

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В КУРСЕ ГИДРАВЛИКИ.....	6
1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ.....	10
ПРИМЕРЫ	12
2. ГИДРОСТАТИКА	15
2.1. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ	15
ПРИМЕРЫ	16
2.2. СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ	29
ПРИМЕРЫ	31
2.3. СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ	50
ПРИМЕРЫ	51
2.4. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ	79
ПРИМЕРЫ	81
3. УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ	93
3.1. УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ БЕЗ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ	93
ПРИМЕРЫ	93
3.2. УРАВНЕНИЕ Д. БЕРНУЛЛИ С УЧЕТОМ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ.....	111
ПРИМЕРЫ	115
4. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ И НАСАДКОВ.....	176
4.1. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ ОТВЕРСТИЙ.....	176
4.2. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ИЗ НАСАДКОВ	178
ПРИМЕРЫ	179
ПРИЛОЖЕНИЕ	197
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	208

ВВЕДЕНИЕ

«Решебник по гидравлике» составлен в соответствии с Государственным образовательным стандартом по дисциплине «Гидравлика» и предназначен в качестве дополнительного материала к основной учебной литературе для студентов, обучающихся по профилю подготовки бакалавров строительных специальностей университета.

Решебник является дополнением к «Задачнику по гидравлике с примерами расчетов» автора Е. А. Крестина, изданному в 2012 г. с грифом Минобрнауки РФ для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Строительство». Основное назначение задачника — помочь студентам при решении задач по гидростатике и гидродинамике.

Структура решебника повторяет основные теоретические положения задачника для того, чтобы при изучении и освоении основных разделов дисциплины читатель смог использовать расчетные формулы и законы механики жидкости и газа.

В решебнике изложены типовые задачи по каждому разделу гидравлики: основные физические свойства жидкости, гидростатическое давление, сила гидростатического давления на плоские и криволинейные поверхности, плавание тел, уравнение Бернулли без учета и с учетом потерь напора (энергии), истечение жидкости из отверстий и насадков. Указанные разделы являются общими для всех строительных специальностей университета. Такое построение решебника подчеркивает его основное назначение — служить пособием для самостоятельного решения задач и закреплять практические навыки при расчетах.

Решение задач во всех разделах приводится по способам, рекомендуемым в учебниках соответствующих специальностей. При составлении решебника был использован материал из базовых задачников по гидравлике: «Примеры расчетов по гидравлике» (под ред. А. Д. Альтшуля. — М. : Стройиздат, 1976), «Задачник по гидравлике» (под ред. И. И. Агроскина. — М. ; Л. : Энергия, 1976),

«Сборник задач по гидравлике» (под ред. В. А. Большакова. — Киев : Вища школа, 1979).

Для приобретения навыка перевода единиц измерения при решении задач наряду с основными единицами международной системы (СИ) также использованы системы МКГСС и СГС.

Справочный материал, используемый при гидравлических расчетах, приведен в приложении в виде таблиц.

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В КУРСЕ ГИДРАВЛИКИ

- C — скоростной множитель (коэффициент Шези);
- D, d — диаметр;
- d_s — эквивалентный диаметр;
- E — энергия;
- E_0 — модуль упругости;
- E_k — кинетическая энергия;
- E_p — потенциальная энергия;
- e — удельная энергия потока;
- F — сила трения;
- Fr — число Фруда;
- G — вес (сила тяжести);
- g — ускорение силы тяжести;
- H — геометрический напор;
- H_0 — гидродинамический напор (с учетом скоростного напора);
- h — глубина потока;
- $h_d; \text{уд}$ — заглубление центра давления;
- h_l — потери удельной энергии (потери напора) по длине;
- h_p — пьезометрическая высота;
- h_v — скоростной напор;
- h_w — суммарные потери удельной энергии (потери напора);
- h_m — метацентрическая высота;
- $\sum h_m$ — суммарные местные потери удельной энергии (потери напора);
- $h_C; h_{\Pi}; \text{уц}$ — глубина погружения центра тяжести смоченной поверхности плоской фигуры под уровнем жидкости;
- I — гидравлический уклон;
- I_p — пьезометрический уклон;
- $J_x I_x$ — момент инерции (относительно оси x);

- J_x, I_o — момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести;
- i_e — средний гидравлический уклон;
- i_p — средний пьезометрический уклон;
- K — расходная характеристика;
- L, l — длина;
- m, M — масса;
- n — коэффициент шероховатости;
- P — сила;
- P_x — составляющая сила по оси x ;
- P_y — составляющая сила по оси y ;
- P_z — составляющая сила по оси z ;
- P_0 — сила внешнего давления;
- P_1 — сила избыточного давления;
- p — давление в точке;
- p_{atm}, p_a — атмосферное давление;
- p — полное давление в точке;
- p_0 — внешнее давление в точке;
- p_m — избыточное или манометрическое давление в точке;
- p_{vac} — вакуум;
- Q — расход; количество теплоты;
- q — удельный расход на единицу ширины потока;
- R — гидравлический радиус;
- r, R — геометрический радиус;
- Re — число Рейнольдса;
- S — площадь соприкосновения двух смежных слоев жидкости;
- S_x — статический момент (относительно оси x);
- T, t — время;
- T° — температура, $^\circ\text{K}$;

- t° — температура, $^\circ\text{C}$;
 u — местная скорость;
 \bar{u} — осредненная местная скорость;
 u' — пульсационная составляющая местной скорости, т. е. $u = \bar{u} + u'$;
 V — средняя скорость в сечении;
 V_{\min} — минимальная скорость (незаиляющая);
 $V_{\text{доп}}$ — допускаемая скорость (неразмывающая);
 $V_{\text{в. к}}$ — верхняя критическая скорость;
 $V_{\text{н. к}}$ — нижняя критическая скорость;
 W — скоростная характеристика; объем;
 X, Y, Z — проекции внешних сил, заданные в виде ускорений (отнесенные к единице массы);
 $h_{\text{ц}}, y$ — глубина погружения центра тяжести сечения под свободной поверхностью;
 z — геометрическая высота (отметка точки);
 α — коэффициент кинетической энергии потока (коэффициент Ко-риолиса);
 α_0 — коэффициент количества движения потока (коэффициент Буссинеска);
 α, β — угол в градусах;
 α_p, β_p — угол в радианах;
 γ — удельный вес;
 $k_\omega; \Delta$ — эквивалентная шероховатость;
 δ — толщина слоя; относительный удельный вес;
 ε — коэффициент сжатия струи;
 ζ — коэффициент потерь (коэффициент местного сопротивления);
 χ — смоченный периметр;
 λ — гидравлический коэффициент трения (коэффициент Дарси);
 μ — коэффициент расхода; динамический коэффициент вязкости;

- v — кинематический коэффициент вязкости;
- ρ — плотность (объемная масса);
- τ — удельная сила трения (на единицу поверхности);
- φ — коэффициент скорости;
- Ω — площадь сечения сосуда (емкости);
- ω — площадь живого сечения.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

Основной механической характеристикой жидкости является плотность, определяемая для однородной жидкости отношением ее массы к объему:

$$\rho = \frac{m}{W}^1.$$

Для определения плотности смеси из двух жидкостей используется формула

$$\rho = \frac{\rho_1 \cdot W_1 + \rho_2 \cdot W_2}{W_1 + W_2}.$$

Для нахождения плотности жидкости при различной температуре можно применить зависимость

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + \beta_t \cdot (t - 20)}.$$

Удельным весом однородной жидкости называется вес единицы объема этой жидкости:

$$\gamma = \frac{G}{W}.$$

Относительным удельным весом жидкости называется отношение ее удельного веса к удельному весу пресной воды при температуре 4°C:

$$\delta = \frac{\gamma}{\gamma_{4^\circ}}.$$

Между плотностью и удельным весом существует связь:

$$\gamma = \rho \cdot g.$$

В приложении (табл. П-4) приведены значения плотности воды при разных температурах, а также значения плотности капельных жидкостей при температуре 20°C (табл. П-3).

Коэффициент объемного сжатия — относительное изменение объема жидкости на единицу изменения давления:

$$\beta_W = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta p}.$$

¹ Размерность основных физических величин и их производных, применяемых в гидравлике, приведены в приложении.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия, представляет собой объемный модуль упругости жидкости:

$$E_0 = \frac{1}{\beta_W}.$$

Коэффициент температурного расширения выражает относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на 1°C:

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta t}.$$

Сопротивление жидкостей изменению своей формы характеризуется их динамической вязкостью (внутренним трением). Отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности называется кинематической (относительной) вязкостью:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Причем обычному представлению о вязкости соответствует именно динамическая (абсолютная) вязкость, но никак не кинематическая (относительная).

Поскольку плотности жидкостей на несколько порядков выше, чем у газов, то по величине ν они могут значительно уступать газам. Но это вовсе не значит, что газы в буквальном смысле более вязкие, чем жидкости. Сила внутреннего трения в жидкости на единицу площади определяется по закону Ньютона:

$$\tau = \pm \mu \cdot \frac{du}{dy}.$$

Необходимое количество теплоты для нагрева жидкости составляет:

$$Q \cdot \tau = m \cdot c_{\text{Ж}} \cdot \Delta t,$$

где τ — время нагрева;

m — масса жидкости;

$c_{\text{Ж}}$ — удельная теплоемкость жидкости;

Δt — разница температур.

В случае теплообмена с окружающей средой количество теплоты определяется по формуле

$$Q \cdot \tau = m \cdot c_{\text{Ж}} \cdot \Delta t + k \cdot F \cdot \Delta t,$$

где k — коэффициент теплоотдачи;

F — площадь теплоотдачи.

Примеры

Пример 1.1. Определить объем воды, который необходимо дополнительно подать в водовод диаметром $d = 500$ мм и длиной $L = 1$ км для повышения давления до $\Delta p = 5 \cdot 10^6$ Па. Водовод подготовлен к гидравлическим испытаниям и заполнен водой при атмосферном давлении. Деформацией трубопровода можно пренебречь.

Решение. Вместимость водовода:

$$W_B = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} 10^3 = 196,2 \text{ м}^3.$$

Объем воды ΔW , который необходимо подать в водовод для повышения давления, находим из соотношения:

$$\beta_W = \frac{\Delta W}{W \Delta p} = \frac{\Delta W}{(W_B + \Delta W) \Delta p}.$$

По таблице П-7 принимаем:

$$\beta_W = 5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{Н} = \frac{1}{2 \cdot 10^9} \text{ Па}^{-1}.$$

Тогда

$$\Delta W = \frac{W_B \beta_W \Delta p}{1 - \beta_W \Delta p} = \frac{196,2 \cdot 5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9 \left(1 - \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^9} \right)} = 0,493 \text{ м}^3.$$

Ответ: $\Delta W = 0,493 \text{ м}^3$.

Пример 1.2. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится $W = 0,4 \text{ м}^3$ воды. Сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании ее от 20 до 90°C ?

Решение. Плотность воды при температуре 20°C (табл. П-4):

$$\rho_{20^\circ} = 998 \text{ кг/м}^3;$$

масса воды:

$$M = 0,4 \cdot 998 = 399 \text{ кг.}$$

Плотность воды при температуре 90°C (табл. П-4):

$$\rho_{90^\circ} = 965 \text{ кг/м}^3.$$

Объем, занимаемый водой при температуре 90°C, составит

$$W = M/\rho_{90^\circ} = 399/965 = 0,414 \text{ м}^3.$$

Дополнительный объем равняется разнице объемов

$$\Delta W = 0,414 - 0,4 = 0,014 \text{ м}^3.$$

Ответ: $\Delta W = 0,014 \text{ м}^3$.

Пример 1.3. Определить изменение плотности воды при сжатии ее от $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ до $p_2 = 1 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Решение. Коэффициент объемного сжатия β_W принимаем по таблице П-7 равным $5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

Плотность воды $\rho = M/W$. При сжатии воды ее объем W изменяется на ΔW :

$$\Delta W/W = \beta_W \Delta p,$$

где $\Delta p = p_2 - p_1 = 1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^7 = -0,99 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Масса воды сохраняется неизменной, поэтому

$$\begin{aligned} n &= \frac{\rho_{p_2}}{\rho_{p_1}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{W_1}{(1 + \Delta W / W_1)W_1} = \frac{1}{1 + \Delta W / W_1} = \\ &= \frac{1}{1 + \beta_W \Delta p} = \frac{1}{1 - 5 \cdot 10^{-10} \cdot 0,99 \cdot 10^7} = 1,005. \end{aligned}$$

Ответ: $n = 1,005$ раз.

Пример 1.4. Стальной водовод диаметром $d = 0,4 \text{ м}$ и длиной 1 км, расположенный открыто, находится под давлением $p = 2 \cdot 10^6 \text{ Па}$ при температуре воды

$t_1 = 10^\circ\text{C}$. Определить давление воды в водоводе при повышении температуры воды до $t_2 = 15^\circ\text{C}$ в результате наружного прогрева водовода.

Решение. Изменение температуры составляет

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 15 - 10 = 5^\circ\text{C}.$$

Объем водовода равняется

$$W_B = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} 10^3 = 125,6 \text{ м}^3.$$

Увеличение давления в водоводе определяем по формулам

$$\beta_W = \frac{\Delta W}{(W_B + \Delta W) \Delta p} \quad \text{и} \quad \beta_t = \frac{\Delta W}{W_B \Delta t},$$

откуда

$$\Delta p = \frac{\beta_t \Delta t}{(1 + \beta_t \Delta t) \beta_W}.$$

По таблице П-6 находим значение коэффициента температурного расширения:

$$\beta_t \approx 155 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}.$$

По таблице П-7 находим значение коэффициента объемного сжатия:

$$\beta_W = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}.$$

Подставляя полученные значения в формулу, определим изменение давления:

$$\Delta p = \frac{155 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{(1 + 5 \cdot 155 \cdot 10^{-6}) 5 \cdot 10^{-10}} = 155 \cdot 10^4 \text{ Па} = 1550 \text{ кПа}.$$

Давление в водоводе после увеличения температуры составляет

$$p_t = p + \Delta p = 2 \cdot 10^6 + 1,55 \cdot 10^6 = 3,55 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3,55 \text{ МПа}.$$

Ответ: $p_t = 3,55 \text{ МПа}$.

2. ГИДРОСТАТИКА

2.1. Гидростатическое давление

Гидростатическое давление — это внутренняя сжимающая сила, обусловленная действием внешних сил, приложенная в данной точке жидкости. Такое давление по всем направлениям одинаково и зависит от положения точки в покоящейся жидкости.

Размерность гидростатического давления в системе МКГСС — кг/см² или т/м², в системе СИ — Н/м².

Основные соотношения единиц измерения давления представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Параметры	кг/см ²	Н/м ²
Техническая атмосфера	1,00	98066,5
Миллиметр водяного столба	0,0001	9,80665
Миллиметр ртутного столба	0,00136	133,32

При практических расчетах 1 техническая атмосфера = 1 кг/см² = 10 м вод. ст. = 735 мм рт. ст. = 98 070 Н/м².

Для несжимаемой жидкости, находящейся в равновесии под действием силы тяжести, полное гидростатическое давление в точке:

$$p = p_0 + \gamma h,$$

где p_0 — давление на свободной поверхности жидкости;

γh — вес (сила тяжести) столба жидкости высотой h с площадью поперечного сечения, равной единице;

h — глубина погружения точки;

γ — удельный вес жидкости.

Для некоторых жидкостей значения удельного веса, используемые при решении задач, приведены в приложении (табл. П-3).

Величина превышения давления над атмосферным (p_a) называется манометрическим, или избыточным, давлением:

$$p_m = p - p_a = p_0 + \gamma h - p_a.$$

Если давление на свободной поверхности равно атмосферному, то избыточное давление $p_m = \gamma h$.

Недостающая до атмосферного давления величина называется вакуумом:

$$p_{\text{вак}} = p_a - p.$$

Решение большинства задач данного раздела связано с использованием основного уравнения гидростатики:

$$\frac{p}{\gamma} + z = \text{const},$$

где z — координата или отметка точки.

Примеры

Пример 2.1.1. Определить избыточное давление p в забое скважины глубиной $h = 85$ м, которая заполнена глинистым раствором плотностью $\rho = 1250 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Решение. Величину избыточного давления находим по формуле

$$p = \rho \cdot g \cdot h = 1250 \cdot 9,81 \cdot 85 = 1,04 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 1 \text{ МПа.}$$

Ответ: $p = 1 \text{ МПа.}$

Пример 2.1.2. Определить избыточное давление воды в трубе по показаниям батарейного ртутного манометра (рис. 2.1). Отметки уровней ртути от оси трубы: $z_1 = 1,75 \text{ м}$; $z_2 = 3 \text{ м}$; $z_3 = 1,5 \text{ м}$; $z_4 = 2,5 \text{ м}$.

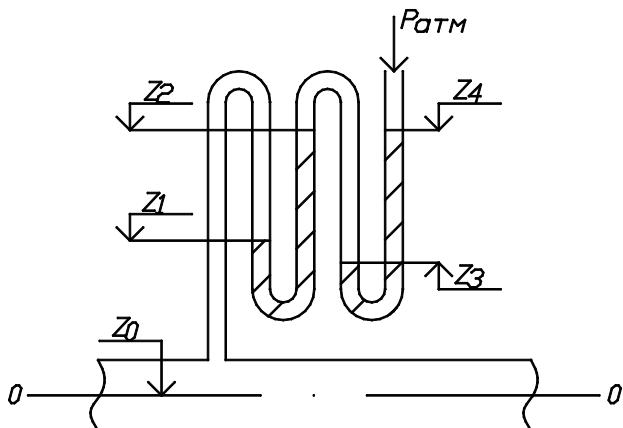


Рис. 2.1

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru