

А. М. НОВИКОВА, И. И. ИВАНЕНКО

**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА
(С ВАРИАНТАМИ ЗАДАНИЙ)**



Министерство образования и науки
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

А. М. НОВИКОВА, И. И. ИВАНЕНКО

**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА
(С ВАРИАНТАМИ ЗАДАНИЙ)**

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2017

УДК 532.5/7.001.12 (076.1.5)

Рецензенты:

д-р техн. наук, профессор Е. В. Алексеев
(НИУ «Московский государственный строительный университет»);
канд. техн. наук, доцент М. А. Варданын
(ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»)

Новикова, А. М.

Механика жидкости и газа (с вариантами заданий) : учеб. пособие /
А. М. Новикова, И. И. Иваненко; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 92 с.

ISBN 978-5-9227-0848-7

Приведены варианты задач и контрольные вопросы по темам дисциплины; схемы; приложения, содержащие справочные данные, необходимые для решения задач; краткие сведения из теории по темам контрольной работы, а также методические указания и требования по выполнению работы.

Предназначено для выполнения контрольной работы по дисциплине «Механика жидкости и газа» для студентов специальностей 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений (СУЗС)», 08.05.02 «Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей (АДМТ)», 25.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства (НТТС)»; направлений подготовки 08.05.01 «Строительство (С)», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 15.03.03 «Прикладная механика (ПМХ)», 20.03.01 «Техносферная безопасность (ТСБ)», 20.03.02 «Природообустройство и водопользование (ПВ)», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы (НТТК)», 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (ЭТМК)» 1, 2 и 3-го курсов всех форм обучения.

Ил. 106. Библиогр.: 13 назв.

ISBN 978-5-9227-0848-7

© Новикова А. М., Иваненко И. И., 2017
© Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет, 2017

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ И РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Теоретическая часть предполагает проработку разделов курса, относящихся к контрольной работе. Необходимо определить раздел курса выполняемой работы, уяснить вывод основных закономерностей и использовать их при решении задач, ознакомиться с решениями типовых задач, приведенных в рекомендуемой литературе.

Номер варианта определяется по последней цифре номера зачетной книжки, 10-й вариант соответствует цифре 0 номера зачетной книжки.

Для каждой задачи представляют исходные и искомые величины в форме краткой записи, а также рисунок, приведенный в задании. Размерности заданных величин следует привести к системе МКС, а рисунок – дополнить расчетной схемой с указанием заданных и определяемых параметров.

В представляемых зависимостях должны быть раскрыты все входящие в них величины. При использовании эмпирических формул и не заданных числовых коэффициентов необходимо сделать ссылку на литературный источник или справочный материал. Задачи следует решать в алгебраической форме, а численные значения подставлять в полученные конечные зависимости. Размерность необходимо подставлять не только при получении окончательного результата, но и во всех промежуточных вычислениях.

При работе необходимо придерживаться всех правил приближенного вычисления с точностью до второй значащей цифры. При решении задач рекомендуется использовать справочные материалы, вспомогательные таблицы, графики, облегчающие расчеты.

По полученным расчетным данным строятся графики (если это необходимо по условию задачи) с указанием конкретной зависимости.

Ответы на контрольные вопросы должны содержать максимум информации, быть четкими и при необходимости дополняться расчетными формулами.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПО ТЕМАМ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Тема 1. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

В результате действия поверхностных и массовых сил внутри жидкости возникает напряжение сжатия, которое называется *гидростатическим давлением*. Оно всегда направлено по внутренней нормали к поверхности, на которую действует.

Гидростатическое давление в точке определяется по формуле

$$P = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S}, \quad (1.1)$$

где P – гидростатическое давление в точке, Па; ΔF – сжимающая сила, Н; ΔS – элементарная площадка, м².

Давление в точке одинаково по всем направлениям и не зависит от ориентации площадки в пространстве.

При оценке давления различают: полное (абсолютное) давление P ; атмосферное давление $P_{\text{ат}}$; избыточное давление $P_{\text{изб}}$; вакуумметрическое давление $P_{\text{вак}}$.

Полное (абсолютное) давление P складывается из давления на свободной поверхности P_0 и давления, создаваемого уровнем вышележащего слоя жидкости ρgh :

$$P = P_0 + \rho gh. \quad (1.2)$$

Атмосферное давление $P_{\text{ат}}$ – это давление, создаваемое окружающей воздушной средой.

Избыточное давление $P_{\text{изб}}$ – это превышение полного давления над атмосферным давлением:

$$P_{\text{изб}} = P - P_{\text{ат}}. \quad (1.3)$$

Вакуумметрическое давление $P_{\text{вак}}$ – это «недостаток» полного давления до атмосферного:

$$P_{\text{вак}} = P_{\text{ат}} - P. \quad (1.4)$$

Поверхность раздела газовой и жидкой среды называют *свободной поверхностью жидкости*.

Поверхность, во всех точках которой давление одинаково, называют *поверхностью уровня* или *поверхностью равного давления*.

Отношение избыточного давления $P_{\text{изб}}$ к удельному весу ρg называют *приведенной высотой избыточного давления* или *пьезометрической высотой* $h_{\text{п}}$:

$$h_{\text{п}} = P_{\text{изб}} / (\rho g). \quad (1.5)$$

Сумма высоты положения точки подключения пьезометра z относительно горизонтальной плоскости и пьезометрической высоты $h_{\text{п}}$ называется *пьезометрическим напором* H_p :

$$H_p = z + P_{\text{изб}} / (\rho g). \quad (1.6)$$

Отношение абсолютного давления P к удельному весу ρg называют *приведенной высотой абсолютного давления* $h_{\text{пр}}$

$$h_{\text{пр}} = P / (\rho g). \quad (1.7)$$

Сумма высоты положения точки подключения пьезометра z относительно горизонтальной плоскости и приведенной высоты абсолютного давления $h_{\text{пр}}$ называется *гидростатическим напором* H_S :

$$H_S = z + P / (\rho g). \quad (1.8)$$

Отношение вакуумметрического давления $P_{\text{вак}}$ к удельному весу ρg называют *приведенной высотой вакуумметрического давления* $h_{\text{вак}}$:

$$h_{\text{вак}} = P_{\text{вак}} / (\rho g). \quad (1.9)$$

Тема 2. СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПЛОСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Равнодействующая элементарных сил гидростатического давления на какую-нибудь поверхность называется *суммарным давлением* или *силой давления* F на эту поверхность. Сила давления в системе МКС выражается в ньютонах (Н).

Сила давления на плоскую поверхность определяется по формуле

$$F = (P_0 + \rho g h_c) S = P_c S, \quad (2.1)$$

где $(P_0 + \rho g h_c) = P_c$ – абсолютное давление в центре тяжести смоченной плоской поверхности, Па; S – площадь смоченной поверхности, м²; h_c – глубина погружения центра тяжести смоченной поверхности, м (рис. 2.1).

Для открытых поверхностей $P_0 = 0$ и сила давления определяется по уравнению

$$F = \rho g h_c S. \quad (2.2)$$

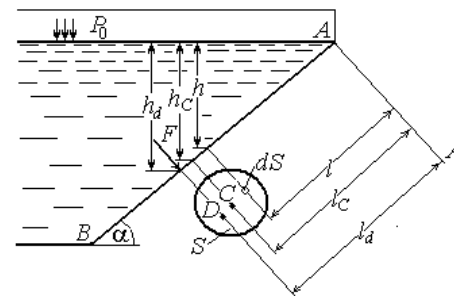


Рис. 2.1

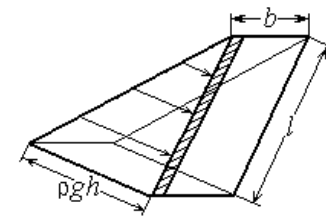


Рис. 2.2

Сила давления приложена в центре давления, координата которого h_d определяется по формуле

$$h_d = h_c + \frac{I_c}{h_c S}, \quad (2.3)$$

где h_c – глубина погружения центра тяжести смоченной части плоской фигуры; I_c – момент инерции площади смоченной фигуры относительно горизонтальной оси, проходящей через ее центр тяжести; $e = \frac{I_c}{h_c S}$ – эксцентриситет.

Сила гидростатического давления на плоскую прямоугольную фигуру может быть определена и с помощью эпюры гидростатического давления, которая представляет собой график изменения давления в зависимости от глубины (рис. 2.2). Сила избыточного гидростатического давления определяется произведением площади эпюры гидростатического давления S на ширину фигуры b , т. е. объемом эпюры V :

$$F = V = Sb. \quad (2.4)$$

Сила давления проходит через центр тяжести эпюры гидростатического давления.

Тема 3. СИЛА ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность определяется по формуле

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}, \quad (3.1)$$

где F_x, F_y, F_z – составляющие силы избыточного давления по соответствующим координатным осям.

Если имеется цилиндрическая поверхность, то у нее будут две составляющие: F_x – горизонтальная; F_z – вертикальная. Сила давления на цилиндрическую поверхность будет

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_z^2}, \quad (3.2)$$

а направление этой силы определится углом наклона к горизонту β , тангенс которого запишется в виде

$$\operatorname{tg} \beta = F_z / F_x. \quad (3.3)$$

Горизонтальная составляющая силы давления на цилиндрическую поверхность равна силе давления на ее вертикальную проекцию:

$$F_x = \rho g h_c S_z, \quad (3.4)$$

где $\rho g h_c$ – гидростатическое давление в центре тяжести вертикальной проекции цилиндрической поверхности; S_z – площадь вертикальной проекции.

Вертикальная составляющая F_z силы давления равна весу жидкости в объеме тела давления V :

$$F_z = \rho g V = \rho g S_{т.д} b, \quad (3.5)$$

где $S_{т.д}$ – площадь тела давления; b – ширина фигуры.

Тело давления представляет собой объем, ограниченный цилиндрической поверхностью, ее проекцией на поверхность жидкости или ее продолжение и вертикальными плоскостями,

соединяющими границы цилиндрической поверхности с соответствующими точками ее проекции.

Горизонтальная составляющая F_x силы давления на цилиндрическую поверхность проходит через центр тяжести ее вертикальной проекции нормально к ней. Вертикальная составляющая F_z проходит через центр тяжести тела давления, а направление ее зависит от взаимного расположения тела давления и жидкости (рис. 3.1).

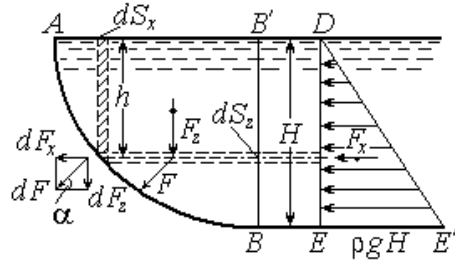


Рис. 3.1

Равнодействующая сила давления F пройдет через точку пересечения горизонтальной и вертикальной составляющих под углом β к горизонту со стороны жидкости. Точка пересечения вектора силы F с цилиндрической поверхностью называется центром давления.

Если тело давления заполнено жидкостью, то оно положительное (+), или действительное (фактическое) (рис. 3.2). В этом случае сила F_z по величине и направлению совпадает с силой тяжести, т. е. направлена вниз. Если тело давления не заполнено жидкостью, то оно отрицательное (-), или мнимое, и сила F_z будет направлена в противоположную силе тяжести сторону, т. е. вверх (рис. 3.3).

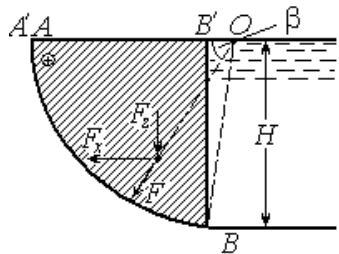


Рис. 3.2

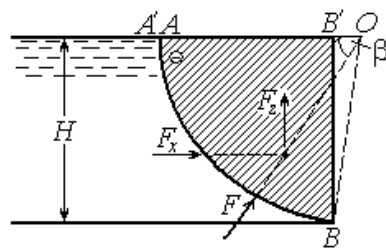


Рис. 3.3

Тема 4. ПЛАВАНИЕ ТЕЛ. ОСТОЙЧИВОСТЬ

По закону Архимеда на погруженное в жидкость тело действует *выталкивающая сила (сила Архимеда)* F_A , направленная вертикально вверх и равная силе тяжести жидкости, вытесненной погруженным объемом тела – *водоизмещением* W :

$$F_A = \rho g W. \quad (4.1)$$

На законе Архимеда основана теория плавания тел. Всякое погруженное в жидкость тело находится под действием двух сил: силы тяжести тела G и равнодействующей силы давления F_A .

Условия плавания тел:

$F_A = G$ – тело находится в равновесии;

$F_A > G$ – тело всплывает или плавает;

$F_A < G$ – тело тонет.

Для плавающего на поверхности однородного тела с плотностью ρ_t и объемом W_t будем иметь условие равновесия:

$$\rho_t g W_t = \rho g W, \quad W/W_t = \rho_t/\rho. \quad (4.2)$$

Это положение исходное при определении глубины погружения (осадки) плавающего однородного тела.

Плотности некоторых жидкостей приведены в прил. 1.

Выталкивающая сила F_A проходит через *центр водоизмещения*, являющийся центром тяжести вытесненного объема жидкости. Линия, проходящая через центр тяжести тела C и центр водоизмещения D в положении равновесия нормально к плоскости плавания, является *осью плавания*. В положении равновесия ось плавания вертикальна (рис. 4.1, а), при наклоне (крене) она наклонена к вертикали под углом крена. При крене плавающего тела центр водоизмещения изменяет свое положение.

Способность плавающих тел восстанавливать нарушенное при крене равновесие называется *остойчивостью*.

Точку пересечения F_A с осью плавания называют *метацентром* M . При остойчивом равновесии метацентр расположен выше центра тяжести C (рис. 4.1, б). Расстояние между M и C – *метацентрическая высота* h_m , между C и центром водоизмещения D – *метацентрический радиус* r , между C и D – *эксцентриситет* e .

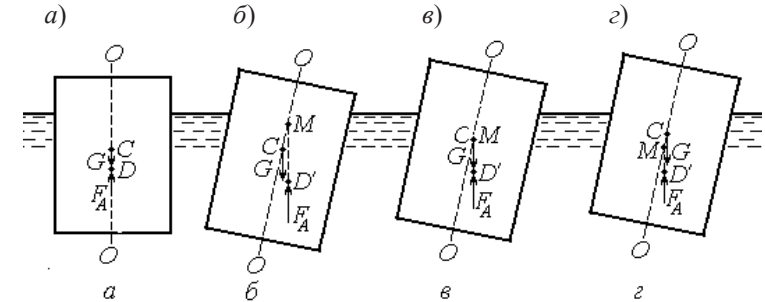


Рис. 4.1

При нестойчивом безразличном равновесии (критическое состояние плавающего тела) метацентр M совпадает с центром тяжести C (рис. 4.1, в). Если M ниже C – тело нестойчиво (рис. 4.1, г). Метацентрическую высоту h_m можно определить по формуле

$$h_m = r - e = \frac{I}{W} - e, \quad (4.3)$$

где I – момент инерции площади плоскости плавания относительно продольной оси; W – водоизмещение; $I/W = r$.

Таким образом, условие остойчивости плавающего тела: $h_m > 0$ или $r > e$.

Тема 5. ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ. УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Основные определения. *Линия тока* – это линия, касательная к которой в каждой точке в данный момент времени совпадает с направлением скорости в этой точке. Такая скорость называется *местной фактической скоростью* U .

Элементарная струйка – это бесконечно малый объем жидкости вокруг линии тока.

Поток жидкости – это совокупность элементарных струек, протекающих в единицу времени через площадку конечных размеров.

Потоки делятся:

- на *напорные* – ограниченные со всех сторон жесткими стенками русла и не имеющие свободной поверхности;
- *безнапорные* – ограниченные снизу и с боков жесткими стенками и имеющие свободную поверхность;
- *струи* – ограниченные с боков жидкой или газовой средой.

Основными параметрами потока являются:

- *живое сечение* – поверхность, перпендикулярная линиям тока, площадь которого обозначают ω ;
- *смоченный периметр* – часть длины периметра живого сечения, соприкасающаяся с жесткими стенками русла;
- *гидравлический радиус* R – отношение площади живого сечения к смоченному периметру: $R = \omega/\chi$;
- *расход* Q – количество жидкости, протекающей в единицу времени через живое сечение потока: $Q = v\omega$;
- *средняя скорость* v – некоторая одинаковая для всех точек живого сечения потока скорость, при которой расход будет таким же, как при фактических местных скоростях: $v = Q/\omega$.

Виды движения жидкости. Движение жидкости может быть установившимся и неустановившимся.

Установившимся движением называется такое движение, при котором элементы потока (расход, скорость, глубина, давление и др.) не изменяются во времени.

При неустановившемся движении элементы потока изменяются во времени.

Равномерным называется такое установившееся движение, при котором живые сечения потока и средние скорости в них остаются неизменными по длине потока.

При неравномерном движении живые сечения по длине потока изменяются хотя бы по форме или при неизменных живых сечениях изменяется распределение скоростей в них.

Плавноизменяющееся движение характеризуется следующими свойствами:

- кривизна линий тока в потоке незначительна;
- угол расхождения между отдельными линиями тока весьма мал;
- живые сечения потока являются плоскими, нормальными оси потока.

Основными уравнениями, позволяющими решить простейшие задачи о движении жидкости, являются уравнения неразрывности движения и Бернулли.

Уравнение неразрывности (сплошности) для несжимаемой жидкости имеет вид

$$v_1\omega_1 = v_2\omega_2 = Q = \text{const}, \text{ или } v_1/v_2 = \omega_2/\omega_1. \quad (5.1)$$

Для сжимаемой жидкости и газа уравнение неразрывности примет вид

$$Q = \rho v \omega = \text{const}. \quad (5.2)$$

Уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости для сечений 1 – 1 и 2 – 2 относительно произвольной горизонтальной плоскости сравнения записывается следующим образом:

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = \text{const}. \quad (5.3)$$

Уравнение Бернулли имеет геометрический, гидравлический и энергетический смысл.

Геометрически оно представляет ту или иную высоту, гидравлически – напор, энергетически – удельную энергию.

z – геодезическая высота (напор), или удельная потенциальная энергия положения ($e_{п.п}$);

$\frac{P}{\rho g}$ – пьезометрическая высота (напор), или удельная потенциальная энергия давления ($e_{п.д}$);

$\frac{\alpha v^2}{2g}$ – скоростная высота (напор), или удельная кинетическая энергия (e_x);

$z + \frac{P}{\rho g} = H_s$ – гидростатический напор, или удельная потенциальная энергия потока ($e_{п}$);

$z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + H$ – полный или гидродинамический напор, энергетически – удельная энергия потока (e).

При движении вязкой жидкости часть энергии теряется на преодоление сопротивлений по пути движения, и уравнение Бернулли для потока вязкой жидкости примет вид

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + h_c, \quad (5.4)$$

где h_c – потери энергии (напора) на преодоление гидравлических сопротивлений.

Потери на прямых участках называются линейными, или потерями по длине на трение h_f . Местные сопротивления (h_m) – это устройства, в которых происходит резкая деформация потока. При расчете значения сопротивлений суммируются:

$$h_c = \Sigma h_f + \Sigma h_m. \quad (5.5)$$

Графически уравнение Бернулли представляют в виде диаграммы (рис. 5.1).

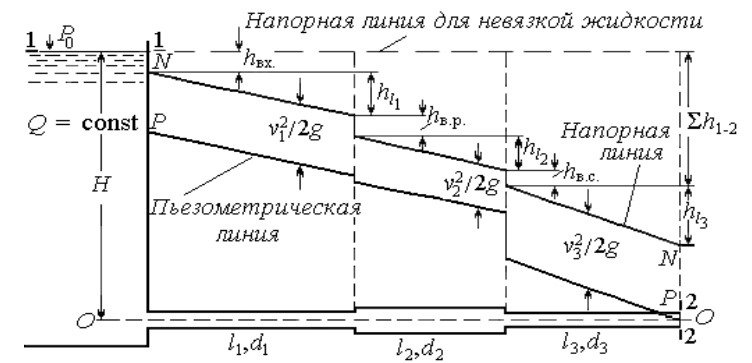


Рис. 5.1

Наклон пьезометрической линии к горизонту по длине потока называется пьезометрическим уклоном $I_{п}$. Наклон напорной линии к горизонту называется гидравлическим уклоном I . Для вязкой жидкости гидравлический уклон $I = h_f / l$.

Потери по длине на трение h_f определяются по-разному в зависимости от режимов движения жидкости. Существуют два режима движения: *ламинарный*, характеризующийся параллельно-струйным течением жидкости, и *турбулентный*, сопровождающийся перемешиванием слоев жидкости. Критерием режимов движения является безразмерное отношение, называемое числом Рейнольдса Re :

$$Re = \frac{vL}{\nu}, \quad (5.6)$$

где ν – средняя скорость потока, м/с; L – параметр сечения, м: для круглых труб $L = d$, для сечений иной формы $L = R$; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с (коэффициенты кинематической вязкости для некоторых жидкостей приведены в прил. 2).

Число Рейнольдса, при котором происходит переход от турбулентного режима к ламинарному, называется критическим числом Рейнольдса ($Re_{кр}$). При $Re > Re_{кр}$ – режим движения турбулентный; при $Re < Re_{кр}$ – ламинарный.

Потери по длине на трение определяются по формуле Дарси – Вейсбаха

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (5.7)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения по длине – коэффициент Дарси. При ламинарном режиме

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (5.8)$$

При турбулентном режиме различают три области гидравлических сопротивлений.

1. *Область гидравлически гладких труб* существует в диапазоне чисел Рейнольдса $\text{Re}_{\text{кр}} < \text{Re} < 20 d/\Delta_{\text{эк}}$, где $\Delta_{\text{эк}}$ – гидравлически эквивалентная шероховатость, зависящая от материала труб (значения $\Delta_{\text{эк}}$ приведены в прил. 3). Она характеризуется формулами вида $\lambda = f(\text{Re})$.

2. *Переходная, или доквадратичная, область* существует в диапазоне чисел Рейнольдса $20d/\Delta_{\text{эк}} < \text{Re} < 500d/\Delta_{\text{эк}}$. Она характеризуется формулами вида $\lambda = f(\text{Re}; r/\Delta)$, где Δ – абсолютная шероховатость; r/Δ – относительная гладкость.

3. *Область гидравлически шероховатых труб (квадратичная, автомодельная)* существует при числах Рейнольдса $\text{Re} > 500d/\Delta_{\text{эк}}$ и характеризуется формулами вида $\lambda = f(r/\Delta)$.

Местные потери определяют по формуле

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (5.9)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

Значения некоторых коэффициентов местных сопротивлений приведены в прил. 4.

Основные виды местных сопротивлений можно условно разделить на следующие группы:

- потери, связанные с изменением сечения потока (или средней скорости). Сюда относятся различные случаи входа жидкости в трубу; выхода жидкости в резервуар; внезапного расширения или сужения; плавного расширения или сужения;

- потери, вызванные изменением направления потока (повороты, колена, угольники, отводы);
- потери, связанные с протеканием жидкости через арматуру различного типа (вентили, краны, обратные клапаны, сетки, дроссель-клапаны и др.);
- потери, связанные с делением или слиянием потоков (тройники, крестовины, отверстия в боковых стенках трубопроводов при наличии транзитного расхода).

При наличии на трубопроводе последовательно нескольких местных сопротивлений обычно потери на них складываются.

Тема 6. ИСТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ И НАСАДКИ

В зависимости от соотношения потерь энергии движение жидкости бывает трех видов:

- при истечении через отверстия в стенках сосудов поток теряет энергию только на преодоление местных сопротивлений: $h_c = \Sigma h_m = \Sigma \zeta v^2 / (2g)$;

- при движении жидкости по коротким трубам потери энергии затрачиваются как на преодоление местных сопротивлений, так и на трение по длине: $h_c = h_l + \Sigma h_m = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} + (\Sigma \zeta) \frac{v^2}{2g}$;

- при движении жидкости в длинных трубопроводах удельный вес потерь напора на преодоление местных сопротивлений очень мал (2–3 %) и их из расчета можно исключить или учесть, вводя некоторый запас: $h_c = \Sigma h_l = a h_l$.

6.1. Истечение жидкости через отверстия

Скорость и расход истечения жидкости через малое отверстие определяются по формулам

$$v = \phi \sqrt{2gH_0} \quad \text{и} \quad Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0}, \quad (6.1)$$

где ϕ – коэффициент скорости: $\phi = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \zeta_{\text{отв}}}}$, где $\zeta_{\text{отв}}$ – коэффициент отверстия; ω – площадь отверстия; μ – коэффициент расхода отверстия: $\mu = \varepsilon \phi$, где ε – коэффициент сжатия, $\varepsilon = \omega_c / \omega$, где ω_c – площадь сжатого сечения; $H_0 = H + \frac{P_0 - P}{\rho g} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$ – напор истечения.

Малым считается отверстие, если его вертикальный размер значительно (в 5–10 раз) меньше глубины погружения центра тяжести отверстия под уровень жидкости.

На некотором расстоянии от отверстия $\cong 0,5d$ поперечное сечение струи сжимается до величины $\omega_c = \varepsilon \omega$. Сжатие бывает:

- *совершенным* – при расстоянии от любой стороны отверстия до стенки сосуда более тройного размера отверстия;
- *несовершенным* – при более близком расстоянии;
- *неполным* – когда на части периметра отверстия струя не получает сжатия.

Уравнение траектории вытекающей струи имеет вид

$$x^2 = 4\phi^2 H_0 y, \quad (6.2)$$

где ϕ – коэффициент скорости; x и y – координаты центра тяжести струи; H_0 – напор истечения.

При истечении жидкости из отверстия под уровень напор истечения H_0 будет следующим:

$$H_0 = H_1 - H_2 + \frac{P_0 - P}{\rho g} = \Delta H + \frac{P_0 - P}{\rho g}, \quad (6.3)$$

где H_1 и H_2 – геометрические напоры с двух сторон отверстия; $H = H_1 - H_2$.

Расход жидкости, вытекающей из большого прямоугольного отверстия, определяется по формуле

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}), \quad (6.4)$$

где μ – коэффициент расхода; b – ширина отверстия; H_1 и H_2 – соответственно глубина жидкости до верхней и нижней кромки отверстия.

Если отверстие не прямоугольной формы, то расход жидкости определяется из уравнения

$$Q = \mu \sqrt{2g} \int_{H_1}^{H_2} b_z \sqrt{z} dz, \quad (6.5)$$

где $b_z = f(z)$.

Время опорожнения открытого призматического резервуара с постоянной площадью поперечного сечения Ω через отверстие площадью поперечного сечения ω от H_1 до H_2 при переменном напоре определяется по формуле

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{2\Omega(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2})}{\mu\omega\sqrt{2g}}. \quad (6.6)$$

Время полного опорожнения резервуара $t_{\text{он}}$ до $H_2 = 0$ будет

$$t_{\text{он}} = 2W/Q_1, \quad (6.7)$$

где W – начальный объем жидкости в резервуаре, $W = \Omega H_1$; Q_1 – расход в начале истечения при напоре $H = H_1$, $Q_1 = \mu\omega\sqrt{2gH_1}$.

6.2. Истечение жидкости через насадки

Насадком называется короткая трубка длиной $(3-4)d$, присоединенная к отверстию. В зависимости от формы насадки делятся: на цилиндрические – внешние и внутренние; конические – сходящиеся и расходящиеся; коноидальные.

Жидкость на выходе из насадка вытекает полным сечением, коэффициент сжатия $\varepsilon = 1$. При истечении из насадка образуется вакуум, вследствие чего жидкость подсасывается из резервуара. Поэтому коэффициент расхода для насадка больше, чем для отверстия в тонкой стенке такого же диаметра. Величина вакуума зависит от напора H_0 и может быть определена по формуле

$$h_{\text{вак}} = P_{\text{вак}}/\rho g = 0,75H_0. \quad (6.8)$$

При истечении под уровень величина вакуума уменьшится на глубину затопления насадка под уровень жидкости за насадком h , т. е. $h_{\text{вак}} = 0,75H_0 - h$.

Расход и скорость при истечении жидкости из насадка определяются по тем же формулам (6.1), что и при истечении из малого отверстия.

Значения коэффициентов расхода скорости и сжатия для отверстий и насадков приведены в прил. 5.

Тема 7. НАПОРНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ТРУБОПРОВОДАХ

Трубопроводы делятся на *короткие* и *длинные*. В коротких трубопроводах местные потери и по длине на трение соизмеримы между собой. В длинных трубопроводах преобладают линейные потери, местные потери составляют менее (2–3) % всех потерь.

7.1. Расчет коротких трубопроводов

Короткие трубопроводы (короткие трубы в дорожных насыпях, всасывающие трубы центробежных насосов, дюкеры, соединительные патрубки) рассчитывают по формулам, аналогичным формулам расчета истечения через насадки:

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH}, \quad (7.1.1)$$

где $H = \left(H_n + \frac{P_n}{\rho g}\right) - \left(H_k + \frac{P_k}{\rho g}\right)$ – разность начального и конечного напоров; $\mu = \mu_c$ – коэффициент расхода системы, который определяется при истечении из коротких труб в атмосферу:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \Sigma\zeta + \lambda\frac{l}{d}}}; \quad (7.1.2)$$

при истечении под уровень

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\Sigma + \lambda\frac{l}{d}}}. \quad (7.1.3)$$

Для определения местных потерь используют зависимость

$$h_m = \zeta \frac{v^2}{2g} = \zeta \frac{8Q^2}{\pi^2 d^4 g} \zeta S_{0_m} Q^2 = S_m Q^2, \quad (7.1.4)$$

где $S_{0_m} = \frac{8}{\pi^2 d^4 g}$ – удельное местное сопротивление; $S_m = \zeta S_{0_m}$ – гидравлическое местное сопротивление.

7.2. Расчет длинных трубопроводов

При расчете *длинных трубопроводов* (водопроводы, газопроводы, бензопроводы, нефтепроводы и др.) учитываются только потери по длине на трение.

При расчете длинных трубопроводов уравнение Бернулли принимает вид

$$H_n - H_k = \Sigma h_p, \quad (7.2.1)$$

где $H_n = z_n + \frac{P_n}{\rho g}$ – напор в начале трубопровода; $H_k = z_k + \frac{P_k}{\rho g}$ –

напор в конце трубопровода.

Различают простые и сложные трубопроводы.

Простым называют не имеющий ответвлений трубопровод, передающий жидкость транзитом и у которого расход и диаметр не изменяются по всей длине.

Сложные трубопроводы имеют сеть труб с изменяющейся конфигурацией как в плане, так и в профиле.

Выделяют следующие основные виды сложных трубопроводов:

- *с последовательным соединением*, при котором расход на всем пути остается постоянным, сам же трубопровод состоит из участков различных диаметров и длин.

Потери напора по длине трубопровода с последовательным соединением, без учета местных потерь, определяются суммированием потерь на отдельных его участках:

$$h_l = h_{l_1} + h_{l_2} + h_{l_3} + \dots + h_{l_n}; \quad (7.2.2)$$

- *параллельным соединением*, при котором две или более линии отходят от одной точки и сходятся в другой.

Для каждой отдельной линии трубопровода с параллельным соединением труб разности потери напора в начале и конце одинаковы (т. е. потери напора для всех линий равны), а сумма расходов жидкости, идущей по отдельным линиям, равна полному расходу, поступающему к точке ответвления или отводящемуся от нее. Таким образом,

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n; \quad (7.2.3)$$

$$h_{l_1} = h_{l_2} = h_{l_3} = \dots = h_{l_n}; \quad (7.2.4)$$

- *кольцевые сети*, представляющие собой систему замкнутых трубопроводов (колец), питаемых от основной магистрали и переносящих жидкость к местам потребления.

Расчет кольцевых сетей сводится к определению диаметров всех участков сети и напора в ее начале, когда заданы значения расходов в узловых точках, расположение и отметки трубопроводов, длины отдельных участков.

Распределение расходов по участкам кольцевой сети должно обеспечить необходимые узловые расходы и удовлетворить условию баланса расходов в каждом узле

$$\Sigma Q = 0, \quad (7.2.5)$$

где ΣQ – алгебраическая сумма расходов, притекающих к узлу (берутся со знаком «+») и вытекающих из него (со знаком «-»).

Сеть считается увязанной (рассчитанной), если при данных расходах по ветвям кольцевой сети потери напора по одной ветви кольца равны потерям по другой:

$$\Sigma h_l = 0, \quad (7.2.6)$$

где Σh_l – алгебраическая сумма потерь напора по кольцу;

- *разветвленные тупиковые сети*, в которых жидкость от источника питания поступает в магистраль, далее в боковые ответвления, к местам потребления и обратно в магистраль не поступает.

Расчет сети проводят в определенной последовательности:

- устанавливают расчетные расходы на отдельных участках, начиная с ответвлений высшего порядка и заканчивая магистралью, «против течения воды»;

- ведут расчет магистрали;

- *комбинированные сети*, имеющие в своем составе кольцевые и разветвленные тупиковые сети.

При гидравлическом расчете сложной сети трубопроводов различают следующие виды расходов:

- ♦ *расчетный* – расход, на величину которого осуществляется гидравлический расчет рассматриваемого участка трубопровода;

♦ *транзитный* – часть расхода трубопровода, предназначенная для снабжения жидкостью последующих участков сети;

♦ *сосредоточенный, или узловой* – расход, отделяющийся или присоединяющийся в конкретной точке (пункте) сети;

♦ *путевой, или распределенный* – расход, отбираемый из трубопровода непрерывно. $Q_{\text{пут}} = q_0 l$, где q_0 – удельный путевой расход, т. е. расход на единицу длины трубопровода.

Расчетный расход на участке с путевым расходом определяется по зависимости

$$Q_{\text{расч}} = \sqrt{Q_{\text{тр}}^2 + Q_{\text{тр}} q_0 l + q_0^2 l^2 / 3}. \quad (7.2.7)$$

На практике вместо формулы (7.2.7) используют формулу

$$Q_{\text{расч}} = Q_{\text{тр}} + 0,55 q_0 l. \quad (7.2.8)$$

При отсутствии транзитного расхода ($Q_{\text{тр}} = 0$) формула (7.2.8) будет иметь вид

$$Q_{\text{расч}} = 0,58 q_0 l. \quad (7.2.9)$$

Потери напора в длинных трубопроводах определяются по формуле Дарси – Вейсбаха $h_l = \lambda \frac{l v^2}{d 2g}$ или по формулам

$$h_l = \frac{Q^2}{K^2} l; \quad (7.2.10)$$

$$h_l = S_0 l Q^2 = S Q^2, \quad (7.2.11)$$

где $S_0 = \frac{8\lambda}{\pi^2 d^5 g} l Q^2$ – удельное сопротивление трубопровода (значения удельных сопротивлений труб из различного материала приведены в прил. 8); $l Q^2$ – гидравлическое сопротивление трубопровода.

Расход определяют по формулам

$$Q = \omega C \sqrt{RI}; \quad (7.2.12)$$

$$Q = K \sqrt{I}, \quad (7.2.13)$$

где ω – площадь живого сечения; R – гидравлический радиус; I – гидравлический уклон; C – коэффициент Шези, или скоростной множитель; $K = \omega C \sqrt{R}$ – расходная характеристика (расходные характеристики для труб различного диаметра приведены в прил. 6, поправочного коэффициента a – в прил. 7).

При расчете течения в трубах газов (природный и искусственный газы, воздух, пар) обычно рассматриваются потери не напора, а давления. При малых перепадах давления для определения потерь давления на трение и на местные потери формулы имеют вид

$$\Delta P_{\text{тр}} = \rho g h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v^2}{2}; \quad (7.2.14)$$

$$\Delta P_{\text{м}} = \rho g h_{\text{м}} = \zeta \rho \frac{v^2}{2}, \quad (7.2.15)$$

где ΔP – потерянное давление; ρ – плотность газа; $\rho v^2/2$ носит название динамического давления.

Плотность газа определяется по формуле

$$\rho = P_{\text{ср}} / (gRT), \quad (7.2.16)$$

в которой $P_{\text{ср}} = (P_1 + P_2)/2$, где P_1 и P_2 – значения давления в концевых сечениях трубопровода; R – газовая постоянная.

Формулу (7.2.14) можно также представить в виде

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{тр}}}{l} = \frac{\lambda}{d} l \frac{v^2}{2}, \quad (7.2.17)$$

где $R_{\text{тр}}$ – так называемое удельное сопротивление трения.

При расчетах движения газов с большими перепадами уравнение Бернулли имеет вид

$$P_1 - P_2 = \frac{2}{2 - \frac{\Delta P}{P_1}} \lambda \frac{l}{d} \rho_1 \frac{v_1^2}{2}. \quad (7.2.18)$$

Расход газа определяется по формуле

$$G = \sqrt{\frac{gd}{\lambda} \frac{P_1^2 - P_2^2}{IRT}}. \quad (7.2.19)$$

Тема 8. РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ В ОТКРЫТЫХ РУСЛАХ И КАНАЛАХ

При равномерном движении будут постоянными площадь и форма живого сечения русла, расход и средняя скорость течения, местные скорости в сходных точках сечения.

В условиях равномерного движения уклон дна i , пьезометрический i_n и гидравлический I уклоны равны, т. е. $I = i = i_n$.

Для постоянного живого сечения потока основной его характеристикой является глубина, которая для равномерного движения называется нормальной и обозначается как h_0 .

При равномерном движении потери по длине на трение равны разности отметок поверхности воды $h_1 = z_1 - z_2$.

Основной формулой для расчета движения жидкости в каналах и руслах является формула Шези

$$v = C\sqrt{Ri} = W\sqrt{i}, \tag{8.1}$$

где R – гидравлический радиус, $R = \omega/\chi$; C – коэффициент Шези, или скоростной множитель; W – скоростная характеристика потока, $W = C\sqrt{i}$ (W и C определяются по эмпирическим формулам). Скоростную характеристику можно определить из таблицы (прил. 10) по заданным R и n .

Наиболее точной является формула Павловского:

$$C = \frac{1}{n}R^y \text{ или } W = \frac{1}{n}R^z, \tag{8.2}$$

где n – коэффициент шероховатости дна и стенок русла (значения коэффициентов шероховатости стенок и дна русла приведены в прил. 9); y и z – показатели степени ($z = y + 0,5$), зависящие от R и n и определяемые по формулам

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1); \tag{8.3}$$

$$z = 0,37 + 2,5\sqrt{n} - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1). \tag{8.4}$$

Для приближенных расчетов применяют приближенные формулы Павловского:

$$\begin{aligned} y &\approx 1,7\sqrt{n} \text{ при } R < 0,1 \text{ м;} \\ y &\approx 1,5\sqrt{n} \text{ при } 0,1 < R < 1,0 \text{ м;} \\ y &\approx 1,3\sqrt{n} \text{ при } 1,0 < R < 3,0 \text{ м.} \end{aligned} \tag{8.5}$$

В практике гидравлических расчетов иногда применяют формулы с постоянными значениями показателя степени:

формула Маннинга: $C = \frac{1}{n}R^{\frac{1}{6}}$ и $W = \frac{1}{n}R^{0,67}$; $\tag{8.6}$

формула Форхгеймера: $C = \frac{1}{n}R^{0,2}$ и $W = \frac{1}{n}R^{0,7}$. $\tag{8.7}$

Расход потока определяют по формуле

$$Q = \omega C\sqrt{Ri} = \omega W\sqrt{i} = K\sqrt{i}, \tag{8.8}$$

где $K = \omega W = Q/\sqrt{i}$ – расходная характеристика. $\tag{8.9}$

Наиболее распространенные формы сечений каналов – прямоугольная, треугольная, трапециевидная, криволинейная.

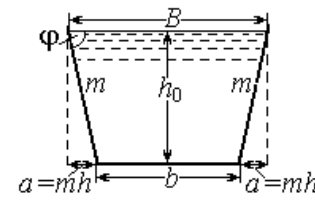


Рис. 8.1

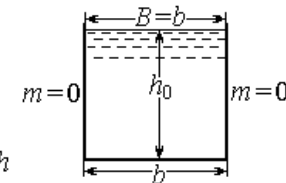


Рис. 8.2

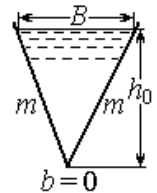


Рис. 8.3

Для трапециевидной формы канала (рис. 8.1) гидравлические характеристики определяют по формулам

$$\omega = (b + mh)h; \tag{8.10}$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}; \quad (8.11)$$

$$B = b + 2mh; \quad (8.12)$$

$$R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{(b+mh)h}{d+2h\sqrt{1+m^2}}, \quad (8.13)$$

где m – коэффициент заложения откосов, $m = \operatorname{ctg} \varphi$; при разной крутизне откосов площадь сечения $\omega = (b + m_{\text{cp}} h)h$; смоченный периметр $\chi = b + h(\sqrt{1+m_1^2} + \sqrt{1+m_2^2})$; b – ширина русла по дну; ширина русла по верху $B = b + 2m_{\text{cp}} h$, где $m_{\text{cp}} = (m_1 + m_2)/2$.

В прямоугольном русле (рис. 8.2) стенки вертикальные, следовательно, $m = 0$, тогда

$$\omega = bh; \chi = b + 2h; B = b; R = \frac{bh}{(b+2h)}. \quad (8.14)$$

Для русел треугольной формы (рис. 8.3) $b = 0$, поэтому

$$\omega = mh^2; B = 2mh; \chi = 2h\sqrt{1+m^2}; R = \frac{mh^2}{2h\sqrt{1+m^2}}. \quad (8.15)$$

При подборе сечения канала по возможности следует проектировать так называемый *гидравлически наивыгоднейший профиль*, пропускающий при данной площади поперечного сечения наибольший расход. Такие русла имеют максимальный (при прочих равных условиях) гидравлический радиус R_{max} , и протекание потока в них происходит с максимально возможной скоростью v_{max} . Значения максимального гидравлического радиуса R_{max} приведены в прил. 11.

В руслах трапецеидального сечения гидравлически наивыгоднейшего профиля отношение ширины русла к глубине при равномерном движении (относительная ширина русла) обозначается $\beta_{\text{г.н}}$. При заданном коэффициенте заложения откосов

$$\beta_{\text{г.н}} = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m). \quad (8.16)$$

Для русел гидравлически наивыгоднейшего профиля может быть подсчитан безразмерный параметр $\psi_{\text{г.н}}$, зависящий от формы поперечного сечения. Для русла трапецеидального сечения

$$\psi_{\text{г.н}} = 8\sqrt{1+m^2} - 4m. \quad (8.17)$$

Если заданы расход жидкости, тип укрепления русла и уклон дна, то определив предварительно $K_p = \frac{Q}{\sqrt{i}}$ и функцию $\frac{K_p n}{\psi_{\text{г.н}}}$, на-

ходят максимальный гидравлический радиус R_{max} и максимально возможную при заданных условиях среднюю в сечении скорость

$$v_{\text{max}} = W_{\text{max}} \sqrt{i}. \quad (8.18)$$

Для русел трапецеидального сечения гидравлически наивыгоднейшего профиля гидравлический радиус $R_{\text{max}} = h/2$; площадь живого сечения $\omega = \psi_{\text{г.н}} R_{\text{max}}^2$.

При гидравлическом расчете каналов встречаются три основных типа задач.

Первый тип задач. Требуется определить расход Q (скорость v), если известны размеры канала (b, h, m), коэффициент шероховатости n , уклон i .

Технология расчета следующая: вычисляют ω, χ, R . Затем по табличным данным либо по формулам находят W или C и определяют расход Q (скорость v) по формулам (8.1), (8.8).

Аналогично решается задача по определению уклона канала, если известны: Q (v), b, h, m и n . Затем из формулы (8.8) находят уклон:

$$i = \frac{Q^2}{\omega^2 C^2 R^2} = \frac{Q^2}{\omega^2 W^2}. \quad (8.19)$$

Можно найти уклон по максимальной скорости:

$$i = \frac{v_{\text{max}}^2}{C^2 R} = \frac{v_{\text{max}}^2}{W^2}. \quad (8.20)$$

Второй тип задач. Требуется определить глубину при заданном расходе Q . Эта задача называется задачей о нормальной глубине. Заданы b, m, n и i .

Данная задача имеет несколько вариантов решения. Первый вариант – подбор по формуле Шези. Здесь удобно вначале вычислить расчетную расходную характеристику $K_p = \frac{Q}{\sqrt{i}}$. Затем задаются каким-либо значением h_1 и вычисляют соответствующие ему значения $\omega_1, \chi_1, R_1, W_1 (C_1)$ и K_1 . Полученные значения K_1 сравнивают с K_p . Здесь возможны три случая: $K_1 < K_p$; $K_1 > K_p$; $K_1 = K_p$. В первом случае следующее значение принимают $h_2 > h_1$; во втором – $h_2 < h_1$, а в третьем случае, так как $h_2 = h_0$, расчет прекращают.

Второй вариант аналогичен первому, только при нем сокращается число отдельных вариантов. Здесь целесообразно вычислить не менее трех пар значений $K = f(h)$, при этом одно значение обязательно должно быть больше K_p и одно меньше K_p . После этого строят график зависимости $K = f(h)$ и находят искомую глубину h_0 по вычисленной K_p (рис. 8.4, а).

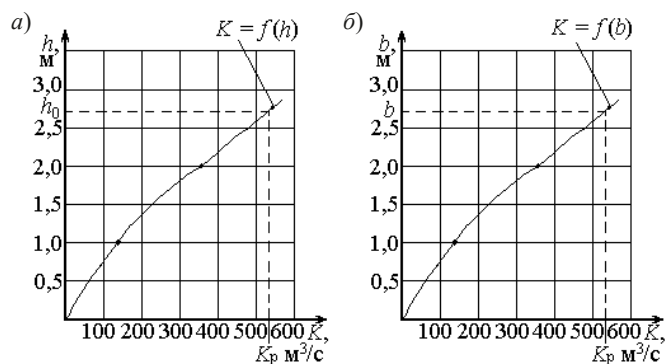


Рис. 8.4

Аналогично решается задача по определению ширины канала по дну b (рис. 8.4, б).

Третий тип задач. Требуется подобрать размеры поперечного сечения канала: ширину по дну b и глубину h_0 , если известны Q, v, m, n и i .

Так как b и h_0 неизвестны, то одной из них задаются, а вторую определяют. При этом следует стремиться к тому, чтобы сечение получилось гидравлически наиболее выгодным. Для этого определяют $\beta_{г.н} = \frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m)$, затем выражают b через h и подбирают h_0 аналогично предыдущей задаче, либо решают совместно уравнения для ω и χ относительно h .

Средняя скорость v движения воды в каналах должна находиться в пределах $v_{\max} \leq v \leq v_{\min}$, где v_{\max} – максимально допускаемая скорость течения воды при равномерном движении. При $v > v_{\max}$ русло канала будет размываться водой, а при $v < v_{\min}$ – заиливаться наносами, которые транспортирует поток.

Для определения максимально допустимых скоростей используют следующие формулы:

- И. И. Леви:
$$v_{\text{доп}} = A\sqrt{gd} \lg \frac{R}{7d}, \quad (8.21)$$

где A – коэффициент, учитывающий уплотненность грунта (для хорошо уплотненных грунтов $A = 3,2$; для грунтов с рыхлой структурой $A = 2,8$);

- А. М. Латышенкова:
$$v_{\text{доп}} = 5d^{0,3}h^{0,2}. \quad (8.22)$$

Минимальные незаиливающие скорости определяют по формулам:

- И. И. Леви:
$$v_{\min} = 0,01 \frac{v_{г.н}}{\sqrt{d}} \sqrt[4]{\frac{p}{0,01} \frac{0,0225}{n} \sqrt{R}}, \quad (8.23)$$

где $v_{г.н}$ – скорость падения частиц в покоящейся жидкости, называемая гидравлической крупностью частицы; d – средний диаметр частиц преобладающей массы взвешенных наносов; p – массовая насыщенность, % взвешенных наносов с $d_{cp} > 0,25$ мм; n – коэффициент шероховатости русла; R – гидравлический радиус;

- А. С. Гиршкана:
$$v_{\min} = AQ^{0,2}, \quad (8.24)$$

где A – коэффициент, принимаемый в зависимости от гидравлической крупности частиц (для $v_{г.н} < 1,5$ мм/с $A = 0,33$; для $v_{г.н} = (1,5 \dots 3,5)$ мм/с $A = 0,44$; для $v_{г.н} > 3,5$ мм/с $A = 0,55$); Q – расход потока, м³/с.

Тема 9. ДВИЖЕНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД. ЗАКОН ФИЛЬТРАЦИИ

Движение жидкости в грунтах и пористых средах называется *фильтрацией*. Грунтовые воды, находясь в движении, образуют *фильтрационный поток*.

Движение грунтовых вод может быть напорным и безнапорным. При безнапорном движении фильтрационный поток ограничивается сверху свободной поверхностью, во всех точках которой давление является постоянным и обычно равно атмосферному. Эта свободная поверхность называется *депрессионной* поверхностью, а линия пересечения ее с вертикальной плоскостью – *кривой депрессии*.

Объем воды, проходящей через живое сечение пористой среды в единицу времени, называют *фильтрационным расходом*.

Под скоростью фильтрации понимают частное от деления расхода на площадь всей пористой среды, через которую происходит фильтрация. Скорость фильтрации является фиктивной скоростью течения, отличной от действительной скорости, с которой перемещается вода в порах грунта.

Основной закон ламинарной фильтрации (закон Дарси) может быть записан так:

$$v = kI, \text{ или } Q = \omega kI, \quad (9.1)$$

где v – скорость фильтрации, характеризующая водопроницаемость грунта и зависящая от величины и формы частиц грунта, степени их однородности, температуры воды; Q – фильтрационный расход; I – гидравлический уклон; ω – пологая площадь поперечного сечения потока, включающая площадь, занятую твердыми частицами грунта; k – коэффициент фильтрации.

Движение грунтовых вод подчиняется закону Дарси лишь при малых числах Рейнольдса фильтрационного потока, т. е. при

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu p^{1/3}} \leq 5, \quad (9.2)$$

где d – диаметр зерен грунта; ν – коэффициент кинематической вязкости; p – коэффициент порозности грунта, $p = \omega'/\omega$ (отношение объема пор ω' в грунте ко всему объему грунта ω).

Критическая скорость фильтрации $v_{кр}$, до которой применим закон Дарси (формула Павловского), определяется следующим образом:

$$v_{кр} = (0,75p + 0,23) \frac{\nu N}{6,5d}, \quad (9.3)$$

где N – постоянное число, равное 50...60.

При скорости $v > v_{кр}$ движение грунтовых вод подчиняется уравнению $v = kI^m$, где m – показатель степени, приближающийся к 0,5, как при турбулентном режиме движения наземных вод.

Скорость турбулентной фильтрации можно определить по формуле, предложенной Павловским,

$$v = Ap\sqrt{i}, \quad (9.4)$$

где A – эмпирический коэффициент, определяемый для крупнозернистых грунтов ($d > 5$ см) по формуле Избаша:

$$A = \left(20 - \frac{14}{d}\right) \sqrt{d}. \quad (9.5)$$

Колодец на водонепроницаемом грунте называется *простым совершенным колодцем* (рис. 9.1). Приток грунтовых вод к нему происходит по периферийной части колодца. При откачке воды из такого колодца вокруг него образуется так называемая *депрессионная воронка*, форма которой при однородном грунте будет симметричной.

Уравнение кривой депрессии имеет вид

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r_0}. \quad (9.6)$$

Дебит совершенного колодца определяется по формуле

$$Q = 1,36k \frac{H^2 - h_0^2}{\lg \frac{R}{r_0}}, \quad (9.7)$$

где H – мощность водоносного пласта; h_0 – глубина воды в колодце; k – коэффициент фильтрации; r_0 – радиус колодца; R – радиус влияния колодца, определяемый по формуле

$$R = 3000S\sqrt{k}, \quad (9.8)$$

где $S = H - h_0$ – снижение уровня воды в колодце (глубина откачки).

Коэффициенты фильтрации для некоторых грунтов приведены в прил. 12.

Дебит совершенного грунтового колодца, расположенного вблизи водоема (рис. 9.2), определяется по уравнению

$$Q = 1,36k \frac{H^2 - h_0^2}{\lg \frac{2l}{r_0}}, \quad (9.9)$$

где H – глубина (напор) воды в водоеме; l – расстояние оси колодца от берега водоема.

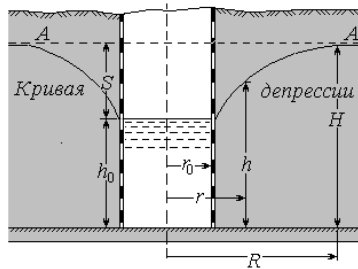


Рис. 9.1

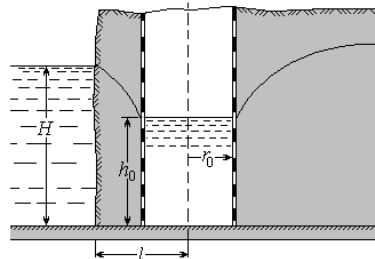


Рис. 9.2

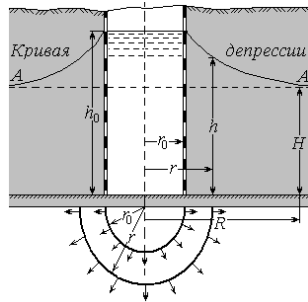


Рис. 9.3

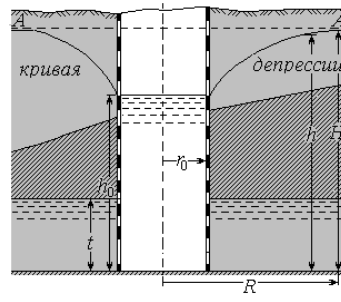


Рис. 9.4

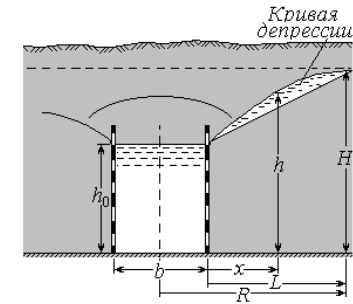


Рис. 9.5

При наличии водоносных пластов, обладающих достаточно большой водопроницаемостью, воду с поверхности земли можно отвести в эти пласты с помощью *поглощающих (абсорбирующих) колодцев* (рис. 9.3).

В таком колодце (в отличие от совершенного) движение грунтовых вод направлено не к его оси, а в противоположную сторону (вода просачивается из колодца в водоносный слой).

Поглощающая способность колодца определяется по формуле

$$Q = 1,36k \frac{h_0^2 - H^2}{\lg \frac{R}{r_0}}. \quad (9.10)$$

Если водоносный пласт прикрыт сверху водонепроницаемым слоем, причем грунтовые воды, насыщающие этот пласт, находятся под давлением больше атмосферного (случай напорного движения грунтовых вод), то такой водоносный пласт называется *артезианским*, а колодец, питающийся из этого пласта, носит название *артезианского колодца* (рис. 9.4). Депрессионная воронка, которая образуется вокруг колодца при откачке воды, будет являться *кривой подпора*, уравнение которой имеет вид

$$h - h_0 = 0,37 \frac{Q}{kt} \lg \frac{r}{r_0}. \quad (9.11)$$

По этому уравнению можно построить кривую напоров, а также определить дебит колодца Q при $h = H$ и $r = R$:

$$Q = 2,73kt \frac{H - h_0}{\lg \frac{R}{r_0}}, \quad (9.12)$$

где k – коэффициент фильтрации; H – естественный напор грунтовых вод; h_0 – напор воды в колодце; t – толщина водоносного пласта.

При устройстве водосборной галереи (дрены) на водоупоре (рис. 9.5) через некоторое время вокруг нее образуется кривая депрессии, описываемая уравнением

$$h = \sqrt{\frac{2qx}{k} + h_0^2}, \quad (9.13)$$

из которого, задаваясь различными расстояниями x , находят соответствующие глубины h .

Для определения одностороннего притока воды к галерее $q = Q/b$, входящего в уравнение (9.12), полагая $h = H$ и $x = L$, находим

$$q = k \frac{H^2 - h_0^2}{2L}, \quad (9.14)$$

где L – длина влияния галереи, т. е. та длина, на которой сказывается осушительное действие галереи (дрены); b – протяженность галереи.

Для определения полного расхода $Q = 2qb$ используют зависимость

$$Q = kb \frac{H^2 - h_0^2}{L}. \quad (9.15)$$

Для определения длины влияния галереи иногда применяют зависимость

$$L = \frac{H - h_0}{I_{\text{cp}}}, \quad (9.16)$$

где I_{cp} – средний уклон кривой депрессии, принимаемый в зависимости от рода грунта из таблиц (прил. 13).

Также при одностороннем притоке воды к водосборной (дренажной) галерее расход можно определить по формуле

$$Q = \frac{kl(H^2 - h_0^2)}{2\left(R - \frac{b}{2}\right)}, \quad (9.17)$$

где l – длина галереи; b – ширина галереи; R – радиус влияния.

При малой (по сравнению с радиусом влияния) ширине галереи расход q на единицу длины можно определить по формуле

$$q = \frac{k(H^2 - h_0^2)}{2R}. \quad (9.18)$$

При отсутствии данных о величине радиуса влияния R расход может быть получен по формуле

$$q = kI_{\text{cp}} \frac{H + h_0}{2}. \quad (9.19)$$

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

В процессе выполнения контрольной работы, согласно учебному плану по дисциплине «Механика жидкости и газа», студенты закрепляют изучаемый материал, самостоятельно решая задачи и отвечая на контрольные вопросы. Работа является формой отчетов по отдельным разделам практического курса и должна быть прорецензирована и оценена преподавателем.

Контрольная работа включает следующие разделы: гидростатика, гидравлические сопротивления (уравнение Бернулли для вязкой жидкости), расчет трубопроводов и систем, истечение из отверстий и насадков, равномерное движение жидкости в открытых руслах и каналах, движение грунтовых вод.

Контрольная работа выполняется ручкой, четко и грамотно, на одной стороне листа (текст может быть печатным). Вторая сторона может использоваться для промежуточных вычислений, замечаний преподавателя и занесения исправлений. Схемы к задачам вычерчиваются аккуратно карандашом или ручкой с учетом требований к техническим чертежам.

Рекомендуется выполнять контрольную работу после проработки всех разделов, относящихся к данной теме.

На ее титульном листе должны быть указаны: наименование дисциплины, фамилия и инициалы студента, номер зачетной книжки, факультет и группа.

Незачтенная работа возвращается на переработку. После исправления всех замечаний к вновь выполненной работе необходимо приложить незачтенную работу с рецензией.

ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Вариант 1

Задача № 1

Закрытый резервуар с жидкостью плотностью $\rho_{\text{ж}} = 820 \text{ кг/м}^3$ снабжен закрытым пьезометром, ртутным дифманометром и механическим манометром (рис. 10.1.1). Определить высоту поднятия ртути $h_{\text{рт}}$ в дифманометре и пьезометрическую высоту h_x в закрытом пьезометре, если известны показание манометра $P_{\text{м}} = 0,12 \text{ МПа}$ и высоты: $h_1 = 2,3 \text{ м}$, $h_2 = 1,3 \text{ м}$, $h_3 = 2,0 \text{ м}$

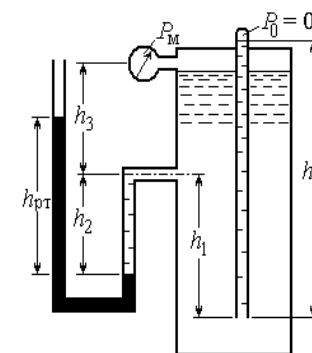


Рис. 10.1.1

Задача № 2

В вертикальной стенке закрытого резервуара, заполненного жидкостью, имеется квадратное отверстие со сторонами $b = 0,5 \text{ м}$. Определить величину и точку приложения силы давления жидкости на крышку, закрывающую отверстие, если $H = 1 \text{ м}$, показание ртутного манометра $h = 300 \text{ мм}$, $\rho_{\text{ж}} = 900 \text{ кг/м}^3$.

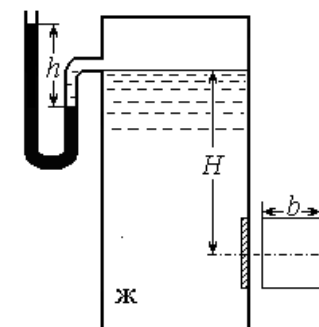


Рис. 10.1.2

Задача № 3

Цилиндрический резервуар диаметром $d = 4$ м имеет дно в виде полусферы. Высота верхней части резервуара $h_1 = 4$ м (рис. 10.1.3), а нижней – $h_2 = 2$ м. Вычислить силу манометрического давления нефти P_z ($\rho_n = 800$ кг/м³) на дно резервуара. Мысленно разрезав резервуар на две равные части, определить силу манометрического давления P_x на половину боковой поверхности и точку приложения этой силы.

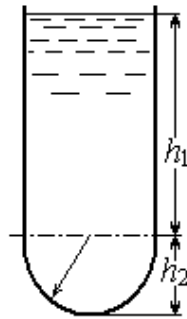


Рис. 10.1.3

Задача № 4

Объем части ледяной горы, возвышающейся над поверхностью моря, равен $W_1 = 12,5$ м³. Определить общий объем ледяной горы W и глубину ее погруженной части h_0 , если в плане она имеет форму прямоугольника размером $a \times b = 3 \times 2$ м. Плотность морской воды $\rho = 1030$ кг/м³, плотность льда $\rho_l = 920$ кг/м³.

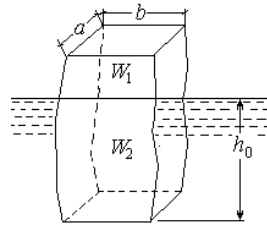


Рис. 10.1.4

Задача № 5

Какое абсолютное давление необходимо поддерживать в резервуаре A ($H_1 = 1,5$ м), чтобы через кран, расположенный на высоте $H_2 = 20$ м и имеющий коэффициент сопротивления $\zeta_k = 3,5$, прошло 3 м³/ч воды? На длине $l_1 = 15$ м труба имеет диаметр $d_1 = 40$ мм, на длине $l_2 = 10$ м – $d_2 = 20$ мм. Коэффициенты поворотов $\zeta_1 = \zeta_2 = 0,15$; $\Delta_3 = 0,2$ мм; кинематическая вязкость воды $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

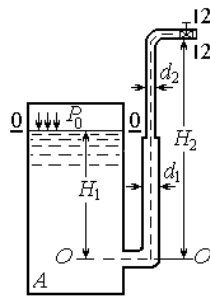


Рис. 10.1.5

Задача № 6

В тонкой перегородке, делящей бак на два отсека, имеется отверстие диаметром $d_1 = 20$ см. Из отсека 2 вода выливается наружу через внешний цилиндрический насадок, расположенный в дне диаметром $d_2 = 15$ см. Напоры постоянны. Определить расход Q , h_1 и h_2 , если общий напор $H = 3,5$ м, а длина насадка $l = 0,5$ м.

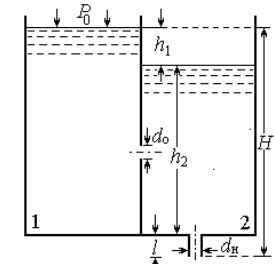


Рис. 10.1.6

Задача № 7

Вода подается по горизонтальному пластмассовому трубопроводу, состоящему из двух последовательных участков $AB = 400$ м, $BC = 300$ м, с диаметрами $D_{AB} = 150$ мм, $D_{BC} = 200$ мм. Расходы воды в точках $Q_B = 15$ л/с; $Q_C = 12$ л/с; свободный напор в конце трубопровода $H_{св} = 16$ м. Определить необходимое давление насоса в точке A (пренебрегая высотой всасывания и потерями на всасывающей трубе).

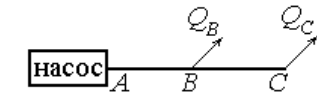


Рис. 10.1.7

Задача № 8

Определить среднюю скорость и расход в канале трапециевидального сечения, если коэффициент шероховатости стенок и дна канала $n = 0,017$, уклон дна $i = 0,02$, ширина дна русла $b = 1$ м, а глубина воды в канале $h_0 = 0,6$ м, коэффициент заложения откосов $m = 1$.

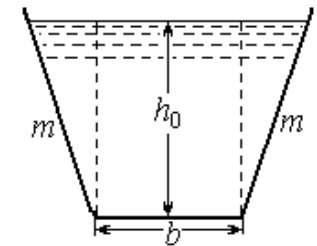


Рис. 10.1.8

Вариант 2

Задача № 9

Определить приток воды к водо-заборной галерее, расположенной на водоупоре, если отметка статического горизонта воды 11,00 м, отметка водоупора 6,00 м; глубина воды в галерее $h_0 = 1$ м; ширина $b = 2$ м; длина галереи $l = 50$ м; коэффициент фильтрации $k = 0,009$ см/с при радиусе влияния галереи $R = 240$ м.

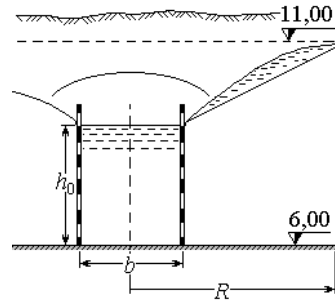


Рис. 10.1.9

Контрольные вопросы

1. Что такое идеальная жидкость?
2. Зависит ли сила давления от угла наклона плоскости?
3. Что называется центром тяжести и центром давления фигуры и как их определить?
4. Какие силы преобладают при турбулентном режиме движения?
5. Что такое пьезометрический и гидравлический уклоны и как их определить?
6. Почему расход жидкости при истечении через насадок, при прочих равных условиях, больше расхода при истечении через малое отверстие?
7. Какой трубопровод называется простым?
8. Как изменится расход в канале, если при постоянной площади сечения ω и угле I увеличить смоченный периметр χ ?
9. Чем является кривая депрессии в артезианском колодце?

Задача № 1

Закрытый резервуар с жидкостью $\rho_{ж} = 900$ кг/м³ снабжен пьезометром и жидкостным манометром. Определить высоту поднятия жидкости в манометре h_x , если уровень жидкости в пьезометре выше уровня жидкости в резервуаре на величину $h = 1,5$ м, а расстояние от поверхности жидкости в резервуаре до точки A $h_A = 1,2$ м. Давление на поверхности жидкости в манометре $P_0 = 0$, $P_A = 9,8 \cdot 10^4$ Па.

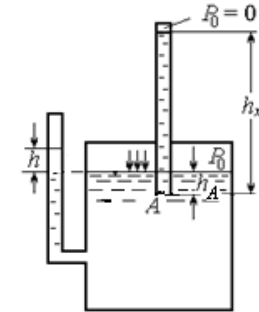


Рис. 10.2.1

Задача № 2

В вертикальной стенке резервуара с водой на глубине $h = 1$ м имеется труба квадратного сечения со стороной $a = 1$ м. Внутренняя кромка трубы срезана под углом $\alpha = 60^\circ$ и закрывается крышкой, вращающейся на верхнем шарнире. Определить усилие T , необходимое для поднятия этой крышки, пренебрегая ее весом и трением в шарнире.

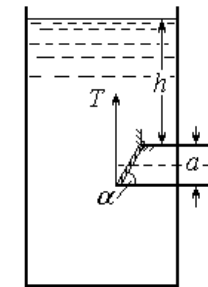


Рис. 10.2.2

Задача № 3

Определить силу гидростатического давления воды на 1 м ширины нижней криволинейной части сооружения, если $H = 1,5$ м, $r = 0,5$ м.

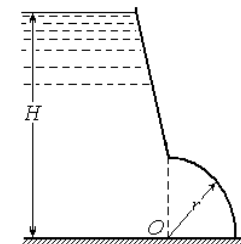


Рис. 10.2.3

Задача № 4

В воде плавает деревянный цилиндр высотой h и диаметром d так, что его образующие вертикальны. Выяснить предельную высоту $h_{кр}$, при которой цилиндр теряет остойчивость, если $d = 0,5$ м; $\rho_d = 800$ кг/м³.

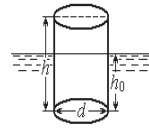


Рис. 10.2.4

Задача № 5

Из бака вытекает вода в атмосферу при постоянном напоре $H = 5$ м, по прямому горизонтальному трубопроводу длиной $l = 100$ м и диаметром $d = 0,1$ м. На расстоянии $l_1 = 80$ м от начала трубопровода установлен вентиль, $\zeta_{вен} = 4$. Определить расход воды в трубопроводе и построить диаграмму уравнения Бернулли, если $\lambda = 0,022$.

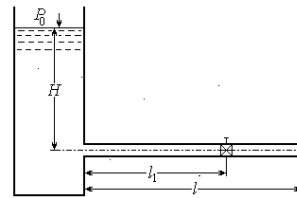


Рис. 10.2.5

Задача № 6

Из закрытого бака, установленно-го на полу, вытекает вода через малое отверстие в боковой стенке. Определить, на какой высоте h должно быть расположено отверстие, чтобы при глубине воды в баке $H = 3$ м и манометрическом давлении на свободной поверхности жидкости $P_m = 10$ кПа дальность падения струи была $l_{пад} = 3,5$ м.

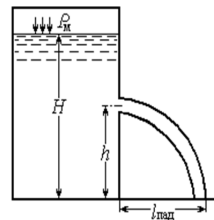


Рис. 10.2.6

Задача № 7

Вода из реки поступает в колодец с расходом $Q = 50$ л/с по стальной трубе длиной $L = 120$ м, имеющей обратный клапан. Определить разность h уровней воды в реке и колодце, если диаметр $d = 200$ мм, а температура воды в реке $t = 15$ °С.

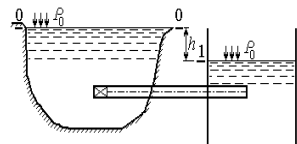


Рис. 10.2.7

Задача № 8

Определить подбором и построением графика $K = f(h)$ нормальную глубину и среднюю в сечении скорость потока в русле при следующих условиях: ширина русла по дну $b = 4$ м; коэффициент заложения откосов $m = 0$; продольный уклон $i = 0,0009$; расчетный расход $Q = 16$ м³/с. Канал облицован тесаным камнем (в средних условиях).

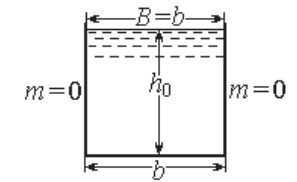


Рис. 10.2.8

Задача № 9

Определить радиус влияния R совершенного грунтового колодца при $H = 10$ м; $h_0 = 8$ м; $r_0 = 0,5$ м; $k = 0,0003$ м/с; $Q = 500$ м³/сут.

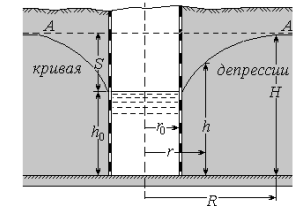


Рис. 10.2.9

Контрольные вопросы

1. Как изменится давление P_0 на свободной поверхности в резервуаре на глубине h от нее?
2. Что такое относительный покой жидкости?
3. Что произойдет с телом, помещенным в жидкость, если его вес G будет больше выталкивающей силы F_A ?
4. Как изменится потенциальная энергия потока при увеличении скорости?
5. Когда сжатие струи при истечении из малого отверстия будет совершенным?
6. Назовите физический смысл скоростной характеристики W ?
7. Какой гидравлический удар называется прямым?
8. Какая форма сечения открытого русла считается гидравлически наиболее выгодной?
9. Всегда ли справедлив закон фильтрации (закон Дарси)?

Вариант 3

Задача № 1

К закрытому баллону с воздухом подведены две трубки с ртутью. Определить высоту столба ртути h_2 в закрытой сверху трубке, если в открытой трубке высота $h_1 = 30$ см и $\rho_{рт} = 13\,600$ кг/м³. Атмосферное давление принять $P_{ат} = 10^5$ Па.

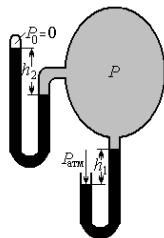


Рис. 10.3.1

Задача № 2

Определить силу давления воды на дно сосуда и на каждую из четырех опор, если $h_1 = 1$ м, $h_2 = 3$ м, $a = 1$ м, $b = 3$ м. Собственным весом сосуда пренебречь.

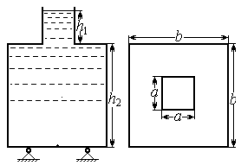


Рис. 10.3.2

Задача № 3

Определить величину и направление силы давления воды на 1 м ширины (b) секторного затвора радиуса $R = 2,5$ м, если центральный угол сектора $\alpha = 45^\circ$.



Рис. 10.3.3

Задача № 4

Определить вес груза, установленного на круглом в плане металлическом понтоне диаметром $d = 4$ м, если после установки груза осадка понтона увеличилась на $h = 0,6$ м.

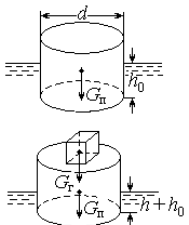


Рис. 10.3.4

Задача № 5

Ось верхнего горизонтального участка трубопровода диаметром $d_1 = 50$ мм расположена на высоте $h_1 = 0,25$ м над уровнем воды в резервуаре B , а ось нижнего горизонтального участка диаметром $d_2 = 100$ мм лежит ниже уровня воды в резервуаре B на величину $h_2 = 0,5$ м. Длины участков: $l_1 = 30$ м, $l_2 = 10$ м. Коэффициенты потерь: в закруглениях $\zeta_{зак} = 0,15$, по длине на трение $\lambda_1 = 0,03$, $\lambda_2 = 0,022$. Определить расход в трубопроводе и построить напорную и пьезометрическую линии.

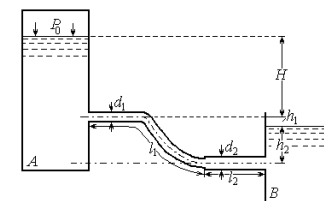


Рис. 10.3.5

Задача № 6

Из открытого бака вода вытекает через малое отверстие в его боковой стенке, расположенное на высоте $h = 1$ м от пола. Определить дальность падения струи $l_{пад}$ при $H = 1,2$ м и $a = 0,2$ м.

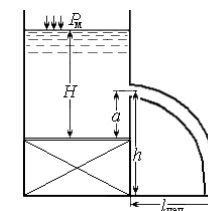


Рис. 10.3.6

Задача № 7

Сифонный бетонный водосброс диаметром $d = 1$ м, общей длиной $l = 50$ м сбрасывает воду из водохранилища в реку, уровень которой на $H = 5$ м ниже уровня водохранилища. Определить подачу Q сифонного водосброса, если он имеет два поворота: $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$. Длина горизонтального участка $l_r = 2$ м, толщина стенок водосброса $\delta = 0,05$ м. Определить также вакуум $P_{вак}$ в верхней точке сифона, если $z_1 = 1$ м и $z_2 = 3$ м ($\zeta_{вх} = 0,5$).

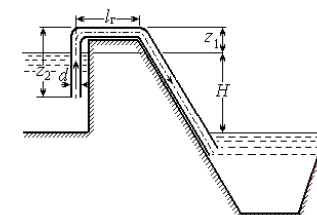


Рис. 10.3.7

Задача № 8

Определить, какой уклон i следует придать дну канала, если: ширина его по дну $b = 0$; коэффициенты заложения откосов $m_1 = 1,5$; $m_2 = 2$; коэффициент шероховатости $n = 0,018$; расход $Q = 0,079 \text{ м}^3/\text{с}$; глубина равномерного движения $h_0 = 0,37 \text{ м}$.

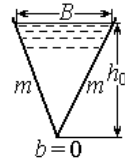


Рис. 10.3.8

Задача № 9

Вычислить дебит артезианской скважины при условии, что мощность водоносного пласта $t = 15 \text{ м}$; $S = 6 \text{ м}$; $d = 0,3 \text{ м}$; $R = 150 \text{ м}$; $k = 1 \text{ см}/\text{с}$.

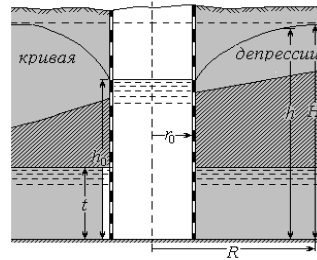


Рис. 10.3.9

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются капельные и газообразные жидкости?
2. Какое движение называется равномерным?
3. В каких случаях равнодействующую силу гидростатического давления определяют без учета давления на свободной поверхности?
4. Что такое тело давления?
5. Что называется ватерлинией и плоскостью плавания?
6. Физический смысл и отличия уравнения Бернулли для идеальной и реальной жидкости, для струйки и потока?
7. Как изменятся потери напора по длине при увеличении диаметра?
8. Чему равны потери по длине при равномерном движении в открытых руслах?
9. Какие виды движения грунтовых вод вы знаете?

Вариант 4

Задача № 1

В закрытом резервуаре имеется вода, $h_1 = 50 \text{ см}$, и масло, $h_2 = 30 \text{ см}$ и плотностью $\rho_m = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$. Найти давление P_0 на поверхности масла в резервуаре, если показание ртутного прибора $h = 40 \text{ см}$.

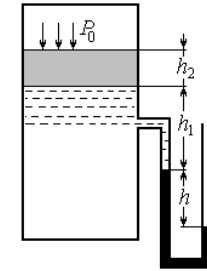


Рис. 10.4.1

Задача № 2

Для регулирования уровня жидкости в напорном резервуаре установлен поворачивающийся прямоугольный затвор с размерами $a \times b = (1 \times 2) \text{ м}^2$, который открывает отверстие в вертикальной стенке. Определить натяжение троса T , если глубина $h = 2,9 \text{ м}$, манометрическое давление на поверхности жидкости $P_m = 8,7 \text{ кПа}$, плотность жидкости $\rho_{ж} = 900 \text{ кг}/\text{м}^3$.

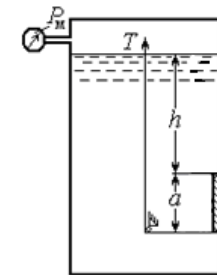


Рис. 10.4.2

Трением в шарнире и весом затвора пренебречь.

Задача № 3

Определить силу суммарного давления на секторный затвор и ее направление. Глубина воды перед затвором $H = 4 \text{ м}$, длина затвора $L = 8 \text{ м}$, $\alpha = 60$.

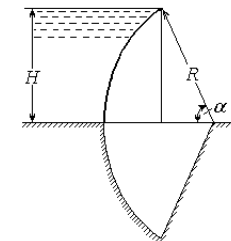


Рис. 10.4.3

Задача № 4

Определить необходимый объем W заполненного светильным газом воздушного шара, поднимающего на уровне земли груз весом $G = 10000$ Н. Плотность воздуха у земли $\rho_{\text{возд}} = 1,23$ кг/м³, плотность газа $\rho_{\text{г}} = 0,515$ кг/м³.

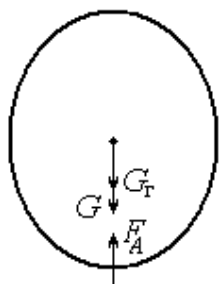


Рис. 10.4.4

Задача № 5

Из резервуара А по новой чугунной трубе $d = 200$ мм вода поступает в резервуар В при напорах $H_0 = 4$ м и $H_2 = 1$ м и длинах участков $l_1 = 30$ м, $l_2 = 50$ м. Определить напор H_1 в резервуаре Б, $\lambda = 0,026$.

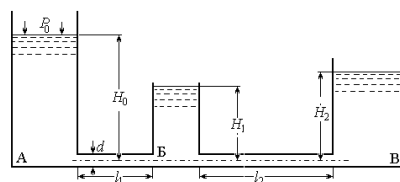


Рис. 10.4.5

Задача № 6

Определить расход воды, вытекающий из сосуда Мариотта через цилиндрический насадок диаметром $d = 25$ мм при $h = 0,5$ м.

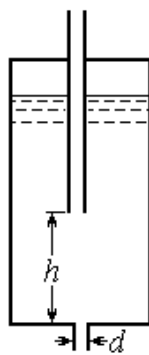


Рис. 10.4.6

Задача № 7

Трубопровод, питаемый от водонапорной башни, имеет участок AB с параллельным соединением труб, длины которых: $l_1 = 400$ м, $l_2 = 200$ м, $l_3 = 300$ м. Длина участка BC $l_4 = 500$ м. Диаметры ветвей трубопровода: $d_1 = 125$ мм, $d_2 = d_3 = 150$ мм, $d_4 = 200$ мм. Трубы стальные. Напор в конце трубопровода в точке C $H_C = 10$ м. Расход в третьей ветви $Q_3 = 30$ л/с. Определить расходы на участках 1, 2 и BC и пьезометрический напор H_A в точке A .

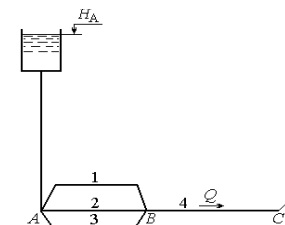


Рис. 10.4.7

Задача № 8

Металлический лоток полукруглого сечения $r = 0,4$ м установлен с уклоном $i = 0,005$. Определить, какой расход Q будет протекать по лотку при наполнении $h = 0,3$ м.

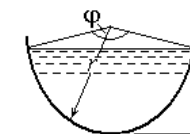


Рис. 10.4.8

Задача № 9

Определить дебит совершенно-го грунтового колодца, расположенного у реки, если отметки свободной поверхности воды в реке составляют 13,50 м; свободной поверхности воды в колодце – 12,00 м; горизонтального подстилающего водонепроницаемого слоя – 10,00 м. Диаметр колодца $d = 0,5$ м; расстояние от реки до оси колодца $l = 15$ м; коэффициент фильтрации $k = 0,01$ см/с.

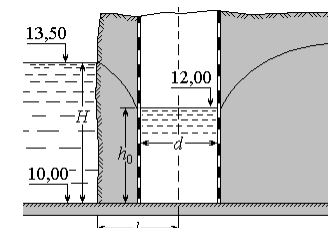


Рис. 10.4.9

Контрольные вопросы

1. Что называется вязкостью жидкости?
2. Что изучает кинематика?
3. Что такое поток? Какие вы знаете потоки?
4. Какая скорость для режимов движения принимается критической?
5. Чему равны удельная потенциальная и средняя удельная энергии потока?
6. Назовите физический смысл расходной характеристики K .
7. Как уменьшить давление при гидравлическом ударе?
8. Назовите основные особенности равномерного движения жидкости в открытых руслах.
9. Как определить радиус влияния совершенного грунтового колодца?

Вариант 5

Задача № 1

В открытые сообщающиеся сосуды налиты жидкости разной плотности: $\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_2 = 1200 \text{ кг/м}^3$. Найти высоты h_1 и h_2 , если известно, что разность уровней жидкостей в сосудах $h = 0,3 \text{ м}$.

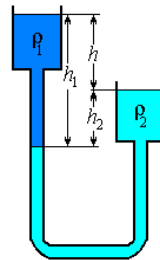


Рис. 10.5.1

Задача № 2

Прямоугольный щит длиной $a = 5 \text{ м}$ и шириной $b = 5 \text{ м}$ закреплен шарнирно в точке O . Глубина воды слева от щита $H = 4 \text{ м}$, справа – $h = 2 \text{ м}$. Угол наклона щита к горизонту $\alpha = 60^\circ$. Какое усилие T нужно приложить к концу щита, чтобы поднять его?

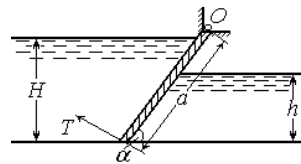


Рис. 10.5.2

Задача № 3

Круглое отверстие диаметром $d = 40 \text{ см}$ в дне резервуара с водой перекрывается клапаном-полусферой такого же диаметра, вес которого $G = 200 \text{ Н}$. Вычислить силу T , необходимую для поднятия клапана при напоре $H = 2,5 \text{ м}$.

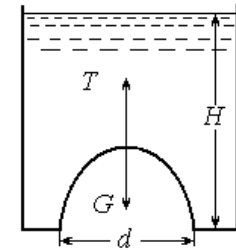


Рис. 10.5.3

Задача № 4

Восковой шарик помещен в сосуд, заполненный маслом и водой. Плотность воска $\rho_{\text{воска}} = 960 \text{ кг/м}^3$, плотность масла $\rho_{\text{м}} = 900 \text{ кг/м}^3$. Определить отношение объема воскового шарика в воде ко всему объему шарика.

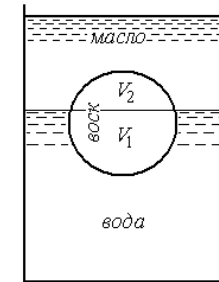


Рис. 10.5.4

Задача № 5

Определить наибольшую высоту расположения центробежного насоса над уровнем воды в колодце, если вакуум во всасывающей трубе насоса не должен превышать 7 м вод. ст., длина всасывающей трубы $l = 8 \text{ м}$, диаметр $d = 10 \text{ см}$, расход насоса $Q = 20 \text{ л/с}$.

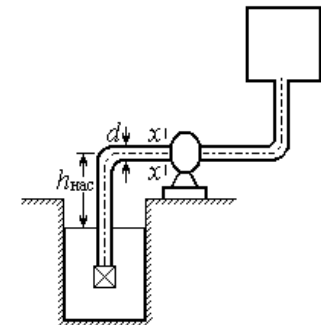


Рис. 10.5.5

Задача № 6

Резервуар разделен тонкой стенкой, в которой имеется круглое отверстие диаметром $d = 30$ мм. Диаметр конически сходящегося насадка в дне первого отсека $d_1 = 15$ мм; диаметр внешнего цилиндрического насадка во втором отсеке $d_2 = 20$ мм. Определить расход воды из бака Q и глубину H_2 во втором отсеке, если глубина воды в первом отсеке $H_1 = 1,25$ м, а расстояние от дна до центра цилиндрического насадка $h = 0,2$ м.

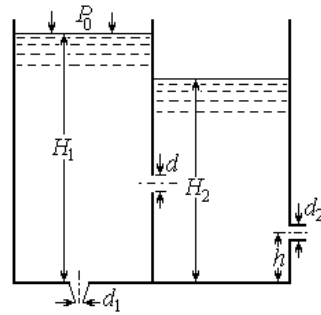


Рис. 10.5.6

Задача № 7

Определить расход воды $Q_1 = Q_3 = Q$, притекающей в бак D из бака A по системе труб с $\Delta_{\text{эк}} = 0,5$ мм согласно схеме, если напор $H = 20$ м, $l_1 = 500$ м, $l_2 = 300$ м, $l_3 = 200$ м, $l_4 = 400$ м, $l_5 = 500$ м, $d_1 = 0,2$ м, $d_2 = 0,15$ м, $d_3 = 0,1$ м, $d_4 = 0,1$ м, $d_5 = 0,15$ м.

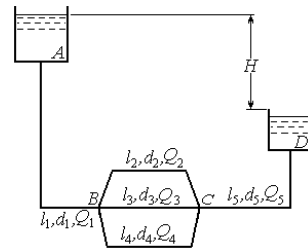


Рис. 10.5.7

Задача № 8

Определить, какой уклон необходимо придать дну трапециевидного канала для пропуска расхода $Q = 2,5$ м³/с при следующих данных: ширина канала по дну $b = 1,5$ м, глубина наполнения $h = 145$ см, коэффициенты заложения откосов $m_1 = 1,25$, $m_2 = 2,75$, коэффициент шероховатости $n = 0,025$.

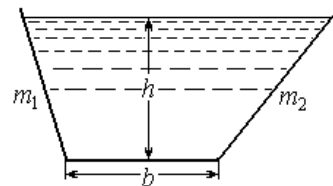


Рис. 10.5.8

Задача № 9

Определить приток воды к буровой скважине радиусом $r_0 = 0,1$ м, заложенной в водоносный пласт, образованный крупнозернистым песком. Водоносный пласт пройден скважиной на всю толщу $H = 20$ м и подстилается водонепроницаемыми породами. Глубина воды в скважине $h_0 = 15$ м.

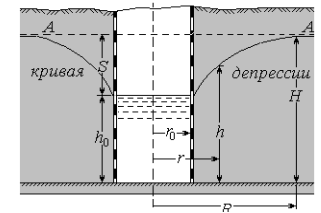


Рис. 10.5.9

Контрольные вопросы

1. Что называется гидростатическим напором H_S ?
2. В чем отличие установившегося движения от неустановившегося?
3. Что называется остойчивостью?
4. Назовите геометрический и энергетический аспекты слагаемых уравнения Бернулли.
5. Что называется напором истечения?
6. От чего зависит коэффициент Дарси в различных областях сопротивления трубопровода?
7. Как влияет продолжительность закрытия задвижки на силу гидравлического удара?
8. Чему равна относительная ширина канала гидравлически наивыгоднейшего сечения?
9. Назовите, в каком состоянии может находиться вода, содержащаяся в грунте?

Вариант 6

Задача № 1

Определить глубину воды в резервуаре A , если показание ртутного манометра $h_1 = 600$ мм, показание пьезометра $h = 2$ м.

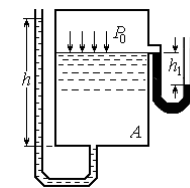


Рис. 10.6.1

Задача № 2

Круглую трубу диаметром $D = 2$ м перекрывает плоский затвор. Определить равнодействующую силу двухстороннего давления воды на плоский затвор и точку ее приложения, если глубина воды слева $H_1 = 5$ м, справа – $H_2 = 2$ м.

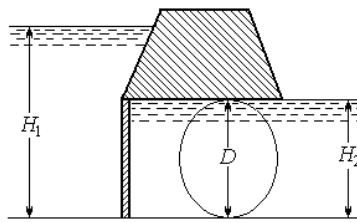


Рис. 10.6.2

Задача № 3

Определить равнодействующую сил давления воды на цилиндрический затвор, перегородающий прямоугольный канал, и ее направление, если глубина воды перед затвором $H = 4,2$ м, диаметр затвора $d = 3$ м, а ширина пролета $b = 10$ м. Воды в нижнем бьефе нет.

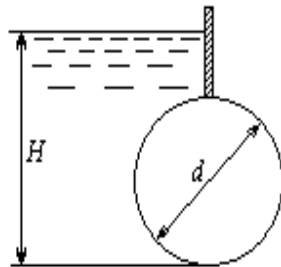


Рис. 10.6.3

Задача № 4

По окончании загрузки 1250 м^3 песка осадка баржи h увеличилась на 1 м ($h + 1$).

Определить плотность песка $\rho_{\text{п}}$, если площадь плоскости плавания баржи $\Omega = 2000 \text{ м}^2$.

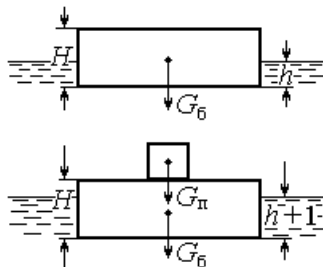


Рис. 10.6.4

Задача № 5

Из резервуара при постоянном манометрическом давлении $P_m = 20$ кПа и постоянном уровне $H = 1,0$ м вода вытекает по вертикальной трубе переменного сечения, нижний конец которой погружен в открытый резервуар.

Определить расход Q в трубе и полное гидростатическое давление P_2 в сечении 2 – 2, расположенном на высоте $h = 0,5$ м от свободной поверхности нижнего резервуара, если $d_1 = 50$ мм, $d_2 = 75$ мм.

Учитывать только местные сопротивления.

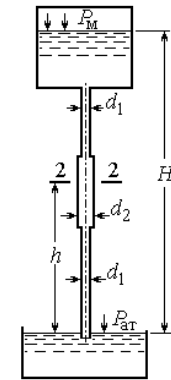


Рис. 10.6.5

Задача № 6

Жидкость вытекает из закрытого резервуара в атмосферу через внешний цилиндрический насадок диаметром $d = 40$ мм. Глубина погружения насадки $h = 0,45$ м. Какое манометрическое давление необходимо создать на поверхности жидкости для пропуска расхода $Q = 7,5$ л/с, если плотность жидкости $\rho = 850$ кг/м³, длина насадки $l = 200$ мм?

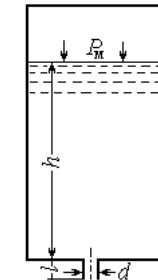


Рис. 10.6.6

Задача № 7

Водопровод, питаемый от водонапорной башни, имеет участок AB с непрерывной раздачей по пути $q_0 = 0,1$ л/с на 1 пог. м. Расход в конце трубопровода $Q = 10$ л/с. Определить напор у башни H , если длины участков: $l_1 = 300$ м, $l_2 = 200$ м, $l_3 = 100$ м, а диаметры: $d_1 = 200$ мм, $d_2 = 150$ мм, $d_3 = 100$ мм.

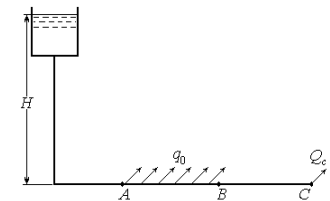


Рис. 10.6.7

Задача № 8

Определить, какой уклон необходимо придать дну трапецидального канала для пропуска расхода $Q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ при следующих данных: ширина канала по дну $b = 1,5 \text{ м}$, глубина наполнения $h = 95 \text{ см}$, коэффициент заложения откоса $m = 1,75$, коэффициент шероховатости $n = 0,025$.

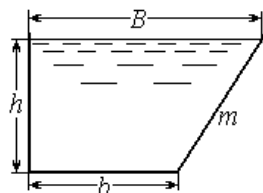


Рис. 10.6.8

Задача № 9

Для сброса воды в грунт запроектирован поглощающий колодец. Определить возможный сбрасываемый расход, если бытовая глубина воды в водоносном слое $H = 2 \text{ м}$, глубина воды в колодце $h = 6 \text{ м}$, диаметр колодца $d = 30 \text{ см}$, при радиусе влияния $R = 700 \text{ м}$; $k = 0,3 \text{ см/с}$.

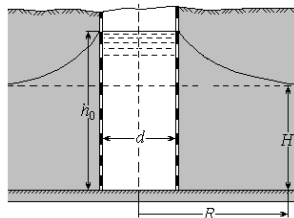


Рис. 10.6.9

Контрольные вопросы

1. Как изменится вязкость капельных жидкостей и газов при повышении температуры?
2. Что называется пьезометрическим и гидростатическим напором H_s ? Чем они отличаются?
3. Когда вертикальная составляющая силы давления на криволинейную поверхность будет направлена вниз, а когда вверх?
4. Что такое инверсия?
5. Когда сжатие струи при истечении из малого отверстия будет несовершенным?
6. Какие виды сложных трубопроводов вы знаете?
7. Поясните схему расчета параллельно соединенных трубопроводов.
8. Чему равен гидравлический радиус русла гидравлически наивыгоднейшего сечения?
9. Что называется коэффициентом порозности грунта?

Вариант 7

Задача № 1

К центру резервуара с водой присоединен ртутный U-образный манометр. Определить абсолютное $P_{\text{абс}}$ и манометрическое $P_{\text{м}}$ давление в центре резервуара, если нижний уровень ртути в манометре находится на расстоянии $h_1 = 0,3 \text{ м}$ от точки присоединения манометра, а показание ртутного манометра $h_2 = 0,7 \text{ м}$.

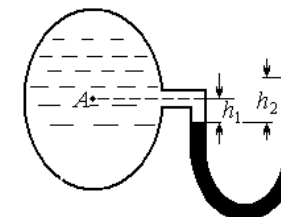


Рис. 10.7.1

Задача № 2

Найти силу T , с которой нужно тянуть трос, прикрепленный к нижней кромке плоского затвора, закрывающего отверстие трубы диаметром $d = 2 \text{ м}$. Затвор может вращаться вокруг шарнира A . Глубина воды над верхней кромкой затвора $h = 3 \text{ м}$. Трос направлен под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту.

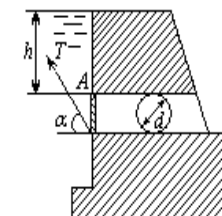


Рис. 10.7.2

Задача № 3

Определить величину и направление силы давления на цилиндрический затвор диаметром $d = 2 \text{ м}$ и длиной $L = 5 \text{ м}$, перегораживающий прямоугольный канал шириной $b = 5 \text{ м}$, если глубина воды слева $H = 3 \text{ м}$, справа – $h = 1 \text{ м}$.

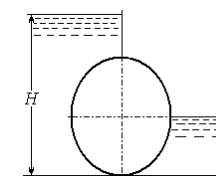


Рис. 10.7.3

Задача № 4

Определить, сколько бревен нужно для сооружения плота, способного удержать груз $G = 35 \text{ кН}$, если $\rho_{\text{дерева}} = 800 \text{ кг/м}^3$, диаметр бревен $d = 0,25 \text{ м}$, длина – $l = 9 \text{ м}$.

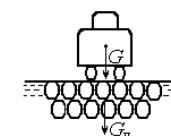


Рис. 10.7.4

Задача № 5

Определить расход воды в трубопроводе длиной $l = 120$ м и построить напорную и пьезометрическую линии, если: длина первого участка $l_1 = 75$ м; $d_1 = 100$ мм; $d_2 = 150$ мм; напор в баке $H = 4,5$ м. Отметки: в начале трубопровода $z_1 = 5$ м, в конце – $z_2 = 3,5$ м. Коэффициенты трения по длине: $\lambda_1 = 0,03$; $\lambda_2 = 0,027$.

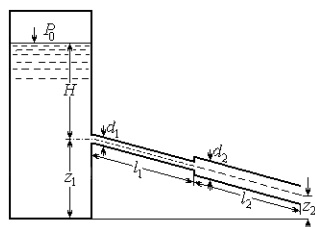


Рис. 10.7.5

Задача № 6

Жидкость вытекает из открытого резервуара через отверстие диаметром $d = 30$ мм при постоянном напоре $h = 0,65$ м. Определить, с каким диаметром необходимо присоединить конoidalный насадок длиной $l = 120$ мм для пропуска того же расхода.

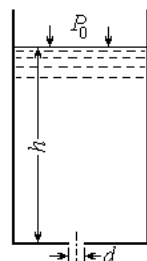


Рис. 10.7.6

Задача № 7

На трубопроводе, питаемом от водонапорной башни, участок BC имеет непрерывную раздачу по пути $q_0 = 0,05$ л/с, а в точках C и D – сосредоточенные расходы $Q_C = 10$ л/с и $Q_D = 12$ л/с. Длины участков: $AB = 400$ м, $BC = 300$ м, $CD = 200$ м. Отметка земли у башни $z_A = 15$ м, $z_B = 14$ м, $z_C = 12$ м, $z_D = 10$ м. Свободный напор $H_{CB} \geq 10$ м. Определить высоту водонапорной башни h_0 и напоры в точках A, B, C, если диаметры участков $D_{AB} = D_{BC} = 200$ мм, $D_{CD} = 125$ мм; трубы стальные.

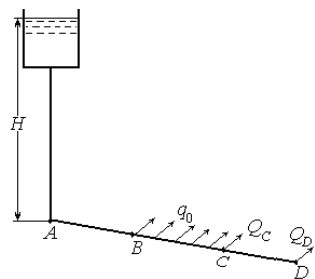


Рис. 10.7.7

Задача № 8

По прямоугольному лотку ($n = 0,025$), ширина которого по дну $b = 1$ м, протекает вода с расходом $Q = 1$ м³/с. Установить глубину потока, если уклон дна лотка $i = 0,1$. Как изменится расход при уменьшении уклона до $i = 0,01$?

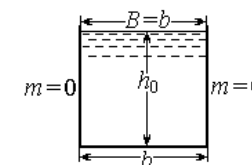


Рис. 10.7.8

Задача № 9

Для осушения строительной площадки проложена дренажная траншея длиной $l = 200$ м и глубиной $H = 2$ м. Грунт – крупный песок. Определить расход воды Q , притекающий к траншее.

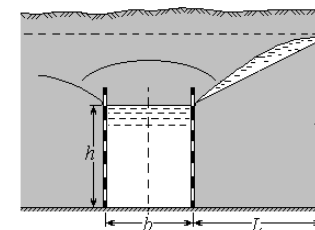


Рис. 10.7.9

При небольшом расходе воды в траншее глубина воды h мала и может не учитываться.

Контрольные вопросы

1. По какой зависимости можно определить плотность газообразных жидкостей при различных значениях температуры и давления?
2. Какие силы действуют в жидкости?
3. Запишите уравнение равного давления для жидкости, находящейся в сосуде, движущемся равноускоренно.
4. Что представляет собой эпюра гидростатического давления?
5. Какие виды местного сопротивления встречаются в трубопроводах?
6. Какие типы задач встречаются при гидравлическом расчете простого трубопровода?
7. Когда напор истечения жидкости через малое отверстие будет равен глубине погружения его центра тяжести под уровень жидкости в резервуаре?
8. Какие величины оказывают влияние на коэффициент Шези?
9. Что представляет собой длина влияния галереи и как ее определить?

Вариант 8

Задача № 1

Определить разность давлений в резервуарах A и B , заполненных бензином, если показание ртутного манометра $h_{рт} = 100$ мм. Плотность бензина $\rho_6 = 740$ кг/м³.

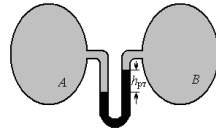


Рис. 10.8.1

Задача № 2

Автоматическое регулирование жидкости в напорном резервуаре осуществляется поворачивающимся щитом AB . Найти глубину погружения h оси поворота щита размерами $a \times b = 1 \times 2$ м и силу давления на него, если $h_1 = 2,9$ м, манометрическое давление на свободной поверхности $P_m = 87$ кПа. Трением в шарнире и весом щита пренебречь.

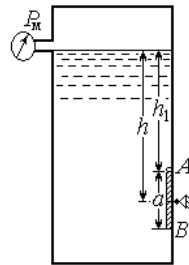


Рис. 10.8.2

Задача № 3

Круглое отверстие в вертикальной стенке закрытого резервуара с водой перекрыто сферической крышкой. Радиус сферы $R = 0,5$ м, угол $\alpha = 120^\circ$, глубина погружения центра тяжести отверстия $H = 1,0$ м.

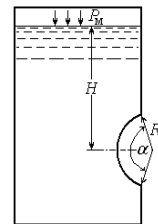


Рис. 10.8.3

Задача № 4

Длина прямоугольного понтона $l = 5$ м, ширина $b = 2,5$ м и высота $H = 1$ м. Вес понтона $G_n = 8,5$ кН. Проверить понтон на остойчивость без нагрузки.

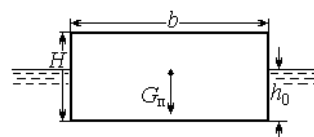


Рис. 10.8.4

Задача № 5

Из резервуара A вода, находящаяся под избыточным давлением P_0 , перетекает в резервуар B с расходом $Q = 35$ л/с. Уровень воды в резервуаре A находится на высоте $H_1 = 12$ м от дна резервуара B . Уровень воды в резервуаре $B - H_2 = 2$ м. Диаметр трубы $d = 100$ мм, диаметр отстойника $D = 200$ мм. Общая длина трубопровода $l = 10$ м. На трубопроводе три поворота, $\zeta_{пов} = 0,29$, вентиль, $\zeta_v = 4$. Определить давление P_0 в резервуаре A .

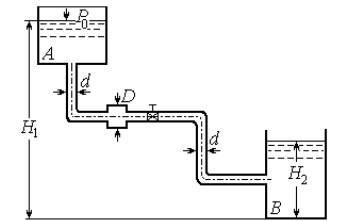


Рис. 10.8.5

Задача № 6

Вода вытекает из закрытого резервуара в атмосферу через отверстие диаметром $d = 30$ мм. Избыточное давление на свободной поверхности жидкости $P_m = 12$ кПа, расход жидкости $Q = 3,5$ л/с. Определить глубину погружения отверстия h .

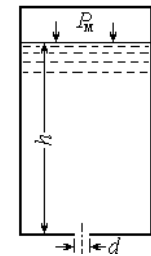


Рис. 10.8.6

Задача № 7

Определить скорость движения воды v в сифоне, расход воды Q и давление в точке $C - P_C$, если диаметр трубы $d = 150$ мм, общая длина $l = 70$ м, отметки воды в резервуарах $z_1 = 23,4$ м; $z_2 = 19,8$ м, отметка верхней точки сифона $z_c = 26,2$ м. Труба имеет два поворота $\zeta_{пов} = 0,28$. На входе установлен приемный клапан с сеткой. Длина трубопровода от приемного клапана до точки C $l_1 = 56$ м.

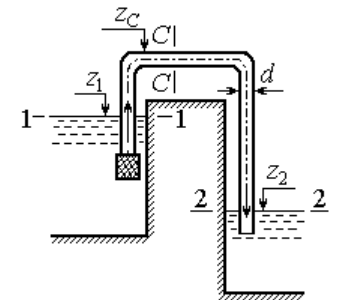


Рис. 10.8.7

Задача № 8

Установить глубину протекания потока и определить, будет ли размываться трапецеидальное русло, если площадь живого сечения потока $\omega = 2,5 \text{ м}^2$, ширина русла по дну $b = 1 \text{ м}$, коэффициент заложения откосов $m = 1,5$, расход воды $Q = 3,5 \text{ м}^3/\text{с}$, грунт – плотная глина.

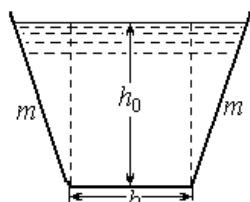


Рис. 10.8.8

Задача № 9

В скважину, проложенную в плотном песчаном грунте с коэффициентом фильтрации $k = 0,002 \text{ м}^2/\text{с}$, закачивают воду при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить поглощающую способность скважины (дебит), если ее диаметр $d = 0,4 \text{ м}$ и уровень воды в скважине $h_0 = 10 \text{ м}$. Скважина проложена до непроницаемых пород, уровень воды в пласте $H = 2 \text{ м}$.

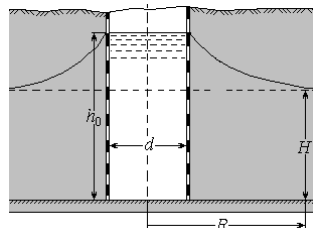


Рис. 10.8.9

Контрольные вопросы

1. По какой зависимости можно определить плотность газообразных жидкостей при различных значениях температуры и давления?
2. Какие силы относятся к поверхностным и массовым?
3. Что изучает гидродинамика и какие методы используют при выводе законов гидродинамики?
4. Чем отличается расход жидкости от элементарного расхода?
5. Что вы понимаете под потерями энергии по длине трубопровода и в местных сопротивлениях?
6. Зависит ли коэффициент местного сопротивления от числа Рейнольдса и скорости потока?
7. Что называется коэффициентом сжатия, скорости и расхода?
8. От чего зависит и как определяется коэффициент Шези?
9. Что характеризует коэффициент фильтрации?

Вариант 9

Задача № 1

Определить давление в резервуаре P_0 и высоту подъема уровня воды h_1 в трубке, опущенной в открытый сосуд с водой, если показание ртутного манометра $h_2 = 0,15 \text{ м}$, а расстояние от уровня воды в резервуаре до верхнего уровня ртути в манометре $h_3 = 0,8 \text{ м}$, $\rho_{\text{рт}} = 13600 \text{ кг/м}^3$.

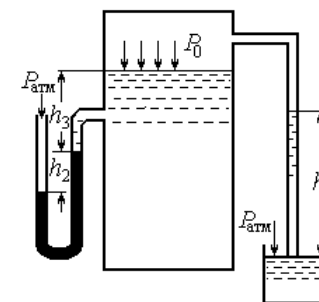


Рис. 10.9.1

Задача № 2

Круглое отверстие в вертикальной стенке резервуара диаметром $d = 40 \text{ см}$ перекрыто плоским клапаном. Найти величину и точку приложения силы, прижимающей клапан к стенке, если щит отверстия расположен ниже свободной поверхности воды на $H = 0,8 \text{ м}$.

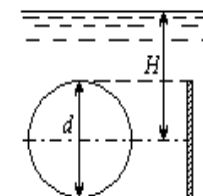


Рис. 10.9.2

Задача № 3

Цилиндрический резервуар для хранения мазута диаметром $D = 4,0 \text{ м}$ имеет полусферическую крышку и сообщается с атмосферой через трубу диаметром $d = 0,2 \text{ м}$. Определить вертикальную составляющую силы гидростатического давления мазута на крышку, если $H_1 = 4,0 \text{ м}$, $H_2 = 8,0 \text{ м}$, плотность мазута $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$.

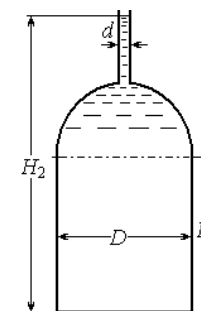


Рис. 10.9.3

Задача № 4

Прямоугольная баржа размером в плане $L \times B = (18 \times 9) \text{ м}^2$ без груза находится в воде на глубине $h = 0,5 \text{ м}$. Определить грузоподъемность баржи G_r при осадке $h_0 = 0,6 \text{ м}$.

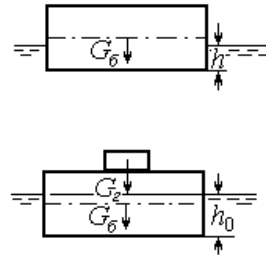


Рис. 10.9.4

Задача № 5

Определить напор в резервуаре H и расход Q воды, протекающей по трубопроводу переменного сечения, если $d_1 = 100 \text{ мм}$; $d_2 = 125 \text{ мм}$; $l_1 = 30 \text{ м}$; $l_2 = 70 \text{ м}$; скорость на выходе из трубопровода $v_2 = 1 \text{ м/с}$. На половине длины первого участка имеется наполовину открытая задвижка, $\zeta_3 = 2,0$. Коэффициенты гидравлического трения $\lambda_1 = 0,03$; $\lambda_2 = 0,27$. С учетом потерь напора построить напорную и пьезометрическую линии.

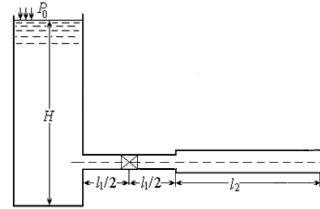


Рис. 10.9.5

Задача № 6

Жидкость вытекает из открытого резервуара в атмосферу через малое отверстие в тонкой стенке диаметром $d = 35 \text{ мм}$ с расходом $Q = 1,7 \text{ л/с}$. Определить дальность полета струи, если центр отверстия расположен на высоте $h = 50 \text{ см}$ от пола.

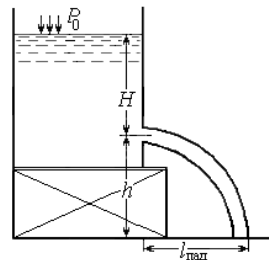


Рис. 10.9.6

Задача № 7

Определить диаметр трубопровода для подачи расхода $Q = 15 \text{ л/с}$ от водонапорной башни B до предприятия A при длине трубопровода $l = 1000 \text{ м}$, отметке уровня воды в башне $H_B = 28 \text{ м}$, геодезической отметке в конце трубопровода $z_A = 5 \text{ м}$ и свободном напоре $H_{св} \geq 12 \text{ м}$, если трубы стальные.

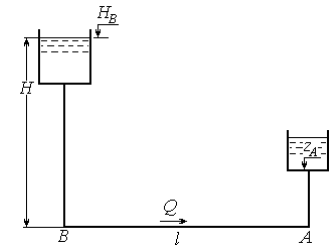


Рис. 10.9.7

Задача № 8

Определить расход воды, который пропустит керамический трубопровод ($n = 1,32$) водосточной сети диаметром $d = 400 \text{ мм}$ при полном заполнении, но самотечном движении воды (свободная поверхность воды совпадает с верхом трубы). Уклон трубопровода $i = 0,005$.

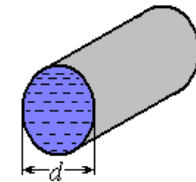


Рис. 10.9.8

Задача № 9

Артезианский колодец радиусом $r_0 = 0,4 \text{ м}$ заложен в водопроницаемый пласт галечникового грунта толщиной $t = 5 \text{ м}$, содержащий грунтовые воды под давлением $P_b = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Радиус влияния колодца $R = 100 \text{ м}$. Определить дебит колодца Q , если напор воды в колодце $h_0 = 9 \text{ м}$. Коэффициент фильтрации грунта $k = 10^{-3} \text{ м/с}$.

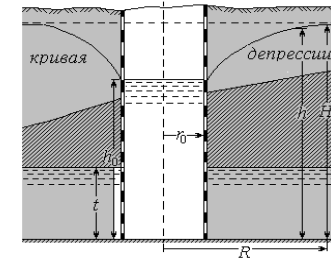


Рис. 10.9.9

Контрольные вопросы

1. Укажите основные свойства капельной жидкости.
2. Объясните физический смысл закона Паскаля и приведите примеры его практического использования.

3. Чему равна сила давления на прямоугольную фигуру и где находится центр давления?

4. Чем является $\frac{v^2}{2g}$ в уравнении Бернулли и его геометрический и энергетический аспекты?

5. Что такое эквивалентная шероховатость?

6. Что такое теоретическая скорость при истечении из отверстия?

7. Обоснуйте выбор экономически выгодного диаметра трубопровода.

8. Как влияет продолжительность закрытия задвижки на силу гидравлического удара?

9. В каких случаях используют абсорбирующие колодцы?

Вариант 10

Задача № 1

Поверхность круглого резервуара с водой закрыта крышкой, диаметр которой равен диаметру резервуара, $d = 200$ мм. На расстоянии $h = 2$ м от крышки выведен пьезометр, уровень воды в котором $h_{\text{п}}$. На крышку действует сила давления $F = 308$ Н. Определить пьезометрическую высоту $h_{\text{п}}$.

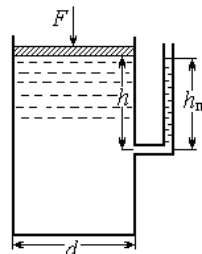


Рис. 10.10.1

Задача № 2

Поворотный клапан закрывает выход из бензохранилища в трубу квадратного сечения. Глубина бензина слева $h = (0,3 + 0,05y)$ м, глубина бензина справа $H = (0,85 + 0,05z)$ м, угол наклона клапана к горизонту $\alpha = (45 + 0,2y)^\circ$, $\rho_6 = 686$ кг/м³, избыточное давление паров бензина в резервуаре $P_{\text{м}} = (0,6 + 0,01y)$ кПа. Определить, какую силу T необходимо приложить к тросу для открытия клапана.

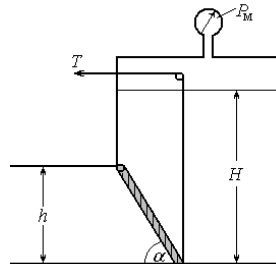


Рис. 10.10.2

Задача № 3

Определить величину и направление силы гидростатического давления на цилиндрический затвор, если его диаметр $d = 3$ м, глубина воды справа $H = 2,5$ м. Расчет произвести на 1 м длины образующей.

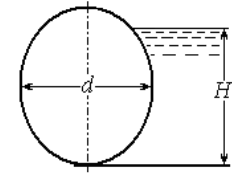


Рис. 10.10.3

Задача № 4

Прямоугольный понтон шириной $B = 2,5$ м, длиной $L = 6,0$ м имеет осадку $h = 0,9$ м, причем центр тяжести расположен на высоте $h_c = 1,2$ м над плоскостью дна. Определить вес груза G и проверить остойчивость понтона, если понтон без нагрузки имеет осадку $h_0 = 0,1$ м.

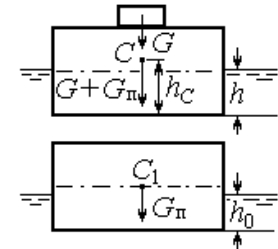


Рис. 10.10.4

Задача № 5

Определить расход воды Q , протекающий по восходящему трубопроводу, имеющему два поворота и задвижку на верхнем участке. Диаметр трубопровода $d = 100$ мм, общая длина $l = 20$ м; $l_1 = l_2 = 8$ м; расстояние до задвижки $l_3 = 2$ м. Коэффициенты сопротивлений: $\zeta_{30^\circ} = 0,7$; $\zeta_{150^\circ} = 3,2$; $\zeta_{\text{зад}} = 2,0$. Ось верхнего участка трубы выше нижнего на величину $h_1 = 0,7$ м. Напор в начале $H = 2,5$ м, в конце $-h = 0,5$ м. С учетом всех потерь построить напорную и пьезометрическую линии.

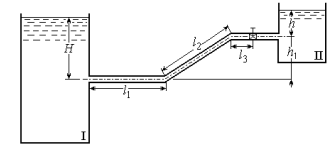


Рис. 10.10.5

Задача № 6

Из бачка I вода при постоянном уровне подается через цилиндрический насадок диаметром $d_1 = (0,3 + 0,02y)$ м в емкость, разделенную на два отсека II и III. В перегородке есть прямоугольное отверстие размерами: $a = (0,4 + 0,02y)$ м, $b = (0,2 + 0,01z)$ м. Полный напор над центром тяжести наружного отверстия диаметром $d_2 = (0,4 + 0,01z)$ м, $H = (4,0 + 0,1y)$ м.

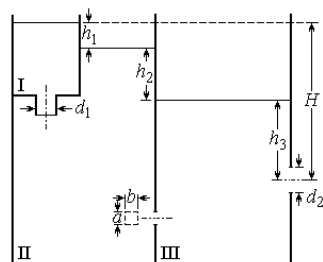


Рис. 10.10.6

Определить расход Q и высоты уровней воды в отсеках II и III, т. е. h_1, h_2, h_3 .

Задача № 7

Вода из закрытого резервуара вытекает по трубе переменного сечения с диаметрами $d_1 = 75$ мм и $d_2 = 50$ мм при напоре $H = 1,8$ м. Длины участков: $l_1 = 12$ м; $l_2 = 7$ м. Расход воды $Q = 5$ л/с. Определить показание ртутного манометра h , подключенного на поверхности воды в резервуаре, и построить диаграмму уравнения Бернулли.

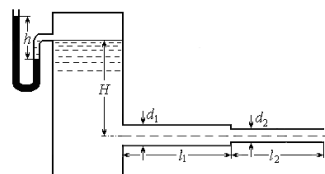


Рис. 10.10.7

Задача № 8

Определить, будет ли устойчива против размыва треугольная водосточная канава автомобильной дороги, если коэффициенты заложения откосов $m_1 = 0,5$, $m_2 = 2$, глубина воды $h = 0,18$ м, уклон канавы $i = 0,004$, коэффициент шероховатости $n = 0,025$.

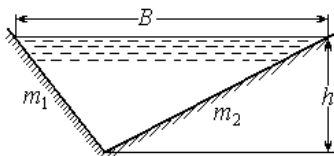


Рис. 10.10.8

Задача № 9

Определить расход воды в дренажных галереях, находящихся на расстоянии $L = 1000$ м друг от друга. Отметки водоносного слоя $z_1 = z_2 = 10,3$ м. Уровни грунтовых вод находятся на отметках $z_1' = 19,2$ м и $z_2' = 15,6$ м.

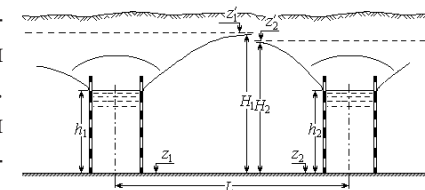


Рис. 10.10.9

Контрольные вопросы

1. Зависит ли вязкость капельной жидкости от температуры и давления?
2. В каких случаях учитывают силы поверхностного натяжения?
3. Как определяется остойчивость плавающего тела?
4. Что означают X, Y, Z в основном дифференциальном уравнении равновесия?
5. Физический смысл коэффициента Кориолиса и как его определить?
6. Как определить область сопротивления, в которой работает трубопровод?
7. Как изменится величина вакуума при истечении жидкости из насадка по уровень?
8. Что представляют собой максимальная допустимая и минимальная скорости движения жидкости в открытых руслах и какой должна приниматься средняя скорость потока?
9. Как определить радиус влияния совершенного грунтового колодца?

Рекомендуемая литература

1. *Альтшуль А. Д.* Гидравлика и аэродинамика / А. Д. Альтшуль, Л. С. Животовский, Л. И. Иванов. – М.: Стройиздат, 1987.
2. *Альтшуль А. Д.* Примеры расчетов по гидравлике / А. Д. Альтшуль. – М.: Стройиздат, 1982.
3. *Большаков В. А.* Сборник задач по гидравлике / В. А. Большаков. – Киев: Вища школа, 1982.
4. *Большаков В. А.* Справочник по гидравлике / В. А. Большаков и др. – Киев: Вища школа, 1984.
5. *Гиргидов А. Д.* Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник / А. Д. Гиргидов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002.
6. *Косой В. Д.* Гидравлика (с примерами решения инженерных задач) / В. Д. Косой, С. А. Рыжов. – М.: ДеЛи принт, 2008.
7. *Лапшев Н. Н.* Гидравлика: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н. Н. Лапшев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
8. *Лапшев Н. Н.* Основы гидравлики и теплотехники: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Н. Н. Лапшев, Ю. Н. Леонтьева. – М.: Издательский центр «Академия», 2003.
9. *Лойцянский Л. Г.* Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003.
10. Механика жидкости и газа: учеб. пособие для вузов / под ред. В. С. Швыдкого. – ИКЦ «Академкнига», 2003.
11. *Новикова А. М.* Механика жидкости и газа: учеб. пособие / А. М. Новикова, И. И. Иваненко, А. В. Кудрявцев; СПбГАСУ. – СПб., 2014.
12. *Сологаев В. И.* Гидравлика (механика жидкости и газа): учеб. пособие / В. И. Сологаев. – Омск.: Издательство СибАДИ, 2010.
13. *Штеренлихт А. Б.* Гидравлика: учебник / А. Б. Штеренлихт. – М.: Колосс, 2005.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Плотность ρ и относительная плотность δ некоторых жидкостей при 20 °С

Наименование жидкости	ρ , кг/м ³	δ_{20}^{20}
Ацетон	792	0,792
Бензин авиационный	739...751	0,739...0,751
Бензин автомобильный	712...761	0,712...0,761
Вода морская	1002...1029	1,002...1,029
Вода пресная	998	0,998
Воздух при барометрическом давлении 100 кПа	1,183	0,0012
Глицерин безводный	1250	1,25
Керосин	792...840	0,792...0,84
Масло компрессорное	899...924	0,899...0,924
Нефть	850...950	0,85...0,95
Ртуть	13547	13,547
Спирт этиловый безводный	789	0,789
Эфир этиловый	715...719	0,715...0,719

Приложение 2

Значения кинематической вязкости ν для некоторых жидкостей

Наименование жидкости	Температура, °С	Кинематическая вязкость, $\nu \cdot 10^{-6}$, м ² /С
Вода	5	1,52
То же	10	1,31
»	15	1,15
»	20	1,10
Нефть (плотность 880 кг/м ³)	15	28–34
Ртуть	20	11,4
Спирт этиловый безводный	20	154
Бензол	20	74
Глицерин безводный	20	41000

Приложение 3

Значения эквивалентной шероховатости $\Delta_{\text{экв}}$, мм, для труб

Трубы, их материал и состояние	$\Delta_{\text{экв}}$, мм
Стальные цельнотянутые новые	0,02...0,05
То же, бывшие в эксплуатации	0,15...0,3
Новые цельнотянутые из стекла, латуни, меди	0,0015...0,01
То же, из алюминия	0,015...0,05
Стальные сварные новые	0,04...0,1
То же, бывшие в эксплуатации	0,1...0,15
Чугунные новые	0,25...1,0
То же, бывшие в эксплуатации	1,0...1,5
Бетонные, с хорошей (гладкой) поверхностью	0,3...0,8
То же, при среднем качестве работ; железобетонные	2,5
То же, при грубой (шероховатой) поверхности	3,0...9,0
Асбестоцементные новые	0,05...0,1
То же, бывшие в эксплуатации	0,6
Стекланные	0,0015...0,01

Приложение 4

Таблица П4.1

Коэффициенты местных потерь при изменении сечения потока

Наименование местного сопротивления	ζ_m
Вход в трубу, прямой, при острых входных кромках	0,5
То же, при закругленных кромках	0,2
То же, при скошенных кромках	0,15
Выход из трубы в резервуар больших размеров	1,0
Внезапное расширение	$(\omega_2/\omega_1 - 1)^2$
Внезапное сужение	$0,5(1 - \omega_2/\omega_1)$

Таблица П4.2

Коэффициенты сопротивления при резком повороте на угол α°

α°	0	30	45	60	75
ζ	1	0,155	0,318	0,555	0,806
α°	90	110	130	150	180
ζ	1,19	1,87	2,6	3,2	3,6

Таблица П4.3

Значение коэффициента a при плавном повороте на угол α°

α°	30	40	50	60	70	80
a	0,55	0,65	0,75	0,83	0,88	0,95
α°	90	100	120	140	160	180
a	1,0	1,05	1,13	1,2	1,27	1,33

Таблица П4.4

Коэффициенты сопротивления задвижки ζ_3 , в зависимости от степени открытия h/d

Открытие h/d	1	7/8	6/8	5/8	4/8	3/8	2/8	1/8
$\omega_{\text{отк}} / \omega$	1,0	0,948	0,856	0,740	0,609	0,466	0,315	0,159
Значение ζ_3	0	0,07	0,26	0,81	2,06	5,52	17,0	97,8

Таблица П4.5

Коэффициенты сопротивления ζ всасывающих клапанов с сеткой и обратных клапанов в зависимости от диаметра трубы

Тип запорного устройства	Диаметр трубы, мм					
	40	50	75	100	150	200
Всасывающие клапаны с сеткой	12	10	8,5	7,0	6,0	5,2
Обратные клапаны	–	18	11	8	6,5	5,5
Тип запорного устройства	Диаметр трубы, мм					
	250	300	350	400	500	750
Всасывающие клапаны с сеткой	4,4	3,7	3,4	3,1	2,5	1,6

Приложение 5

Коэффициенты расхода μ , скорости φ , сжатия ε при истечении жидкости из отверстий и насадков

Тип отверстия или насадка	ε	φ	μ
Малое отверстие при совершенном сжатии	0,64	0,97	0,62
Отверстие средних размеров при всестороннем сжатии и отсутствии направляющих стенок	–	–	0,6
Большие отверстия с несовершенным, но всесторонним сжатием	–	–	0,70
Донные отверстия без сжатия по дну со значительным боковым сжатием	–	–	0,65...0,70
То же, с весьма плавными боковыми подходами	–	–	0,80...0,85
Внешний цилиндрический насадок при $l = (3...4)d$ и полном заполнении	1,0	0,82	0,82
То же, при расположении насадка под углом к стенке:			
$\alpha = \pi/9$	1,0	0,78	0,78
$\alpha = \pi/4,5$	1,0	0,75	0,75
$\alpha = \pi/3$	1,0	0,72	0,72
Внутренний цилиндрический насадок:			
при $l = 0,5d$	0,52	0,98	0,98
при $l = (3...4)d$	1,0	0,71	0,71
Конически расходящийся насадок при угле конусности $\theta = \pi/36... \pi/24$	1,0	0,45...0,50	0,45...0,50
Конически сходящийся насадок при угле конусности:			
$\theta = \pi/60$	–	–	0,89
$\theta = \pi/13$	0,98	0,96	0,94
$\theta = \pi/3$	–	–	0,90
Коноидальный насадок (при максимальной пропускной способности)	1,0	0,98	0,98

Приложение 6

Расходные характеристики для труб различных диаметров

Диаметр условного прохода, мм	Значения расходной характеристики K (м ³ /с) для труб				
	новых стальных при $v = 1$ м/с	не новых стальных при $v \geq 1,2$ м/с	железобетонных, не новых чугунных при $v \geq 1,2$ м/с	асбестоцементных при $v = 1$ м/с	пластмассовых при $v = 1$ м/с
50	0,0206	0,01645	0,0093	0,0121	0,01285
60	0,0259	0,0209	–	–	0,0203
75	0,0404	0,0328	–	–	–
80	0,0570	0,0469	0,0324	0,0346	0,0328
100	0,0912	0,0760	0,0565	0,0730	0,0555
125	0,136	0,1144	0,1015	0,1145	0,104
150	0,212	0,1805	0,164	0,178	0,148
175	0,257	0,219	–	–	–
200	0,440	0,380	0,351	0,380	0,443
250	0,779	0,646	0,625	0,669	0,873
300	1,23	1,085	1,05	1,045	1,19
350	1,84	1,635	1,51	1,52	–
400	2,60	2,32	2,14	2,15	–
450	3,53	3,16	2,90	–	–
500	4,61	4,16	3,84	3,74	–
600	7,33	6,65	6,20	6,87	–
700	10,5	9,53	9,32	10,25	–
800	14,8	13,5	13,3	14,5	–
900	20,0	18,4	18,1	19,6	–
1000	26,2	24,2	23,9	25,8	–
1200	42,0	39,2	38,8	–	–

Приложение 7

Значения поправочного коэффициента a

Средняя скорость потока v , м/с	Значения a для труб			
	новых стальных	неновых стальных, чугунных и железобетонных	асбестоцементных	пластмассовых
0,20	0,869	0,842	0,874	0,834
0,30	0,927	0,884	0,906	0,873
0,40	0,948	0,913	0,929	0,902
0,50	0,962	0,932	0,947	0,934
0,60	0,973	0,947	0,961	0,944
0,70	0,981	0,960	0,973	0,960
0,80	0,990	0,971	0,983	0,975
0,90	0,994	0,980	0,992	0,988
1,00	1,000	0,985	1,000	1,000
1,20	1,007	1,000	1,013	1,021
1,40	1,014	1,000	1,024	1,039
1,60	1,018	1,000	1,034	1,055
1,80	1,022	1,000	1,041	1,068
2,00	1,025	1,000	1,048	1,081
2,20	1,028	1,000	1,054	1,093
2,40	1,031	1,000	1,059	1,104
2,60	1,033	1,000	1,064	1,114
2,80	1,035	1,000	1,068	1,124
3,00	1,036	1,000	1,072	1,132
3,40	-	1,000	1,079	-
3,80	-	1,000	1,085	-
4,20	-	1,000	1,089	-
4,60	-	1,000	1,094	-
5,00	-	1,000	1,097	-

Приложение 8

Удельные сопротивления S_0 для труб, изготовленных из различного материала

Таблица П8.1
Удельные сопротивления S_0 для железобетонных и неновых чугунных водопроводных труб, c^2/m^6

D трубы, мм	Средняя в сечении скорость v , м/с												
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	≥1,2		
50	14 200	13 300	12 700	12 300	12 000	11 700	11 500	11 400	11 200	11 100	11 100	11 100	
70	3 700	3 470	3 330	3 200	3 140	3 070	3 000	2 980	2 940	2 940	2 800	2 800	
80	1 500	1 400	1 340	1 300	1 270	1 240	1 220	1 200	1 190	1 170	1 170	1 170	
100	3 42	3 20	3 07	2 96	2 90	2 83	2 78	2 75	2 70	2 67	2 67	2 67	
125	1 36	1 27	1 22	1 15	1 08	1 13	1 10	1 09	1 08	1 06	1 06	1 06	
150	5 7,9	53,9	51,7	49,9	48,8	47,7	46,8	46,3	45,6	45,0	45,0	45,0	
175	24,3	22,8	21,8	21,0	20,6	20,1	19,7	19,5	19,2	19,0	19,0	19,0	
200	11,87	11,12	10,66	10,29	10,06	9,83	9,66	9,55	9,41	9,27	9,27	9,27	
225	6,17	5,78	5,54	5,35	5,23	5,11	5,01	4,96	4,89	4,82	4,82	4,82	
250	3,30	3,10	2,97	2,86	2,80	2,73	2,68	2,66	2,62	2,58	2,58	2,58	
275	1,96	1,84	1,76	1,70	1,66	1,62	1,59	1,58	1,55	1,53	1,53	1,53	
300	1,202	1,127	1,127	1,042	1,019	0,995	0,997	0,967	0,953	0,939	0,939	0,939	
325	0,78	0,731	0,70	0,676	0,661	0,646	0,633	0,627	0,618	0,609	0,609	0,609	
350	0,522	0,490	0,469	0,453	0,443	0,432	0,424	0,420	0,414	0,408	0,408	0,408	
400	0,264	0,247	0,240	0,339	0,224	0,218	0,214	0,212	0,209	0,206	0,206	0,206	
450	0,140	0,131	0,125	0,121	0,118	0,116	0,113	0,112	0,111	0,109	0,109	0,109	
500	0,0796	0,075	0,072	0,069	0,068	0,066	0,065	0,064	0,063	0,062	0,062	0,062	
600	0,0305	0,029	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	
700	0,0147	0,0138	0,0132	0,0128	0,0125	0,0122	0,012	0,0118	0,0117	0,0115	0,0115	0,0115	
800	0,0072	0,0068	0,0065	0,0063	0,0061	0,006	0,0059	0,0058	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	
900	0,0039	0,0036	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0032	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	
1000	0,0032	0,0021	0,002	0,0019	0,0019	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	0,0018	

Таблица П8.2
Удельные сопротивления S_0 для неновых стальных труб, $с^2/м^6$

D труб, мм	Средняя в сечении скорость v , м/с											
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	$\geq 1,2$	
50	14200	13300	12700	12300	12000	11700	11500	11400	11200	11100	11100	
70	3700	3470	3330	3200	3140	3070	3000	2980	2940	2800	2800	
80	1500	1400	1340	1300	1270	1240	1220	1200	1190	1170	1170	
100	342	320	307	296	290	283	278	275	270	267	267	
125	136	127	122	115	108	113	110	109	108	106	106	
150	57,9	53,9	51,7	49,9	48,8	47,7	46,8	46,3	45,6	45,0	45,0	
175	24,3	22,8	21,8	21,0	20,6	20,1	19,7	19,5	19,2	19,0	19,0	
200	11,87	11,12	10,66	10,29	10,06	9,83	9,66	9,55	9,41	9,27	9,27	
225	6,17	5,78	5,54	5,35	5,23	5,11	5,01	4,96	4,89	4,82	4,82	
250	3,30	3,10	2,97	2,86	2,80	2,73	2,68	2,66	2,62	2,58	2,58	
275	1,96	1,84	1,76	1,70	1,66	1,62	1,59	1,58	1,55	1,53	1,53	
300	1,202	1,127	1,127	1,042	1,019	0,995	0,997	0,967	0,953	0,939	0,939	
325	0,78	0,731	0,70	0,676	0,661	0,646	0,633	0,627	0,618	0,609	0,609	
350	0,522	0,490	0,469	0,453	0,443	0,432	0,424	0,420	0,414	0,408	0,408	
400	0,264	0,247	0,240	0,339	0,224	0,218	0,214	0,212	0,209	0,206	0,206	
450	0,140	0,131	0,125	0,121	0,118	0,116	0,113	0,112	0,111	0,109	0,109	
500	0,0796	0,075	0,072	0,069	0,068	0,066	0,065	0,064	0,063	0,062	0,062	
600	0,0305	0,029	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	
700	0,0147	0,0138	0,0132	0,0128	0,0125	0,0122	0,012	0,0118	0,0117	0,0115	0,0115	
800	0,0072	0,0068	0,0065	0,0063	0,0061	0,006	0,0059	0,0058	0,0057	0,0057	0,0057	
900	0,0039	0,0036	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0032	0,0031	0,0031	0,0031	0,0031	

Таблица П8.3
Удельные сопротивления S_0 для пластмассовых труб, $с^2/м^6$

D трубы, мм	Средняя в сечении скорость v , м/с											
	0,35	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0				
70	1377	1271	1159	1086	991	929	883	847				
80	502	463	423	396	361	339	322	309				
100	178	164	150	140	128	120	114	110				
115	91,3	84,3	76,9	72	65,7	61,6	58,6	56,2				
125	50,5	46,6	42,5	39,8	36,3	34,1	32,4	31,1				
150	25,1	23,2	21,2	19,8	18,1	17,0	16,1	15,5				
170	13,6	12,5	11,4	10,7	9,77	9,16	8,71	8,36				
190	7,83	7,23	6,59	6,18	5,63	5,28	5,02	4,82				
200	4,23	3,91	3,56	3,34	3,04	2,85	2,71	2,6				
225	2,49	2,29	2,09	1,92	1,79	1,68	1,59	1,53				
250	1,34	1,24	1,13	1,06	0,97	0,91	0,86	0,83				
300	0,727	0,671	0,612	0,573	0,523	0,49	0,466	0,447				
350	0,389	0,359	0,326	0,307	0,28	0,262	0,25	0,239				
400	0,209	0,193	0,176	0,165	0,15	0,141	0,134	0,129				
450	0,113	0,104	0,0940	0,089	0,0811	0,0761	0,0723	0,0694				

Таблица П18.4
Удельные сопротивления S_0 для асбестоцементных труб, $\text{с}^2/\text{м}^6$

D трубы, мм	Средняя в сечении скорость v , м/с							
	0,25	0,50	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	
50	8610	7640	7160	6850	6470	6230	6080	
75	1050	931	873	835	788	760	741	
100	236	210	196	288	177	171	167	
119	95,7	84,9	79,5	76,1	71,8	69,3	67,5	
128	80,6	71,5	67,0	64,1	60,5	58,3	56,9	
147	31,9	28,3	26,5	25,4	24,0	23,1	22,5	
195	7,37	6,53	6,12	5,86	5,53	5,33	5,20	
235	2,80	2,49	2,33	2,23	2,11	2,03	1,98	
291	0,92	0,81	0,76	0,73	0,69	0,66	0,65	
322	0,54	0,48	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38	
386	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	
456	0,089	0,079	0,074	0,071	0,067	0,065	0,063	
482	0,067	0,059	0,055	0,053	0,050	0,048	0,047	
546	0,035	0,031	0,029	0,028	0,026	0,025	0,025	
576	0,026	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019	0,019	
672	0,0119	0,0106	0,0099	0,0095	0,0090	0,0085	0,0084	
768	0,0060	0,0054	0,0050	0,0048	0,0045	0,0044	0,0043	

Приложение 9

Коэффициенты шероховатости n стенок и дна русла

Таблица П19.1

Коэффициенты шероховатости n для неукрепленных искусственных русел

Поверхность русла	Для условий		
	лучших	средних	худших
Каналы в плотном лессе, плотном мелком гравии:			
при полной планировке дна и откосов	0,017	0,02	0,0225
при частичной подчистке дна и откосов	0,018	0,225	0,025
при производстве работ машинами без последующей планировки	0,02	0,025	0,0275
Каналы и русла в скальных породах:			
чисто высеченные	0,02	0,0225	0,035
в средних условиях работ, без сглаживания	0,0225	0,03	0,04
грубо высеченные в скале	0,025	0,035	0,035
Каналы в галечнике	0,025	0,03	0,035
Большие земляные каналы:			
в лессе, плотной земле, без наносов	–	0,018	–
в песчаных и супесчаных грунтах	–	0,02	–
Большие земляные каналы при различных условиях содержания и ремонта:			
при полной планировке дна и откосов	0,0225	0,025	0,0275
при частичной планировке	0,025	0,0275	0,03
при производстве работ машинами без последующей планировки	0,025	0,03	0,035
Большие земляные каналы в плохих условиях:			
с местными обвалами откосов	–	0,025	–
с местными обвалами откосов, местами с водорослями, бульжником или гравием по дну	0,03	–	–
с неправильным профилем	–	0,035	–
со значительными промоинами и обвалами	–	–	0,04
Малые земляные каналы при различных условиях содержания и ремонта:			
при полной планировке дна и откосов	0,025	0,0275	0,03
при частичной планировке	0,0275	0,03	0,035
при производстве работ машинами без последующей планировки	0,03	0,035	0,04

Таблица П9.2

Коэффициент шероховатости n русел с искусственным креплением

Поверхность русла	Состояние поверхности		
	хорошее	среднее	плохое
<i>Цементная:</i>			
из чистого цемента	0,011	0,012	0,013
штукатуренная цементным раствором	0,011	0,013	0,015
<i>Бетонированная:</i>			
наиболее гладкая, без песка и гравия на дне	0,011	0,012	0,013
без специальной отделки, без песка и гравия	0,013	0,014	0,015
то же, при наличии песка и гравия на дне	0,015	0,017	0,018
бетонная неотделанная	0,014	0,017	0,018
без сглаживания проволочными щетками	0,015	–	–
без сглаживания поверхности	–	0,018	–
при тщательном производстве работ	–	–	0,02
торкретная, волнистая	0,018	0,0225	0,025
<i>Металлическая:</i>			
гладкая неокрашенная	0,011	0,012	0,014
гладкая окрашенная	0,012	0,013	0,017
ржавая, шероховатая; стальная рифленая	0,02	0,025	0,03
<i>Деревянная:</i>			
желоб из клепок	0,011	0,012	0,014
из продольно расположенных строганых досок или брусьев	0,011	0,014	0,018
то же, из нестроганых досок или брусьев	0,012	0,015	0,018
из поперечно расположенных строганых досок или брусьев	0,012	0,015	0,02
то же, из нестроганых досок или брусьев	0,013	0,017	0,02
<i>Кирпичная и каменная:</i>			
кладка из кирпича, покрытого глазурью	0,011	0,013	0,015
кирпичная кладка, покрытая цементным раствором	0,012	0,015	0,017
облицовка из тесаного камня	0,013	0,015	0,017
бутовая кладка на цементном растворе	0,018	0,025	0,03
сухая кладка	0,025	0,03	0,035
мошение из булыжного камня	0,02	0,0225	0,0275
то же из рваного камня	0,0225	0,0275	0,03
<i>Прочие поверхности:</i>			
брезент по деревянным рейкам	0,014	0,015	0,016
грунты, пропитанные битумом или дегтем	0,017	0,018	0,019
фашинные тюфяки и тяжелые фашины	0,0225	0,025	0,0275
каменная наброска в плетнях	0,0225	0,025	0,0275
канавы с земляным дном	0,0275	0,03	0,035

Приложение 10

Скоростные характеристики, м/с, при различных значениях коэффициента шероховатости и гидравлического радиуса

$R, м$	Коэффициент шероховатости n														
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017	0,018	0,02	0,0225	0,025	0,0275	0,03	0,035	0,04	
0,10	21,3	19,0	17,2	15,6	14,2	12,0	11,2	9,67	8,22	7,09	6,19	5,46	4,35	3,56	
0,12	23,9	21,4	19,3	17,6	16,1	13,7	12,7	11,0	9,41	8,15	7,14	6,32	5,07	4,18	
0,14	26,3	23,6	21,4	19,5	17,9	15,2	14,1	12,3	10,6	9,17	8,06	7,16	5,77	4,78	
0,16	28,6	25,7	23,3	21,3	19,5	16,7	15,5	13,6	11,7	10,2	8,95	7,97	6,45	5,36	
0,18	30,8	27,8	25,2	23,0	21,2	18,1	16,9	14,8	12,7	11,1	9,81	8,75	7,12	5,94	
0,20	33,0	29,7	27,0	24,7	22,7	19,5	18,2	16,0	13,8	12,0	10,7	9,52	7,78	6,50	
0,22	35,0	31,6	28,7	26,3	24,2	20,8	19,4	17,1	14,8	12,9	11,5	10,3	8,42	7,06	
0,24	37,0	33,4	30,4	27,5	25,7	22,1	20,7	18,2	15,8	13,8	12,3	11,0	9,05	7,61	
0,26	38,9	35,2	32,1	29,4	27,1	23,4	21,9	19,3	16,7	14,7	13,1	11,7	9,67	8,15	
0,28	40,8	36,9	33,7	30,9	28,5	24,6	23,0	20,3	17,7	15,6	13,8	12,4	10,3	8,69	
0,30	42,6	38,6	35,2	32,3	29,9	25,8	24,2	21,4	18,6	16,4	14,6	13,1	10,9	9,22	
0,32	43,5	39,4	36,0	33,1	30,5	26,4	24,7	21,9	19,0	16,8	15,0	13,5	11,2	9,48	
0,34	46,1	41,8	38,2	35,1	32,5	28,1	26,4	23,4	20,4	18,0	16,1	14,5	12,1	10,3	
0,36	47,8	43,4	39,6	36,5	33,8	29,3	27,5	24,3	21,2	18,8	16,8	15,2	12,6	10,8	
0,38	49,4	44,9	41,1	37,8	35,0	30,4	28,5	25,3	22,1	19,6	17,5	15,8	13,2	11,3	
0,40	51,1	46,4	42,5	39,1	36,2	31,5	29,5	26,2	22,9	20,3	18,2	16,5	13,8	11,8	
0,45	55,0	50,0	45,9	42,3	39,2	34,1	32,1	28,5	25,0	22,2	20,0	18,1	15,2	13,0	
0,50	58,8	53,5	49,1	45,3	42,1	36,7	34,5	30,7	27,0	24,0	21,6	19,6	16,5	14,2	
0,55	62,4	56,9	52,2	48,3	44,8	39,2	36,9	32,9	28,9	25,8	23,2	21,1	17,8	15,4	
0,60	65,9	60,2	55,3	51,1	47,5	41,6	39,1	35,0	30,8	27,5	24,8	22,6	19,1	16,5	
0,65	69,3	63,3	58,2	53,9	50,1	43,9	41,4	37,0	32,7	29,2	26,4	24,0	20,4	17,6	

Окончание прил. 10

R, м	Коэффициент шероховатости n													
	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,017	0,018	0,02	0,0225	0,025	0,0275	0,03	0,035	0,04
0,70	72,6	66,4	61,1	56,6	52,6	46,2	43,5	39,0	34,5	30,8	27,9	25,4	21,6	18,7
0,75	75,8	69,4	63,9	59,2	55,1	48,4	45,0	40,9	36,2	32,4	29,4	26,8	22,8	19,8
0,80	79,0	72,3	66,6	61,7	57,5	50,6	47,7	42,8	37,9	34,8	30,8	28,2	24,0	20,9
0,85	82,1	75,1	69,3	64,2	59,9	52,7	49,7	44,7	39,6	35,6	32,2	29,5	25,2	21,9
0,90	85,1	77,9	71,9	66,7	62,2	54,8	51,7	46,5	41,2	37,1	33,6	30,8	26,3	23,0
0,95	88,0	80,6	74,4	69,1	64,4	56,8	53,7	48,3	42,9	38,5	35,0	32,1	27,5	24,0
1,0	90,9	83,3	76,9	71,4	66,7	58,8	55,6	50,0	44,4	40,0	36,4	33,3	28,6	25,0
1,1	96,5	88,5	81,8	76,0	71,0	62,7	59,3	53,4	47,5	42,8	39,0	35,8	31,7	27,0
1,2	102	93,6	86,5	80,4	75,2	66,5	62,9	56,7	50,5	45,6	41,5	38,2	32,9	28,9
1,3	107	98,5	91,1	84,7	79,2	70,1	66,3	59,9	53,4	48,3	44,0	40,5	34,9	30,7
1,4	112	103	95,5	88,9	83,1	73,7	69,7	60,3	56,3	50,9	46,4	42,7	36,9	32,5
1,5	117	108	99,8	92,9	87,0	77,1	73,0	66,0	59,0	53,4	48,8	44,9	38,8	34,3
1,6	122	112	104	96,9	90,7	80,5	76,2	69,0	61,7	55,9	51,1	47,1	40,7	36,0
1,7	127	117	108	101	94,3	83,8	79,4	71,8	64,3	58,3	53,3	49,1	42,6	37,7
1,8	131	121	112	105	97,9	87,0	82,4	74,6	66,9	60,6	55,5	51,2	44,4	39,3
1,9	136	125	116	108	101	90,1	85,4	77,4	69,3	62,9	57,6	53,2	46,2	40,9
2,0	140	129	120	112	105	93,2	88,4	80,1	71,8	65,1	59,7	55,1	47,9	42,5
2,2	149	137	127	119	111	99,1	94,0	85,3	76,5	69,5	63,7	58,9	51,2	45,5
2,4	157	145	135	126	118	105	99,5	90,3	81,1	73,7	67,6	62,5	54,4	48,4
2,6	165	152	142	132	124	110	105	95,2	85,5	77,7	71,3	66,0	57,5	51,1
2,8	173	160	148	138	130	116	110	99,8	89,7	81,6	74,9	69,3	60,5	53,8
3,0	181	167	155	145	136	121	115	104	93,8	85,3	78,4	72,5	63,3	56,4

Приложение 11

Максимальный гидравлический радиус, соответствующий
руслу гидравлически наивыгоднейшего профиля

$R_{\max}, \text{ м}$	Значения $\frac{K n}{\psi_{\text{г.н}}}$ при z			$R_{\max}, \text{ м}$	Значения $\frac{K n}{\psi_{\text{г.н}}}$ при z		
	0,65	0,7	0,75		0,65	0,7	0,75
0,1	0,0022	0,002	0,0018	0,85	0,65	0,64	0,64
0,12	0,0036	0,0033	0,0029	0,90	0,76	0,75	0,75
0,14	0,0054	0,0049	0,0045	0,95	0,87	0,87	0,87
0,16	0,0078	0,0071	0,0065	1,0	1,0	1,0	1,0
0,18	0,0107	0,0097	0,009	1,1	1,29	1,29	1,3
0,20	0,0123	0,0129	0,0104	1,2	1,62	1,63	1,65
0,22	0,0162	0,0167	0,0137	1,3	2,0	2,03	2,05
0,24	0,023	0,021	0,02	1,4	2,43	2,48	2,52
0,26	0,028	0,026	0,025	1,5	2,9	2,99	3,05
0,28	0,034	0,032	0,03	1,6	3,47	3,56	3,64
0,30	0,041	0,039	0,037	1,7	4,07	4,19	4,3
0,32	0,049	0,046	0,044	1,8	4,74	4,9	5,02
0,34	0,057	0,054	0,052	1,9	5,48	5,65	5,83
0,36	0,067	0,063	0,06	2,0	6,28	6,5	6,73
0,38	0,077	0,074	0,07	2,1	7,14	7,41	7,69
0,40	0,088	0,084	0,08	2,2	8,07	8,42	8,71
0,45	0,12	0,116	0,111	2,3	9,09	9,48	9,88
0,50	0,159	0,154	0,149	2,4	10,16	10,62	11,07
0,55	0,205	0,199	0,193	2,5	11,34	11,87	12,43
0,60	0,258	0,252	0,246	2,6	12,59	13,18	13,87
0,65	0,319	0,313	0,306	2,7	13,9	14,61	15,36
0,70	0,388	0,381	0,375	2,8	15,31	16,11	16,98
0,75	0,467	0,459	0,453	2,9	16,8	17,72	18,69
0,80	0,554	0,547	0,541	3,0	18,38	19,42	20,52

Приложение 12

Коэффициент фильтрации k для некоторых грунтов

Грунт	k , см/с
Глина	0,000001
Суглинок	0,0001
Супесь плотная	0,0001–0,0005
Песок глинистый	0,001–0,002
Мелкозернистые пески и супесь рыхлая	0,001–0,005
Песок крупнозернистый	0,01–0,05
Галечник с песком	0,02–0,5
Мелкий гравий с примесью мелкого песка	0,5–1
Гравий	3–3,5

Приложение 13

Значения среднего уклона кривой депрессии I_{cp} для некоторых грунтов

Грунт	I_{cp}
Галька, крупный песок	0,003–0,005
Песок (в зависимости от крупности)	0,005–0,015
Песчано-глинистые грунты (в зависимости от плотности)	0,05–0,1
Глинистые грунты	0,1
Плотные грунты	0,15

Оглавление

Методические указания к теоретической части и решению задач.....	3
Краткие сведения из теории по темам контрольной работы	5
Тема 1. Гидростатическое давление.....	5
Тема 2. Сила гидростатического давления на плоскую поверхность ...	7
Тема 3. Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность.....	9
Тема 4. Плавание тел. Остойчивость	12
Тема 5. Основы кинематики и динамики жидкости. Уравнение Бернулли. Гидравлические сопротивления.....	14
Тема 6. Истечение жидкости через отверстия и насадки.....	20
Тема 7. Напорное движение в трубопроводах	23
Тема 8. Равномерное движение в открытых руслах и каналах	28
Тема 9. Движение грунтовых вод. Закон фильтрации.....	34
Общие указания	40
Варианты контрольной работы.....	41
Вариант 1	41
Вариант 2.....	45
Вариант 3.....	48
Вариант 4.....	51
Вариант 5.....	54
Вариант 6.....	57
Вариант 7.....	61
Вариант 8.....	64
Вариант 9.....	67
Вариант 10.....	70
Рекомендуемая литература.....	74
Приложения	75

Учебное издание

**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА
(С ВАРИАНТАМИ ЗАДАНИЙ)**

Учебное пособие

Составители: **Новикова** Антонина Михайловна,
Иваненко Ирина Ивановна

Редактор О. Д. Камнева
Корректор М. А. Молчанова
Компьютерная верстка В. Е. Королевой

Подписано к печати 28.12.17. Формат 60×84 1/16. Бум. офсетная.

Усл. печ. л. 5,4. Тираж 100 экз. Заказ 184. «С» 143.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4

Отпечатано на ризографе. 190005, Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 5/8, лит. А.