление и чему равно полное давление в трубе в единицах СИ ?

ЗАДАЧА № 5

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$h, \text{м}$	1	2	3	4	5

Определить силу, действующую на горизонтальный люк диаметром 1 метр, расположенный на глубине h , м от поверхности воды в днище открытого резервуара.

ЗАДАЧА № 6

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$h, \text{м}$	3	4	5	6	7

Найти полное и избыточное давления в точке дна открытого резервуара, наполненного водой, если глубина воды в нём равна h , м.

ЗАДАЧА № 7

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$d, м$	2	3	4	3,6	2,4
$h, м$	1	2	3	2,5	1,5
$G, кН$	100	50	150	120	130

Резервуар с круглым дном диаметром $d, м$ и с вертикальными стенками высотой 4 метра вкопан в землю на всю высоту. Уровень грунтовых вод располагается на глубине $h, м$ от поверхности земли. Собственный вес резервуара равен $G, кН$. Проверить резервуар на всплытие.

ЗАДАЧА № 8

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$h_1, м$	8	7	6	5	4
$h_2, м$	2	1,5	2,2	1,8	1,4
$h_3, м$	1	0,5	1	0,5	1

Днище открытого бака с водой находится на расстоянии $h_1, м$ над поверхностью земли. Глубина воды в баке равна $h_2, м$. Найти гидростатический напор относительно поверхности земли для точки, находящейся на глубине $h_3, м$ от уровня воды в баке.

ЗАДАЧА № 9

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$p_{ман}, кгс/см^2$	2	3	4	5	6

На горизонтальной водопроводной трубе установлен манометр, показывающий давление $p_{ман}, кгс/см^2$. Определить гидростатический напор в трубе относительно её оси (радиусом трубы пренебречь).

Гидродинамика

Гидродинамика — это раздел гидравлики (механики жидкости), изучающий закономерности движущихся жидкостей (потоков жидкостей).

Теория и формулы

Все потоки жидкости подразделяются на :

- 1) напорные (без свободной поверхности);
- 2) безнапорные (со свободной поверхностью).

Все потоки имеют общие гидравлические элементы: линии тока, живое сечение, расход, скорость.

Площадь живого сечения потока ω — это площадь поперечного сечения потока.

Расход потока q (или Q) — это объём жидкости V_0 , проходящей через живое сечение потока в единицу времени t :

$$q = V_0/t.$$

Единицы измерения расхода в СИ $\text{м}^3/\text{с}$, а в других системах: $\text{м}^3/\text{ч}$, $\text{м}^3/\text{сут}$, $\text{л}/\text{с}$.

Средняя скорость потока V это частное от деления расхода потока на площадь живого сечения ($\text{м}/\text{с}$):

$$V = q/\omega.$$

Режимы движения всех потоков (напорных и безнапорных) делятся на два типа:

- 1) ламинарный (спокойный, параллельноструйный, при малых скоростях) при $Re < Re_{кр}$;
- 2) турбулентный (бурлящий, вихреобразный, с водоворотами, при больших скоростях) при $Re > Re_{кр}$.

Число Рёйнольдса Re — это безразмерный критерий, вычисляемый по формулам:

— для напорных потоков

$$Re = Vd/\nu,$$

где d — внутренний диаметр напорного трубопровода;

— для безнапорных потоков

$$Re = VR/\nu,$$

где R — гидравлический радиус безнапорного потока, м .

Гидравлический радиус — это отношение вида

$$R = \omega / \chi ,$$

где χ — смоченный периметр, м.

Смоченный периметр χ — это часть периметра живого сечения потока, где жидкость соприкасается с твёрдыми стенками.

Критическое число Рейнольдса $Re_{кр}$ — это число Рейнольдса, при котором наступает смена режима движения.

Для напорных потоков

$$Re_{кр} = 2320 ,$$

для безнапорных потоков

$$Re_{кр} \approx 500 .$$

Гидродинамический напор определяется по формуле

$$H = z + h_p + h_v = z + \frac{p_{изб}}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} ,$$

где h_v — скоростной напор, м;

V — скорость потока, м/с.

Уравнение Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{p_{изб1}}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_{изб2}}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H ,$$

где ΔH — потеря напора (или разность напоров) между первым (начальным) и вторым (конечным) сечениями потока.

Движение жидкости происходит под влиянием разности напоров, от большего напора к меньшему.

Расчёт напорных потоков сводится к нахождению неизвестных расходов q , скоростей V или потерь напора (разности напоров) ΔH . Для трубопроводов определяются их внутренние диаметры d .

Потери напора (или разность напоров) определяются по формуле Вейсбаха

$$\Delta H = \zeta \frac{V^2}{2g} ,$$

где ζ — коэффициент гидравлического сопротивления.

При вычислении по формуле Вейсбаха потерь напора на прямолинейных участках трубопроводов (линейных потерь напора) h_l коэффициент гидравлического сопротивления находится так:

$$\zeta_l = \lambda l / d ,$$

где λ — коэффициент гидравлического трения;
 l — длина прямолинейного участка трубопровода.

Коэффициент гидравлического трения λ зависит от режима движения потока.

При ламинарном режиме

$$\lambda = 64 / \text{Re}.$$

При турбулентном режиме

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25},$$

где Δ — абсолютная шероховатость стенок трубопроводов. Например, у старых стальных труб $\Delta \approx 1,5 \text{ мм}$.

Местные потери напора h_m на участках поворотов трубопроводов, на кранах, задвижках и вентилях вычисляются по формуле Вейсбаха, а коэффициент гидравлического сопротивления ζ_m находится для конкретного случая (поворота, крана и т.д.) по справочникам.

Общие потери напора ΔH складываются из суммы линейных h_l и местных h_m потерь напора.

Гидравлическим уклоном i называется отношение линейных потерь напора h_l к длине потока l :

$$i = h_l / l.$$

Расчёт безнапорных потоков производится по формуле Шези́ для геометрических уклонов потока

$$i_{\text{geom}} = \frac{V^2}{R \cdot C^2},$$

где C — коэффициент Шези.

Коэффициент Шези можно определить по формуле:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6},$$

где n — коэффициент шероховатости стенок трубы или канала;

R — гидравлический радиус, подставляемый в метрах.

Задачи по гидродинамике

ЗАДАЧА № 10

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$q, \text{ л/с}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

Поток воды движется по напорному трубопроводу диаметром 40 мм с расходом $q, \text{ л/с}$. Определить среднюю скорость потока при переходе на диаметр вдвое меньший.

ЗАДАЧА № 11

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$q, \text{ л/с}$	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
$p_{\text{ман}}, \text{ кгс/см}^2$	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5

По горизонтальной трубе диаметром 20 мм движется вода с расходом $q, \text{ л/с}$. Манометр показывает давление $p_{\text{ман}}, \text{ кгс/см}^2$. Определить гидродинамический напор воды в трубе относительно её оси.

ЗАДАЧА № 12

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$p_1, \text{ кгс/см}^2$	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
$V_1, \text{ м/с}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$V_2, \text{ м/с}$	21	22	23	24	25

В водоструйном насосе избыточное давление на подходе рабочей жидкости (воды) составило $p_1, \text{ кгс/см}^2$ при скорости потока $V_1, \text{ м/с}$. Определить избыточное давление в струе сопла, если скорость в ней составила $V_2, \text{ м/с}$ (использовать уравнение Бернулли, пренебрегая потерями напора).

ЗАДАЧА № 13

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$d, \text{ мм}$	15	20	25	32	40
$q, \text{ л/с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Какой режим движения воды будет при температуре $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ в круглой напорной трубе диаметром $d, \text{ мм}$, если расход равен $q, \text{ л/с}$?

ЗАДАЧА № 14

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$d, \text{ мм}$	40	32	25	20	15

По напорной трубе диаметром $d, \text{ мм}$ движется вода, температура которой составляет $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определить расход в л/с , при котором наступает смена режима движения.

ЗАДАЧА № 15

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$l, \text{ м}$	100	200	300	400	500
$V, \text{ м/с}$	0,6	0,9	0,6	0,9	0,6
$\nu, \text{ см}^2/\text{с}$	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2

Определить потерю напора при движении нефти по прямолинейному участку напорной трубы диаметром 50 мм , длиной $l, \text{ м}$ со скоростью $V, \text{ м/с}$. Коэффициент кинематической вязкости нефти $\nu, \text{ см}^2/\text{с}$.

ЗАДАЧА № 16

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$l, \text{ м}$	50	60	70	80	90
$t, ^\circ\text{C}$	10	20	30	40	50

По прямолинейному участку трубы диаметром 40 мм с абсолютной шероховатостью стенок $\Delta = 1,2 \text{ мм}$ перекачивают воду со скоростью 1,2 м/с. Найти потерю напора, если длина трубы $l, \text{ м}$ и температура воды $t, ^\circ\text{C}$.

ЗАДАЧА № 17

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$d, \text{ мм}$	50	100	50	100	50
$q, \text{ л/с}$	2,0	9,0	2,6	10,0	3,0

В середине прямолинейного участка напорной трубы диаметром $d, \text{ мм}$ и длиной 100 м установлена задвижка с коэффициентом гидравлического сопротивления $\zeta_m = 4$. Расход жидкости в трубе $q, \text{ л/с}$, а коэффициент гидравлического трения $\lambda = 0,036$. Найти общую (суммарную) потерю напора.

ЗАДАЧА № 18

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$l, \text{ м}$	20	17	15	12	10
i	0,11	0,15	0,21	0,27	0,35

Гидравлический уклон у горизонтального напорного трубопровода длиной $l, \text{ м}$ равен i . Определить потерю напора и построить напорную линию с трубопроводом в масштабе 1:100 при условии, что начальный напор на этом участке трубопровода составляет относительно оси трубы 15 м.

ЗАДАЧА № 19

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Определить режим движения жидкости с вязкостью $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ в лотке прямоугольного сечения при расходе потока $q, \text{ м}^3/\text{с}$. Ширина лотка 1 м, глубина безнапорного потока в нём 0,5 м.

ЗАДАЧА № 20

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$d, \text{ мм}$	100	150	200	250	300

Рассчитать уклон канализационной трубы, если скорость потока в ней $V = 1,5 \text{ м/с}$, диаметр $d, \text{ мм}$, коэффициент шероховатости стенок $n = 0,013$. Поток заполняет сечение трубы наполовину.

Фильтрация

Фильтрацией называется движение жидкостей или газов в пористых средах.

Теория и формулы

Движение потока при фильтрации происходит под влиянием разности напоров ΔH , от большего напора к меньшему.

Фильтрационный напор H находится как гидростатический

$$H = z + h_p = z + \frac{p_{изб}}{\gamma}.$$

Фильтрующими средами называются те грунты или материалы, у которых поры сообщаются между собой (незамкнутые).

Водоупором называют грунт, практически не пропускающий воду.

Закон Дарси (основной закон фильтрации) связывает скорость фильтрации V_ϕ с коэффициентом фильтрации пористой среды k_ϕ , разностью напоров ΔH и длиной пути фильтрации l так:

$$V_\phi = k_\phi \frac{\Delta H}{l}.$$

Приток грунтовых вод, фильтрующихся в котлован, колодец или скважину, можно определить по формуле

$$Q = \frac{\pi k_{\phi} (H_e^2 - H_k^2)}{\ln(R_t/r_k)},$$

где H_e —естественный напор в грунтовых водах (их мощность);

H_k —напор в котловане (слой воды в котловане);

R_t —радиус влияния откачки;

r_k —радиус котлована.

Величину R_t можно найти так:

$$R_t = r_k + 1,5 \sqrt{\frac{k_{\phi} H_e t}{\mu_e}},$$

где t — время от начала откачки, *сут*; μ_e — коэффициент водоотдачи грунта.

Задачи по фильтрации

ЗАДАЧА № 21

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$h, м$	2	3	4	5	6

В бетонном резервуаре глубина воды составляет $h, м$. Площадь дна $100 м^2$, толщина $0,2 м$, коэффициент фильтрации бетона $0,001 м/сут$. Под резервуаром имеется доступ воздуха. Определить, насколько понизится уровень воды в резервуаре за сутки при фильтрации воды в днище.

ЗАДАЧА № 22

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$k_{\phi}, м/сут$	10	12	14	16	18
μ_e	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25

Определить приток грунтовых вод в котлован размером в плане $20 на 20 метров$ и глубиной $6 метров$, из которого производится откачка. Дно котлована доходит до водоупора. Мощность грунтовых вод $H_e=5 м$, коэффициент фильтрации грунта $k_{\phi}, м/сут$, коэффициент его водоотдачи μ_e . Время от начала откачки $t = 12 сут$. Уровень воды в котловане совпадает с поверхностью водоупора.

ЗАДАЧА № 23

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$L, м$	10	15	20	25	30
$\delta, мм$	200	300	400	500	600

Через стену подвала длиной L , м и толщиной δ , мм просочилось $25 м^3$ воды за *сутки*, причём с наружной стороны стены уровень грунтовых вод находится на *2 метра* выше уровня пола подвала, по которому растеклась вода. Найти коэффициент фильтрации материала стены в *м/сут*.

Аэродинамика (механика газа)

Аэродинамикой называется раздел механики жидкости и газа, изучающий закономерности покоя и движения газов.

Теория и формулы

В области строительства аэродинамические расчёты связаны главным образом с воздухом.

Плотность воздуха ρ , $кг/м^3$ в зависимости от температуры можно определить по формуле Клапейрона:

$$\rho = \frac{p_{атм}}{R_g T} \quad ,$$

где $R_g = 287 \text{ Дж}/(кг \cdot K)$ — газовая постоянная для воздуха;

T — абсолютная температура воздуха в градусах Кельвина (K), вычисляемая через температуру в градусах Цельсия t° по формуле

$$T = t^\circ + 273^\circ.$$

На практике движение воздуха подобно движению несжимаемой жидкости (как в гидравлике). Разница состоит лишь в физических свойствах (плотности, вязкости) и в использовании для газа величин давления вместо напора.

Определения площади живого сечения ω , $м^2$, расхода потока Q , $м^3/с$, скорости потока V , $м/с$, можно использовать гидравлические (см. с. 11), заменив слово "жидкость" на "газ".

Для трубопроводов, каналов и воздухопроводов круглого сечения расчётным геометрическим параметром является внутренний диаметр d . Если сечение

некруглое, то его приводят к условно круглому с эквивалентным диаметром $d_э$ по формуле:

$$d_э = 4\omega/\chi ,$$

где χ — полный периметр сечения (как для напорной трубы).

Потери давления Δp_{nom} в воздуховоде или газопроводе могут быть найдены по формуле Вейсбаха для газа

$$\Delta p_{nom} = \zeta \frac{\rho V^2}{2} ,$$

где ζ — коэффициент гидравлического сопротивления такой же, как и для жидкости (см. с. 12), только в случае некруглого сечения надо использовать величину эквивалентного диаметра $d_э$ вместо d .

Общие потери давления Δp_{nom} складываются из суммы линейных Δp_l и местных Δp_m потерь, находимых по формуле Вейсбаха для газа.

Работа печных труб и вентиляционных систем зданий, удаляющих дым и несвежий воздух из помещений, основана на естественной тяге Δp_e — разности давлений внутри и снаружи, Па.

Естественная тяга находится по формуле

$$\Delta p_e = gh(\rho_n - \rho_v),$$

где h — высота печной (дымовой) трубы или вентиляционной шахты;

ρ_n — плотность наружного (холодного) воздуха;

ρ_v — плотность внутреннего (тёплого) воздуха.

Ветровое давление можно вычислить по формуле

$$p_{ветр} = k_в C_{aэp} \frac{\rho V^2}{2} ,$$

где $k_в \approx 1$ — коэффициент изменения ветрового давления по высоте;

$C_{aэp}$ — аэродинамический коэффициент (безразмерный);

$\rho \approx 1,22 \text{ кг/м}^3$ — плотность воздуха, принимаемая в строительных расчётах;

V — скорость ветра, м/с.

Аэродинамический коэффициент $C_{aэp}$ имеет значения между 1 и 0 (по абсолютной величине). Он характеризует условия обтекания здания или сооружения ветром. В строительных расчётах его принимают в виде констант. Например, для наветренной (фронтальной) стены дома $C_{aэp} = +0,8$, а с противоположной (подветренной) стороны дома $C_{aэp} = -0,6$. Знак минус указывает, что давление ветра направлено от стены.

Задачи по аэродинамике

ЗАДАЧА № 24

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	20	20	20	20	20
$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	-20	-10	0	5	10

Определить естественную тягу вентиляционной шахты высотой $h = 10$ м, если температура воздуха в помещении $t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$, а снаружи $t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$.

ЗАДАЧА № 25

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$h, \text{м}$	10	12	14	16	18
l	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06

Определить потери давления в вентиляционной шахте сечением 140x140 мм, высотой $h, \text{м}$, при скорости движения воздуха в ней $V = 1$ м/с, если сопротивление на входе в шахту $\zeta_{\text{вх}} = 0,5$, а на выходе из неё $\zeta_{\text{вых}} = 1$. Коэффициент гидравлического трения стенок шахты λ .

ЗАДАЧА № 26

Исходные данные	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
$V, \text{м/с}$	20	25	30	35	40

Определить, с какой *силой* действует ветер на щит размером 2x2 м. Скорость ветра равна $V, \text{м/с}$, коэффициент ветрового давления $k_{\text{в}} = 1$, а температура воздуха составляет $-40 ^\circ\text{C}$.

Советы студентам

Рассматривая условия задач, вы, вероятно, удивились: а где же ответы к задачам в конце книги ?

Их нет! Вернее, они не приведены, так как на практике нет заранее известных ответов. Поэтому вы, будущие инженеры-строители, должны сразу, с первых курсов, привыкать именно к такой постановке задач и решать их внимательно.

Наиболее распространённая студенческая ошибка при решении задач — подстановка размерностей величин в формулах в разных системах измерения. Такие ошибки приводят к нелепым результатам, часто на несколько порядков отличающихся от истинных значений.

Получившиеся ответы первым делом оценивайте интуитивно, задаваясь вопросом: а реальная ли это величина? Поверьте — это неплохой самоконтроль!

Литература для студентов

1. Сологаев В.И. Программа по механике жидкости и газа / СибАДИ. — Омск, 1995. — 4 с.
2. Сологаев В.И. Гидравлика (механика жидкости и газа): Конспекты лекций / СибАДИ —Омск, 2009. — 56 с.
3. Сологаев В.И. Конспекты лекций по гидравлике / ОмПИ — Омск, 1991. — 36 с.
4. Сологаев В.И. Конспекты лекций по аэродинамике / ОмПИ — Омск, 1992. — 28 с.
5. Сборник задач по гидравлике / Под. ред. В.А.Большакова. — Киев: Вища школа, 1979. — 336 с.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика. — Л.: Энергоиздат, 1982. — 672 с.

Алфавитно-предметный указатель

- Аэродинамика 19
- Вязкость динамическая 6
 - кинематическая 6
- Водоупор 17
- Гидравлика 6
- Гидравлический радиус 11, 13
- Гидродинамика 11
- Гидростатика 8
- Давление атмосферное 4
 - ветровое 20
 - внешнее 8
 - избыточное 8
 - манометрическое 8
 - полное 8
- Диаметр эквивалентный 20
- Естественная тяга 20
- Закон Архимеда 8
 - Дарси 17
- Коэффициент аэродинамический 20
 - водоотдачи 18
 - гидравлического сопротивления 12, 19
 - — трения 13
 - изменения ветрового давления по высоте 20
 - фильтрации 17
 - шероховатости 13
- Ламинарный режим 11
- Напор гидродинамический 12
 - гидростатический 8
 - фильтрационный 17
- Плотность 6, 19
- Потери давления общие 20
 - — линейные 20
 - — местные 20
- Потери напора общие 13
 - — линейные 13
 - — местные 13
- Радиус влияния откачки 18
- Разность давлений 20
 - напоров 12, 17
- Режимы движения 11
- Смоченный периметр 12
- Турбулентный режим 11
- Удельный вес 6
- Уклон гидравлический 13
- Уравнение Бернулли 12
- Фильтрация 17
- Формула Вейсбаха 12, 20
 - Клапейрона 19
 - Шези 13
- Число Рейнольдса 11
 - — критическое 12
- Шероховатость абсолютная 13

Пример решения задачи

ЗАДАЧА № 27-1

Исходные данные

Найти пропускную способность грунтовой канавы шириной 1 м, если глубина воды в ней 0,2 м, а продольный уклон её дна $i_{geom} = 0,005$. Коэффициент шероховатости грунта $n = 0,025$.

Решение

Рассчитываем безнапорный поток по формуле Шези.

Гидравлический радиус потока

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{1 \cdot 0,2}{0,2 + 1 + 0,2} = 0,143 \text{ м}.$$

Коэффициент Шези

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} = \frac{1}{0,025} \cdot 0,143^{1/6} = 28,9.$$

Из формулы Шези скорость потока

$$V = C \sqrt{i_{geom}} R = 28,9 \cdot \sqrt{0,005 \cdot 0,143} = 0,773 \text{ м/с}.$$

Пропускная способность канавы (расход)

$$Q = V\omega = 0,773 \cdot 1 \cdot 0,2 = 0,154 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Сологаев Валерий Иванович

ЗАДАЧИ ПО МЕХАНИКЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Учебное пособие

АВТОРСКАЯ РЕДАКЦИЯ