

НА ДОЖ НЕ ВЫДАЕТСЯ

ЛЕНИНГРАДСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Доц. Л. У. МАЛЬЦ

ТЕХНИЧЕСКАЯ

ГИДРАВЛИКА

ЗАДАЧНИК

ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ



ОНТИ НКТП СССР

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАД 1936 МОСКВА

~~ИЗДАНИЕ~~
~~1959~~

~~142/38~~
~~38~~

~~ПРОМСТРОИ~~

Цель задачника показать применение гидравлики на ряде конкретных примеров, встречающихся в практике инженера-механика. Условия всех задач максимально конкретизированы, с целью выделения основного — гидравлической сущности втронутых вопросов.

К задсчнику приложены расчетные таблицы, номограммы некоторых формул, а также указания по использованию счетной линейки при гидравлических расчетах.

Задачник рассчитан на курс технической гидравлики для втузов машиностроительной специальности.

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧН-ТЕХНИЧЕСКАЯ
ВИДЛИОТЕКА ССОР

2413 $\frac{2}{60}$

$\frac{1}{19754}$

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Задачник по курсу гидравлики для машиностроителей составлен применительно к программам Машиностроительного и Военно-механического институтов в Ленинграде.

Задачник должен служить пособием к теоретическому курсу с тем, чтобы учащийся на конкретных числовых примерах мог оформить свои теоретические знания. Этим стремлением автора и обусловился подбор задач и постановка вопроса в них.

Из предлагаемых 133 задач несколько задач заимствовано из прекрасных задачников Шапов'а и Виттенбауера, из примеров в курсах Астрова и Пешля. Пять задач по гидростатике (5, 21, 22, 24, 66) составлены преподавателем ЛМИ, инженером П. И. Нелюбиным. Ко всем задачам сборника даны ответы, а для некоторых, несколько более сложных задач также и краткие указания. В интересах самостоятельной работы студента подробные решения задач не приводятся, тем более, что все предлагаемые задачи в достаточной мере просты, в чем автор имел возможность убедиться, предлагая их на групповых занятиях по курсу гидравлики в течение ряда лет.

Каждому отделу предпослана очень краткая сводка теории и главнейших расчетных коэффициентов. Все это в таком объеме, в каком это необходимо только для решения задач данного сборника, который по существу не выходит из рамок вспомогательного учебного пособия.

Номограммы нескольких расчетных формул являются вспомогательным материалом при решении задач. Этим условием и определяется как выбор формул, так и сама конструкция номограмм, достаточно простая и для всех номограмм однородная. Все номограммы были мною специально составлены для данного задачника, и в этой последней работе любезно принял участие инженер И. Г. Мегрин, построивший по моим эскизам номограммы 1, 2, 3, 8, 10.

Небольшая глава посвящена использованию счетной линейки для гидравлических расчетов. Здесь излагаются, кроме известного приема возвышения в степени $2/3$ и $3/2$, также и некоторые новые приемы комбинированных действий на линейке, по моим сведениям, публикуемые впервые. Возможно, что эта глава представит известный интерес для учащихся, в большинстве использующих логарифмическую линейку далеко не в полной мере.

Несколько справочных таблиц общего характера, расположенных в конце задачника, также могут оказать некоторую помощь при решении задач.

В заключение пользуюсь случаем выразить здесь свою глубокую признательность профессору Константину Ивановичу Страховичу за ряд ценных советов и указаний в процессе составления задачника.

Л. Мальц

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Страница | Строка | Напечатано | Должно быть |
|----------|---------|----------------------|------------------|
| 20 | 3 снизу | де ц | где h_c |
| 99 | 9 снизу | 0.42441 0.62779 -1 | 4,1888 0,62209 |

Мальц — Технич. Гидравлика

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

Техническая гидравлика, как отдел прикладной механики, занимается вопросами движения и равновесия жидкости применительно к решению различных технических проблем.

Законы, уравнения и расчетные формулы технической гидравлики приложимы к любому веществу, если только оно находится в жидком состоянии — воде, расплавленной стали, жидкому воздуху. Поэтому область применения гидравлики очень широка и для различных веществ определяется, в частности при атмосферном давлении, нижеследующими границами (см. табл. 1).

ТАБЛИЦА 1.

Температура плавления (или затвердевания) и температура кипения различных веществ при 760 мм рт. ст.

| Название | Температура плавления в °С | Температура кипения в °С |
|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Сталь | 1 300—1 400 | — |
| Чугун серый | 1 200 | — |
| Чугун белый | 1 130 | — |
| Медь | 1 083 | — |
| Бронза | 900 | — |
| Алюминий | 658 | — |
| Дюралюминий и электрон | ~ 650 | — |
| Баббит | 250—300 | — |
| Парафин | 54 | 300 |
| Бензол | 5,5 | 80 |
| Вода | 0 | 100 |
| Глицерин | - 19 | 290 |
| Ртуть | - 39 | 357 |
| Авот | - 210 | - 196 |
| Кислород | - 219 | - 183 |
| Водород | — | - 255 |

Состояние жидкости характеризуется рядом физических параметров, в первую очередь удельным весом. Приводим некоторые основные определения и числовые данные.

γ — удельный вес жидкости — мы будем определять как вес единицы объема жидкости. Например, удельный вес пресной воды при 4°C в метрической системе мер

$$\gamma = 1 \text{ т/м}^3 = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ кг/дм}^3 = 1 \text{ г/см}^3.$$

Сравнивая различные жидкости, мы пользуемся относительным удельным весом.

δ — относительный удельный вес — показывает отношение веса данной жидкости к весу равного объема пресной воды при 4°C .

ТАБЛИЦА 2.

Относительные удельные веса некоторых жидкостей при температуре $15-20^{\circ}\text{C}$.

| Название | Относительный удельный вес δ |
|--|-------------------------------------|
| Пресная вода (4°C) | 1,00 |
| Морская вода (15°C) | 1,02—1,03 |
| Ртуть | 13,5956 |
| Винный спирт безводный | 0,79—0,80 |
| Глицерин безводный (0°C) | 1,26 |
| Бензин | 0,72—0,76 |
| Керосин | 0,82—0,83 |
| Минеральные смазочные масла | 0,88—0,92 |
| Нефть | 0,86—0,92 |

Удельный вес жидкости меняется с температурой, что может быть учтено соответствующими формулами или специальными таблицами. Например, для воды имеем нижеследующие цифры (см. табл. 3).

ТАБЛИЦА 3.

Удельный вес воды при различных температурах.

| Температура $t^{\circ}\text{C}$ | Удельный вес γ кг/м ³ | Температура $t^{\circ}\text{C}$ | Удельный вес γ кг/м ³ |
|---------------------------------|--|---------------------------------|--|
| 0 | 999,87 | 50 | 983,1 |
| 4 | 1 000,00 | 60 | 983,2 |
| 10 | 999,73 | 70 | 977,8 |
| 20 | 998,23 | 80 | 971,8 |
| 30 | 995,67 | 90 | 965,3 |
| 40 | 992,2 | 100 | 954,8 |

ρ — плотность или удельная масса — выражает массу единицы объема жидкости, находится из соотношения $\gamma = \rho g$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}, \quad (1)$$

где g — ускорение силы тяжести ($g = 9,81 \text{ м/сек}^2$).

Относительная плотность представляет собой отношение плотностей данной жидкости и пресной воды при 4°C . Легко видеть, что относительная плотность и относительный удельный вес величины отвлеченные и между собой равные.

p — давление, как мера интенсивности нагрузки, выражает нагрузку, приходящуюся на единицу площади рассматриваемой поверхности.

В метрической системе мер давление исчисляется атмосферами. Одна техническая атмосфера равна 1 кг/см^2 или $10\,000 \text{ кг/м}^2$ и соответствует давлению столба ртути высотой $735,6 \text{ мм}$. Одна физическая атмосфера соответствует давлению столба ртути высотой 760 мм и равна поэтому $1,033$ технической атмосферы, т. е. больше технической на $1/30$.

Мы различаем абсолютное давление и относительное или избыточное давление. Избыточное давление выражает разность между абсолютными давлениями в данном рассматриваемом объеме и окружающей среды, в случае, когда первое больше второго.

Вакуум, т. е. разрежение, выражается разностью между абсолютными: давлением окружающей среды и давлением в данном рассматриваемом объеме в случае, когда второе меньше первого.

Давление, а в равной степени и вакуум могут быть выражены в кг/см^2 или же высотой столба жидкости.

Например, абсолютное давление в конденсаторе $0,08 \text{ кг/см}^2$. Давление окружающей среды выражается $735,6 \text{ мм}$ ртутного столба, что соответствует 1 кг/см^2 . Вакуум в конденсаторе равен $0,92 \text{ кг/см}^2$ или 676 мм ртутного столба.

Давление внутри жидкости — величина переменная, зависящая от положения рассматриваемой точки внутри жидкости, а также от условий, в которых жидкость находится.

В частности, когда жидкость находится в покое или движется равномерно, давление внутри жидкости определяется по формуле

$$p = \gamma h + p_0, \quad (2)$$

здесь p — давление в данной точке внутри жидкости,
 γ — удельный вес жидкости,
 h — глубина погружения данной точки по отношению
к поверхности жидкости,
 p_0 — абсолютное давление на поверхности жидкости.

В том, случае, когда определяется давление внутри жидкости в замкнутом резервуаре или системе (паровой котел, трубопровод под давлением и т. д.), вместо p_0 в формулу можно ввести p_0' , обозначающее избыточное давление на поверхности жидкости. Тогда формула в целом дает избыточное давление внутри жидкости.

В том случае, когда определяется полное давление жидкости на площадку или стенку, расположенную так, что давление жидкости во всех точках этой площадки одинаково, используют формулу

$$P = pF, \quad (3)$$

где P — полное давление жидкости на стенку,
 p — давление внутри жидкости у стенки,
 F — площадь стенки.

Примером таких подсчетов является: определение полного давления жидкости, заполняющей сосуд, на горизонтальное днище этого сосуда, определение полного давления жидкости на поршень гидравлического механизма, где без особой погрешности можно принимать давление жидкости в пределах всей площади поршня одинаковым, и т. д.

Примечание. Необходимо обращать особое внимание на размерность величин, входящих в формулу, так как в начале изучения гидравлики подавляющее большинство ошибок учащихся является следствием невнимательного отношения к размерности. Так, например, если давление должно быть получено в технических атмосферах ($\text{кг}/\text{см}^2$), то удельный вес должен быть взят в $\text{кг}/\text{см}^3$, а глубина в см. Если глубина задана в метрах, то удельный вес должен быть взят в $\text{кг}/\text{м}^3$, и давление получится в $\text{кг}/\text{м}^2$, и, следовательно, для пересчета его в атмосферы следует разделить полученное число на 10 000, так как $1 \text{ кг}/\text{см}^2$ равен 10 000 $\text{кг}/\text{м}^2$. Кстати нетрудно убедиться в том, что давление в $\text{кг}/\text{м}^2$ выражает в то же время напор в мм водяного столба, так как одной технической атмосфере соответствует напор 10-метрового столба воды (пресной, при 4°C).

ЗАДАЧИ.

Задача 1. Относительный удельный вес нефти $\delta = 0,91$. Определить γ — удельный вес, выражая его в $\text{кг}/\text{л}$, $\text{кг}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{дм}^3$, $\text{т}/\text{м}^3$, $\text{кг}/\text{см}^3$, $\text{г}/\text{см}^3$.

Задача 2. Имеется старый манометр, шкала которого размечена $\text{фн}/\text{д}^2$.

Требуется переградуировать шкалу так, чтобы показания манометра были бы в технических атмосферах. Пересчитать для этой цели фн/д^2 в кг/см^2 .

Задача 3. Требуется вычертить шкалу для ртутного манометра. Определить для этого, какая высота столба ртути соответствует 1 кг/см^2 .

Относительный удельный вес ртути $\delta = 13,6$.

Указать, зависит ли разметка шкалы от диаметра трубки манометра.

Сделать аналогичный подсчет для манометра заполненного водой и манометра заполненного маслом ($\delta = 0,9$).

Задача 4. Для измерения чрезвычайно малых колебаний давления пользуются микроманометром. Жидкостный микроманометр отличается от обычного жидкостного манометра тем, что его трубка расположена наклонно. Вследствие этого малое изменение давления, и, следовательно, незначительный подъем жидкости, обуславливает значительное перемещение мениска жидкости в наклонно расположенной трубке.

Требуется начертить шкалу для микроманометра, трубка которого заполнена керосином ($\delta = 0,82$). Угол $\alpha = 15^\circ$. Определить для этого, какому расстоянию по шкале микроманометра соответствует изменение давления на $0,001 \text{ кг/см}^2$.

Задача 5. Двужидкостный дифференциальный манометр заполнен водой ($\delta = 1$) и маслом ($\delta = 0,93$). Определить давление, показываемое манометром (рис. 1), если отклонение уровней жидкости в нижней части прибора (величина h) равно 286 мм. Предполагается, что верхние резервуары *A* и *B* имеют такие размеры, что изменением уровня жидкости в них можно пренебречь.

Дифференциальный двужидкостный манометр применяется для измерения очень малых давлений. Для него используются жидкости, близкие по удельному весу, но между собой несмешивающиеся, как, например: вода и масло, вода и керосин. В обычном одножидкостном манометре давление в одной части прибора уравновешивается весом столба жидкости в другой части прибора. При небольшом давлении этот столб жидкости имеет очень небольшую высоту, и отсчет сделать трудно.

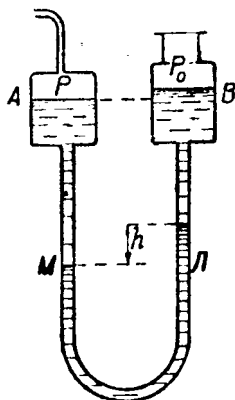


Рис. 1.

В нашем случае оба колена заполнены жидкостью, и здесь действует разность веса столбов жидкости в обоих коленах. Поэтому уже сравнительно небольшое давление заставляет резко сместиться уровни жидкости в нижней части манометра, как это показано на рис. 1.

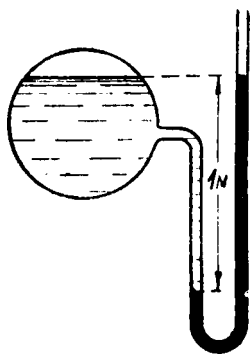


Рис. 2.

Задача 6. Шкала двухжидкостного манометра имеет длину 400 мм. Прибор должен служить

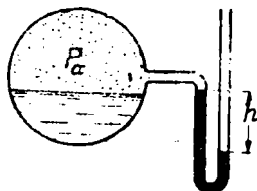


Рис. 3.

для замера давлений (относительных) до $p \cong 0,007$ кг/см². Какие жидкости следует выбрать для этого манометра?

Задача 7. Открытый манометр заполнен ртутью. В сосуде вода ($\delta = 1$). При каком давлении внутри сосуда положение ртути в манометре будет как на рис. 2?

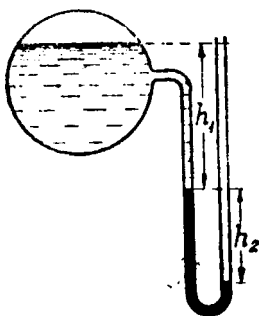


Рис. 4.

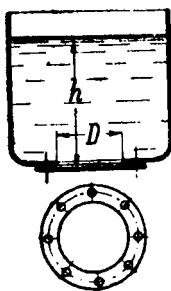


Рис. 5.

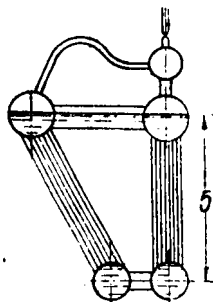


Рис. 6.

Задача 8. Вакуумметр конденсатора паровой машины (рис. 3) показывает разрежение $h = 680$ мм ртутного столба. Атмосферное давление по показанию ртутного барометра — 750 мм ртутного столба. Определить абсолютное давление в конденсаторе.

Задача 9. Определить вакуум (рис. 4) h_1 (вода) = 0,5 м; h_2 (ртуть) = 0,08 м.

Задача 10. Определить, какое давление воды на глубине 40 м под уровнем моря.

Задача 11. Определить, на какое усилие должно быть рассчитано крепление заглушки в резервуаре для воды (рис. 5). Напор воды $h = 2$ м, диаметр отверстия $D = 0,3$ м. Собственным весом заглушки пренебречь.

Задача 12. Давление пара в котле (в паровом пространстве) $p = 15$ ата. Определить среднее давление в нижнем барабане котла (рис. 6).

Задача 13. Расширитель системы водяного отопления, расположенный в верхней части здания, соединяется с котлом, посредством трубы $\varnothing 4''$ (рис. 7). Средняя температура воды в трубе $t = 60^\circ\text{C}$. Расстояние по вертикали между поверхностью воды в расширителе и осью котла $H = 17$ м. Определить среднее давление в котле.

Задача 14. Отливается чугунная плита. Определить гидростатическое давление, возникающее в момент литья (рис. 8), в течение того времени, пока чугун еще не затвердел. $h = 14$ см.

Задача 15. Определить давление воды на верхнее днище металлической бочки (рис. 9). Диаметр днища 500 мм.

Задача 16. Для тарировки пружинных манометров часто пользуются жидкостными манометрами, заполненными ртутью или же ртутью с водой. В случае, когда приходится иметь дело с давлениями порядка двух и более атмосфер, обычная схема манометра, с одной трубкой, оказывается здесь неприемлемой, так как весь манометр получается очень громоздким. Гораздо более удобной оказывается схема, показанная на рис. 10.

Подсчитать, какое максимальное давление может быть измерено указанным манометром, если длина его шкалы равна 1 м, число трубок n . Предполагается, что при атмосферном давлении

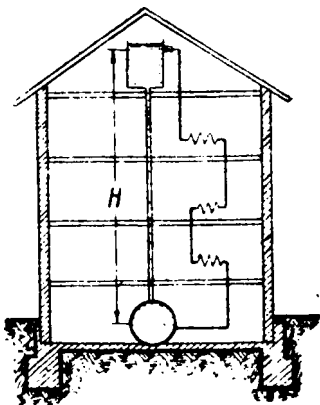


Рис. 7.

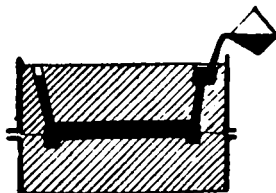


Рис. 8.

нии поверхность ртути во всех трубках на одном уровне. В манометре—ртуть и воздух.

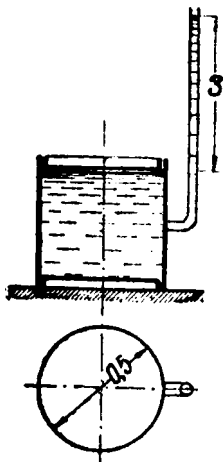


Рис. 9.

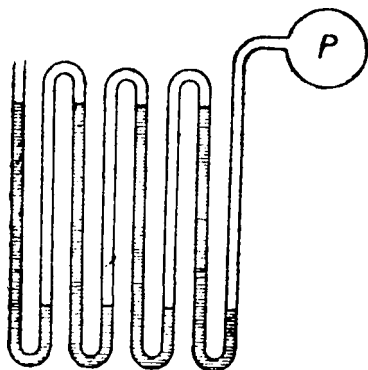


Рис. 10.

Задача 17. Цилиндрический стержень, имеющий в верхней своей части винтовую нарезку, нижним своим концом плотно входит в отверстие в крышке цилиндра (рис. 11), наполненного водой. Диаметр стержня — 3,5 см, шаг винтовой нарезки равен 1 см. Радиус маховичка, с помощью которого стержень ввинчивается в цилиндр, равен 15 см.

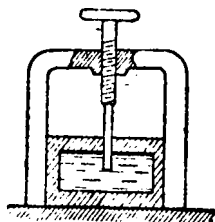


Рис. 11.

Определить давление, которое будет в цилиндре после десяти оборотов маховичка, когда стержень вдвинется внутрь цилиндра. Определить полное давление воды на дно цилиндра.

Определить усилие (пренебрегая трением), которое требуется приложить к маховичку.

Внутренний диаметр цилиндра 25 см, высота 20 см. Коэффициент сжатия воды $\epsilon = 0,000047$.

2. ЗАКОН ПАСКАЛЯ.

Основное уравнение гидростатики $p = p_0 + \gamma h$ показывает, что давление внутри жидкости с глубиной изменяется. Это можно было бы написать в более общей форме, ска-

зав, что давление внутри жидкости является функцией координат пространства, имея в виду случай, когда жидкость находится под воздействием нескольких ускорений, а не только ускорения силы тяжести, как это рассматривается здесь.

Вместе с тем, как это нетрудно показать, давление в каждой отдельной точке пространства внутри жидкости совершенно не зависит от направления, т. е. если рассматривать какую-то элементарную площадку внутри жидкости, давление на эту площадку остается постоянным, совершенно независимо от расположения площадки в данной точке пространства (закон Паскаля).

Отсюда следует, что всякое изменение давления в какой-либо точке внутри жидкости передается по всем направлениям внутри жидкости в одинаковой мере. Следовательно, если в какой-либо точке внутри жидкости давление изменится на какую-то величину, на такую же величину изменится давление во всех других точках внутри жидкости.

Примечание. В том случае, когда упругость жидкости учитывается, эта формулировка требует ряда дополнений.

С законом Паскаля приходится встречаться при расчете различных гидравлических машин, гидравлических прессов, аккумуляторов, мультипликаторов и дивизоров давления, гидропередач и т. д.

В указанных гидравлических машинах давление рабочей жидкости бывает обычно высоким настолько, что, по сравнению со средним давлением жидкости в рабочем цилиндре, можно пренебречь изменением давления внутри машины, вследствие разных геометрических напоров в разных ее частях. В пределах допустимой точности технического расчета здесь можно пренебречь упругостью жидкости и считать ее несжимаемой.

ЗАДАЧИ.

Задача 18. Определить мощность поршневого двигателя гидропередачи (рис. 12). Давление масла в цилиндре $p = 2 \text{ кг/см}^2$. Скорость движения поршня $v = 5,6 \text{ м/мин}$. Коэффициент полезного действия принять равным $\eta = 0,7$.

Задача 19. Определить натяжение пружины, нагружающей иглу форсунки (рис. 13) двигателя Дизель. Игла должна подниматься, когда давление в форсунке, в момент впрыскивания нефти, поднимается до 150 атмосфер.

Задача 20. В воду опускается сосуд так, как это показано на рис. 14, в дне которого имеется круглое отверстие $\varnothing 100$ мм,

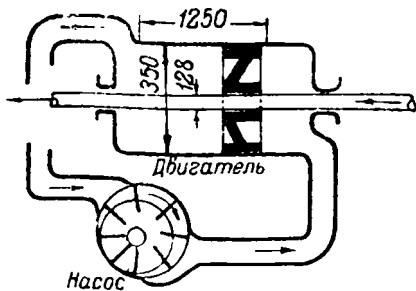


Рис. 12.

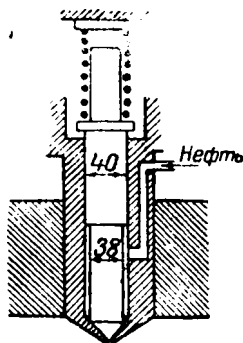


Рис. 13.

закрываемое массивным клапаном. Вес клапана $G = 10$ кг. При каком погружении сосуда клапан начнет открывать отверстие?

Задача 21. К сосуду А присоединена вертикально установленная труба, нижний конец которой опущен в другой сосуд Б. Оба сосуда наполнены водой, как это показано на рис. 15. Внутри вертикальной трубы находится поршень В. Пренебрегая весом поршня и трением, определить величину груза Г,

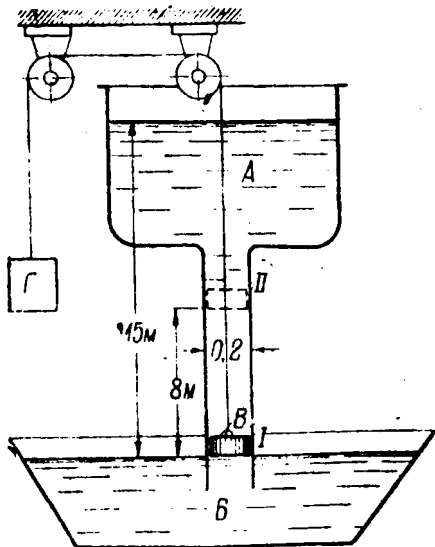


Рис. 15.

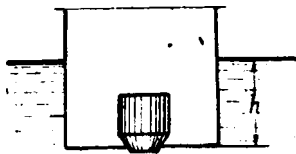


Рис. 14.

необходимого для удержания поршня в равновесии, в двух положениях: I и II. Определить также предельную высоту

подъема поршня B , при которой труба еще будет заполнена водой.

Задача 22. Из резервуара A (рис. 16) вода перекачивается в напорную башню C посредством насоса B . Определить усилие P , которое необходимо приложить к поршню для поддержания его в равновесии, если манометр M показывает 4 кг/см^2 и ось цилиндра насоса расположена на высоте $h=5 \text{ м}$ над уровнем свободной поверхности в открытом резервуаре A . Диаметр поршня 300 мм . Трением поршня о стенки цилиндра пренебречь.

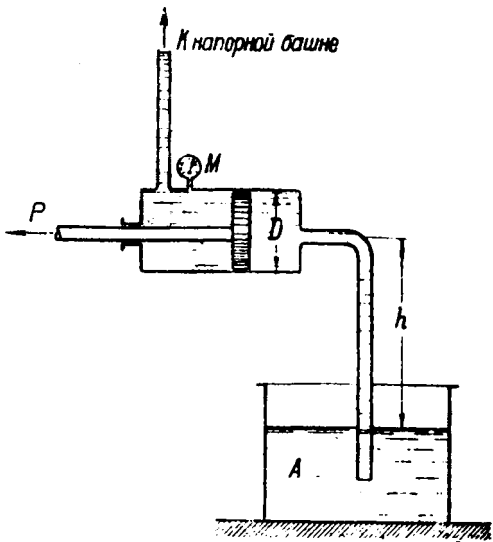


Рис. 16.

Задача 23. Насос A перекачивает воду из колодца B в резервуар C (рис. 17). Ось насоса расположена выше уровня воды в колодце на $H_1=5 \text{ м}$. Свободная поверхность воды в резервуаре C выше насоса на $H_2=15 \text{ м}$. Расход воды, подаваемой насосом, $Q=8 \text{ л/сек}$. Коэффициент полезного действия насоса $\eta=0,6$. Определить мощность насоса.

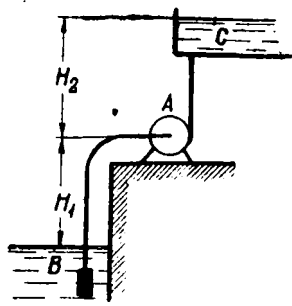


Рис. 17.

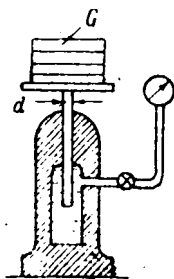


Рис. 18.

Задача 24. Решить ту же задачу, предполагая, что вода накачивается не в открытый, а в закрытый резервуар, давление в котором поддерживается постоянным (как это, например, бывает в паровых котлах). Давление $p=10 \text{ кг/см}^2$.

Задача 25. Для проверки и тарировки пружинных манометров

используется прибор, показанный на рис. 18. Диаметр плунжера $d = 1,5$ см. Определить, каков должен быть вес каждой из гирь ξ для того, чтобы прибавление каждой гири обуславливало приращение давления на 1 кг/см^2 .

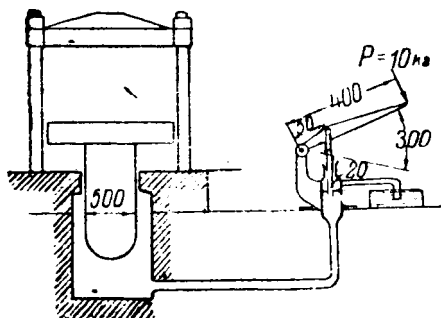


Рис. 19.

Задача 26. Имеется гидравлический пресс с ручным насосом. Размеры показаны на рисунке 19. К рукоятке приложено усилие $P = 10 \text{ кг}$. Определить усилие, которое будет передаваться платформой. Вычислить, сколько качаний необходимо сделать для того, чтобы платформа пресса поднялась бы на 3 см.

Задача 27. При подъеме груза гидравлическим домкратом (рис. 20), действуя на рукоятку E , перекачивают масло из резервуара A в резервуар B . Определить, пренебрегая вредными сопротивлениями, подъемную силу домкрата.

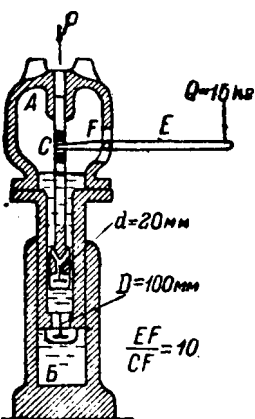


Рис. 20.

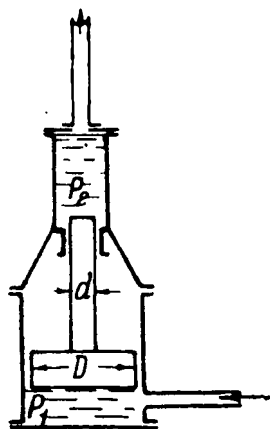


Рис. 21.

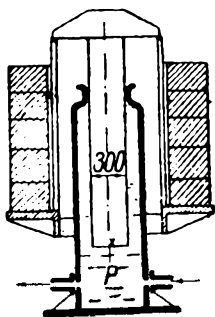


Рис. 22.

Задача 28. С помощью гидравлического мультипликатора (рис. 21) давление повышается с 5 на 80 кг/см^2 . Подсчитать, каково должно быть соотношение размеров поршней.

Задача 29. Гидравлический аккумулятор (рис. 22) обслуживает периодически действующий пресс и питается непрерывно работающим насосом. Рассчитать:

1. Общую нагрузку (собственный вес плюс нагрузка), необходимую для поддержания давления $p = 50 \text{ кг/см}^2$.

2. Ход поршня аккумулятора, учитывая, что пресс работает 1 минуту с пятиминутным перерывом, потребляя во время работы $0,8 \text{ л/сек}$.

3. Определить мощность насоса, питающего аккумулятор, полагая коэффициент полезного действия насоса равным $\eta = 0,7$.

Задача 30. Нагрузка на плунжер аккумулятора гидравлического пресса (рис. 23) $Q = 15 \text{ т}$. Диаметр плунжера 20 см. Диаметр плунжера гидравлического пресса 60 см. Вес этого плунжера вместе с подвижной платформой (столом) пресса 3 т. Определить:

а) под каким давлением находится жидкость в аккумуляторе при равномерном спуске или подъеме его, если принять, что сила трения в набивке сальника равна в обоих случаях 200 кг?

б) на какие усилия требуется рассчитывать колонки пресса и крепление колонок с траверзой? Число колонок — 4. Трение в сальнике принять равным также 200 кг.

Задача 31. На рис. 24 показана схема гидравлической штамповки. Крышкой цилиндра высокого давления Ц служит

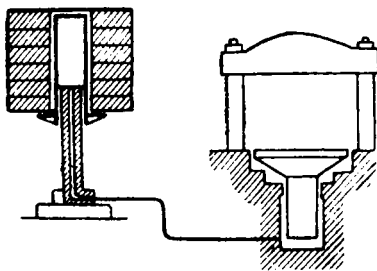


Рис. 23.

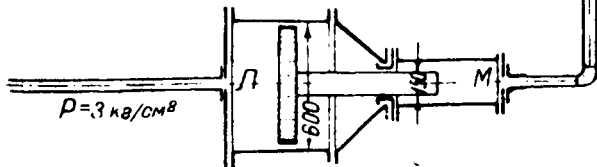


Рис. 24.

2413 2-60

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ
НАУЧ.-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА СССР

матрица (форма) *В*, под которую закладывается штампуемый лист *АБ*.

Под влиянием высокого давления в цилиндре, лист *АБ* продавливается и принимает вид, соответствующий внутреннему рельефу матрицы. Для создания высокого давления используется мультипликатор давления *ЛМ*.

Пользуясь данными рисунка, определить усилие, на которое следует рассчитывать крепление матрицы к цилиндру. В расчете принять, что все давление передается непосредственно на матрицу, что будет иметь место в конце процесса штамповки. Штампуемый лист имеет размер $0,5 \times 0,5$ м.

Задача 32. Гидравлическая клепальная машина (рис. 25) обслуживается дифференциальным аккумулятором, в верхнюю

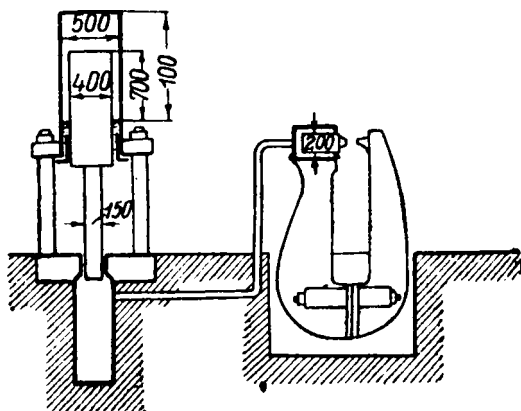


Рис. 25.

часть которого нагнетается сжатый воздух давления 30 атм., а в нижней находится жидкость, направляемая в цилиндр клепальной машины.

Пренебрегая трением в сальниках, определить усилие, передаваемое на заклепку:

а) при том положении поршней в аккумуляторе, как на рисунке;

б) после нескольких рабочих ходов,

полагая, что ни воздух, ни жидкость в систему не подаются, когда поршни в аккумуляторе опустятся на 500 мм.

3. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА ПЛОСКУЮ СТЕНКУ.

В первой главе приводится формула (3), посредством которой определяется полное давление жидкости на стенку в том случае, когда вдоль всей стенки давление остается постоянным, как это, например, встречается при расчете горизонтальных плоских днщ различных резервуаров.

При расчете вертикальных и наклонных стенок тех же резервуаров, при расчете различных плотин и т. д., словом

во всех тех случаях, когда давление жидкости вдоль рассматриваемой стенки изменяется, полное давление жидкости на плоскую стенку может быть определено с помощью уравнения

$$P = \int_0^B p dF = \int_{h_1}^{h_2} \gamma h B dh.$$

В частном случае, когда B — ширина стенки по всей ее высоте одинакова, решая уравнение, получаем

$$P = \frac{1}{2} \gamma B \frac{h_2^2 - h_1^2}{2}, \quad (4)$$

где h_1 и h_2 — глубины погружения верхнего и нижнего края стенки.

В том частном случае, когда при постоянной ширине стенки $h_1 = 0$, т. е. верхний край рассматриваемой стенки на уровне поверхности жидкости, формула (5) получает вид

$$P = \gamma B \frac{h^2}{2}. \quad (5)$$

Нетрудно показать, что

$$P = \int p dF = \gamma \int h dF = \frac{1}{2} \gamma h_c F = p_c F,$$

где h_c обозначает глубину погружения центра тяжести рассматриваемой площади стенки, p_c — давление на этой глубине.

Полученное выражение может быть применено для определения полного давления жидкости на плоскую стенку и пригодно для любого очертания стенки, причем независимо от расположения стенки (горизонтальная, наклонная, вертикальная).

Таким образом,

$$P = p_c F, \quad (6)$$

т. е. полное давление жидкости на плоскую стенку равно произведению давления в центре тяжести стенки на площадь стенки.

Эта же задача может быть решена графоаналитическим путем, при использовании эпюры давления.

Эпюра давления представляет собой график изменения давления внутри жидкости (избыточного) с глубиной. Полагая удельный вес жидкости γ постоянным и вводя его

в масштаб оси давлений, получаем график, изображенный на рис. 26. Нетрудно видеть, что полное давление жидкости на стенку численно равно весу жидкости в объеме пространственной эпюры давления. Это позволяет широко использовать эпюру давления для решения некоторых технических задач, как, например, определение центра давления или вопрос о расположении ригелей.

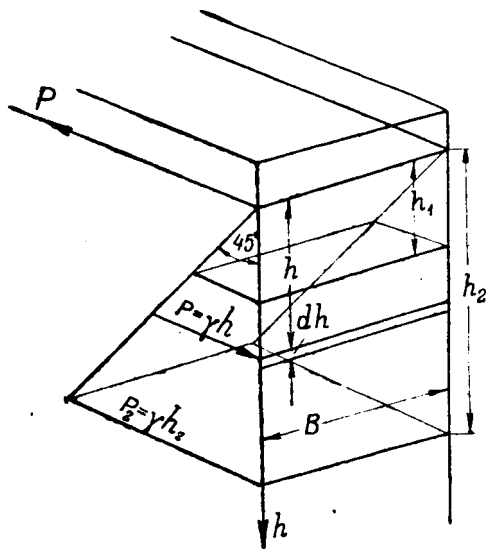


Рис. 26.

В целом ряде задач приходится определять положение равнодействующей полного давления на стенку. Для этой цели составляются уравнения моментов нагрузки относительно какой-либо оси, один раз — исходя из полной нагрузки и неизвестного пока плеча — расстояния между точкой приложения равнодействующей и осью, а другой раз то же, только исходя из элементарных нагрузок и элементарных моментов.

Совершенно очевидно, что оба выражения в конечном счете должны дать одно и то же. Из сопоставления обоих выражений легко можно получить искомое расстояние.

В случае, когда свободная поверхность воды горизонтальна, имеем

$$h_u = \frac{\int_{h_1}^{h_2} bh^2 dh}{\int_{h_1}^{h_2} bhdh}, \quad (7)$$

где h_u обозначает глубину погружения центра давления, т. е. искомой точки приложения равнодействующей полного давления жидкости на стенку.

В том случае, когда рассматриваемая стенка или выделенный на ней участок имеет постоянную ширину, уравнение получает вид

$$h_u = \frac{\int_{h_1}^{h_2} h^2 dh}{\int_{h_1}^{h_2} h dh} = \frac{2}{3} \frac{(h_2^3 - h_1^3)}{(h_2^2 - h_1^2)}. \quad (8)$$

При $h_1 = 0$, т. е. в случае незаглубленной стенки, имеем

$$h_u = \frac{2}{3} h,$$

иначе говоря, центр давления жидкости на незаглубленную стенку постоянной ширины расположен на $\frac{2}{3}$ глубины.

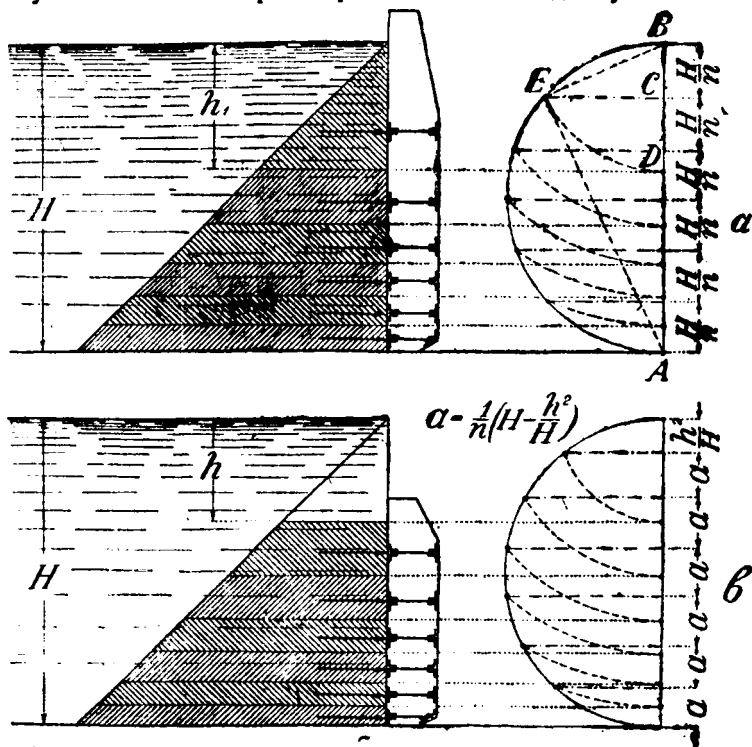


Рис. 27.

Рассматривая последние уравнения, нетрудно убедиться в том, что центр давления расположен на одной высоте с центром тяжести эпюры давления. Благодаря этому задача о положении центра давления в ряде случаев легко может быть решена графически.

Расположение ригелей, т. е. горизонтальных балок, определяется из условия распределения нагрузки на них. Весьма часто принимают, что нагрузка на все ригеля должна быть одинаковой. Размеры соответствующих панелей стенки легко могут быть определены с помощью пространственной эпюры давления, а в том случае, когда ширина стенки по всей высоте одинакова, для этого можно использовать и плоскостную эпюру, разделив ее на равные части.

Для последней цели служат построения, показанные на рис. 27, одно — для незаглубленной, а другое — для заглубленной стенки.

ЗАДАЧИ.

Задача 33. Определить полное давление воды на стенки бака (рис. 28), наполненного до краев.

Задача 34. В вертикальной стенке бака (рис. 29) имеется прямоугольное отверстие, закрытое заглушкой. Определить полное давление воды на заглушку в том случае, когда

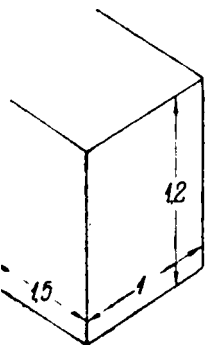


Рис. 28.

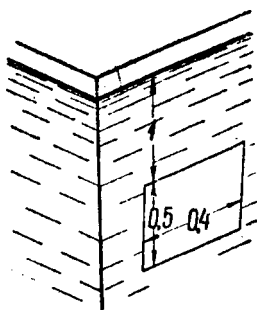


Рис. 29.

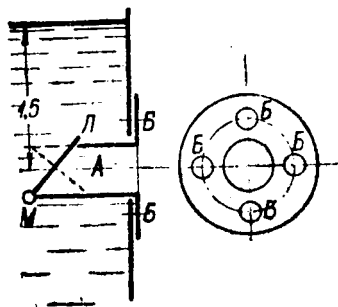


Рис. 30.

поверхность воды в баке находится на 1 м выше верхнего края заглушки.

Задача 35. Для условий предыдущей задачи вывести закон изменения полного давления воды при изменении:

а) только ширины заглушки;

б) только высоты заглушки, при условии, что погружение ее центра тяжести остается постоянным;

в) только при изменении положения горизонта воды в баке, полагая, что размеры заглушки постоянны.

Полученный результат выразить также графически.

Задача 36. Определить давление на круглую заглушку в вертикальной стенке резервуара, заполненного бензином. Диаметр заглушки 0,4 м, поверхность бензина в баке выше центра отверстия, перекрываемого заглушкой, на 2 м.

Задача 37. В стенке резервуара (рис. 30), заполненного водой, установлен патрубок, $\varnothing 4''$, внутренний конец которого срезан под углом 45° . Отверстие патрубка *A*, как показано

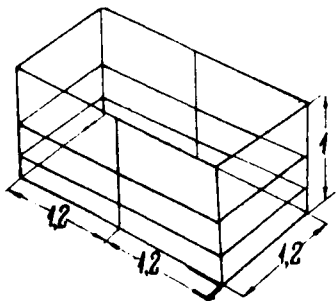


Рис. 31.

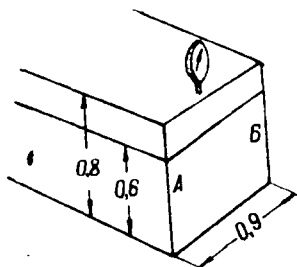


Рис. 32.

на схеме, перекрывается крышкой *МЛ*, посаженной на шарнире. Пренебрегая собственным весом крышки, определить:

а) на какое общее усилие следует рассчитывать болты *Б*, крепящие патрубок к стенке?

б) силу, с которой крышка *МЛ* прижата к патрубку *A*;

в) изменятся ли усилия, если фланец патрубка будет повернут на 180° (пунктирное положение).

Ось патрубка расположена на глубине 1,5 м.

Задача 38. Железный бак для воды выполнен из уголкового железа, обшитого листовым. Схема рамы и размеры бака указаны на рис. 31.

Исходя из условия равнонагруженности ригелей, определить их расположение и подобрать профиль уголкового железа. Бак наполнен водой до краев.

Задача 39. Закрытый бак (рис. 32) наполнен водой. Давление над поверхностью $p = 0,5 \text{ кг/см}^2$ избыточных. Определить полное давление воды на боковую стенку *АБ*.

Задача 40. Деревянный щит, перегородивающий канал, составлен из горизонтально расположенных досок, шириной 20 см. Ширина канала $B = 2,5$ м (рис. 33):

а) подсчитать полное давление воды на щит;

б) определить требуемую, из условия прочности, толщину досок № 2, № 4, № 6. Допустимое напряжение на изгиб для дерева принять $K = 80$ кг/см².

Задача 41. В металлическом баке (рис. 34), перегородженном на две части, находятся вода и нефть. Ширина бака $B = 0,6$ м. Глубина в части заполненной водой $H = 0,8$ м, а в части, где нефть, $H' = 0,5$ м.

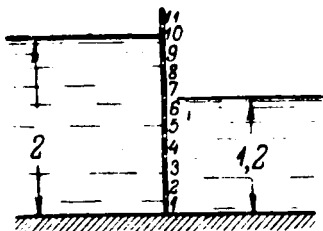


Рис. 33.

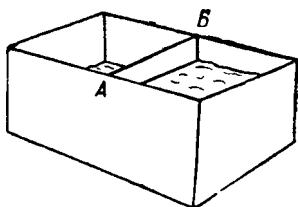


Рис. 34.

Определить полное давление жидкостей на плоскую перегородивающую стенку AB , найти положение центра давления и определить момент полного давления жидкости на стенку относительно нижней грани стенки.

Задача 42. Определить давление на стенку AB сосуда, в котором налиты вода и масло, расположенные так, как это показано на рис. 35.

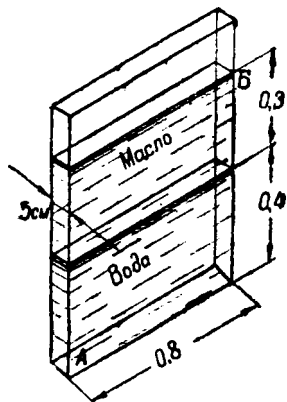


Рис. 35.

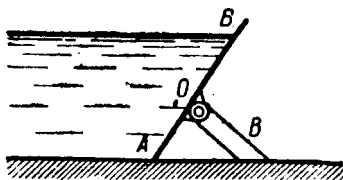


Рис. 36.

Задача 43. Для того, чтобы горизонт воды не подымался выше определенного уровня, часто применяют различные автоматические устройства. Идея одного из них показана на

рисунке 36: в данном случае мы имеем подвижную плотину, плоские щиты (АВ) которой шарнирно соединены со стойкой (В). Если горизонт воды подымается выше определенного уровня — равнодействующая полного давления воды на щит АВ проходит над шарниром, и щит АВ переворачивается, пропуская излишек воды. Как только уровень спадет, равнодействующая давления воды переместится вниз, и, когда она будет проходить ниже шарнира, щит установится в свое первоначальное положение.

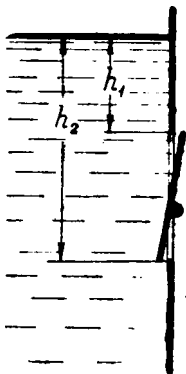


Рис. 37.

Определить, на какой глубине должна быть расположена ось О шарнира. Выяснить, зависит ли положение оси О от наклона щита. Выяснить, имеет ли здесь какое-либо влияние удельный вес жидкости.

Задача 44. Изложенная выше идея применяется для регулирования уровня воды в напорном баке. Прямоугольное отверстие (рис. 37), перекрываемое поворачивающимся щитком, расположено под уровнем жидкости. Определить положение оси шарнира.

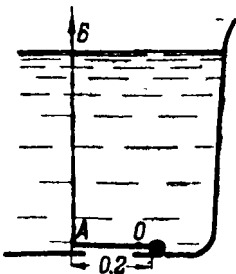


Рис. 38.

Задача 45. Отверстие размером $0,2 \times 0,3$ м в дне бака (рис. 38) перекрывается прямоугольным щитком АО, поворачивающимся вокруг оси О.

Определить усилие P , необходимое для открытия щитка. Весом щитка и цепочки АВ в жидкости пренебречь.

Задача 46. Определить момент полного давления воды на щиток относительно его оси вращения в случае, если последняя (рис. 37) расположена посредине высоты щитка

$$h_1 = 0,4 \text{ м}, h_2 = 0,6 \text{ м}, h_3 = 0,3 \text{ м}.$$

4. ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ СТЕНКУ.

С давлением жидкости на криволинейные поверхности приходится сталкиваться при расчете труб, резервуаров, котлов, затворов гидросооружений.

Полное давление жидкости на криволинейную стенку может быть выражено геометрической суммой его составляющих: горизонтальной и вертикальной.

Рассматривая условия равновесия выделенного элемента жидкости, с одной стороны ограниченного криволинейной стенкой, а с другой — произвольно расположенной вертикальной плоскостью, можно легко найти, что

горизонтальная составляющая полного давления жидкости на криволинейную стенку по величине равна полному давлению жидкости на вертикальную проекцию этой стенки,

вертикальная составляющая по величине равна весу жидкости, заключенной между стенкой и цилиндрической поверхностью с вертикальной образующей, проведенной через нижний край стенки.

Это же правило применимо и для случая плоской наклонной стенки.

Определение горизонтальной составляющей производится по формулам, приведенным в главе 2. Рекомендуется пользоваться пространственной эпюрой давления.

Полное давление жидкости на криволинейную стенку равно

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}.$$

ЗАДАЧИ.

Задача 47. На рис. 39 изображен один из многочисленных проектов *perpetuum mobile*. В стенке бака имеется проем, в котором установлен деревянный цилиндр, вращающийся на оси. По мысли автора этого вечного двигателя, поскольку дерево всплывает в воде и падает в воздухе, установленный таким образом цилиндр должен непрерывно вращаться, если бак будет заполнен водой, так как здесь, как будто бы, должны действовать силы, показанные на рисунке.

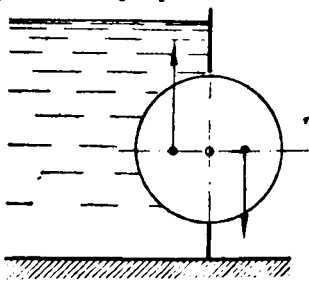


Рис. 39.

Укажите, почему это неверно и в чем кроется ошибка.

Задача 48. Определить усилие, потребное для подъема шарового клапана *A*, закрывающего отверстие $\varnothing 10$ см в дне

сосуда с водой (рис. 40). Собственным весом клапана в жидкости пренебречь.

Задача 49. Определить толщину стенки стальной трубы $\varnothing 15$ см, рассчитанной на давление 20 атмосфер. Расчетное напряжение принять 800 кг/см^2 .

Задача 50. Длинный резервуар, раз-

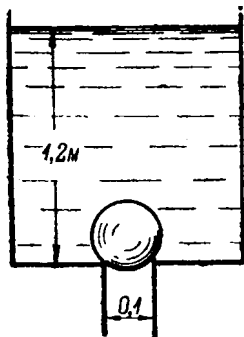


Рис. 40.

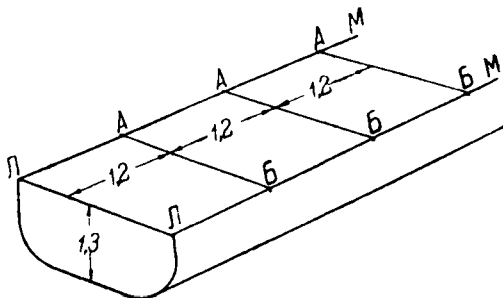


Рис. 41.

меры которого указаны на рис. 41, наполнен водой доверху. Определить усилие, на которое следует рассчитывать стяжки $АБ$ в средней части резервуара, пренебрегая жесткостью стенок.

Задача 51. Определить усилие, на которое следует рассчитывать пояс $АБ$ (предпоследний, считая сверху) круглого резервуара (рис. 42), наполненного нефтью ($\delta = 0,9$).

Задача 52.

Определить сечение стяжек деревянного трубопровода, работающего под давлением 4 кг/см^2 . Диаметр трубопровода 1 м, стяжки железные, круглого сечения, расположены на расстоянии 8 см одна от другой.

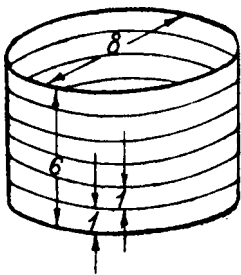


Рис. 42.

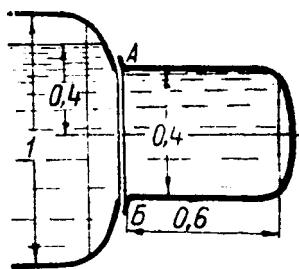


Рис. 43.

Допустимое напряжение 600 кг/см^2 .

Задача 53. Определить, на какое усилие необходимо рассчитывать заклепки шва $АБ$. Давление в котле 2 атмосферы избыточных (рис. 43).

5. ЗАКОН АРХИМЕДА И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ.

Рассматривая условия равновесия тела, погруженного в жидкость, мы видим, что полное давление жидкости на тело снизу будет больше, чем сверху, так как удельное давление внутри жидкости с глубиной возрастает, а горизонтальная проекция тела, по которой определяется полное давление жидкости на тело, одна и та же для сил, действующих снизу, и сил, действующих сверху.

Нетрудно убедиться в том, что разность между указанными силами равна весу жидкости в объеме погруженного тела, из условия равновесия покоящейся жидкости, в которой выделен такой же объем жидкости. Результативная сила направлена снизу вверх.

Поэтому тело, погруженное в жидкость, находится под действием двух вертикальных сил: упомянутой силы, направленной вверх, и силы тяжести, направленной вниз. Их алгебраическая сумма дает кажущийся вес тела в жидкости. Если первая сила больше второй, тело плавает в жидкости. Если они одинаковы — тело находится в жидкости в состоянии безразличного равновесия. Если первая сила меньше второй — тело тонет в жидкости.

Это дает основание сформулировать закон Архимеда так: тело, погруженное в жидкость, испытывает со стороны по-

следней давление, направленное снизу вверх, по величине равное весу жидкости вытесненной телом.

С законом Архимеда приходится сталкиваться при подсчетах, связанных с проектированием различных судов, воздушных шаров, дирижаблей, понтонов, поплавков и поплавковых регулирующих

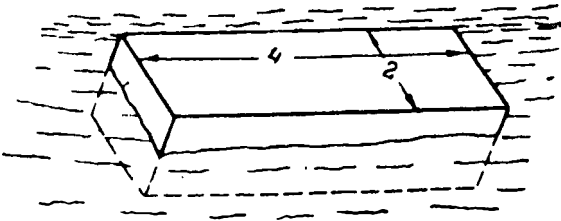


Рис. 44.

устройств, а также в расчетах, связанных с определением удельного веса.

ЗАДАЧИ.

Задача 54. Плавающий в пресной воде понтон, размеры которого указаны на рис. 44, под нагрузкой опустился на 0,5 м. Определить величину нагрузки.

Задача 55. Гидравлические весы, для взвешивания больших грузов, представляют собой большой поплавок (рис. 45), на котором установлена грузовая платформа. Поплавок находится в резервуаре с водой, и, чем больше нагрузка, тем больше погружение поплавка. Так как давление воды с глубиной возрастает, то измерение давления в центре дна дает представление о нагрузке.

Определить размеры поплавка гидравлических весов, рассчитанных на нагрузку до 11 т. Соотношение размеров поплавка принять 2:3:1 (ширина, длина и высота). Собственный вес поплавка и платформы принять для предварительного расчета 1 т.

Задача 56. Определить размеры цилиндрического поплавка, необходимого для подъема затонувшей в море ($\delta = 1,02$) чугуна

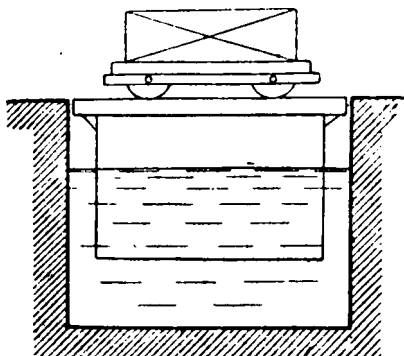


Рис. 45.

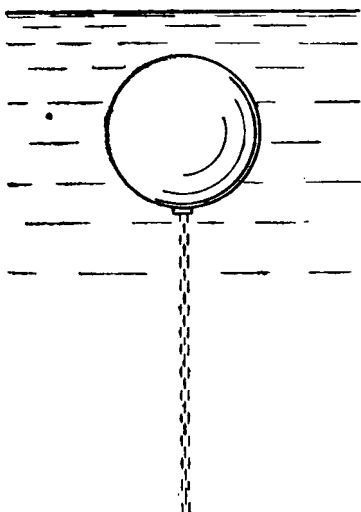


Рис. 46.

ной детали, весящей в воздухе 2 т. Соотношение длины и диаметра поплавка принять равным 2. Собственный вес поплавка 300 кг.

Задача 57. Определить натяжение цепи, удерживающей мину (рис. 46). Вес мины в воздухе 400 кг. Форма мины — шаровая, диаметр 1 м. Относительный удельный вес морской воды $\delta = 1,02$.

Задача 58. Какой минимальный вес должен иметь водолазный колокол, внешняя кубатура которого равна 8 м³? Изменяется ли кажущийся вес погруженного колокола при изменении глубины его погружения в море? Удельный вес морской воды $\gamma = 1020 \text{ кг/м}^3$.

Задача 59. Для автоматического регулирования уровня топлива в напорном баке теплосиловой установки иногда используют устройство, схема которого показана на рис. 47.

Определить размеры поплавка, считая, что весь механизм уравновешен, а для поворота крана требуется момент 8 кг/см . Устройство должно действовать при погружении поплавка на $\frac{2}{3}$. Поплавок цилиндрический, диаметр равен высоте поплавка.

Задача 60. Определить размеры поплавка регулирующего устройства, показанного на рис. 48, полагая собственный вес всех погруженных частей равным 1 кг и считая, что поплавок погружен на $\frac{3}{4}$. Поплавок имеет форму куба. $D_{\text{отв.}} = 50 \text{ мм}$.

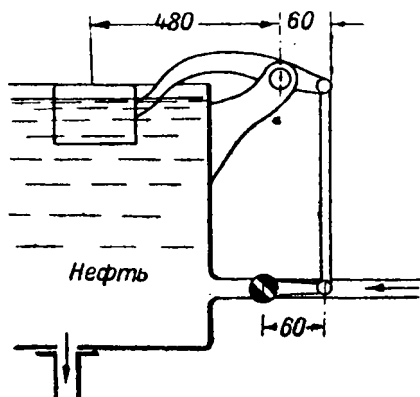


Рис. 47.

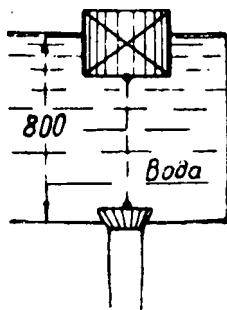


Рис. 48.

Задача 61. Однородное тело плавает в воде, будучи погружено на $\frac{9}{10}$ своего объема. Определить удельный вес тела.

Задача 62. Требуется определить удельный вес карбида кальция CaC_2 . Обычно взвешивают исследуемое тело дважды: в воздухе и в воде, а затем берут отношение измеренных весов. В данном случае использовать воду нельзя, так как карбид кальция реагирует с водой, причем выделяется ацетилен (C_2H_2). Поэтому используем керосин.

Определить удельный вес карбида кальция. Взятое количество весит в воздухе $1,5 \text{ кг}$, в керосине $0,946 \text{ кг}$. Удельный вес керосина 820 кг/м^3 .

Задача 63. При исследовании поршня быстроходного двигателя внутреннего горения установлено, что он выполнен из сплава алюминия ($\delta = 2,7$) и меди ($\delta = 8,9$). Вес поршня без колец и пальца — в воздухе $1,5 \text{ кг}$, в воде $0,965 \text{ кг}$.

Определить процентное содержание меди в сплаве, из которого изготовлен поршень.

Задача 64. Отливается чугунная плита, размером $0,6 \times 0,4$ м. Определить величину нагрузки на верхнюю опоку (включая в собственный вес), необходимую из условия достаточной плотности всей формы в плоскости разъема опок (рис. 49).

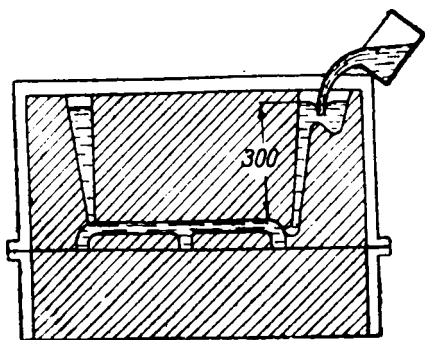


Рис. 49.

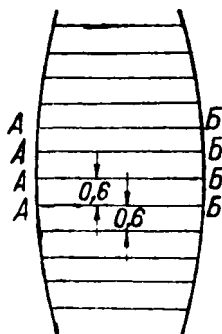


Рис. 50.

Задача 65. Баржа весом в 1000 т (груз и собственный вес) погружена в воду на 2 м. Шпангоуты расположены на расстоянии 0,6 м. Общая высота баржи в средней ее части 3 м (рис. 50).

Определить:

- сжимающее усилие в балках АБ, считая, что на шпангоуты полностью передается давление воды на боковые стенки баржи;
- полную величину и направление вертикальной составляющей полного давления жидкости на дно и стенки баржи.

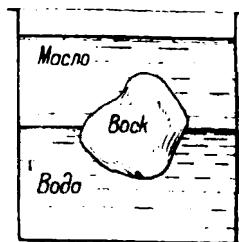


Рис. 51.

Задача 66. В сосуд А (рис. 51) налита вода, затем на воду опущен кусок воска, а затем сверху все это залито маслом. Вычислить, какая часть объема воска будет погружена в воду и какая часть останется в масле.

Относительные удельные веса: воск 0,96, масло 0,91.

6. УРАВНЕНИЕ БЕРНУЛЛИ.

Закон сохранения энергии, в приложении к потоку несжимаемой жидкости, при установившемся движении, выражается уравнением Бернулли

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_w. \quad (9)$$

Здесь z_1 и z_2 — ординаты центра тяжести рассматриваемых сечений (I и II) данного потока (рис. 52);

p_1 и p_2 — средние давления в сечениях I и II;

v_1 и v_2 — средние скорости в сечениях I и II;

h_w — потерянный напор на пути между сечениями I и II.

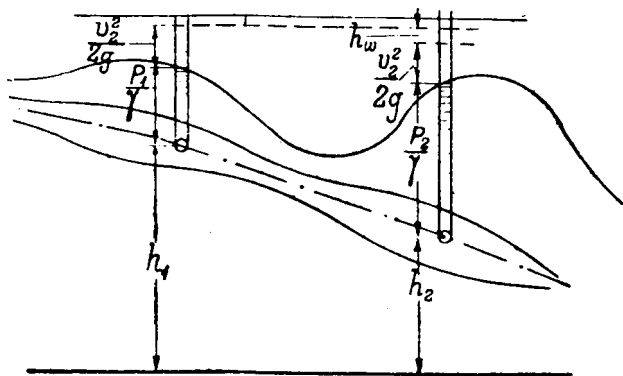


Рис. 52.

Уравнение Бернулли в целом относится к одному килограмму движущейся жидкости в потоке и выражает сумму энергий потенциальной, кинетической, а также энергии, затраченной на преодоление различных сопротивлений.

Таким образом, z_1 и z_2 выражают потенциальную энергию 1 кг жидкости в потоке, проходящей через сечения I и II, на высоте z_1 и z_2 над выбранной плоскостью сравнения. Мы назовем это потенциальной энергией положения, отнесенной к 1 кг жидкости в потоке.

Совершенно так же, члены уравнения $\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}$ выражают потенциальную энергию, также отнесенную к 1 кг жидкости

в потоке, обуславливающуюся давлениями p_1 и p_2 в потоке. По уравнению (2), величина $\frac{p}{\gamma}$ выражает высоту столба жидкости, соответствующую давлению p . Назовем это потенциальной энергией давления.

Суммы $z + \frac{p_1}{\gamma}$ и соответственно $z_2 + \frac{p_2}{\gamma}$ выражают полный запас потенциальной энергии жидкости в потоке, отнесенный к 1 кг жидкости в потоке, что называют удельной потенциальной энергией потока.

Аналогично, члены уравнения $\frac{v_1^2}{2g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}$ выражают кинетическую энергию жидкости, движущейся со скоростью v_1 или v_2 , отнесенную к 1 кг жидкости в потоке. В этом легко убедиться, написав выражение живой силы для тела весом в 1 кг.

Сумма $z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$ выражает полный запас энергии, отнесенный к одному кг жидкости в потоке, и поэтому такая сумма может быть названа полной удельной энергией потока (как сумма потенциальной и кинетической энергии).

h_w выражает работу вредных сопротивлений, отнесенную к 1 кг жидкости в потоке, на пути между сечениями I и II.

Размерность отдельных членов уравнения Бернулли одна и та же, это размерность работы или энергии, отнесенной к весовой единице жидкости в потоке, в технической системе мер $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг}}$. Формально, можно было бы считать эту размер-

ность линейной (м), так это обычно и делается и тогда все члены уравнения рассматриваются как напоры: геометрический (z_1 и z_2), пьезометрический $\left(\frac{p_1}{\gamma}$ и $\frac{p_2}{\gamma}\right)$, скоростной $\left(\frac{v_1^2}{2g}$ и $\frac{v_2^2}{2g}\right)$ и потерянный h_w . В этом последнем случае уравнение Бернулли можно формулировать, как закон постоянства общей суммы всех перечисленных напоров. Используя линейную размерность, можно интерпретировать уравнение Бернулли графически, как это показано на рис. 52. Линия, характеризующая закон изменения давления по длине русла потока, называется пьезометрической линией.

Однако, для лучшего уяснения физического смысла уравнения Бернулли представляется более удобным сохранить в начале изучения гидравлики первую, более сложную, размерность.

Потери энергии в потоке зависят как от характера движения жидкости, так и от условий, характеризующих русло потока. В данном отделе мы будем пренебрегать потерями, что допустимо или при очень небольшом расстоянии между рассматриваемыми, плавно изменяющимися сечениями, или же тогда, когда стенки русла потока исключительно гладки, причем сечения по длине потока изменяются весьма плавно. Там, где эти условия не соблюдены, решение задачи без учета вредных сопротивлений дает приблизительный ответ, степень приближенности которого зависит от характера сопротивлений.

ЗАДАЧИ.

Задача 67. Из отверстия в дне сосуда вытекает вода. Предполагая сосуд настолько большим, чтобы можно было считать, что уровень его постоянен, т. е. чтобы можно было пренебречь скоростью частиц воды около поверхности, определить, какова была бы скорость истечения из отверстия, если бы сопротивления отсутствовали (вывести формулу Торичелли).

Задача 68. Жидкость вытекает из сосуда больших размеров (рис. 53) через патрубок M , диаметр которого по длине постоянен. Определить давление в сечении $I-I$. Построить пьезометрическую линию, пренебрегая сопротивлениями.

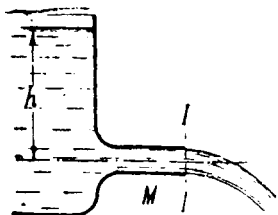


Рис. 53.

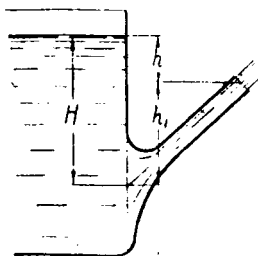


Рис. 54.

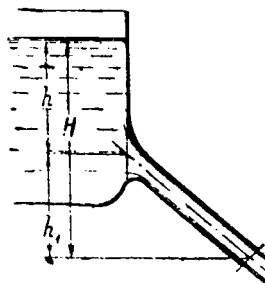


Рис. 55.

Задача 69. Полагая уровень воды в баке постоянным и пренебрегая сопротивлениями, построить пьезометрическую линию для случая истечения жидкости через наклонную насадку (рис. 54).

Задача 70. При тех же допущениях, построить пьезометрическую линию для случая по рис. 55.

Задача 71. При тех же допущениях, построить пьезометрическую линию для случая истечения жидкости через коническую сходящуюся насадку (рис. 56).

Задача 72. При тех же допущениях, т. е. полагая уровень в баке постоянным и пренебрегая сопротивлениями, построить пьезометрическую линию для случая по рис. 57.

Задача 73. Через горизонтальный патрубок, диаметром 10 см (рис. 53), вытекает вода из бака, напор над отверстием равен 3 м. Построить пьезометрические линии при расходах $Q = 5, 10, 20, 40$ л/сек. Сопротивлениями пренебречь.

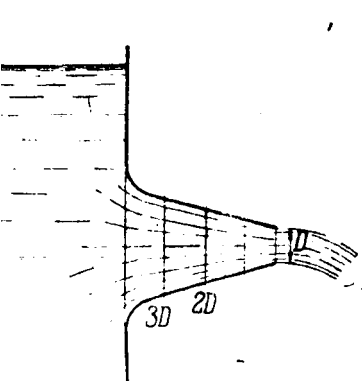


Рис. 56.

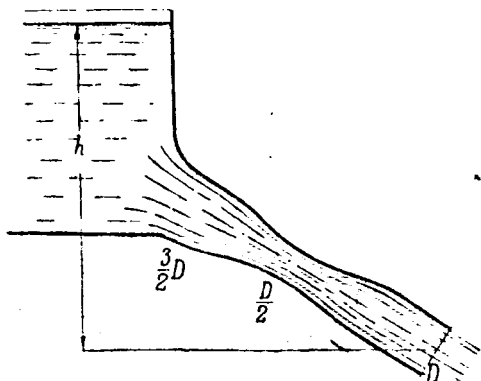


Рис. 57.

Задача 74. На длинном трубопроводе установлен манометр (рис. 58). Когда в конце трубопровода был открыт вентиль, давление, показываемое манометром, уменьшилось на $0,02 \text{ кг/см}^2$. Диаметр трубопровода 15 см.

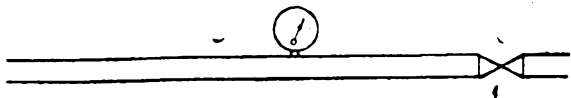


Рис. 58.

Определить расход воды, проходящей через трубопровод.

Задача 75. Определить размер шкалы для трубки Пито, предназначенной для измерения скоростей воды до 3 м/сек. Манометр трубки заполнен воздухом и водой.

Трубка Пито служит для измерения скорости движения жидкости в потоке. Схема устройства трубки Пито показана на рис. 59. Трубки А и Б присоединены к манометру, по

показанию которого можно судить о разности давлений в трубках, происходящей вследствие того, что одна из трубок (А) находится под дополнительным воздействием скоростного напора потока, благодаря чему и может быть определена скорость потока.

Задача 76. Имеется трубка Пито, манометр которой заполнен водой и керосином. Длина шкалы трубки равна 1 м. Определить максимальную скорость потока, которую можно замерить этой трубкой Пито.

Задача 77. Манометр *M*, установленный в начале нагнетательной трубы насоса (рис. 60), показывает 2,5 ати. Диаметр трубы 4", расход 12 л/сек. Определить полный напор.

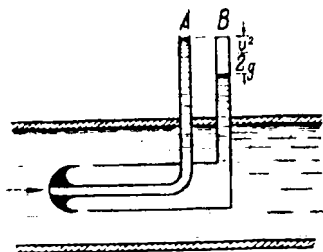


Рис. 59.

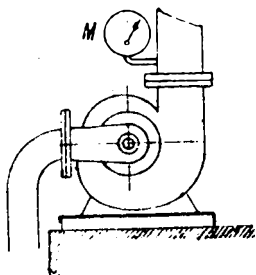


Рис. 60.

Задача 78. Определить величину h_1 как функцию от скорости v_1 для водомера Вентури (рис. 61), манометр которого заполнен водой и воздухом. Отношение диаметров $\frac{D_1}{D_2} = n$.

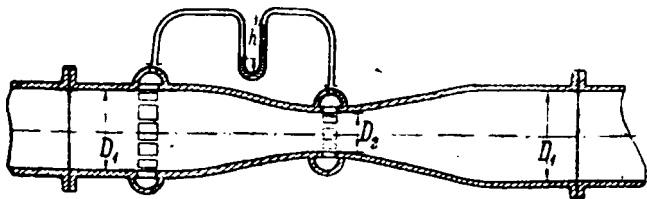


Рис. 61.

Задача 79. Манометр водомера Вентури (рис. 61) заполнен водой и ртутью. Показание манометра $h_1 = 10$ см, $D_1 = 12$ см, $D_2 = 8$ см. Определить расход воды в трубопроводе.

Задача 80. При какой скорости и при каком расходе давление в суженной части трубопровода (рис. 62) будет равно атмосферному, если давление перед вентиляем равно $p = 0,1 \text{ кг/см}^2$?

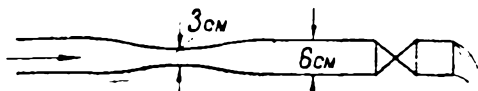


Рис. 62.

Задача 81. При какой скорости в сечении $I-I$ эжектор (рис. 63) начинает действовать? Высота всасывания $h = 2 \text{ м}$.

Принцип действия эжектора основан на том, что в суженной части трубопровода, согласно уравнению Бернулли, давление всегда бывает ниже, чем в широкой части (если, понятно, оба сечения находятся близко и на одном уровне). Поэтому, если в широкой части трубы давление близко к атмосферному, в суженном сечении будет вакуум, благодаря чему жидкость будет засасываться из A и подаваться трубой B в резервуар B (рис. 63).

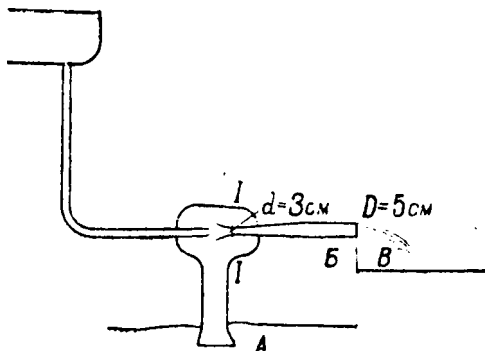


Рис. 63.

7. ЛАМИНАРНОЕ И ТУРБУЛЕНТНОЕ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ.

Различают два режима движения жидкости: ламинарное и турбулентное. Первое из них характеризуется устойчивостью элементарных струек, оно называется движением струйчатым, упорядоченным. Турбулентное движение характеризуется как движение беспорядочное, где положение линий тока все время изменяется.

Особенности обоих режимов течения жидкости становятся особенно заметными при окрашивании отдельных струек. При ламинарном движении окрашенная струйка хорошо заметна

в потоке, при турбулентном режиме она размывается и в потоке не видна.

Вопрос о режиме движения жидкости в потоке в отдельных случаях приобретает большую остроту, так как закон распределения скоростей в обоих случаях различен, сопротивления при ламинарном движении пропорциональны первой степени скорости, а при турбулентном движении — квадрату скорости. В теплотехнике приходится особенно считаться с этим вопросом, так как условия теплопередачи при ламинарном движении жидкости много хуже, чем при турбулентном движении, и в таких устройствах, как конденсаторы паровых турбин, некоторые системы паровых котлов, радиаторы и система охлаждения двигателей внутреннего горения, — переход турбулентного режима движения жидкости в ламинарный обуславливает резкое ухудшение работы этих устройств.

Расчеты, связанные с выяснением режима движения, базируются на так называемом числе Рейнольдса. Для трубопроводов круглого сечения оно имеет вид

$$Re = \frac{vD}{\nu}, \quad (10)$$

Здесь D — диаметр трубы,

v — скорость,

ν — кинематический коэффициент вязкости.

Это отношение, вообще говоря, может быть в зависимости от значений отдельных его членов любым. Устойчивое ламинарное движение наблюдается тогда, когда это отношение менее 2000. Для этого требуется, чтобы скорость и диаметр были бы малы, а вязкость жидкости — велика. Устойчивое турбулентное движение наблюдается, когда указанное отношение больше 13000. Режим движения между этими границами числа Рейнольдса зависит от ряда обстоятельств и в первую очередь от того, как изменяется течение жидкости. Если движение неустановившееся и число Рейнольдса медленно возрастает, начиная от $Re < 2000$, то можно ожидать, что движение будет ламинарным вплоть до значения рейнольдсова числа 13000, после чего движение переходит в турбулентное. Если, напротив, рейнольдсово число медленно уменьшается, начиная от $Re > 13000$, то движение остается турбулентным, но после того, как число Рейнольдса перейдет значение 2000, движение становится ламинарным.

Указываемые здесь границы значений числа Рейнольдса, называемые обычно критическими числами Рейнольдса, в раз-

личных случаях различны. Сравнительно мало изменяется нижнее критическое число Рейнольдса, оно колеблется около 2000. Верхнее критическое число, в зависимости от ряда условий, меняется от 2600 до 13000. Последняя цифра приводится для гладких труб круглого сечения. В расчетах, особенно теплотехнических, где ламинарное движение не всегда желательно, лучше придерживаться этой большей цифры.

Скорости, при которых, в заданных условиях, происходит изменение режима течения, называются верхней и нижней критическими скоростями.

Для подсчета числа Рейнольдса $Re = \frac{vD}{\nu}$

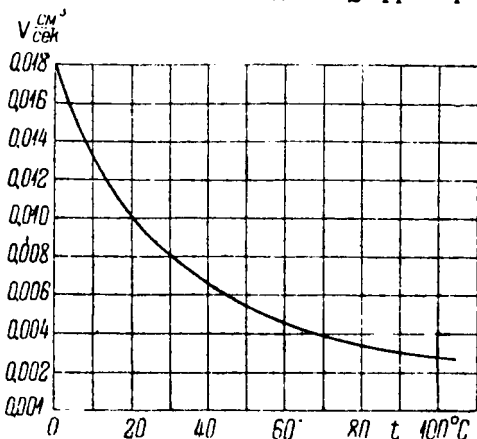


Рис. 64.

требуется, помимо скорости и диаметра, знать также и кинематический коэффициент вязкости ν , несколько значений которого, для различных жидкостей, приводятся здесь. Нужно отметить, что вязкость жидкостей с изменением температуры меняется, так, например, для воды имеем:

ТАБЛИЦА 4.

Кинематический коэффициент вязкости воды при различных температурах.

| $t^{\circ} C$ | $\nu \frac{см^2}{сек}$ | $t^{\circ} C$ | $\nu \frac{см^2}{сек}$ |
|---------------|------------------------|---------------|------------------------|
| 0 | 0,0178 | 30 | 0,0081 |
| 5 | 0,0152 | 50 | 0,0055 |
| 10 | 0,0131 | 80 | 0,0035 |
| 20 | 0,0101 | 100 | 0,0028 |

На рис. 64 изображен график зависимости вязкости воды от температуры.

ТАБЛИЦА 5.

Кинематические коэффициенты вязкости различных жидкостей при температуре 15° С.

| | δ | ν $\frac{\text{см}^2}{\text{сек}}$ |
|--------------------|-----------|--|
| Бензин | 0,70—0,72 | 0,0060—0,0065 |
| Керосин | 0,82—0,83 | 0,020—0,025 |
| Нефть | 0,86 | 0,070—0,080 |
| " | 0,88 | 0,25—0,30 |
| " | 0,89 | 0,50—0,60 |
| " | 0,90 | 1,3—1,4 |
| Ртуть | — | 0,00118 |
| Эфир | — | 0,00268 |
| Алкоголь | — | 0,0167 |
| Бензол | — | 0,0079 |
| Глицерин | — | 11,6 |

Для сравнения приводится рис. 65, где показана зависимость ν воздуха от давления и температуры.

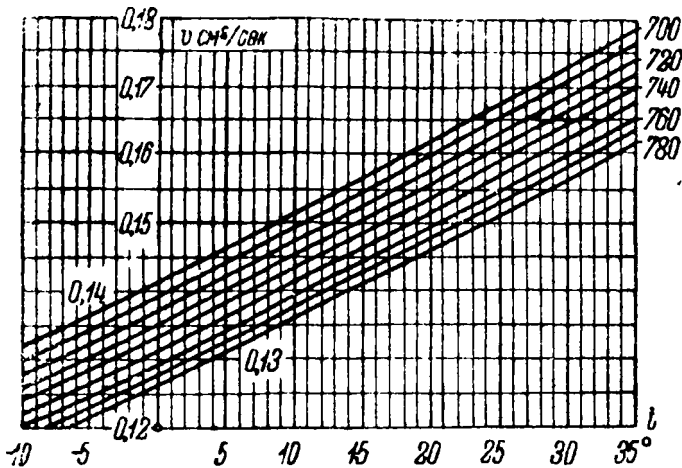


Рис. 65.

В том случае, когда сечение потока некруглое, формула числа Рейнольдса для тех же значений критических чисел будет иметь вид

$$Re = \frac{4 R v}{\nu}, \quad (10a)$$

где величина R , называемая гидравлическим радиусом, представляет собой отношение между площадью живого сечения потока и смоченным периметром этого сечения. Так, например, для круглого сечения при заполненном трубопроводе имеем

$$R = \frac{\pi D^2}{4 \cdot \pi D} = \frac{D}{4}.$$

Для прямоугольного сечения, также заполненного, шириной a , высотой b , имеем

$$R = \frac{a \cdot b}{2(a + b)}.$$

Для канала прямоугольного сечения, с глубиной в нем h , точно так же

$$R = \frac{hb}{2h + b}.$$

Гидравлический радиус, по своей размерности, является линейной величиной.

Поскольку число Рейнольдса характеризует режим движения жидкости, можно доказать, что потоки, для которых числа Рейнольдса одинаковы, подобны между собой, т. е. условие подобия потоков выражается уравнением

$$Re_1 = Re_2$$

или, что все равно,

$$\frac{R_1 v_1}{\nu_1} = \frac{R_2 v_2}{\nu_2},$$

или, наконец, учитывая, что гидравлический радиус — величина линейная, зависящая от размера и формы сечения, для геометрически подобных сечений можно написать

$$\frac{L_1 v_1}{\nu_1} = \frac{L_2 v_2}{\nu_2},$$

где L_1 и L_2 — соответственные линейные размеры двух сравниваемых, геометрически подобных сечений.

Последнее уравнение часто применяется в расчетах, связанных с экспериментальными исследованиями моделей, различных технических устройств и сооружений, как, например, аэродинамические исследования самолетов, автомобилей, или,

например, гидравлические исследования водосливных плотин и других, проводящихся на моделях сравнительно небольшого размера. Указанное уравнение дает возможность определить условия, в которых должен производиться опыт над моделью.

ЗАДАЧИ.

Задача 82. В трубе $\varnothing 2''$ проходит расход $Q = 5$ л/сек. Температура воды 10°C . Определить режим движения воды в трубе.

Задача 83. Определить верхнюю и нижнюю критические скорости движения воды в трубе $\varnothing 2''$ при 10°C .

Задача 84. Определить, при каких условиях возможен турбулентный режим движения в маслопроводе $\varnothing 5$ мм. Кинематический коэффициент вязкости $\nu = 3$ см²/сек при 20°C .

Задача 85. Через конденсатор паровой турбины проходит холодная вода (при входе 10°C), движущаяся внутри конденсатора по трубкам (число трубок — 300, диаметр 20 мм). Определить минимальный расход воды, при котором можно рассчитывать на турбулентное движение жидкости в конденсаторе.

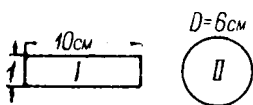


Рис. 66.

Задача 86. При каком соотношении расходов потоки в трубах I и II (рис. 66) будут подобны, при условии, что в обеих трубах движется одна и та же жидкость, одной и той же температуры.

Задача 87. При каком расходе поток воды в трубе круглого сечения, диаметром 40 мм, при температуре воды 20°C , динамически подобен потоку масла в трубе круглого сечения, диаметром 10 мм, при температуре масла 40°C и расходе 100 см³/сек.

Задача 88. Радиатор автомобиля состоит из большого числа трубок прямоугольного сечения 2×8 мм. Определить критические скорости движения воды в радиаторе, считая среднюю температуру воды в радиаторе порядка 40°C .

Задача 89. Исследуется процесс продувки двухтактного двигателя. Модель выполнена в натуральную величину. Среднее значение кинематического коэффициента вязкости газов, участвующих в процессе продувки, $\nu = 0,25$ см²/сек. Скорость движения газов достигает 150 м/сек.

Определить, при каких условиях и на какой жидкости должна исследоваться модель, если максимальная скорость, которую можно получить на модели, доходит до 20 м/сек.

Задача 90. В аэродинамической трубе испытывается модель автомобиля удобообтекаемой формы. Модель выполнена в масштабе $\frac{1}{8}$ натуральной величины. Проектная скорость автомобиля 120 км/час. Определить, с какой средней скоростью должен двигаться воздух в трубе при испытании модели, для получения динамического подобия потоков, модели и природы. Какова должна быть скорость, если для испытания модели вместо воздуха используется вода, при 10°C .

8. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРИ ЛАМИНАРНОМ ДВИЖЕНИИ ЖИДКОСТИ.

Потери от трения при ламинарном движении могут быть определены по закону Ньютона, по которому сила внутреннего трения между смежными слоями движущейся жидкости:

- 1) прямо пропорциональна относительной скорости скольжения одного слоя по другому;
- 2) прямо пропорциональна площади соприкосновения движущихся слоев (в направлении движения);
- 3) зависит от вязкости жидкости, и
- 4) не зависит от давления.

Математически это может быть выражено уравнением

$$K = -\mu \frac{dv}{dy} F, \quad (11)$$

где K — сила, $\frac{dv}{dy}$ — относительная скорость скольжения, или градиент скорости по живому сечению потока, F — площадь соприкосновения слоев, μ — коэффициент пропорциональности, учитывающий вязкость жидкости — динамический коэффициент вязкости. Ось y -ов направлена перпендикулярно к вектору скорости.

Физический смысл последнего коэффициента может быть легко обнаружен, если придать всем членам правой части значение единицы, т. е. предположить, что расстояние между рассматриваемыми слоями 1 м, скорость одного слоя по отношению ко второму 1 м/сек, размер рассматриваемой площадки 1 м². В этом случае $K = -\mu$, т. е. динамический коэффициент вязкости выражает усилие, необходимое для передвижения слоя жидкости площадью 1 м² (в направлении движения) относительно другого такого же слоя, отстоящего от первого на расстоянии 1 м, со скоростью 1 м/сек, чем

и вызывается деформация (сдвиг) слоя жидкости, обусловливаемая силами вязкости.

Для нашей иллюстрации мы воспользовались системой (кг, м, сек). Та же величина, выраженная в абсолютной системе мер, называется пуазом.

В данном случае силы относятся к кубу, как пространственному элементу, мысленно выделяемому внутри жидкости, размеры каждой из граней которого равны единице длины, в принятой системе мер. Весовые количества жидкости в данном объеме будут различны в зависимости от удельного веса или от плотности жидкости, что особенно заметно, когда сравниваются вязкости таких жидкостей, как расплавленный чугун и вода, воздух и ртуть.

Поэтому во многих расчетах вместо динамического коэффициента вязкости пользуются кинематическим коэффициентом вязкости, входящим в формулу (10), значения которого уже приведены в таблицах (4) и (5)

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (12)$$

где ρ — плотность, из выражения

$$\gamma = \rho g, \quad \rho = \frac{\gamma}{g}.$$

Нетрудно видеть, что кинематический коэффициент вязкости также представляет собой силу трения между сдвигаемыми, один относительно другого, слоями жидкости так же, как и динамический коэффициент, с той только разницей, что последний относится к мысленно выделяемому кубу, со стороной равной единице длины, а кинематический коэффициент — к такому кубу, который ограничивает единицу массы данной жидкости, чем и определяется размер его граней. Поэтому, говоря о кинематическом коэффициенте, как об единичной силе трения, мы эту силу относим к одним и тем же весовым количествам различных жидкостей, в то время как для динамического коэффициента мы исходили из одинаковых объемов.

Различие наименований объясняется тем, что формально размерность динамического коэффициента $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$, кинематиче-

ского $\frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$.

Экспериментальное определение обоих коэффициентов связано с известными трудностями, и поэтому на практике пользуются относительными коэффициентами, где вязкость данной жидкости условно выражается через вязкость воды. Чаще всего относительную вязкость выражают в градусах Энглера ($^{\circ}\text{E}$), обозначающих отношение времени истечения данной жидкости ко времени истечения такого же количества дистиллированной воды при 20°C , в обоих случаях через точно калиброванное отверстие в дне специального сосуда — вискозиметра.

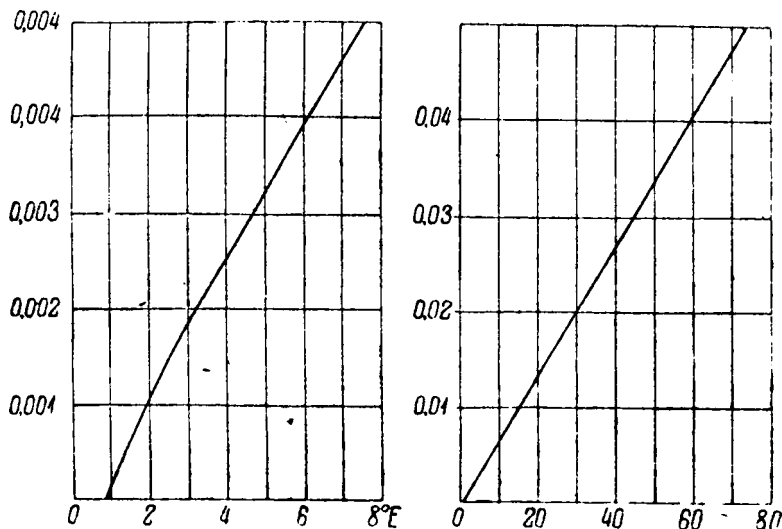


Рис. 67.

Например, 6°E обозначает, что данная жидкость вытекает в 6 раз медленнее воды, чем и определяется вязкость данной жидкости.

Для перевода относительной вязкости в абсолютную пользуются эмпирическими формулами. В частности, для перевода градусов Энглера в коэффициенты вязкости кинематический и динамический пользуются формулами Уббелоде

$$\nu \frac{\text{м}^2}{\text{сек}} = 10^{-4} \left(0,0731 \cdot ^{\circ}\text{E} - \frac{0,0631}{^{\circ}\text{E}} \right). \quad (13)$$

Для жидкостей, удельный вес которых близок к $0,9 \text{ кг/л}$, можно пользоваться графиком Фальца (рис. 67). К этим жидкостям относится большинство смазочных масел.

Приложение закона Ньютона к случаю движения ламинарного вязкой жидкости в трубе круглого сечения, если жидкость смачивает поверхность стенки трубы, позволяет вывести следующее:

1. Скорость у стенок трубы равна нулю и достигает максимального значения в центре сечения.

2. Максимальная скорость равна удвоенной средней скорости (определяемой по уравнению $Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v$).

3. Изменение скорости по сечению трубы происходит по закону параболы.

4. Потеря напора вследствие трения равна

$$h_w = \frac{32\nu}{g} \frac{lv}{D^2}, \quad (14)$$

где l — длина трубопровода.

Эта потеря напора выражает удельную работу трения, т. е. работу трения, отнесенную к 1 кг движущейся жидкости.

Изменение пьезометрического напора в потоке происходит как вследствие изменения кинетической энергии потока, так и вследствие различных вредных сопротивлений.

Изменение пьезометрического напора на расстоянии 1 м длины трубопровода

$$i_p = \frac{p_1 - p_2}{\gamma l}$$

называется пьезометрическим уклоном.

Если трубопровод расположен наклонно, то отношение $\frac{z_1 - z_2}{l} = i_h$ называется геометрическим уклоном.

Пьезометрический уклон показывает, как изменяется потенциальная энергия давления на расстоянии единицы длины трубопровода. Геометрический уклон показывает, как изменяется потенциальная энергия положения на расстоянии единицы длины трубопровода. Так как по изменению потенциальной энергии потока можно судить об изменении кинетической энергии потока и о потерях, то сумма обоих уклонов, называемая гидравлическим уклоном, т. е. $i = i_p + i_h$, выражает расходование потенциальной энергии на расстоянии единицы длины трубопровода.

В трубопроводе постоянного сечения по всей длине пьезометрическая линия в том случае, если бы сопротивления

отсутствовали, была бы горизонтальна. В действительности, при наличии сопротивлений, пьезометрическая линия наклонна, и уменьшение пьезометрического напора по длине трубопровода показывает расходование удельной энергии потока на преодоление вредных сопротивлений.

В этом случае гидравлический уклон выражает удельную работу вредных сопротивлений, т. е. $i = \frac{h_w}{l}$ или

$$i = \frac{32 \nu v}{g D^2} \quad (15)$$

Последняя формула может быть преобразована, и тогда она получает вид

$$i = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g}, \text{ где } \lambda = \frac{64}{Re} \quad (15a)$$

ЗАДАЧИ.

Задача 91. На поверхности масла, налитого в большой сосуд, плавает дощечка размером 20×30 см. Глубина масла в сосуде равна 25 см. Определить усилие, необходимое для передвижения дощечки по поверхности жидкости в сосуде со скоростью 0,5 м/сек. Кинематический коэффициент вязкости $\nu = 3$ см²/сек. Сопротивлением профиля дощечки пренебречь.

Задача 92. Относительный коэффициент вязкости масла равен 5°Е. Определить кинематический и динамический коэффициенты вязкости.

Задача 93. Через маслопровод диаметром 5 мм, длиной 8 м подается масло в количестве $Q = 0,6$ см³/сек. Давление в конце трубопровода равно атмосферному. На какой высоте следует расположить масляный бак, считая, что отверстие трубы находится в нем на глубине 40 см под поверхностью масла $\nu = 1$ см²/сек?

Задача 94. Определить гидравлический уклон трубопровода $\varnothing 10$ мм, пропускающего расход воды $Q = 2$ см³/сек, при температуре 5°С и 30°С.

Задача 95. Определить суточную производительность нефтепровода $\varnothing 8''$, длиной 40 км. Давление в начале трубопровода $p_1 = 15$ кг/см², в конце трубопровода — атмосферное. Кинематический коэффициент вязкости нефти принять равным $\nu = 1$ см²/сек. Трубопровод расположен горизонтально.

Задача 96. Определить максимальную скорость и построить кривую распределения скоростей в нефтепроводе. Диаметр

нефтепровода 200 мм, расход нефти 3 л/сек, температура 15°C, удельный вес 900 кг/м³.

Задача 97. Какой расход можно пропустить при ламинарном режиме движения жидкости в трубопроводе диаметром 15 мм, если максимальная скорость по живому сечению не должна превышать 1 м/сек.

Задача 98. Определить коэффициент трения λ для потока в маслопроводе. Диаметр маслопровода 10 мм, расход масла $Q = 30 \text{ см}^3/\text{сек}$, кинематический коэффициент вязкости масла $\nu = 2 \text{ см}^2/\text{сек}$.

Задача 99. При исследовании ламинарного движения масла в трубопроводе оказалось, что коэффициент трения $\lambda = 0,025$. Определить, каким рейнولدсовым числом характеризовался поток в трубопроводе и при какой скорости производилось исследование, если диаметр трубопровода 12 мм, кинематический коэффициент вязкости масла $\nu = 2,5 \text{ см}^2/\text{сек}$.

9. МЕСТНЫЕ ПОТЕРИ.

Под местными сопротивлениями понимаются всевозможные сопротивления в трубопроводах, сосредоточенные на небольших участках трубопровода, как, например:

внезапное расширение трубопровода

внезапное сужение "

изгиб "

всевозможные клапаны, задвижки, краны, сетки, фильтры и пр.

Анализ явлений, происходящих в подобных участках трубопровода, показывает, что, несмотря на внешнее различие указанных элементов в потоке жидкости, в сфере влияния каждого из данных сопротивлений наблюдается сжатие и последующее расширение потока жидкости. Расширение потока жидкости происходит на весьма коротком участке потока, и поэтому явления, здесь происходящие, имеют очень много общего с явлением удара в смысле потери количества движения. Кроме того, само изменение живого сечения потока обуславливает появление вихрей. Все это является причиной потерь, которые так и называются местными.

С полным основанием можно было бы причислить к этим потерям также и потери при истечении через насадки, ибо и там происходят указанные явления.

В практических расчетах пользуются формулой Вейсбах $h_w = \zeta \frac{v^2}{2g}$, которая является обобщением теоремы Борда, рассматривающей один из случаев, а именно случай внезапного расширения потока от сечения F_1 до сечения F_2 . Теорема Борда дает расчетную формулу в виде:

$$h_w = \left(\frac{F_2}{F_1} - 1 \right)^2 \frac{v^2}{2g} = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (16)$$

где v — средняя скорость за местным сопротивлением.

Ту же расчетную формулу, но уже с новыми коэффициентами ζ , определяемыми чисто экспериментальным путем, используют для всех остальных случаев местных потерь. Значения коэффициентов приведены в таблицах, помещенных ниже.

ТАБЛИЦА 6.

Коэффициенты сопротивления при внезапном сужении потока (рис. 68)

| F_2 / F_1 | 0,01 | 0,1 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| ζ | 0,50 | 0,50 | 0,42 | 0,34 | 0,25 | 0,15 | 0,00 |

ТАБЛИЦА 7.

Коэффициенты сопротивления диафрагмы в трубопроводе (рис. 69).

| F_0 / F | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
|-----------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| ζ | 232 | 51 | 19,8 | 9,61 | 5,26 | 3,08 | 1,88 | 1,17 | 0,74 |

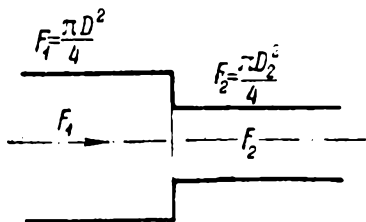


Рис. 68.

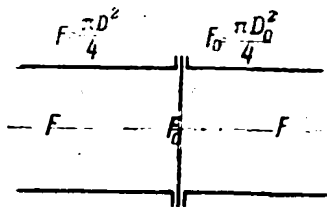


Рис. 69.

ТАБЛИЦА 8.

Коэффициенты сопротивления колен (плавных закруглений) (рис. 70, 71).

| d / r | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,00 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ζ | 0,131 | 0,138 | 0,158 | 0,206 | 0,295 | 0,440 | 0,661 | 0,977 | 1,974 |

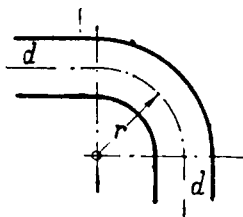


Рис. 70.

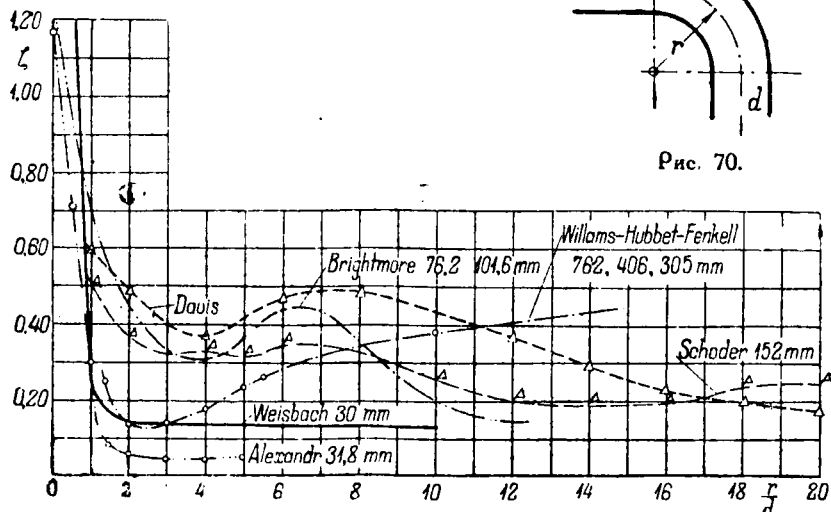


Рис. 71.

ТАБЛИЦА 9.

Коэффициенты сопротивления задвижки (рис. 72).

| x / D | 1 | $7/9$ | $3/4$ | $5/8$ | $1/2$ | $3/8$ | $1/4$ | $1/8$ |
|---------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ζ | 0,00 | 0,07 | 0,26 | 0,81 | 2,06 | 5,52 | 17,0 | 97,8 |

ТАБЛИЦА 10.
Коэффициенты сопротивления крана (рис. 73).

| φ | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° | 40° |
|-----------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| ζ | 0,05 | 0,29 | 0,75 | 1,56 | 3,10 | 5,47 | 9,68 | 17,3 |
| φ | 45° | 50° | 55° | 60° | 65° | 82° | | |
| ζ | 31,2 | 52,6 | 106 | 206 | 486 | Кран закрыт | | |

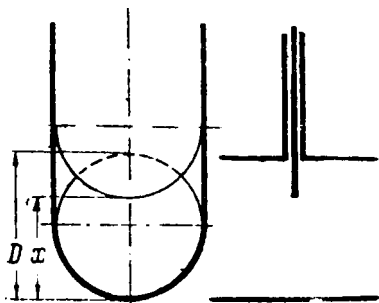


Рис. 72.

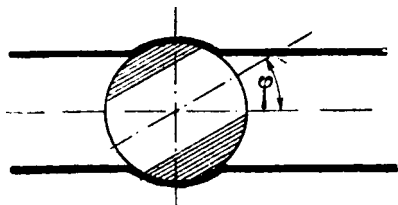


Рис. 73.

ТАБЛИЦА 11.
Коэффициенты сопротивления дроссельной заслонки (рис. 74).

| φ | 5° | 10° | 20° | 30° | 40° | 45° | 50° | 60° | 70° |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| ζ | 0,24 | 0,52 | 1,54 | 3,91 | 10,8 | 18,7 | 32,6 | 118 | 751 |

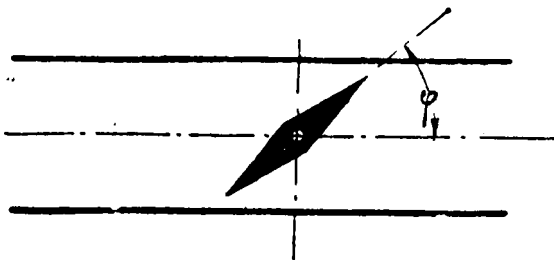


Рис. 74.

Если в трубопроводе несколько местных сопротивлений расположены последовательно, обуславливаемые ими потери суммируются, т. е.

$$h_w = h_{w1} + h_{w2} + h_{w3} + \dots$$

Суммировать таким образом потери можно, однако, только в том случае, когда эти местные сопротивления не располагаются непосредственно друг за другом, а чередуются с прямолинейными участками трубопровода. В этом случае возмущения в потоке, вносимые каждым из сопротивлений, частично ликвидируются в последующем прямолинейном участке трубопровода.

В случае, когда местные сопротивления расположены очень близко одно от другого, соответствующие возмущения в потоке накладываются друг на друга, усложняя тем самым и без того сложную картину движения, и расчет по формуле Вейсбаха с обычными коэффициентами может дать неверный результат.

ЗАДАЧИ.

Задача 100. Между фланцами трубопровода $\varnothing 4''$ включена измерительная шайба с отверстием $\varnothing 60$ мм. Определить, какая потеря напора этим вызывается при расходе $Q = 12$ л/сек.

Задача 101. Недалеко от конца трубопровода $\varnothing 6''$ имеется задвижка Лудло. Определить пьезометрический напор перед задвижкой при расходах 10, 20, 40 л/сек, когда задвижка вдвинута на $1/4$.

Задача 102. К баку присоединена горизонтальная труба, заканчивающаяся вентилем. Коэффициент сопротивления вентиля, при полном его открытии, $\zeta = 3,7$. Определить среднюю скорость движения воды в трубе и расход. Напор над отверстием трубы $H = 2$ м, диаметр трубы 5 см. Сопротивлением трубопровода пренебречь.

Задача 103. Определить максимальный вакуум во всасывающей трубе центробежного насоса, учитывая сопротивления всасывающего клапана, предохранительной сетки ($\Sigma \zeta = 10$) и всасывающей трубы ($\zeta = 2,5$), при расходе 12 л/сек. Диаметр всасывающей трубы 10 см. Высота всасывания $h = 3$ м.

Задача 104. Пренебрегая потерями в прямолинейных участках трубопровода, определить расход Q в трубопроводе по рис. 75.

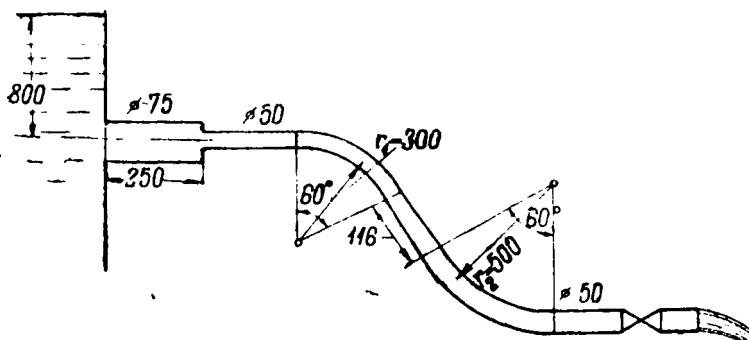


Рис. 75.

10. ИСТЕЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЯ, НАСАДКИ И ВОДОСЛИВЫ.

Применяя уравнение Бернулли для случая истечения через отверстие в стенке сосуда, наполненного жидкостью, полагая, что напор над отверстием остается постоянным (сосуд чрезвычайно больших размеров) и пренебрегая сопротивлениями, получаем

$$v_0 = \sqrt{2gh}, \quad (17)$$

т. е. скорость истечения жидкости, вытекающей под напором h , равна скорости свободного падения тела, падающего с высоты h .

Это выражение (17) известно под названием уравнения Торичелли.

Действительная скорость истечения жидкости несколько меньше v_0 , благодаря наличию различных сопротивлений, зависящих от вязкости самой жидкости, а также и от условий истечения, очертания стенок, кромок отверстия и т. д.

Соотношение между скоростями, действительной (v) и идеальной (v_0), называется скоростным коэффициентом или коэффициентом скорости

$$\frac{v}{v_0} = K_v \text{ или } v = K_v v_0.$$

Сечение струи вытекающей жидкости около отверстия может быть и не равно сечению отверстия, благодаря влиянию боковых струй. Соотношение между действительным сечением

струи за отверстием и размером отверстия называется коэффициентом сжатия струи

$$\frac{F}{F_o} = K_F \text{ или } F = K_F F_o.$$

Так как действительная скорость истечения v меньше идеальной v_o , живое сечение струи меньше сечения отверстия, то и действительный расход меньше идеального.

Соотношение между ними называется коэффициентом расхода

$$\frac{Q}{Q_o} = K_Q \quad Q = K_Q Q_o.$$

Все эти коэффициенты меньше единицы.

Таким образом, в окончательном виде, действительная скорость истечения жидкости из отверстия

$$v = K_v \sqrt{2gh}. \quad (18)$$

Действительный расход

$$Q = K_Q F_o \sqrt{2gh}, \quad (19)$$

и между указанными коэффициентами существует зависимость

$$K_Q = K_v \cdot K_F. \quad (20)$$

Потерянный напор при истечении, как мера удельной работы вредных сопротивлений, определяется по формуле

$$h_w = \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (16)$$

где величина ζ называется коэффициентом сопротивления.

Скоростной коэффициент и коэффициент сопротивления связаны между собой зависимостью

$$K_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta}}, \quad (21a)$$

$$\zeta = \frac{1}{K_v^2} - 1. \quad (216)$$

Значение коэффициента сопротивления может быть, в зависимости от характера сопротивления, любым — от 0 до ∞ .

Классифицируя отдельные случаи истечения, мы различаем (рис. 76):

- а) отверстие в тонкой стенке (отверстие с острыми кромками),
- б) насадки (как элемент трубопровода, начало или конец) Вентури, Борда, конические и коноидальные,
- в) водосливы (предельный случай отверстия, верхняя кромка которого выше уровня воды, а поэтому она практически отсутствует) в тонкой стенке: прямоугольные, трапециoidalные, треугольные и другие, затем так называемый широкий порог, водосливы практических профилей.

Формула расхода для водосливов имеет вид

$$Q = K_0 b \sqrt{2g} h_2^3. \quad (22)$$

Значение коэффициентов приводим в нижеследующих таблицах.

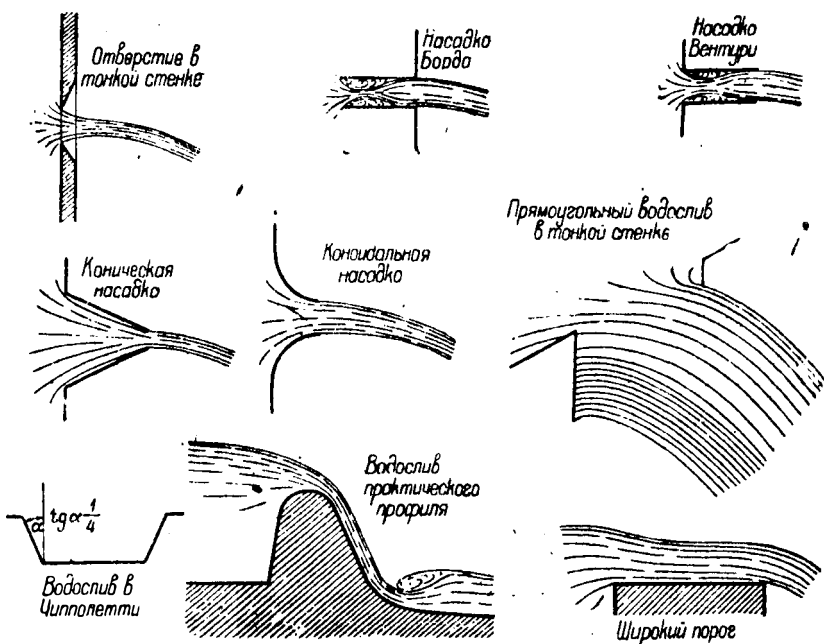


Рис. 76.

ТАБЛИЦА 12.

Значение коэффициентов скорости, сжатия струи, расхода и сопротивления для отверстий и насадок.

| | φ | K_v | K_F | K_Q | ζ |
|---|-----------|-----------|-------|-----------|---------|
| Небольшие отверстия в тонкой стенке | — | 0,97 | 0,64 | 0,62 | 0,06 |
| Насадка Вентури | — | 0,82 | 1,00 | 0,82 | 0,49 |
| Насадка Борда | — | 0,71 | 1,00 | 0,71 | 0,99 |
| Коническая сходящаяся насадка . | 5° | 0,92 | 1,00 | 0,92 | 0,18 |
| " " " | 10° | 0,949 | 0,987 | 0,937 | 0,11 |
| " " " | 13° | 0,961 | 0,983 | 0,945 | 0,09 |
| " " " | 16° | 0,969 | 0,968 | 0,938 | 0,07 |
| " " " | 20° | 0,971 | 0,949 | 0,922 | 0,06 |
| Конические насадки | — | 0,95—0,98 | 1,00 | 0,95—0,98 | — |

При подсчете скоростей и расходов по формулам—(17) (18) (22) необходимо учитывать подводящую скорость тем, что к действующему геометрическому напору нужно каждый раз прибавлять величину $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$, где v —средняя скорость движения жидкости перед водосливом, отверстием и т. д.

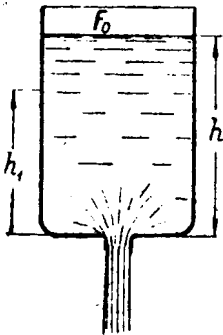


Рис. 77.

ТАБЛИЦА 13.

Средние значения коэффициентов расхода для водосливов.

| | K_Q |
|--|-----------|
| Прямоугольный водослив в тонкой стенке | 0,43—0,46 |
| Трапециoidalный водослив Чипполетти | 0,42 |
| Водослив с широким порогом | 0,32—0,35 |
| Водосливы практических профилей | 0,45—0,52 |

Предыдущие расчетные формулы выведены в предположении постоянства напора.

Простейший случай истечения при переменном напоре—опорожнение сосуда призматической или цилиндрической формы (рис. 77).

Время T , в течение которого уровень жидкости в сосуде опустится от h до h_1 , при условии $F_0 = \text{const}$.

$$T = \frac{\sqrt{2}}{K_Q \sqrt{g}} \frac{F_0}{F} (\sqrt{h} - \sqrt{h_1}) \approx \frac{0,45 F_0}{K_Q F} (\sqrt{h} - \sqrt{h_1}). \quad (23)$$

$$T \approx \frac{0,45 F_0}{K_Q F} \sqrt{h}. \quad (24)$$

ЗАДАЧИ.

Задача 105. В дне сосуда имеется круглое отверстие, диаметром 14 мм. Напор воды в сосуде 0,6 м поддерживается постоянным.

- определить теоретическую и действительную скорости истечения;
- определить диаметр струи около отверстия;
- определить расход воды;
- определить потерянный напор.

Задача 106. В боковой стенке бака, на глубине 1,6 м под уровнем воды, имеется отверстие, через которое должен быть пропущен расход $Q = 8$ л/сек. Уровень воды в баке на постоянном уровне.

Определить, каков должен быть диаметр отверстия, считая его как отверстие в тонкой стенке.

Задача 107. Определить, как изменится расход воды через патрубок (рис. 78), в зависимости от его крепления к стенке бака (а или б).

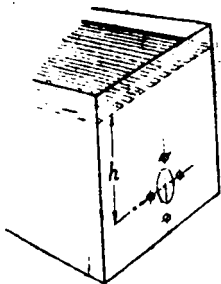


Рис. 78.

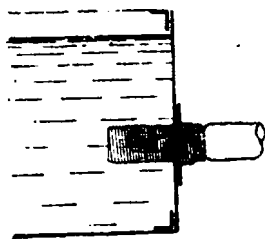
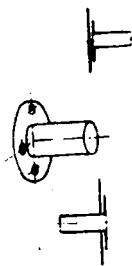


Рис. 79.

Задача 108. При монтаже напорного бака, напорная труба была присоединена так, как это показано на рис. 79. Расход,

пропускаемый трубой, недостаточен. Указать, какими методами можно увеличить расход через данную трубу при том же напоре и какое конкретно увеличение расхода в процентах можно получить, используя эти методы.

Задача 109. В стенке бака имеется небольшое отверстие с острыми кромками. Определить, на сколько процентов изменится расход воды через отверстие, при увеличении напора с 1,5 до 2 м. Размер бака считать большим, а потому и положение уровня воды в нем практически постоянным.

Задача 110. В дне узкого цилиндрического сосуда $\varnothing 0,1$ м (рис. 77) имеется отверстие $\varnothing 3$ см, через которое вода из сосуда вытекает. В то же время в верхнюю часть сосуда вода все время подается так, что уровень воды в сосуде остается постоянным, на высоте 0,5 м над отверстием. Определить расход.

Задача 111. Определить скорость истечения и расход воды через насадку Вентури: $h = 1,2$ м; $D = 7$ см. Построить пьезометрическую линию. Определить потерянный напор.}

Задача 112. Определить скорость истечения и расход для случая истечения, показанного на рис. 80. Трением в трубе пренебречь.

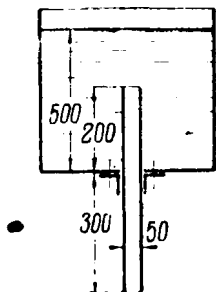


Рис. 80.

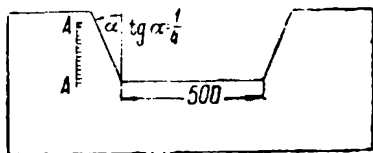


Рис. 81.

Задача 113. Для измерения расхода в небольших каналах оросительной сети пользуются трапецидальными водосливами, так называемыми водосливами Чипполетти (рис. 81), характеризующимися устойчивостью коэффициента расхода при изменении расхода воды через водослив. Так как каждому расходу через водослив соответствует определенная толщина переливающейся через водослив струи, сбоку водослива помещают специальную шкалу $A-A$, пользуясь которой можно сразу определить расход. Чаще всего шкала $A-A$ бывает линейной, и тогда пользуются специальным графиком для перевода делений шкалы в литры расхода. Однако, шкала может быть размечена непосредственно в единицах расхода.

Определить для этого случая, на каком расстоянии должны быть расположены деления шкалы, соответствующие расходам $Q = 5, 10, 15, 20$ л/сек, для водослива, ширина водосливного ребра которого равна 50 см. Коэффициент расхода водослива Чипполетти $K_Q = 0,42$.

Задача 114. Определить длину водосливной плотины, пропускающей расход до 20 м³/сек, при условии, что напор над гребнем водослива не превышает 0,3 м. Водослив практического профиля, коэффициент расхода $K_Q = 0,5$.

Задача 115. Определить время опорожнения сосуда, в дне которого имеется отверстие. Сосуд призматический, прямоугольного сечения $0,5 \times 0,6$ м, отверстие круглое $\varnothing 2$ см. Напор над отверстием в начале истечения 0,8 м.

Задача 116. Определить, какого диаметра следует поставить спускной кран на дне бака, чтобы при полном его открытии наполненный доверху бак опорожнялся в 15 минут. Размеры бака: ширина $b = 1,5$ м, длина $l = 1,8$ м, высота $h = 1,4$ м. Коэффициент расхода через отверстие при совершенно открытом кране, $K_Q = 0,5$.

11. ПОТЕРИ В ТРУБОПРОВОДАХ.

Для определения потерь в прямолинейных трубопроводах пользуются формулой Вейсбаха

$$h_w = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}, \quad (25)$$

где D —диаметр трубопровода, l —длина, λ —коэффициент пропорциональности, называемый обычно коэффициентом трения.

Смысл этого последнего коэффициента можно вскрыть, положив все члены правой части уравнения (25) равными 1, т. е. предположить, что диаметр трубопровода равен 1 м, длина 1 м, скоростной напор 1 км/кг (что соответствует скорости 4,43 м/сек). В этом случае коэффициент λ численно выражает потерю напора.

Если вообще относить все потери (при любой скорости) к единице длины трубопровода, мы опять встречаемся с понятием гидравлического уклона, т. е.

$$i = \frac{h_w}{l}.$$

Очевидно

$$i = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^3}{2g}. \quad (25a)$$

Таким образом, для прямолинейного трубопровода имеем два расчетных уравнения

$$Q = \frac{\pi D^3}{4} v,$$

$$i = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g}.$$

Значение коэффициента трения находится по различным эмпирическим формулам, наиболее употребительные из коих приведены ниже. Для ориентировочных, приближенных расчетов можно принять по Дюпюи

$$\lambda = 0,03. \quad (26)$$

Всего, таким образом, эти два уравнения объединяют четыре переменных: диаметр, скорость, расход, гидравлический уклон.

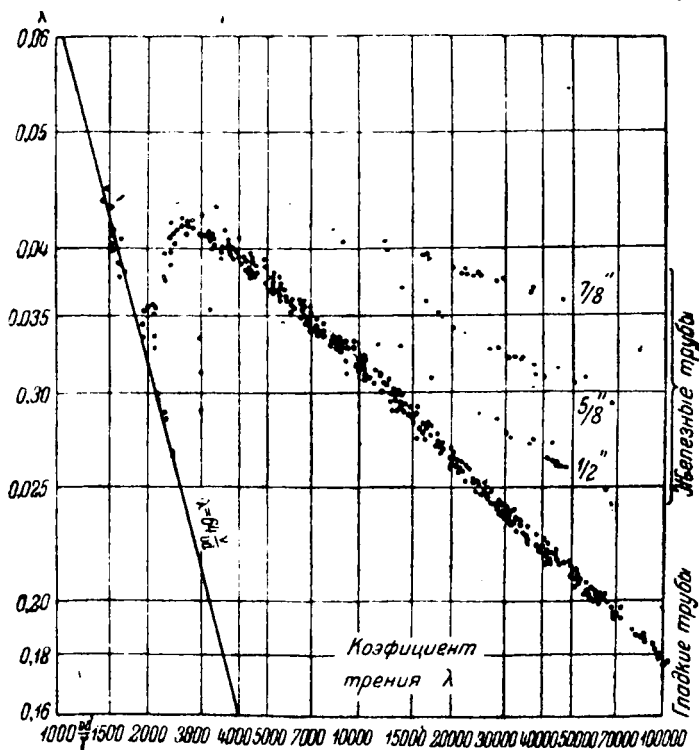


Рис. 82.

Из них обычно две величины задаются, остальные две определяются, для чего приходится решить систему двух уравнений с двумя неизвестными.

Как было указано, для приближенных расчетов можно принимать $\lambda = 0,03$. Однако, коэффициент трения не является величиной постоянной, он зависит от ряда факторов, раньше всего от состояния и шероховатости стенок русла и от числа Рейнольдса, характеризующего поток.

Для иллюстрации этого положения здесь приводится рис. 82—график λ как функции числа Рейнольдса для различных труб, по опытам Сафа и Шодера (Saph, Schoder), а также небольшая числовая таблица, подсчитанная профессором К. И. Страховичем на основании ряда экспериментальных формул.

ТАБЛИЦА 14.

| Re | λ | Re | λ |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 3 000 | 0,0427 | 100 000 | 0,0194 |
| 5 000 | 0,0376 | 500 000 | 0,0131 |
| 10 000 | 0,0314 | 1 000 000 | 0,0117 |
| 20 000 | 0,0262 | 1 500 000 | 0,0110 |
| 50 000 | 0,0210 | 2 000 000 | 0,0098 |

Для определения λ имеется ряд эмпирических формул, как, например: для гладких труб, при $Re \leq 100\,000$ можно пользоваться формулой Блазиуса

$$\lambda = 0,3164 Re^{-0,25}; \quad (27)$$

при $Re \geq 100\,000$ следует пользоваться формулой Якоба и Эрка

$$\lambda = 0,00714 + 0,614 R^{-0,35}; \quad (28)$$

для шероховатых труб следует пользоваться формулой Мизеса (1912)

$$\lambda = 0,0096 + \sqrt{\frac{K}{D} + \frac{1,77}{\sqrt{R}}}, \quad (29)$$

где K — абсолютная шероховатость, а отношение $\frac{K}{D}$ — относительная шероховатость.

ТАБЛИЦА 15.

Значения абсолютной шероховатости различных материалов.

| | (10 ³ · K) м |
|---|-------------------------|
| Стекло | 6,4—25,6 |
| Тянутые латунь, свинец, медь | 6,4—32 |
| Резиновые рукава обыкновенные | 200 — 400 |
| " " шероховатые | 480 — 960 |
| Железо | 640 — 1 600 |
| Чугун асфальтированный | 950 — 1 900 |
| Чугунные трубы новые | 3 200 — 6 400 |
| " " старые | 8 000 — 16 000 |
| Деревянные трубы | 1 600 — 3 200 |

При расчете нефтепроводов коэффициент трения λ определяется по формулам ГИНИ

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= 0,0111 + \frac{1,7}{\sqrt{Re}} \text{ для чистой парафинистой нефти} \\ \lambda &= 0,0161 + \frac{1,7}{\sqrt{Re}} \text{ для смеси: } \frac{1}{8} \text{ бензина и } \frac{2}{8} \text{ парафинистой нефти} \\ \lambda &= 0,0175 + \frac{1,7}{\sqrt{Re}} \text{ для смеси: } \frac{2}{8} \text{ бензина и } \frac{1}{8} \text{ парафинистой нефти} \end{aligned} \right\} \cdot (30)$$

Рассматривая уравнение $h_w = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$ и сравнивая его с общим уравнением $h_w = \zeta \frac{v^2}{2g}$, находим, что коэффициент сопротивления прямолинейного трубопровода

$$\zeta = \lambda \frac{l}{D}.$$

В том случае, когда на протяжении трубопровода включены также и местные сопротивления (при входе, колена, переходные муфты, вентили и пр.), эти сопротивления, очевидно, должны суммироваться с сопротивлением самого трубопровода в прямолинейной его части, и общая сумма потерь равна

$$h_w = \lambda \frac{l}{D} \frac{v_1^2}{2g} + \zeta_2 \frac{v_2^2}{2g} + \zeta_3 \frac{v_3^2}{2g} + \dots$$

Если диаметр трубопровода на всем его протяжении остается постоянным, то, вынося за скобку скоростной напор, имеем

$$h_w = \left(\lambda \frac{l}{D} + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \dots \right) \frac{v^2}{2g} = \Sigma \zeta \frac{v^2}{2g}. \quad (31)$$

В том случае, когда диаметр по длине трубопровода непостоянен, можно выразить все скорости через какую-нибудь одну, пользуясь соотношением

$$Q = \text{const}; \quad v_1 = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2 v_2 = m; \quad \frac{v_1^2}{v_2^2} = m^2,$$

и тогда

$$h_w = \left(\lambda \frac{l}{D} + m_1^2 \lambda_1 \frac{l_1}{D_1} + m_2^2 \lambda_2 \frac{l_2}{D_2} + m_3^2 \zeta_3 + m_4^2 \zeta_4 + \dots \right) \frac{v^2}{2g}.$$

Очевидно, коэффициент сопротивления такого сложного трубопровода

$$\Sigma \zeta = \left(\lambda \frac{l}{D} + m_1^2 \lambda_1 \frac{l_1}{D_1} + m_2^2 \lambda_2 \frac{l_2}{D_2} + m_3^2 \zeta_3 + \dots \right),$$

а скоростной коэффициент сложного трубопровода

$$K_v = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \zeta}}. \quad (32)$$

Однако, в обычных расчетах предпочитают учитывать только сопротивления прямолинейных частей трубопровода и к полученному результату прибавляют от 10 до 15% для учета вкрапленных в трубопровод местных сопротивлений.

Расчет потерь на прямолинейных участках трубопроводов весьма удобно также вести, пользуясь так называемыми скоростными и расходными характеристиками. Помимо упрощения самого расчета, данный метод вообще является более общим, так как позволяет вести подсчет для труб некруглого сечения и каналов, с любым очертанием профиля живого сечения.

Выражая диаметр в уравнении (25) через гидравлический радиус и решая это уравнение относительно скорости, получаем формулу Шеви

$$v = C \sqrt{Ri}, \quad (33)$$

где

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}.$$

Значение коэффициента Шези предпочитают определять непосредственно по специальным эмпирическим формулам, из большого числа которых приводим формулу Маннинга

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}. \quad (34)$$

Величина n называется здесь коэффициентом шероховатости (не смешивать с абсолютной и относительной шероховатостями в формуле 29). Для железных труб обычно принимается

$$\frac{1}{n} = (70 - 80 - 90),$$

первая цифра для новых, чистых труб, последняя — для старых, загрязненных, средняя цифра 80 — обычная расчетная.

Таким образом, формула Шези (33) после подстановки (34) получает вид

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}.$$

Поскольку в формулу Шези входит гидравлический радиус, эта формула пригодна также для незаполненных трубопроводов и для расчета каналов. В каждом случае требуется коэффициентом n учесть поверхность стенки, ограничивающей поток, так, например:

ТАБЛИЦА 16¹.

Значения коэффициента шероховатости n в формуле Маннинга для некоторых поверхностей.

| | n | $1/n$ |
|--|-------|-------|
| Струганные доски. Штукатурка из чистого цемента . . . | 0,010 | 100 |
| Цементная штукатурка ($1/3$ песку). Чистые железные трубы, хорошо уложенные и пригнанные | 0,011 | 91 |
| Неструганные доски, хорошо пригнанные. Весьма хорошая бетонировка. Водопроводные трубы в нормальных условиях | 0,012 | 83 |
| Бетонировка канала в средних условиях. Загрязненные водопроводные трубы | 0,014 | 71 |
| Грубая кирпичная кладка | 0,015 | 67 |
| Большие земляные каналы в средних условиях | 0,027 | 37 |
| „ „ „ в плохих условиях | 0,035 | 29 |

¹ Таблица приведена в сокращенном виде.

Взяв основные формулы

$$\text{скорость } v = C\sqrt{Ri},$$

$$\text{расход } Q = Fv,$$

можно их выразить иначе

$$\text{обозначая } C\sqrt{R} = W,$$

$$FC\sqrt{R} = K,$$

$$\text{имеем } \left. \begin{array}{l} v = W\sqrt{i} \\ Q = K\sqrt{i} \end{array} \right\} \quad (35)$$

Величина W называется скоростной характеристикой или модулем скорости.

„ K называется расходной характеристикой или модулем расхода.

Физический смысл этих понятий становится ясным, если положить $i = 1$, иначе говоря, предположить, что движение жидкости в потоке идет с такой скоростью, что при данных условиях на каждый метр по длине потока теряется один метр напора. Другими словами, скорость такова, что в данных условиях работа вредных сопротивлений, отнесенная к 1 кг жидкости в потоке, равна 1 кгм на пути 1 м.

При этом условии

$$v = W, \quad Q = K.$$

Таким образом, видно, что скоростная характеристика выражает среднюю скорость потока при гидравлическом уклоне равном единице. Расходная характеристика выражает расход при тех же условиях.

Обе характеристики, для заданной поверхности стенок, могут быть подсчитаны заранее, и при использовании подобных таблиц техника гидравлического расчета весьма упрощается.

Так, например, для труб круглого сечения имеем

ТАБЛИЦА 17.

Скоростные и расходные характеристики железных труб.

$$R = \frac{D}{4}, \quad W = \frac{1}{n} R^2,$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = 4\pi R^2, \quad K = \frac{4\pi}{n} R^3.$$

Сделав подсчет для железных труб различных диаметров, принимая $\frac{1}{n} = 80$, получаем:

| Диаметр трубы мм | W м/сек | K л/сек |
|---------------------|-----------|-----------|
| 50 | 4,30 | 8,45 |
| 75 | 5,63 | 24,9 |
| 100 | 6,84 | 53,7 |
| 125 | 7,92 | 97,0 |
| 150 | 8,99 | 159 |
| 175 | 9,96 | 240 |
| 200 | 10,86 | 341 |
| 250 | 12,6 | 618 |
| 300 | 14,2 | 1 005 |

В последнее время были выдвинуты новые расчетные формулы, структурно совершенно аналогичные формуле Шези (с подстановкой коэффициента по Маннингу), т. е. имеющие вид

$$v = mR^{a_i}i^b,$$

но отличающиеся от приведенной формулы значениями коэффициента и показателей степени, более точные по даваемому результату, чем исходная формула (33—34), а именно формула Фаннинга (1906)

$$v = mR^{0,75}\sqrt{i}, \quad (36)$$

здесь принимается: для новых труб $m = 106$,
 расчетное значение $m = 90$,
 для грязных труб $m = 84$.

Формула Форхгеймера (1923)

$$v = mR^{0,7}\sqrt{i}, \quad (37)$$

где принимается: для новых труб $m = 94$,
 расчетное значение $m = 80$,
 для грязных труб $m = 74$.

Сравнение результатов подсчета по указанным формулам и данных опыта показывает, что формула Фаннинга дает более точное решение, нежели другие формулы.

Формула Фаннинга может быть написана несколько иначе, если скорость выразить через расход, а именно:

$$i = \frac{1}{a} \frac{Q^3}{D^{5,5}}$$

Коэффициент a связан с коэффициентом m , и поэтому значение принимается: для новых труб $a = 870$,
 расчетное $a = 624$,
 для грязных труб $a = 547$.

Для расчета деревянных труб пользуются формулой

$$v = 0,115 R^{0,65}i^{0,556}$$

или, что то же самое

$$i = 196 v^{1,8} D^{-1,17}, \quad (38)$$

где

$$\begin{array}{l} i \text{ в } \text{‰}, \\ v \text{ " } \text{м/сек}, \\ D \text{ " } \text{см}. \end{array}$$

Все приведенные выше формулы (25—37) можно применить также для расчета и разветвленного трубопровода (рис. 83а). Исходным моментом всех рассуждений здесь является то обстоятельство, что каковы бы ни были сопротивления отдельных ветвей всего разветвления, величины h_w всех ветвей одинаковы, т. е.



Рис. 83а.

$$h_{w_1} = h_{w_2} = h_{w_3} = \dots = h_w.$$

Для выяснения расхода через каждую отдельную ветвь следует решить систему уравнений с несколькими неизвестными, причем количество уравнений обычно оказывается по крайней мере на единицу большим, чем число неизвестных

$$Q_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} v_1,$$

$$Q_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} v_2,$$

$$\dots$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots \quad h_{w_1} = h_{w_2} = h_{w_3} = \dots$$

Совершенно аналогично решается частный случай разветвленного трубопровода (рис. 83б), где давления в конце ответвлений также одинаковы ($p = p_0$).

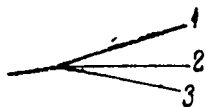


Рис. 83б.

Во всех этих расчетах все вычисления ведут только для прямолинейных участков, оценивая ориентировочно местные потери в конце расчета. Если вычисления ведутся по формуле (25), то обычно принимают в начале расчета $\lambda = 0,03$, а затем уже, когда задача в первом приближении решена, определяют величину λ точнее, после чего снова проверяют подсчет и т. д.

Газопроводы в отдельных случаях могут рассчитываться также по формуле (25), причем коэффициент λ определяется по специальным эмпирическим формулам. В частности, для турбулентного изотермического потока в прямолинейной трубе круглого сечения пользуются формулами Грасгофа, Фритше и Блесса.

По Грасгофу,

$$\lambda = 0,01355 + \frac{0,001235 + 0,01D}{D\sqrt{v}}. \quad (39)$$

По Фритше,

$$\lambda = \frac{184,3}{D^{0,269}} \frac{10^{-4}}{(\gamma v)^{0,148}}. \quad (40)$$

По Блессу,

$$\lambda = 0,0125 + 0,0011 D^{-1}. \quad (41)$$

Проделав вычисление по одной из этих формул и по формуле (25), можно определить перепад давления

$$\Delta p = \gamma h_w.$$

Перепад давления получается в $кг/м^2$, в соответствии с принятой системой мер или, что численно совершенно одно и то же, в $мм$ водяного столба.

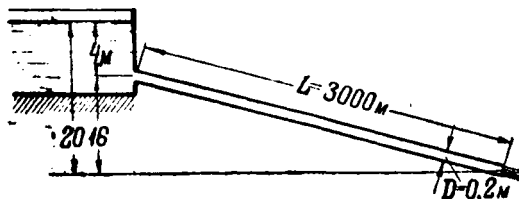
ЗАДАЧИ.

Задача 117. Какой напор в начале трубопровода нужно создать, чтобы пропустить через прямолинейный 2" трубопровод, длиной 200 м, расход 4 л/сек? Труба железная.

Задача 118. Требуется подать расход 4 л/сек, прямолинейной трубой, длиной 100 м. Напор в начале трубы $p = 0,8 кг/см^2$. Труба железная. Определить диаметр трубы.

Задача 119. Определить скорость движения и расход воды в трубе для случая по рис. 84. Труба деревянная.

Задача 120. Определить напор в начале трубопровода, длиной



400 м, подающего $Q = 8$ л/сек. Трубопровод железный. Допустимая скорость принимается $v = 1$ м/сек.

Задача 121. Какой расход можно пропустить через прямолинейный же-

лезный трубопровод $\varnothing 3''$, длиной 350 м, давление в начале трубопровода $p_1 = 4 кг/см^2$, в конце $p_2 = 2 кг/см^2$.

Задача 122. Определить скорость и расходную характеристики железной трубы $\varnothing 400$ мм.

Рис. 84.

Задача 123. Определить коэффициент сопротивления и скоростной коэффициент прямолинейного трубопровода, составленного из железных труб. Длина трубопровода 200 м, диаметр 5 см.

Задача 124. По железной трубе, диаметром 10 см, проходит $Q = 12$ л/сек воды при температуре 10°C . Определить коэффициент трения по различным формулам.

Задача 125. Подсчитать, какому коэффициенту трения λ соответствует коэффициент Шези, определяемый по формуле Маннинга, в случае, когда диаметр железной трубы равен 12 см.

Задача 126. Определить скоростной коэффициент и коэффициент сопротивления системы, показанной на рис. 85.

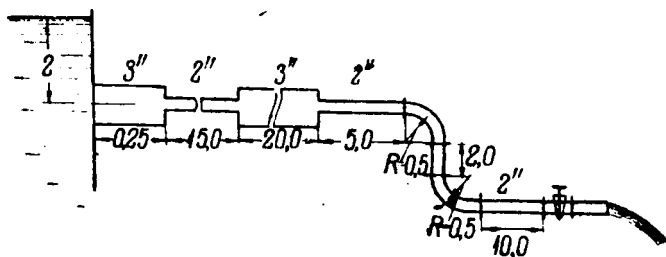


Рис. 85.

Задача 127. Определить гидравлический уклон для случая горизонтально расположенного прямолинейного трубопровода, диаметром 5 см, при расходе $Q = 2,5$ л/сек и 5 л/сек.

Задача 128. На горизонтальном железном трубопроводе $\varnothing 6''$ установлены, на расстоянии 2 км друг от друга, два манометра А и Б. Манометр А показывает $3,25$ кг/см², манометр Б — $2,5$ кг/см².

Определить: а) в каком направлении движется вода,
 б) какова скорость движения (средняя),
 в) каков расход.

Задача 129. Определить полезную мощность насоса для случая, показанного на рис. 86. Расход воды $Q = 8$ л/сек, диаметр трубопровода на всем протяжении = 10 см.

Задача 130. Определить диаметр всасывающей трубы насосной установки (рис. 87), а также максимальную высоту всасывания, исходя из того условия, чтобы вакуум во всасывающей

трубе не превышал 6 м водяного столба. Допустимая скорость движения воды в трубе $v = 0,8 - 1,2$ м/сек. Расход воды $Q = 50$ л/сек. Общая длина всасывающей трубы 40 м.

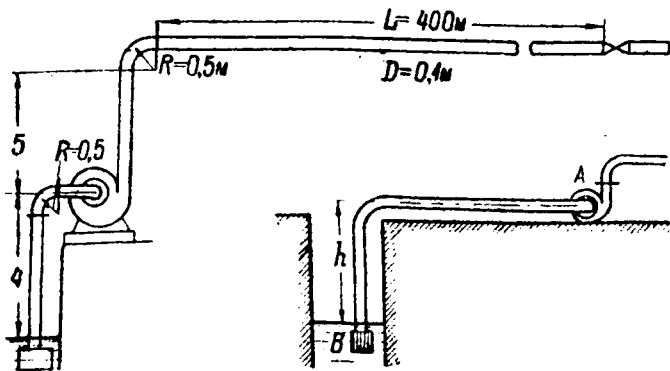


Рис. 86.

Рис. 87.

Труба снабжена предохранительной сеткой и обратным клапаном.

Построить пьезометрическую линию для данного случая.

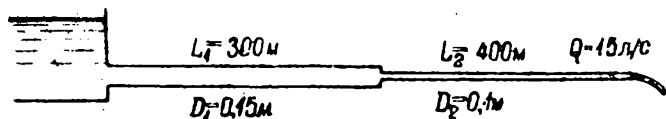


Рис. 88.

Задача 131. Определить напор в начале трубопровода по рис. 88 и построить пьезометрическую линию. Расход воды $Q = 15$ л/сек.

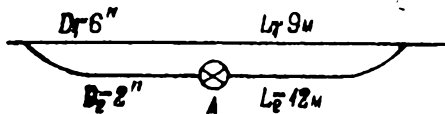


Рис. 89.

Задача 132. На ответвлении трубопровода (рис. 89) установлен водомер F , по показанию которого требуется определять расход воды в трубопроводе. Найти соотношение между

показаниями водомера и полным расходом трубопровода. Сопротивлением тройников пренебречь. В расчете принять, что водомер, как гидравлическое сопротивление, заменен экви-

валентным участком прямолинейного трубопровода, т. е. все ответвление рассматривать как прямолинейный трубопровод, без местных сопротивлений.

Задача 133. Определить расходы в каждой из ветвей трубопровода по рис. 90.

Расход в магистрали $Q = 10$ л/сек.



Рис. 90.

$$D_1 = 10 \text{ см}; D_2 = 7,5 \text{ см}; D_3 = 5 \text{ см};$$

$$l_1 = 100 \text{ м}; l_2 = 55 \text{ м}; l_8 = 250 \text{ м}.$$

Задача 134. Манометр A , установленный на трубопроводе (рис. 91), показывает $p = 3$ кг/см². Определить расход каждой из ветвей трубопровода.

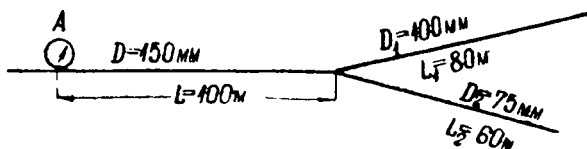


Рис. 91.

Задача 135. Прямолинейным трубопроводом подается влажный воздух в количестве 3000 м³/час. У выходного сечения трубопровода давление 755 мм рт. ст., температура воздуха 20° С, удельный вес $\gamma = 1,19$ кг/м³. Диаметр трубопровода 20 см, длина 180 м. Температура потока на всем протяжении трубопровода постоянная. Определить, каково должно быть давление в начале трубопровода.

12. НЕУСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ И УДАР В ТРУБОПРОВОДАХ.

Неустановившееся движение жидкости характеризуется тем, что скорости и давления в потоке с течением времени изменяются. Следовательно, расход является функцией времени. В трубопроводах неустановившееся движение наблюдается при изменении давления, что обуславливает изменение расхода или, напротив, при изменении расхода (например, при открытии или закрытии кранов, вентилях и пр.), что вызывает изменение давления в трубопроводе.

Особо приходится считаться с явлениями неустановившегося движения при внезапном резком изменении расхода, что обуславливает весьма резкое изменение давления, так называемый гидравлический удар, в отдельных случаях представляющий опасность для самого трубопровода.

Уравнение Бернулли, выведенное для неустановившегося движения, получает вид

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + (z_2 - z_1) + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + \sum h_w = - \int_0^l \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} \cdot dl, \quad (42)$$

где l — длина рассматриваемого участка трубопровода. Последний член представляет собой поправку на неустановившееся движение жидкости. В частном случае горизонтально расположенного трубопровода постоянного сечения, по всей его длине, уравнение (39) превращается в

$$\frac{p_2 - p_1}{\gamma} + \sum h_w = - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} l. \quad (42a)$$

Для решения задач при неустановившемся движении жидкости, очевидно, необходимо знать закон изменения скорости по времени, для определения величины частной производной $\frac{\partial v}{\partial t}$, как характеристики интенсивности изменения скорости.

Уравнение (42) выведено в предположении, что жидкость несжимаема и стенки трубопровода абсолютно жестки. На самом же деле и жидкость и материал трубопровода бывают достаточно упругими, и, благодаря этому, изменение давления при гидравлическом ударе не бывает столь значительным, как это показывает уравнение (42).

В расчетах, однако, удобнее оперировать только с упругостью самой жидкости, относя к ней все деформации. Тогда, для того, чтобы учесть упругость стенок трубопровода, вместо $E_{ж}$ — истинного модуля упругости данной жидкости, в расчет вводят так называемый кажущийся модуль упругости

$$E = \frac{E_{ж}}{1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_{\tau}}}, \quad (43)$$

где E_T — истинный модуль упругости материала трубопровода,
 D — диаметр трубопровода,
 δ — толщина стенок трубопровода.

Легко видеть, что кажущийся модуль меньше истинного модуля.

Скорость распространения ударной волны может быть определена по формуле Ньютона (скорость звука в упругой среде)

$$b = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (44)$$

причем, конечно, сюда следует ввести кажущийся модуль упругости.

Величина ударного повышения давления определяется по формуле профессора Жуковского

$$\Delta p = \rho b \cdot \Delta v = \frac{\gamma}{g} b \Delta v, \quad (45)$$

где Δv — изменение скорости (скорость до удара минус скорость после удара),

Δp — приращение давления (давление после удара минус давление до удара), вызванное изменением скорости,

ρ — плотность.

Проф. Н. Е. Жуковский дает для водопроводных чугунных труб таблицу ударного повышения давления на каждый 1 м/сек потерянной скорости.

ТАБЛИЦА 18.

| D | δ | b | Δp |
|-----|----------|-------------|--------------------------|
| 2" | 10/32" | 1 348 м/сек | 13,75 кг/см ² |
| 4" | 11/32" | 1 288 м/сек | 13,16 кг/см ² |
| 6" | 13/32" | 1 254 м/сек | 12,80 кг/см ² |
| 24" | 22/32" | 913 м/сек | 9,32 кг/см ² |

ЗАДАЧИ.

Задача 136. Имеется бак, к которому присоединен прямолинейный трубопровод (рис. 92), заканчивающийся краном. Кран постепенно закрывается. Определить, насколько повысится давление в трубопроводе в момент полного закрытия крана.

Заданы: напор в начале трубопровода $H=15$ м. Длина трубопровода 200 м, диаметр трубопровода 10 см, диаметр отверстия крана 8 см, время полного закрытия крана 1,2 сек, закон изменения сечения выходного отверстия $F_k = F_o - at$, т. е. сечение отверстия крана изменяется по линейному закону и a — коэффициент пропорциональности, где F_o — полное сечение выходного отверстия, а F_k — переменное сечение этого же отверстия при закрытии крана, t — время в секундах.

Задача 137. Подсчитать кажущийся модуль упругости для воды в железной трубе. Диаметр трубы 10 см, толщина стенок 0,4 см.

Задача 138. Вода течет в трубопроводе, составленном из чугунных труб, диаметром

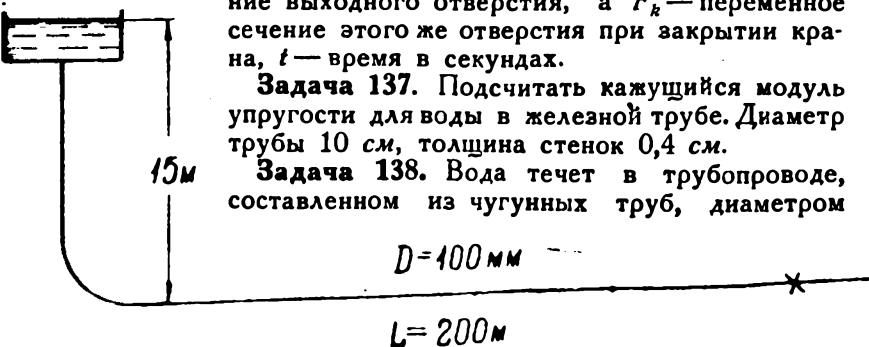


Рис 92.

15 см. В некотором участке трубопровода, вследствие внезапного закрытия задвижки, происходит гидравлический удар. Определить, через сколько секунд произойдет мгновенное повышение давления в начале трубопровода на расстоянии 5 км от задвижки. Силами трения пренебречь.

Задача 139. Определить ударное повышение в трубопроводе по условию задачи 137 на каждый метр потерь скорости.

Задача 140. Железный трубопровод заканчивается краном. Диаметр трубопровода 6 см. Когда кран открыт полностью, из трубопровода вытекает 7 л/сек. Кран мгновенно прикрывается, после чего расход становится 3 л/сек. Определить, на сколько увеличится давление в трубопроводе перед краном в момент прикрытия крана. Толщина стенки трубопровода 5 мм.

13. ДАВЛЕНИЕ ПОТОКА ЖИДКОСТИ НА ПРЕГРАДУ И НА ПОГРУЖЕННОЕ В ПОТОК ТЕЛО.

Давление потока жидкости на обтекаемую им преграду (подвижную или неподвижную) может быть определено на основании теоремы количеств движения.

Для случая по рис. 93 давление потока на преграду

$$P = \frac{\gamma Q}{g} v (1 - \cos \varphi), \quad (46)$$

где v — скорость жидкости в потоке по отношению к преграде.

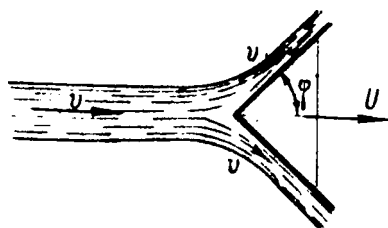


Рис. 93.

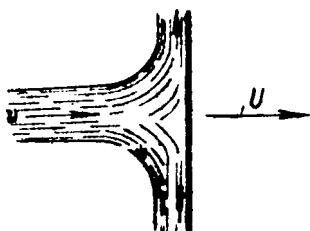


Рис. 94.

Если $\varphi = 90^\circ$, как это показано на рис. 94, то

$$P = \frac{\gamma Q}{g} v = \frac{\gamma Q}{g} (c - u),$$

здесь c и u — абсолютные скорости преграды и жидкости в потоке.

Давление потока на преграду возрастает при увеличении φ (по этой причине, например, лопатки колес Пельтона выполняются ковшеобразными), в частности, при $\varphi = 180^\circ$ (рис. 95)

$$P = 2 \frac{\gamma Q}{g} (c - u).$$

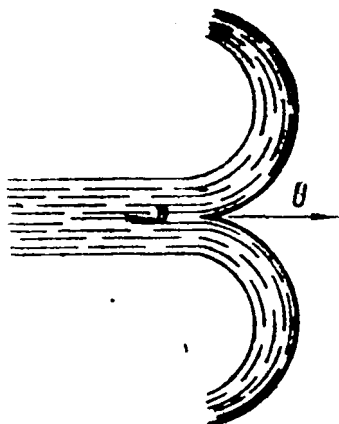


Рис. 95.

Мощность струи определяется как работа (сила на путь) в секунду и для первого частного случая, когда $\varphi = 0$, получаем

$$N = \frac{\gamma Q}{g} (c - u) u. \quad (47)$$

Максимальная мощность получается при $u = \frac{1}{2} c$.






В случае, когда размеры тела, помещенного в поток, невелики по сравнению с живым сечением последнего, давление потока на тело и, следовательно, сопротивление, испытываемое телом при его движении в жидкости, зависят от: 1) плотности той среды, в которой происходит движение $\rho = \frac{\gamma}{g}$; 2) размеров тела, которые характеризуются так называемым миделевым сечением F , т. е. проекцией тела на плоскость перпендикулярную направлению движения; 3) относительной скорости тела v ; 4) формы тела.

Указанное сопротивление может быть определено по формуле

$$P = k \gamma \frac{v^2}{2g} F, \quad (48)$$

где k — коэффициент, характеризующий форму тела.

ТАБЛИЦА 19.

| Наименование тела | Форма тела | Число Рейнольдса | K | Примечание |
|-----------------------|---|--|--|--|
| 1. Шар |  | $Re \begin{cases} 2,5 \cdot 10^5 \\ 2 \cdot 10^4 - 1,5 \cdot 10^5 \end{cases}$ | 0,22 0,47 | |
| 2. Эллипсоид вращения |  | $Re < 1$ $Re > 2 \cdot 10^6$ | $\frac{24}{Re} \left(1 + \frac{3}{16} Re\right)$ 0,05 — 0,1 | $\frac{D}{t} = 5$ $\frac{D}{t} = 9$ |
| 3. Круглая пластина |  | , | 1,11 | |
| 4. Цилиндр |  | $Re = 8,8 \cdot 10^4$ | 0,63 0,68 0,82 1,20 | $l \begin{cases} 1 \\ 2 \end{cases}$ $D \begin{cases} 10 \\ \infty \end{cases}$ |
| 5. Конус |  | | 0,51 0,34 | $\varphi = 60^\circ$ $\varphi = 30^\circ$ |

ЗАДАЧИ.

Задача 141. На чашке весов установлен закрытый сосуд с водой (рис. 96), находящейся под давлением 2 кг/см^2 . Трубка *A*, доходящая почти до дна, закрыта пробкой *B*. Вес сосуда уравновешен гирями на другой чашке весов.

В какую сторону отклонится чашка весов, на которой находится сосуд, в первый момент после того, как пробка *B* внезапно выскочит?

Задача 142. В закрытом баке *A* вода находится под давлением 3 кг/см^2 , вследствие чего она струей выбрасывается через сопло *B*, выходное отверстие которого $\varnothing 2 \text{ см}$. На рисунке 97 показаны два положения сопла по отношению к баку. Определить, пренебрегая потерями, усилие, толкающее бак в том и другом случае.

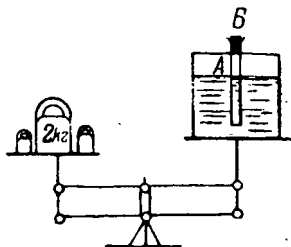


Рис. 96.

Задача 143. Из сопла *C* (рис. 98) вырывается фонтан, теоретическая высота боя которого равна 20 м. Диаметр отверстия сопла 25 мм.

Желая закрыть отверстие, к соплу подводят доску *A*. Определить, пренебрегая потерями, давление струи на доску.

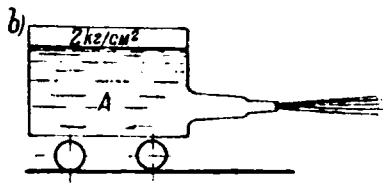
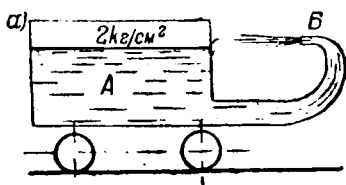


Рис. 97.

Задача 144. Колесо Пельтона вращается под действием струи, вылетающей из сопла со скоростью 36 м/сек . Расход через сопло 6 л/сек . Средний диаметр колеса $0,5 \text{ м}$. Определить, пренебрегая потерями, наиболее выгодную скорость вращения и крутящий момент.

Задача 145. Из сопла гидромонитора выбрасывается струя воды с начальной скоростью 50 м/сек . Диаметр устья сопла 3 см (рис. 99).

Определить, на какое усилие должна быть рассчитана конструкция крепления сопла к раме.

Задача 146. Определить ^{1/4} давление воды в реке на быки моста (рис. 100). Глубина воды перед быком $H = 4$ м, средняя скорость воды 1 м/сек.

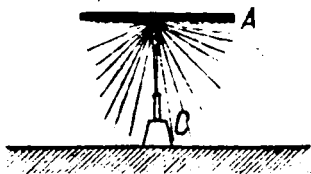


Рис. 98.



Рис. 99.

Задача 147. Для определения скорости корабля, за кормой выкидывается трос, на конце которого укреплен металлический конус (рис. 101). Второй конец троса соединяется с ди-

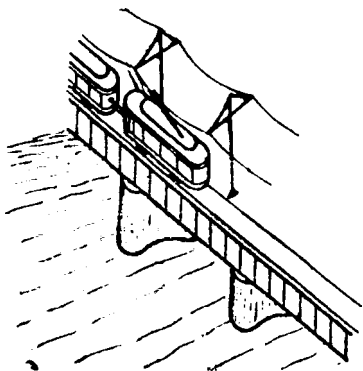


Рис. 100а.

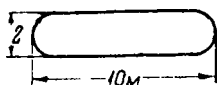


Рис. 100б.

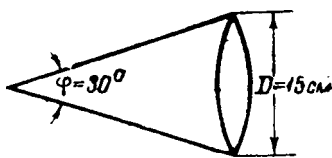


Рис. 101.

наметром. Каково натяжение троса при скорости корабля 20 км/час.

Задача 148. Определить натяжение троса около последнего из планеров воздушного поезда. Скорость поезда 200 км/час (рис. 102).

Размеры планера:

- размах крыльев 16 м,
- максимальная глубина крыла 2 "
- " толщина крыла 0,4 м,

миделево сечение фюзеляжа круглое, диаметр 1,5 м,

Коэффициенты сопротивления: крыльев $k=0,007$,
" " фюзеляжа $k=0,06$.

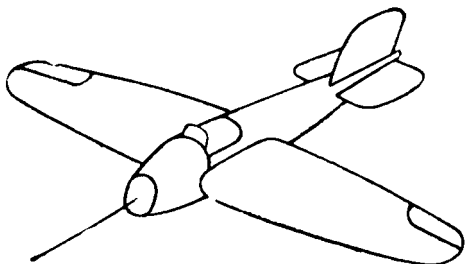


Рис. 102.

Задача 149. Как изменится сопротивление воздуха движению легкового автомобиля с обычным открытым кузовом, когда на нем подымается брезентовый верх. Расчет провести для скорости 80 км/час. \bar{c}

Миделево сечение: с опущенным верхом $1,6 \times 1,2$ м,
" " с поднятым " $1,6 \times 1,7$ м.

Коэффициенты сопротивления в первом случае $k=0,46$,
" " во втором " $k=0,32$.

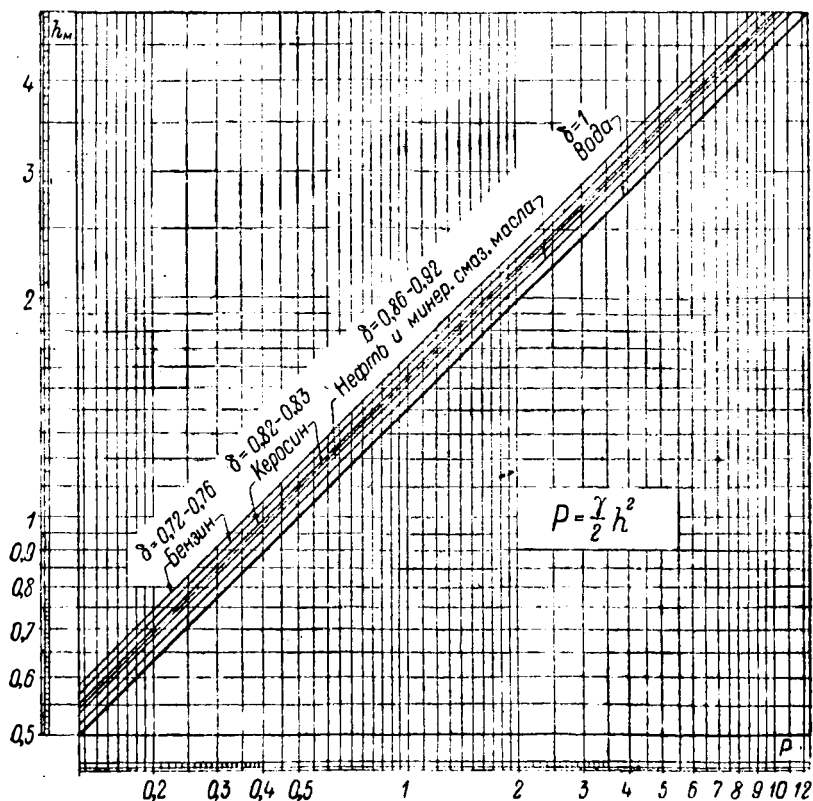
14. НОМОГРАММЫ НЕКОТОРЫХ РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ.

1. Номограмма 1 дает полное давление жидкости на вертикальную стенку, шириной 1 м, выражая таким образом формулу (4), где $b=1$. На логарифмической сетке нанесен ряд наклонных линий, помеченных различными γ (бензин, керосин, масла, нефть и вода). Ось ординат помечена значениями напора h , ось абсцисс — значениями P полного давления жидкости на вертикальную стенку, шириной 1 м.

Для подсчета P следует провести горизонтальную линию от заданного h до встречи с наклонной линией, относящейся к данной жидкости, и из точки пересечения провести вертикальную линию вниз, до встречи с осью абсцисс, где и прочитывается результат.

2. Номограмма 2 служит для определения числа Рейнольдса по формуле (10). Она состоит из четырех помеченных шкал (скорость, диаметр, кинематический коэффициент вязкости

и число Рейнольдса) и одной немой шкалы. Для подсчета соединяют прямой пометки скорости и диаметра, затем, через точку пересечения немой шкалы с проведенной прямой, проводят вторую прямую, уже через пометку коэффициента. На

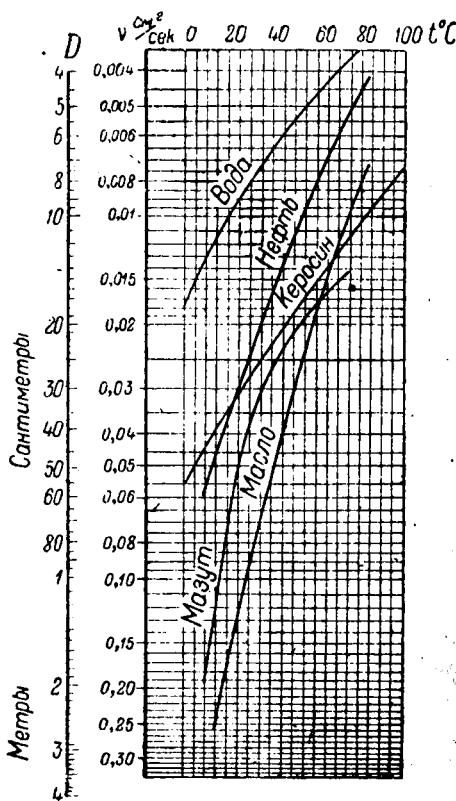
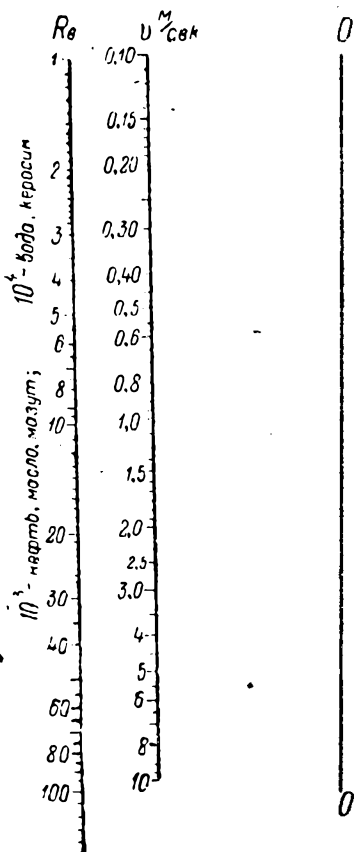
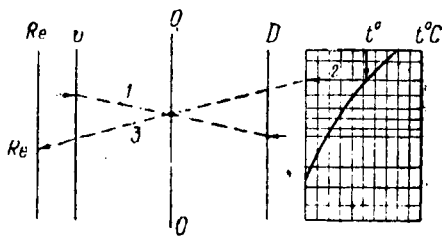


Номограмма I.

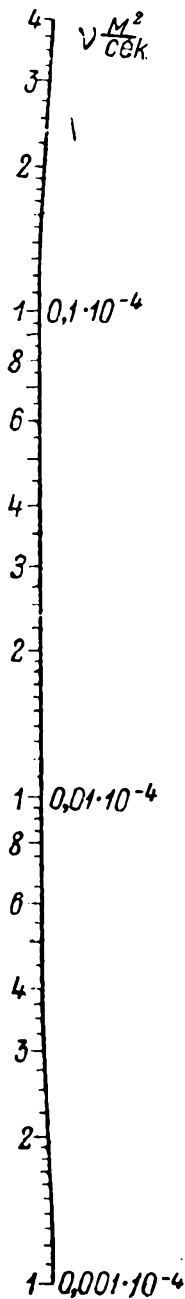
продолжении прямой, в точке пересечения ее со шкалой чисел Рейнольдса, прочитывают искомый результат.

3. Номограмма 3 связывает коэффициенты вязкости: динамический и кинематический, выражая формулу (12). На трех вертикальных шкалах отложены значения обоих коэффициентов и удельные веса. Для подсчета проводится линия через пометки

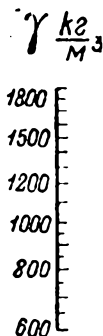
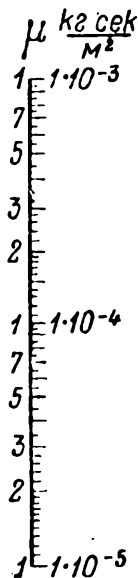
$$Re = \frac{vD}{\nu}$$



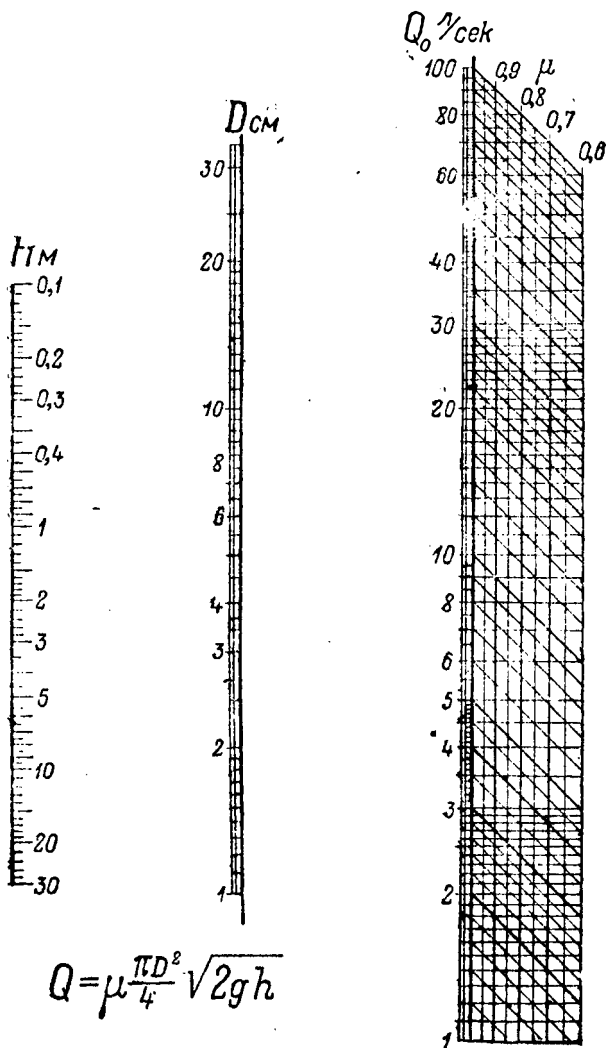
Номограмма II.



$$\nu \frac{\mu}{\rho} = \frac{g}{\gamma} \mu$$



Номограмма III.



Номограмма IV.

на двух шкалах, и результат подсчета получается в пересечении этой линии с третьей шкалой.

4. Номограмма 4 выражает уравнение расхода при истечении через отверстия и насадки круглого сечения

$$Q = \frac{\mu \pi D^2}{4} \sqrt{2gh}.$$

Основные шкалы: D , h и Q_0 . На одной прямой лежат пометки заданных напора, скорости и расхода Q_0 , т. е. того расхода, который получился бы при коэффициенте расхода равном единице, иначе говоря, в том случае, если бы сопротивления и силы вязкости полностью отсутствовали.

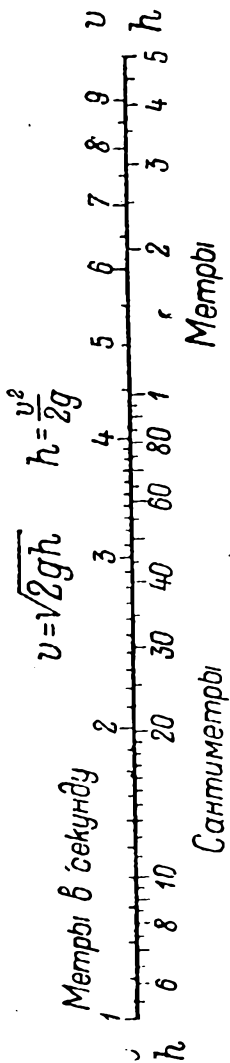
Для подсчета действительного Q служит бинарная шкала. Получив Q_0 сносят его по наклонной линии до пересечения с одной из вертикальных линий, которая помечена заданным значением коэффициента расхода, а затем от полученной точки, уже по горизонтальной линии, возвращаются обратно к шкале Q_0 , где и прочитывают окончательный результат.

5. Номограмма 5, выражая уравнение Торичелли (17), позволяет определить идеальную скорость истечения, т. е. такую скорость, которая наблюдалась бы при полном отсутствии каких-либо сопротивлений. Поэтому результат этого вычисления должен быть обязательно помножен на соответствующий скоростной коэффициент для получения истинной скорости. Та же номограмма позволяет определить по заданной скорости v скоростной напор $\frac{v^2}{2g}$. Последний, будучи помножен на коэффициент сопротивления, дает величину потеряннного напора, или, что то же, величину удельной работы вредных сопротивлений.

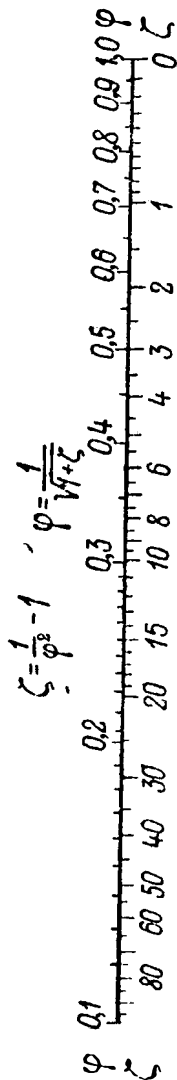
6. Номограмма 6 выражает зависимость между коэффициентом сопротивления и скоростным [формула (21)].

7. Номограмма 7 выражает формулу расхода при истечении через водослив, длина которого равна 1 м, при коэффициенте расхода равном единице. Таким образом, для получения действительного расхода необходимо полученный на этой номограмме результат помножить на действительный коэффициент расхода данного водослива, а затем на длину его водосливной кромки.

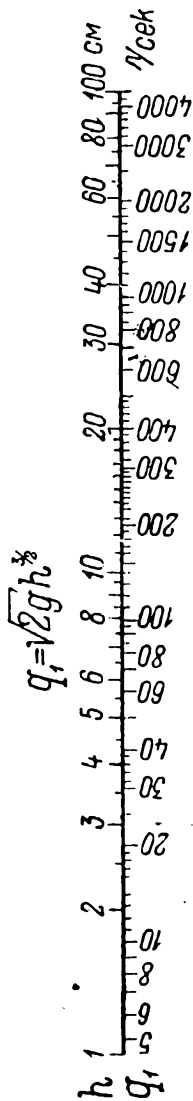
8. Номограмма 8 выражает расход, как функцию гидравлического уклона и диаметра трубопровода, по формулам (25), где коэффициент трения λ принят равным 0,03.



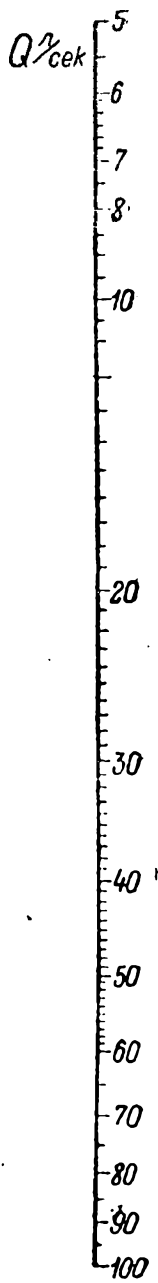
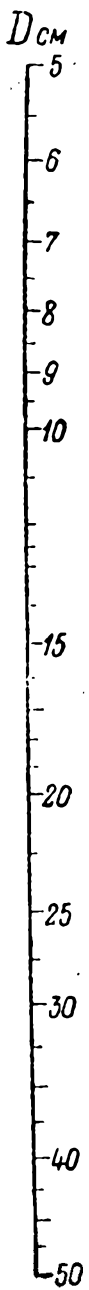
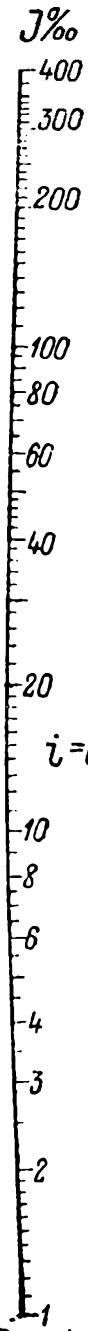
Номограмма V.



Номограмма VI.



Номограмма VII.



$$i = 0,0025 \frac{Q^2}{D^5}$$

На одной прямой лежат пометки расхода, гидравлического уклона и диаметра.

9. Номограмма 9 выражает формулу расхода в трубопроводе круглого сечения $Q = \frac{\pi D^2}{4} v$.

На одной прямой лежат пометки расхода, скорости и диаметра.

10. Номограмма 10 выражает формулу для расчета деревянных трубопроводов. На одной прямой лежат пометки диаметра, скорости и уклона.

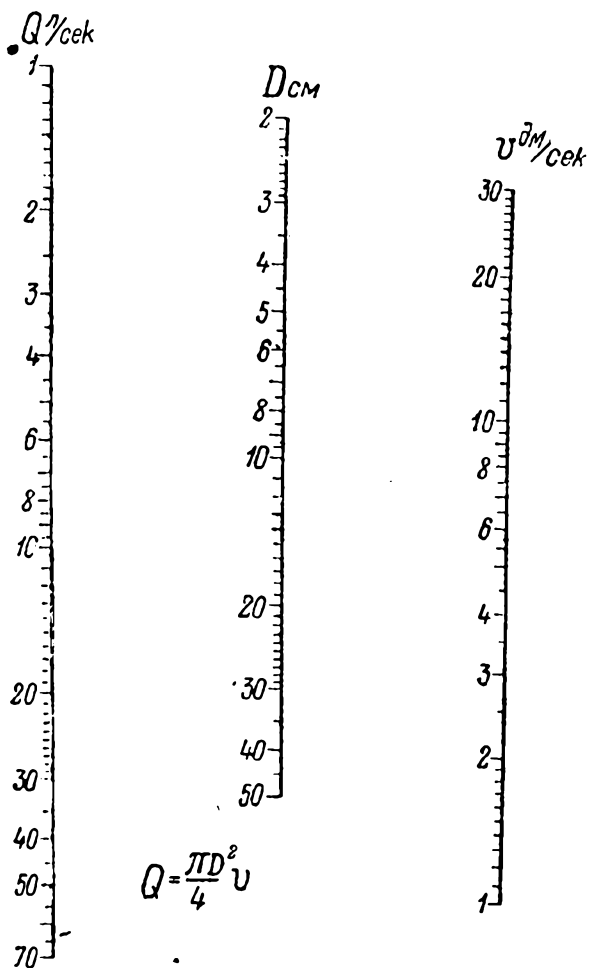
11 и 12. Номограммы 11 и 12 выражают формулу (37) для определения скоростных и расходных характеристик. Диаметры даны в сантиметрах, скоростные характеристики в м/сек, расходные в л/сек.

13. Номограмма 13 составлена для определения гидравлического уклона при ламинарном движении, по формуле

$$I = \frac{32 \nu}{g} \cdot \frac{v}{D^2} \quad (15)$$

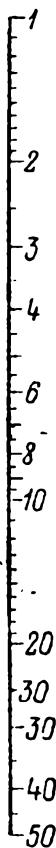
Основные шкалы D мм, v м/сек и уклон I . Проведя прямую через пометки заданных D и v , получаем, в пересечении проведенной прямой со шкалой I , значение гидравлического уклона I , соответствующее коэффициенту кинематической вязкости, равному $\nu = 1 \text{ см}^2/\text{сек}$. В том случае, когда коэффициент вязкости не равен единице, полученный результат нужно помножить на этот заданный коэффициент вязкости, так как величины гидравлического уклона и коэффициента вязкости между собой прямо пропорциональны, как это видно из формулы (15).

Для той же цели служит бинарная шкала $I\nu$, пользование которой таково: проведя прямую через пометки v и D и получив I , ведут от этой последней пометки наклонную линию до встречи с вертикальной линией, помеченной заданным значением ν , а затем, из полученной точки, уже по горизонтальной линии возвращаются к шкале I , где и прочитывают окончательный искомый результат.

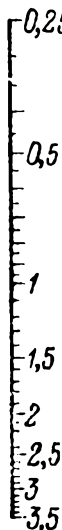


Номограмма IX.

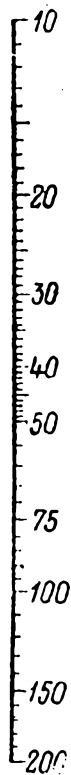
$J_{\text{‰}}$



$U^{\text{M}}_{\text{сек.}}$



$D_{\text{см}}$



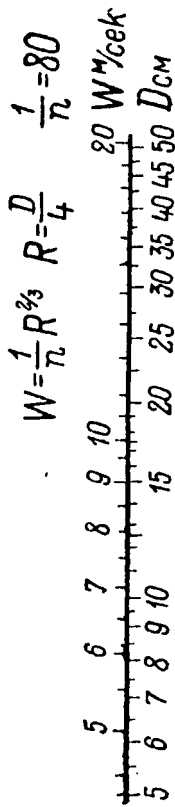
$$J = 196,08 \frac{U^{1,8}}{D^{1,17}}$$

$J_{\text{‰}}$

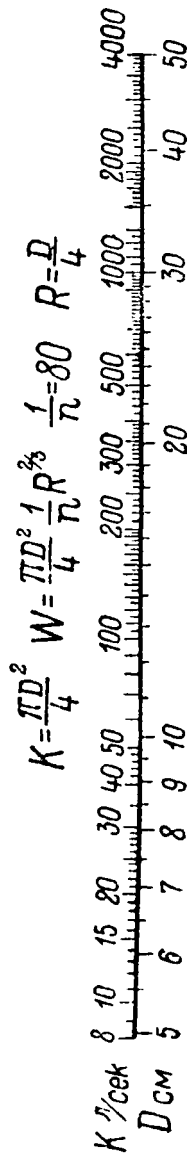
$U^{\text{M}}_{\text{сек}}$

$D_{\text{см}}$

Номограмма X.

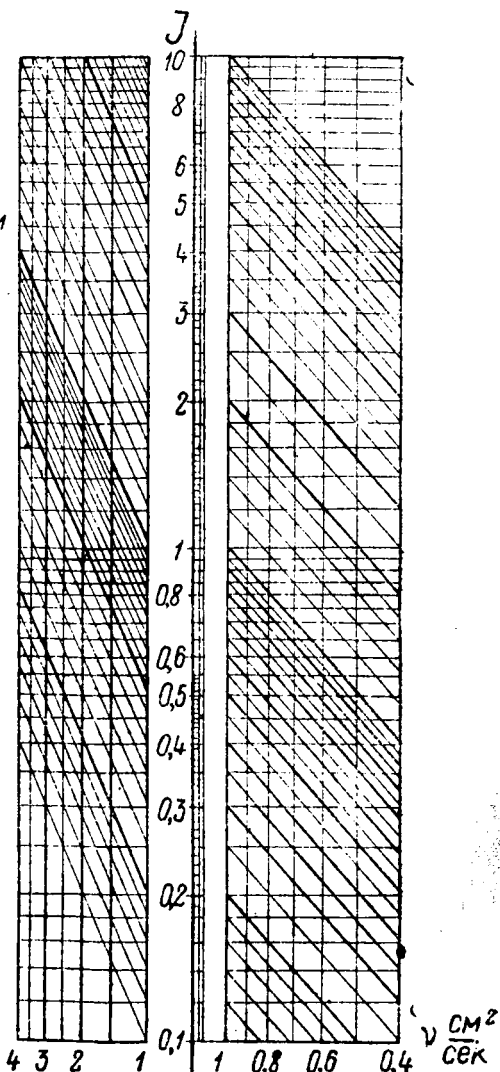
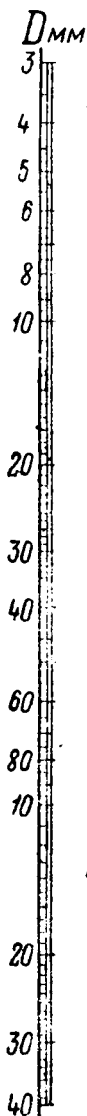
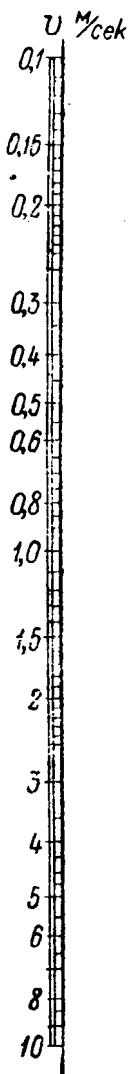


Номограмма XI.



Номограмма XII.

$$J = \frac{32 \nu U}{g D^2}$$



Номограмма XIII.

15. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЧЕТНОЙ ЛИНЕЙКИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАССЧЕТОВ.

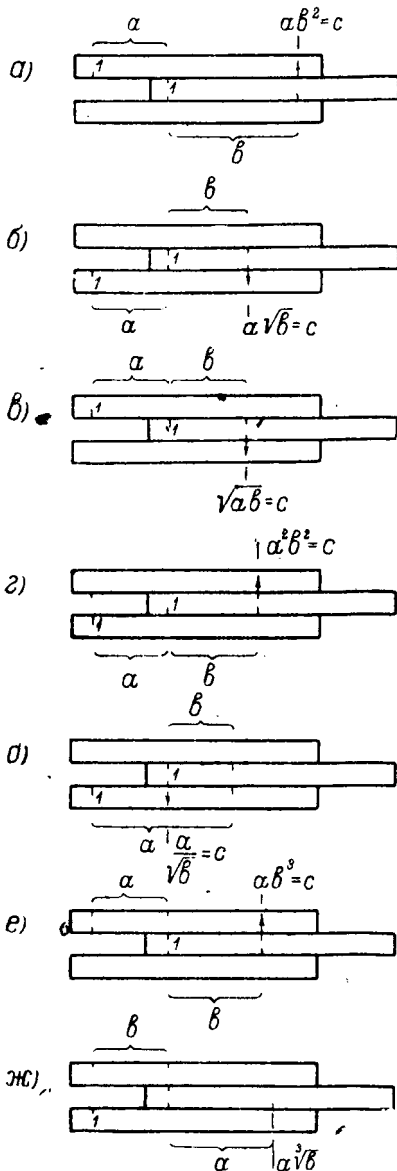


Рис. 103.

Как известно, обычная логарифмическая счетная линейка может быть использована не только для простейших, но также и для довольно сложных, комбинированных подсчетов. Прделанные обычным путем эти подсчеты отнимают, иногда даже на счетной линейке, довольно много времени. Однако, существует ряд приемов работы на счетной линейке, позволяющий производить такие комбинированные действия на счетной линейке очень быстро, а главное точно, так как количество установок движка и рамки, при использовании этих приемов, бывает очень мало.

В этой главе разбираются некоторые приемы, специально относящиеся к расчетам, встречающимся в курсе гидравлики для машиностроителей. Излагаемые здесь приемы относятся к обычной счетной линейке системы Ритца, наиболее у нас распространенной.

А. ОБЩЕЕ.

Напомним, что одновременное использование основной шкалы, шкалы квад-

ратов и шкалы кубов позволяет производить действия типа:

$$a^m b^n = c,$$

где (m) и $(n) = -3, -2, -1, 1, 2, 3$.

Так, например, подсчет $a b^2 = c$ производится так, как это показано на рис. 103а.

Аналогично производится также расчет $a\sqrt{b}$, что показано на рис. 103б.

Совершенно так же производятся расчеты:

$$\sqrt{ab} = c \text{ (рис. 103в);}$$

$$a^2 b^2 = c \text{ (рис. 103г);}$$

$$\frac{a}{\sqrt{b}} = c \text{ (рис. 103д);}$$

$$a b^3 = c \text{ (рис. 103е);}$$

$$a \sqrt[3]{b} \text{ (рис. 103ж), и т. д.}$$

Во всех возможных здесь комбинациях правило знаков синтезируется из общеизвестных правил при возвышении в квадрат и куб. В случае каких либо затруднений рекомендуется каждый из сомножителей выражать, как произведение однозначного числа на 10 в соответствующей степени, как, например,

$$235 = 2,35 \cdot 10^2;$$

$$0,00074 = 7,4 \cdot 10^{-4}.$$

В том случае, если производится большое число однотипных действий, постоянные перемножаются отдельно, и этот частный результат выносится на счетную линейку, как специальная константа для данных подсчетов.

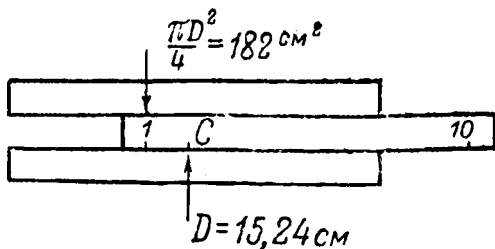


Рис. 104.

Так, например, площадь круга по заданному диаметру, определяется, как это показано на рис. 104, посредством постоянной

$C = \sqrt{\frac{4}{\pi}}$, причем правило знаков такое же, как при возвышении в квадрат.

Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИДЕАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ И СКОРОСТНОГО НАПОРА.

Используемые в этом случае формулы —

$$v_0 = \sqrt{2gh} \quad \text{и} \quad h = \frac{v_0^2}{2g}$$

Основной константой для этих подсчетов является

$$\sqrt{2g} = 4,42945 \quad \text{или} \quad \frac{1}{2g} = 0,05097.$$

Используя первую константу и отмечая ее на основной шкале линейки (провести тонкий штрих посредством острой тонкой иглки и затереть тушью), можно определять скорости по напорам, или напоры по скоростям, с одной установки движка, передвигая только рамку, как это показано на рис. 105. Основное правило: напоры отсчитываются по шкале квадратов движка, а скорости — по основной шкале линейки.

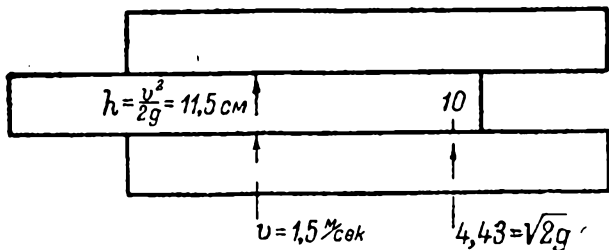


Рис. 105.

Для определения скорости по напору (или наоборот) нужно:
а) установить движок так, чтобы один из его концов был против нашей константы (см. рис. 105);

б) двигая рамку, навести визирную линию на заданную скорость (на основной шкале линейки). При этом, на движке, на его шкале квадратов, под установленной визирной линией, окажется напор.

Мнемоническое правило знаков: при том положении, как на рис. 105, на шкале скоростей (линейка) — скорости в метрах в секунду, а на шкале напоров (движок) — скоростные напоры выражены в сантиметрах $\left(\frac{\text{м}^2 \text{ см}}{\text{с}^2}\right)$.

В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТНОГО КОЭФИЦИЕНТА ПО КОЭФИЦИЕНТУ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ОБРАТНО.

Используемая в этом случае формула

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \quad \text{или} \quad \zeta = \frac{1}{\varphi^2} - 1.$$

Обозначая сумму $1 + \zeta$ посредством (ζ'), мы видим, что данный расчет приводится к расчету, показанному на рис. 103а, с той разницей, что величина a здесь постоянная и равна единице.

Этим и определяется прием работы на счетной линейке для вычисления по данной формуле. Собственно говоря, для этого вычисления можно предложить несколько приемов, но, при обычной установке движка в обычной счетной линейке, без обратной шкалы, следует придерживаться такого правила: скоростные коэффициенты отсчитываются на основной шкале движка, коэффициенты сопротивления — на шкале квадратов линейки. Расчет производится так, как это показано на рис. 106.

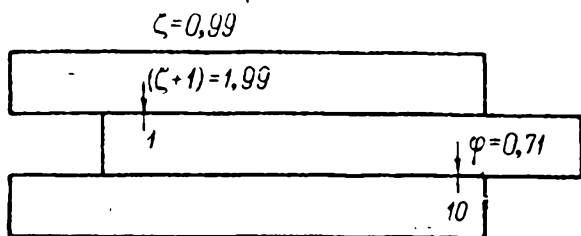


Рис. 106.

Для определения коэффициента сопротивления по скоростному коэффициенту, нужно:

а) передвигая движок, установить его так, чтобы на его основной шкале значение скоростного коэффициента пришлось бы против 10 на основной шкале линейки. На рис. 106 подсчет производится для насадки Борда (0,71);

б) при такой установке движка, единица на его шкале квадратов останавливается против значения коэффициента сопротивления, который отсчитывается на шкале квадратов линейки. Получаемое значение коэффициента сопротивления увеличено на единицу (так как $\zeta' = \zeta + 1$). Поэтому, прочитывая результат, мы уменьшаем его на единицу для получения

истинного значения. На рис. 106 получилось $\zeta' = 1,99$. Читаем $0,99 = \zeta$.

Мнемоническое правило знаков: при установке движка, как на рис. 97, числа на основной шкале движка обозначают скоростной коэффициент, выраженный в десятых долях единицы. Например, на рис. 106 движок установлен на цифре 7,1, что соответствует 0,71. При этом, окончательный результат на шкале квадратов линейки, в смысле знаков, соответствует цифрам на этой шкале линейки.

Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ПО СКОРОСТИ И ДИАМЕТРУ ТРУБОПРОВОДА.

Используемая в этом случае формула

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} v.$$

Рассматривая эту формулу, можно заметить, что данное вычисление представляет собой простейшее сочетание вычислений по рис. 103а, д и рис. 104. Этим и определяется весьма несложный прием, позволяющий проделать вычисление с одной установки движка.

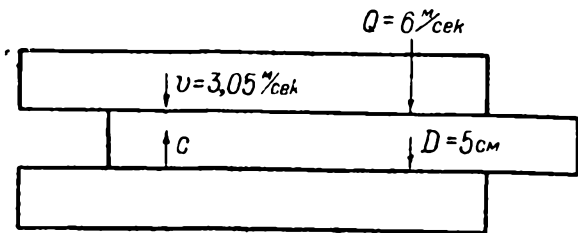


Рис. 107.

В соответствии со степенями отдельных сомножителей, расход и скорость отсчитываются на шкале квадратов линейки, а диаметр — на основной шкале движка.

Общая последовательность действий представлена на рис. 107. Для того, чтобы по заданному расходу и диаметру трубы определить среднюю скорость, необходимо:

- установить визирную линию рамки на цифре расхода, на шкале квадратов линейки;
- под визирную линию подвести диаметр трубопровода на основной шкале движка;

в) передвинуть рамку до константы C на движке. Над ней, на шкале квадратов линейки, находится величина средней скорости.

Обычно расход дается в л/сек, диаметр в см, скорость в м/сек. В этом случае на шкале квадратов линейки следует брать десятикратный расход, тогда остальные величины, в смысле числа знаков, соответствуют цифрам на линейке. Так, например, в примере, изображенном на рис. 107, расход 6 л/сек (на верхней шкале; отложено 60). Диаметр трубопровода 5 см (подведено под 60). Средняя скорость воды в трубе находится слева, над C . Она получается равной 3,06 м/сек.

Совершенно аналогично решается и обратная задача, о подборе трубопровода по заданным скорости и расходу или о расходе, по скорости и диаметру. Такое вычисление в общем не сложнее обычного умножения или деления двух чисел одного на другое.

Д. ВОЗВЫШЕНИЕ В СТЕПЕНИ $\frac{2}{3}$ И $\frac{3}{2}$.

Необходимость указанного действия встречается при расчете водосливов и при подсчете скоростной характеристики при использовании формулы Маннинга.

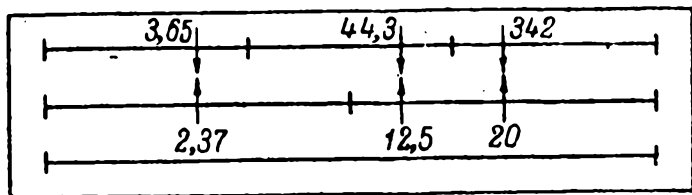


Рис. 108.

Проводя аналогию между возвышением в квадрат на счетной линейке и данной задачей, можно сразу ее решить, используя совместно шкалы квадратов и кубов обычной счетной линейки системы Ритца.

Для того, чтобы возвысить число в степень $\frac{3}{2}$, необходимо отыскать это число на шкале квадратов, двигая рамку. Установив рамку, прочитываем искомую степень на шкале кубов (рис. 108).

Обратно, для того, чтобы возвысить число в степень $\frac{2}{3}$, устанавливаем визирную линию рамки на это число на шкале кубов. Искомая степень прочитывается на шкале квадратов. Указанный прием не требует каких-либо специальных пояснений, так как он основывается на соотношении масштабов указанных шкал.

Так как шкала кубов имеет три логарифмических единицы, а шкала квадратов — две, то ошибки возможны только в том случае, если неправильно установить рамку (в пределах, например, соседней логарифмической единицы). Во избежание этого, рекомендуется обратить внимание на схемку (рис. 109), жирные

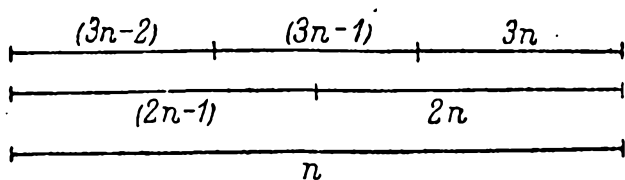


Рис. 109.

линии которой обозначают схематически шкалы: основную, квадратов и шкалу кубов. На этой схеме выражения в скобках обозначают числа знаков. Последние могут быть сведены в отдельную табличку:

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---------|---|
| шкала кубов: | —5 | —4 | —3 | —2 | —1 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| шкала квадратов: | —3 | —2 | | —1 | 0 | | 1 | 2 | | 3 | 4 | |
| основная шкала: | | —1 | | | 0 | | 1 | | | 2 | и т. д. | |

Е. ВОЗВЫШЕНИЕ В СТЕПЕНЬ $2^{2/3}$.

Возвышение в степень $2^{2/3}$ встречается при вычислении расходной характеристики при использовании формулы Маннинга.

Опираясь на те же положения, что при возвышении в квадрат, в степени $2/3$, $3/2$ получаем нижеследующее правило.

Действие производится на основной шкале и на шкале кубов. Результат получается на шкале квадратов. Для возвышения числа в указанную степень следует установить визирную линию рамки на этом числе, взятом на шкале кубов. Затем,

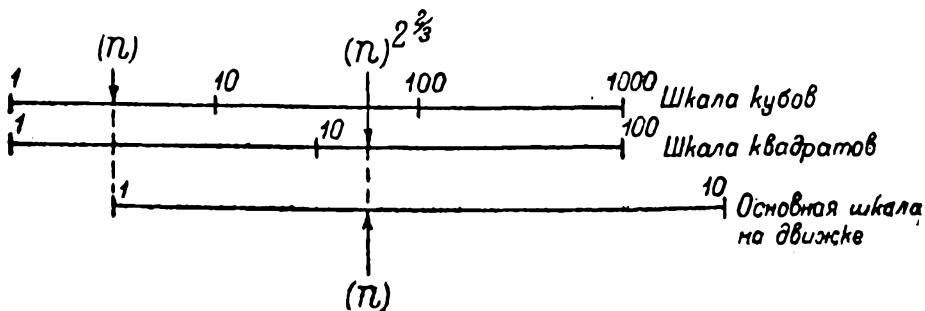


Рис. 110.

к визирной линии подвести единицу движка и то же число отметить, двигая рамку, на основной шкале движка. Когда рамка будет установлена в это последнее положение, на шкале квадратов под визирной линией прочитываем окончательный результат (рис. 110).

В данном случае мы производим умножение, прикладывая отрезок, взятый со шкалы кубов, к отрезку, взятому на основной шкале. По отношению к шкале квадратов первый отрезок выражает заданное число в степени $2/3$, а второй отрезок — то же число в квадрате. Поэтому их произведение, которое прочитывается на шкале квадратов линейки, дает нам искомый результат — заданное число в степени $2^2/3$.

Специального правила знаков здесь рекомендовать нельзя, так как оно получается в достаточной степени сложным. Гораздо проще заданное число привести к произведению однозначного числа на 10 в соответствующей степени и тогда руководиться значностью цифр на шкалах самой линейки.

16. СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ.

ТАБЛИЦА 20.

Часто встречающиеся величины.

| В е л и ч и н ы | n | $\lg n$ |
|-----------------------------|-----------|-------------|
| π | 3,1415926 | 0,4971499 |
| $\pi/4$ | 0,78540 | 0,89509 — 1 |
| $4/3 \pi$ | 0,42441 | 0,62779 — 1 |
| $\frac{\pi}{180}$ | 0,01745 | 0,24188 — 2 |
| $\frac{180}{\pi}$ | 57,29578 | 1,75812 |
| π^2 | 9,86960 | 0,99430 |
| $\sqrt{\pi}$ | 1,77245 | 0,24857 |
| $g (45^\circ)$ | 9,80617 | 0,991499 |
| $\frac{1}{2g}$ | 0,05097 | 0,70730 — 2 |
| $\sqrt{2g}$ | 4,42985 | 0,64635 |
| • | 2,7182818 | 0,43429 |

Степени, корни, натуральные логарифмы, обратные

Возвращены, окружности и площади круга.

ТАБЛИЦА 21.

| n | n^2 | n^3 | \sqrt{n} | $\sqrt[3]{n}$ | $\ln n$ | $\frac{1000}{n}$ | πn | $\frac{\pi n^2}{4}$ | n | n^2 | n^3 | \sqrt{n} | $\sqrt[3]{n}$ | $\frac{1000}{n}$ | $\ln n$ | $\frac{1000}{n}$ | πn | $\frac{\pi n^2}{4}$ | n |
|-----|-------|--------|------------|---------------|---------|------------------|---------|---------------------|-----|-------|--------|------------|---------------|------------------|---------|------------------|---------|---------------------|-----|
| 1 | 1 | 1 | 1,0000 | 1,0000 | 0,00000 | 1000,000 | 3,142 | 0,7854 | 1 | 1 | 1 | 1,0000 | 1,0000 | 1000,000 | 3,91202 | 20,0000 | 157,08 | 19,63,50 | 50 |
| 2 | 4 | 8 | 1,4142 | 1,2599 | 0,69315 | 500,000 | 6,283 | 3,1416 | 2 | 4 | 8 | 1,4142 | 1,2599 | 500,000 | 3,93183 | 19,6078 | 160,22 | 20,42,82 | 51 |
| 3 | 9 | 27 | 1,7321 | 1,4422 | 0,93861 | 333,333 | 9,425 | 7,0686 | 3 | 9 | 27 | 1,7321 | 1,4422 | 333,333 | 3,95124 | 18,2308 | 163,36 | 21,23,72 | 52 |
| 4 | 16 | 64 | 2,0000 | 1,5874 | 1,38629 | 250,000 | 12,566 | 12,5664 | 4 | 16 | 64 | 2,0000 | 1,5874 | 250,000 | 3,97029 | 18,8679 | 166,50 | 22,06,18 | 53 |
| 5 | 25 | 125 | 2,2361 | 1,7100 | 1,60944 | 200,000 | 15,708 | 19,6350 | 5 | 25 | 125 | 2,2361 | 1,7100 | 200,000 | 3,98898 | 18,5185 | 169,65 | 22,90,22 | 54 |
| 6 | 36 | 216 | 2,4495 | 1,8171 | 1,79176 | 166,667 | 18,850 | 28,2743 | 6 | 36 | 216 | 2,4495 | 1,8171 | 166,667 | 4,00733 | 18,1818 | 172,79 | 23,75,83 | 55 |
| 7 | 49 | 343 | 2,6458 | 1,9129 | 1,94591 | 142,857 | 21,991 | 38,4845 | 7 | 49 | 343 | 2,6458 | 1,9129 | 142,857 | 4,02335 | 17,8571 | 179,07 | 24,63,01 | 56 |
| 8 | 64 | 512 | 2,8284 | 2,0000 | 2,07944 | 125,000 | 25,133 | 50,2655 | 8 | 64 | 512 | 2,8284 | 2,0000 | 125,000 | 4,04033 | 17,5439 | 179,97 | 25,51,76 | 57 |
| 9 | 81 | 729 | 3,0000 | 2,0801 | 1,9722 | 111,111 | 28,274 | 63,6173 | 9 | 81 | 729 | 3,0000 | 2,0801 | 111,111 | 4,06044 | 17,2414 | 182,21 | 26,42,08 | 58 |
| 10 | 100 | 1000 | 3,1623 | 2,1544 | 2,30259 | 100,000 | 31,416 | 78,5398 | 10 | 100 | 1000 | 3,1623 | 2,1544 | 100,000 | 4,07754 | 16,9492 | 185,35 | 27,33,97 | 59 |
| 11 | 121 | 1331 | 3,3166 | 2,2240 | 2,39790 | 90,9091 | 34,558 | 95,0332 | 11 | 121 | 1331 | 3,3166 | 2,2240 | 90,9091 | 4,09434 | 16,6667 | 188,50 | 28,27,43 | 60 |
| 12 | 144 | 1728 | 3,4641 | 2,2894 | 2,46495 | 83,3333 | 37,699 | 113,0977 | 12 | 144 | 1728 | 3,4641 | 2,2894 | 83,3333 | 4,11087 | 16,3934 | 191,64 | 29,22,47 | 61 |
| 13 | 169 | 2197 | 3,6056 | 2,3513 | 2,56915 | 76,9231 | 40,841 | 132,9388 | 13 | 169 | 2197 | 3,6056 | 2,3513 | 76,9231 | 4,12713 | 16,1290 | 194,78 | 30,19,07 | 62 |
| 14 | 196 | 2744 | 3,7417 | 2,4101 | 2,63906 | 71,4286 | 44,982 | 153,9388 | 14 | 196 | 2744 | 3,7417 | 2,4101 | 71,4286 | 4,14313 | 15,8730 | 197,92 | 31,17,25 | 63 |
| 15 | 225 | 3375 | 3,8730 | 2,4662 | 2,70405 | 66,6667 | 47,124 | 176,7115 | 15 | 225 | 3375 | 3,8730 | 2,4662 | 66,6667 | 4,15888 | 15,6250 | 201,06 | 32,16,99 | 64 |
| 16 | 256 | 4096 | 4,0000 | 2,5198 | 2,77259 | 62,5000 | 50,265 | 201,0622 | 16 | 256 | 4096 | 4,0000 | 2,5198 | 62,5000 | 4,17439 | 15,3846 | 204,20 | 33,18,31 | 65 |
| 17 | 289 | 4913 | 4,1231 | 2,5713 | 2,83321 | 58,8235 | 53,407 | 226,981 | 17 | 289 | 4913 | 4,1231 | 2,5713 | 58,8235 | 4,18965 | 15,1515 | 207,35 | 34,21,19 | 66 |
| 18 | 324 | 5832 | 4,2426 | 2,6207 | 2,89037 | 55,5556 | 56,549 | 254,469 | 18 | 324 | 5832 | 4,2426 | 2,6207 | 55,5556 | 4,20469 | 14,9254 | 210,49 | 35,25,65 | 67 |
| 19 | 361 | 6859 | 4,3589 | 2,6684 | 2,94444 | 52,6316 | 59,690 | 283,529 | 19 | 361 | 6859 | 4,3589 | 2,6684 | 52,6316 | 4,21951 | 14,7059 | 213,63 | 36,31,68 | 68 |
| 20 | 400 | 8000 | 4,4721 | 2,7144 | 2,99573 | 50,0000 | 62,832 | 314,432 | 20 | 400 | 8000 | 4,4721 | 2,7144 | 50,0000 | 4,23411 | 14,4928 | 216,77 | 37,39,28 | 69 |
| 21 | 441 | 9261 | 4,5826 | 2,7589 | 3,04452 | 47,6190 | 65,973 | 346,361 | 21 | 441 | 9261 | 4,5826 | 2,7589 | 47,6190 | 4,24850 | 14,2857 | 219,91 | 38,48,45 | 70 |
| 22 | 484 | 10648 | 4,6904 | 2,8020 | 3,09104 | 45,4545 | 69,115 | 380,133 | 22 | 484 | 10648 | 4,6904 | 2,8020 | 45,4545 | 4,26268 | 14,0845 | 223,05 | 39,59,59 | 71 |
| 23 | 529 | 12167 | 4,7958 | 2,8439 | 3,13549 | 43,4783 | 72,257 | 415,476 | 23 | 529 | 12167 | 4,7958 | 2,8439 | 43,4783 | 4,27667 | 13,8889 | 226,19 | 40,71,50 | 72 |
| 24 | 576 | 13824 | 4,8990 | 2,8845 | 3,17805 | 41,6667 | 75,398 | 452,389 | 24 | 576 | 13824 | 4,8990 | 2,8845 | 41,6667 | 4,29046 | 13,6986 | 229,34 | 41,85,39 | 73 |
| 25 | 625 | 15625 | 5,0000 | 2,9240 | 3,21888 | 40,0000 | 78,540 | 490,874 | 25 | 625 | 15625 | 5,0000 | 2,9240 | 40,0000 | 4,30407 | 13,5133 | 232,48 | 43,00,84 | 74 |
| 26 | 676 | 17576 | 5,0990 | 2,9625 | 3,25810 | 38,4615 | 81,681 | 529,929 | 26 | 676 | 17576 | 5,0990 | 2,9625 | 38,4615 | 4,31749 | 13,3333 | 235,62 | 44,17,86 | 75 |
| 27 | 729 | 19683 | 5,1962 | 3,0000 | 3,29584 | 37,0370 | 84,823 | 572,555 | 27 | 729 | 19683 | 5,1962 | 3,0000 | 37,0370 | 4,33073 | 13,1515 | 238,76 | 45,36,46 | 76 |
| 28 | 784 | 21952 | 5,2915 | 3,0366 | 3,33220 | 35,7143 | 87,965 | 615,752 | 28 | 784 | 21952 | 5,2915 | 3,0366 | 35,7143 | 4,34381 | 12,9870 | 241,90 | 46,56,63 | 77 |
| 29 | 841 | 24389 | 5,3852 | 3,0723 | 3,36730 | 34,4828 | 91,106 | 660,520 | 29 | 841 | 24389 | 5,3852 | 3,0723 | 34,4828 | 4,35671 | 12,8205 | 245,04 | 47,78,36 | 78 |
| 30 | 900 | 27000 | 5,4772 | 3,1072 | 3,40120 | 33,3333 | 94,248 | 706,858 | 30 | 900 | 27000 | 5,4772 | 3,1072 | 33,3333 | 4,36945 | 12,6582 | 248,19 | 49,01,67 | 79 |
| 31 | 961 | 29791 | 5,5678 | 3,1414 | 3,43399 | 32,2581 | 97,389 | 754,768 | 31 | 961 | 29791 | 5,5678 | 3,1414 | 32,2581 | 4,38203 | 12,5000 | 251,33 | 50,26,55 | 80 |
| 32 | 1024 | 32768 | 5,6569 | 3,1748 | 3,46574 | 31,2500 | 100,531 | 804,248 | 32 | 1024 | 32768 | 5,6569 | 3,1748 | 31,2500 | 4,39457 | 12,3457 | 254,47 | 51,53,00 | 81 |
| 33 | 1089 | 35937 | 5,7446 | 3,2075 | 3,49651 | 30,3030 | 103,673 | 855,299 | 33 | 1089 | 35937 | 5,7446 | 3,2075 | 30,3030 | 4,40672 | 12,1951 | 257,61 | 52,81,02 | 82 |
| 34 | 1156 | 39304 | 5,8310 | 3,2396 | 3,52636 | 29,4118 | 106,814 | 907,920 | 34 | 1156 | 39304 | 5,8310 | 3,2396 | 29,4118 | 4,41884 | 12,0482 | 260,75 | 54,10,77 | 83 |
| 35 | 1225 | 42875 | 5,9161 | 3,2711 | 3,55535 | 28,5714 | 109,956 | 962,113 | 35 | 1225 | 42875 | 5,9161 | 3,2711 | 28,5714 | 4,43082 | 11,9048 | 263,89 | 55,41,77 | 84 |
| 36 | 1296 | 46656 | 6,0000 | 3,3019 | 3,58352 | 27,7778 | 113,097 | 1017,88 | 36 | 1296 | 46656 | 6,0000 | 3,3019 | 27,7778 | 4,44265 | 11,7647 | 267,04 | 56,74,50 | 85 |
| 37 | 1369 | 50653 | 6,0828 | 3,3322 | 3,61072 | 27,0270 | 116,239 | 1075,21 | 37 | 1369 | 50653 | 6,0828 | 3,3322 | 27,0270 | 4,45435 | 11,6279 | 270,18 | 58,08,80 | 86 |
| 38 | 1444 | 54872 | 6,1644 | 3,3623 | 3,63759 | 26,3158 | 119,381 | 1134,11 | 38 | 1444 | 54872 | 6,1644 | 3,3623 | 26,3158 | 4,46591 | 11,4943 | 273,32 | 59,44,68 | 87 |
| 39 | 1521 | 59319 | 6,2450 | 3,3912 | 3,66356 | 25,6410 | 122,522 | 1194,59 | 39 | 1521 | 59319 | 6,2450 | 3,3912 | 25,6410 | 4,47734 | 11,3636 | 276,46 | 60,82,12 | 88 |
| 40 | 1600 | 64000 | 6,3246 | 3,4200 | 3,68858 | 25,0000 | 125,66 | 1256,64 | 40 | 1600 | 64000 | 6,3246 | 3,4200 | 25,0000 | 4,48864 | 11,2360 | 279,60 | 62,21,14 | 89 |
| 41 | 1681 | 68921 | 6,4031 | 3,4482 | 3,71357 | 24,3902 | 128,81 | 1320,25 | 41 | 1681 | 68921 | 6,4031 | 3,4482 | 24,3902 | 4,49981 | 11,1111 | 282,74 | 63,61,73 | 90 |
| 42 | 1764 | 74088 | 6,4807 | 3,4760 | 3,73767 | 23,8095 | 131,95 | 1385,44 | 42 | 1764 | 74088 | 6,4807 | 3,4760 | 23,8095 | 4,51086 | 10,9890 | 285,88 | 65,03,88 | 91 |
| 43 | 1849 | 79507 | 6,5574 | 3,5034 | 3,76119 | 23,2558 | 135,09 | 1452,20 | 43 | 1849 | 79507 | 6,5574 | 3,5034 | 23,2558 | 4,52179 | 10,8696 | 289,03 | 66,47,61 | 92 |
| 44 | 1936 | 85184 | 6,6332 | 3,5303 | 3,78419 | 22,7273 | 138,23 | 1520,43 | 44 | 1936 | 85184 | 6,6332 | 3,5303 | 22,7273 | 4,53260 | 10,7527 | 292,17 | 67,92,91 | 93 |
| 45 | 2025 | 91125 | 6,7082 | 3,5569 | 3,80666 | 22,2222 | 141,37 | 1590,43 | 45 | 2025 | 91125 | 6,7082 | 3,5569 | 22,2222 | 4,54329 | 10,6383 | 295,31 | 69,39,78 | 94 |
| 46 | 2116 | 97336 | 6,7823 | 3,5830 | 3,82864 | 21,7391 | 144,51 | 1661,90 | 46 | 2116 | 97336 | 6,7823 | 3,5830 | 21,7391 | 4,55388 | 10,5263 | 298,45 | 70,88,22 | 95 |
| 47 | 2209 | 103823 | 6,8557 | 3,6088 | 3,85015 | 21,2766 | 147,65 | 1734,94 | 47 | 2209 | 103823 | 6,8557 | 3,6088 | 21,2766 | 4,56435 | 10,4167 | 301,59 | 72,38,23 | 96 |
| 48 | 2304 | 110592 | 6,9282 | 3,6342 | 3,87120 | 20,8333 | 150,80 | 1809,56 | 48 | 2304 | 110592 | 6,9282 | 3,6342 | 20,8333 | 4,57471 | 10,3033 | 304,78 | 73,89,81 | 97 |
| 49 | 2401 | 117649 | 7,0000 | 3,6593 | 3,9182 | 20,4082 | 153,94 | 1885,74 | 49 | 2401 | 117649 | 7,0000 | 3,6593 | 20,4082 | 4,58497 | 10,2041 | 307,88 | 75,42,96 | 98 |
| 50 | 2500 | 125000 | 7,0711 | 3,6840 | 3,91202 | 20,0000 | 157,08 | 1963,50 | 50 | 2500 | 125000 | 7,0711 | 3,6840 | 20,0000 | 4,60517 | 10,1010 | 314,16 | 78,53,98 | 100 |

Тригонометрические функции.

| УГОЛ | | см. снизу | | УГОЛ | | градус радиан. | | градус радиан. | | см. сверху | | УГОЛ | |
|--------|---------|-----------|--------|---------|--------|----------------|--------|----------------|--------|------------|--------|--------|--------|
| градус | радиан. | sin | cos | ctg | tg | sin | cos | ctg | tg | sin | cos | ctg | tg |
| 0° | 0 | 0 | 1,0000 | ∞ | 0 | 90° | 0,4014 | 0,3907 | 0,4245 | 2,3559 | 0,9205 | 0,9205 | 1,1694 |
| 1 | 0,0175 | 0,0175 | 0,9998 | 57,2900 | 0,0175 | 89 | 0,4189 | 0,4067 | 0,4452 | 2,2460 | 0,9135 | 0,9135 | 1,1519 |
| 2 | 0,0349 | 0,0349 | 0,9994 | 28,6363 | 0,0349 | 88 | 0,4363 | 0,4226 | 0,4663 | 2,1445 | 0,9063 | 0,9063 | 1,1345 |
| 3 | 0,0524 | 0,0523 | 0,9986 | 19,0811 | 0,0524 | 87 | 0,4538 | 0,4384 | 0,4877 | 2,0503 | 0,8988 | 0,8988 | 1,1170 |
| 4 | 0,0698 | 0,0698 | 0,9976 | 14,3007 | 0,0699 | 86 | 0,4712 | 0,4540 | 0,5095 | 1,9626 | 0,8910 | 0,8910 | 1,0996 |
| 5 | 0,0873 | 0,0872 | 0,9962 | 11,4301 | 0,0875 | 85 | 0,4887 | 0,4695 | 0,5317 | 1,8807 | 0,8830 | 0,8830 | 1,0821 |
| 6 | 0,1047 | 0,1045 | 0,9945 | 9,5144 | 0,1051 | 84 | 0,5061 | 0,4848 | 0,5543 | 1,8040 | 0,8746 | 0,8746 | 1,0647 |
| 7 | 0,1222 | 0,1219 | 0,9925 | 8,1443 | 0,1228 | 83 | 0,5236 | 0,5000 | 0,5774 | 1,7321 | 0,8660 | 0,8660 | 1,0472 |
| 8 | 0,1396 | 0,1392 | 0,9903 | 7,1154 | 0,1405 | 82 | 0,5411 | 0,5150 | 0,6009 | 1,6643 | 0,8572 | 0,8572 | 1,0297 |
| 9 | 0,1571 | 0,1564 | 0,9877 | 6,3138 | 0,1584 | 81 | 0,5585 | 0,5299 | 0,6249 | 1,6003 | 0,8480 | 0,8480 | 1,0123 |
| 10 | 0,1745 | 0,1736 | 0,9848 | 5,6713 | 0,1763 | 80 | 0,5760 | 0,5446 | 0,6494 | 1,5399 | 0,8387 | 0,8387 | 0,9948 |
| 11 | 0,1920 | 0,1908 | 0,9816 | 5,1446 | 0,1944 | 79 | 0,5934 | 0,5592 | 0,6745 | 1,4826 | 0,8290 | 0,8290 | 0,9774 |
| 12 | 0,2094 | 0,2079 | 0,9781 | 4,7046 | 0,2126 | 78 | 0,6109 | 0,5736 | 0,7002 | 1,4281 | 0,8192 | 0,8192 | 0,9599 |
| 13 | 0,2269 | 0,2250 | 0,9744 | 4,3315 | 0,2309 | 77 | 0,6283 | 0,5878 | 0,7265 | 1,3764 | 0,8090 | 0,8090 | 0,9425 |
| 14 | 0,2443 | 0,2419 | 0,9703 | 4,0108 | 0,2493 | 76 | 0,6458 | 0,6018 | 0,7536 | 1,3270 | 0,7986 | 0,7986 | 0,9250 |
| 15 | 0,2618 | 0,2588 | 0,9659 | 3,7321 | 0,2679 | 75 | 0,6632 | 0,6157 | 0,7813 | 1,2799 | 0,7880 | 0,7880 | 0,9076 |
| 16 | 0,2793 | 0,2756 | 0,9613 | 3,4874 | 0,2867 | 74 | 0,6807 | 0,6293 | 0,8098 | 1,2349 | 0,7771 | 0,7771 | 0,8901 |
| 17 | 0,2967 | 0,2924 | 0,9563 | 3,2709 | 0,3057 | 73 | 0,6981 | 0,6428 | 0,8391 | 1,1918 | 0,7660 | 0,7660 | 0,8727 |
| 18 | 0,3142 | 0,3090 | 0,9511 | 3,0777 | 0,3249 | 72 | 0,7156 | 0,6561 | 0,8693 | 1,1504 | 0,7547 | 0,7547 | 0,8552 |
| 19 | 0,3316 | 0,3256 | 0,9455 | 2,9042 | 0,3443 | 71 | 0,7330 | 0,6691 | 0,9004 | 1,1106 | 0,7431 | 0,7431 | 0,8378 |
| 20 | 0,3491 | 0,3420 | 0,9397 | 2,7475 | 0,3640 | 70 | 0,7505 | 0,6820 | 0,9325 | 1,0724 | 0,7314 | 0,7314 | 0,8203 |
| 21 | 0,3665 | 0,3584 | 0,9336 | 2,6051 | 0,3839 | 69 | 0,7679 | 0,6947 | 0,9657 | 1,0355 | 0,7193 | 0,7193 | 0,8029 |
| 22 | 0,3840 | 0,3746 | 0,9272 | 2,4751 | 0,4040 | 68 | 0,7854 | 0,7071 | 0,0000 | 1,0000 | 0,7071 | 0,7071 | 0,7854 |

радиан. градус

sin

tg

ctg

cos

см. сверху

радиан. градус

sin

tg

ctg

cos

см. сверху

УГОЛ

ТАБЛИЦА 24.

$$h = \frac{v^2}{2g}$$

| v | $h = \frac{v^2}{2g}$ | v | $h = \frac{v^2}{2g}$ | v | $h = \frac{v^2}{2g}$ |
|------|----------------------|------|----------------------|-----|----------------------|
| 0,10 | 0,0005097 | 1,10 | 0,06168 | 2,2 | 0,2467 |
| 0,15 | 0,001147 | 1,15 | 0,06741 | 2,3 | 0,2697 |
| 0,20 | 0,002039 | 1,20 | 0,07340 | 2,4 | 0,2936 |
| 0,25 | 0,003186 | 1,25 | 0,07965 | 2,5 | 0,3186 |
| 0,30 | 0,004588 | 1,30 | 0,08615 | 2,6 | 0,3446 |
| 0,35 | 0,006244 | 1,35 | 0,09290 | 2,7 | 0,3716 |
| 0,40 | 0,008156 | 1,40 | 0,09991 | 2,8 | 0,3996 |
| 0,45 | 0,010322 | 1,45 | 0,1072 | 2,9 | 0,4287 |
| 0,50 | 0,012744 | 1,50 | 0,1147 | 3,0 | 0,4588 |
| 0,55 | 0,015420 | 1,55 | 0,1225 | 3,1 | 0,4899 |
| 0,60 | 0,018351 | 1,60 | 0,1305 | 3,2 | 0,5220 |
| 0,65 | 0,021537 | 1,65 | 0,1388 | 3,3 | 0,5551 |
| 0,70 | 0,024978 | 1,70 | 0,1473 | 3,4 | 0,5893 |
| 0,75 | 0,028673 | 1,75 | 0,1561 | 3,5 | 0,6244 |
| 0,80 | 0,032624 | 1,80 | 0,1652 | 3,6 | 0,6606 |
| 0,85 | 0,036829 | 1,85 | 0,1745 | 3,7 | 0,6978 |
| 0,90 | 0,041289 | 1,90 | 0,1840 | 3,8 | 0,7361 |
| 0,95 | 0,046005 | 1,95 | 0,1938 | 3,9 | 0,7753 |
| 1,00 | 0,05097 | 2,00 | 0,2039 | 4,0 | 0,8156 |
| 1,05 | 0,05620 | 2,1 | 0,2248 | | |

ТАБЛИЦА 25.

$$v = \sqrt{2gh}$$

| h | v | h | v | h | v | h | v |
|-----|-------|-----|------|------|-------|-----|-------|
| 0,1 | 1,401 | 1,6 | 5,60 | 4,5 | 9,39 | 14 | 16,57 |
| 0,2 | 1,981 | 1,7 | 5,78 | 5,0 | 9,90 | 15 | 17,16 |
| 0,3 | 2,426 | 1,8 | 5,94 | 5,5 | 10,39 | 16 | 17,72 |
| 0,4 | 2,801 | 1,9 | 6,11 | 6,0 | 10,85 | 17 | 18,26 |
| 0,5 | 3,132 | 2,0 | 6,26 | 6,5 | 11,29 | 18 | 18,79 |
| 0,6 | 3,431 | 2,2 | 6,57 | 7,0 | 11,72 | 19 | 19,31 |
| 0,7 | 3,706 | 2,4 | 6,86 | 7,5 | 12,12 | 20 | 19,81 |
| 0,8 | 3,961 | 2,6 | 7,14 | 8,0 | 12,53 | 25 | 22,15 |
| 0,9 | 4,202 | 2,8 | 7,41 | 8,5 | 12,92 | 30 | 24,26 |
| 1,0 | 4,43 | 3,0 | 7,61 | 9,0 | 13,31 | 35 | 26,20 |
| 1,1 | 4,65 | 3,2 | 7,92 | 9,5 | 13,68 | 40 | 28,01 |
| 1,2 | 4,85 | 3,4 | 8,17 | 10,0 | 14,04 | 45 | 29,68 |
| 1,3 | 5,05 | 3,6 | 8,40 | 11,0 | 14,69 | 50 | 31,32 |
| 1,4 | 5,23 | 3,8 | 8,64 | 12,0 | 15,34 | 60 | 34,31 |
| 1,5 | 5,42 | 4,0 | 8,86 | 13,0 | 15,97 | 70 | 37,06 |

ТАБЛИЦА 26.

Величины $\sqrt{2g h^3}$.

| h | $\sqrt{2g h^3}$ | h | $\sqrt{2g h^3}$ | h | $\sqrt{2g h^3}$ |
|-------|-----------------|------|-----------------|------|-----------------|
| 0,050 | 0,0495 | 0,14 | 0,232 | 0,36 | 0,957 |
| 0,055 | 0,0571 | 0,15 | 0,257 | 0,38 | 0,038 |
| 0,060 | 0,0651 | 0,16 | 0,283 | 0,40 | 1,13 |
| 0,065 | 0,0734 | 0,17 | 0,310 | 0,42 | 1,21 |
| 0,070 | 0,0820 | 0,18 | 0,338 | 0,44 | 1,29 |
| 0,075 | 0,0910 | 0,19 | 0,367 | 0,46 | 1,38 |
| 0,080 | 0,1002 | 0,20 | 0,396 | 0,48 | 1,47 |
| 0,085 | 0,1098 | 0,22 | 0,457 | 0,50 | 1,57 |
| 0,090 | 0,1196 | 0,24 | 0,521 | 0,52 | 1,66 |
| 0,095 | 0,1296 | 0,26 | 0,587 | 0,54 | 1,76 |
| 0,10 | 0,140 | 0,28 | 0,656 | 0,56 | 1,86 |
| 0,11 | 0,162 | 0,30 | 0,728 | 0,58 | 1,96 |
| 0,12 | 0,184 | 0,32 | 0,802 | 0,60 | 2,06 |
| 0,13 | 0,208 | 0,34 | 0,878 | | |

17. ОТВЕТЫ.

1. $\gamma = 0,91 \text{ кг/л}, 910 \text{ кг/м}^3, 0,91 \text{ кг/дм}^3, 0,91 \text{ т/м}^3, 0,00091 \text{ кг/см}^3$.
2. $1 \text{ кг/см}^2 = 14,22 \text{ фн/д}^2$.
3. Давлению 1 кг/см^2 соответствует высота ртутного столба $H = 736 \text{ мм}$ от диаметра трубки (пренебрегая капиллярными силами) не зависит. Если манометр заполнен более легкой жидкостью, высота столба жидкости должна быть большей: вода — 10 м , масло — $11,1 \text{ м}$.
4. Величина деления шкалы микроманометра, соответствующая $0,001 \text{ кг/см}^2$, равна $4,73 \text{ см}$.
5. Давление $p = 0,002 \text{ кг/см}^2$.
6. А. Пользуясь уравнением $p = \gamma h$, определим γ .
Б. Сопоставляя полученную величину с таблицей удельных весов различных жидкостей, видим, что, поскольку таких легких жидкостей в нашем распоряжении нет, требуется двухжидкостный манометр, причем удельные веса жидкостей в нем должны отличаться на полученную величину γ . Сюда подходят, например, вода и керосин.
7. Давление $p = 1,26 \text{ кг/см}^2$.
8. Абсолютное давление равно $p = 0,0952 \text{ кг/см}^2$.
9. Вакуум $15,88\%$.
10. На глубине 40 м под уровнем моря, полагая γ морской воды $= 1,03$, давление $p = 4,03 \text{ кг/см}^2$.
11. Полное давление воды на заглушку 141 кг .
12. Среднее давление в нижнем барабане около $15,5 \text{ ата}$ или $14,5 \text{ ата}$.
13. Среднее давление $1,671 \text{ кг/см}^2$.
14. Около $0,19 \text{ кг/см}^2$.
15. $589,5 \text{ кг}$.
16. $1,36 n$, где n — число колен.
17. А. Определяем, насколько вдвинулся стержень после 10 оборотов винта.
Б. Зная внутренний объем цилиндра, определяем уменьшение объема, вызванное вдвинутым стержнем.
В. Зная модуль упругости, определяем увеличение давления в цилиндре.
Г. Определяем полное давление на днище цилиндра.
Д. По величине шага винта и его диаметру определяем касательное усилие, а затем по радиусу маховичка — окружное усилие.
 $Q = 102000 \text{ кг}, P = 21,3 \text{ кг}$.
18. $N = 2,96 \text{ л. с.}$
19. Подсчитав размеры кольцевой площадки и зная давление, на нее действующее, находим $P = 184 \text{ кг}$.
20. На глубине $0,1274 \text{ м}$.
21. Если z меньше 10 м , то при любом положении поршня $Q = 471 \text{ кг}$.
22. $P = 2820 \text{ кг}$.
23. $3,55 \text{ л. с.}$
24. $18,7 \text{ л. с.}$

25. Вес каждой гири должен быть около 1767,2 г.
26. Платформой передается усилие $Q = 50 \text{ т}$ (если не принимать во внимание собственного веса движущихся частей платформы). Для того, чтобы платформа поднялась на 3 см, необходимо 500 рабочих ходов поршня насоса.
27. Сила, приложенная к большому поршню, равна, 3750 кг. Из этой силы следует вычесть общий вес движущихся частей домкрата, и разность дает подъемную силу домкрата P .
28. Так как увеличение давления в гидравлическом мультипликаторе при отсутствии сопротивлений равно отношению площадей поршней или, что то же самое, квадрату отношения диаметров поршней, в данном случае диаметр поршней мультипликатора должны относиться как 4:1.
- 29-А. Зная диаметр поршня, определяем нагрузку, которая должна быть к нему приложена, для создания давления под поршнем 50 кг/см^2 . Полученная цифра 35343 кг является суммой весов: движущихся частей и собственно нагрузки.
- Б. Во время пятиминутного перерыва, масло, пакачиваемое насосом, поступает в цилиндр гидравлического аккумулятора. Отсюда, зная площадь поршня, можно определить его ход $H = 56,5 \text{ см}$.
- В. Зная ход поршня аккумулятора и нагрузку на него, а так же время подъема поршня, можно определить мощность насоса — 1,26 л. с.
30. Давление жидкости равно $p = 47,2 \text{ кг/см}^2$.
Усилие, передающееся всем четырем колонкам пресса, равно 130 т.
31. Полное давление жидкости на лист AB достигает 120 т.
32. Левая часть схемы представляет собой мультипликатор давления. Из соотношения площадей верхнего и нижнего поршня определяем давление под нижним поршнем или, что почти одно и то же, давление в цилиндре клепальной машины. В исходном положении полная нагрузка на поршень клепальной машины равна 67 т.
Когда поршень мультипликатора опустится, давление в верхнем цилиндре должно упасть. Полагая расширение изотермическим, из соотношения объемов первоначального и последующего, находим конечное давление расширения, в соответствии с чем конечная нагрузка на поршень клепальной машины оказывается всего 42,3 т.
33. 720 кг и 1080 кг.
34. 250 кг.
35. Во всех указанных случаях имеем прямую пропорциональность между силой и переменной.
36. Полагая удельный вес бензина $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$, получаем $P = 189 \text{ кг}$.
37. Усилие, передающееся на болты, B равно $P_1 = 14 \text{ кг}$.
Давление крышки на патрубков $P_2 = 17 \text{ кг}$.
При повороте патрубка вокруг своей оси усилия не изменяются.
38. $h_1 = 0,575 \text{ м}$, $h_2 = 0,240 \text{ м}$, $h_3 = 0,185 \text{ м}$.
Эти величины должны быть изменены сообразно заклепочному шву. Ригеля могут быть выполнены из уголкового железа $50 \times 50 \times 6$.
39. Пользуясь формулой (6), суммируем давление на поверхности воды и избыточное (по отношению к поверхности воды) давление в центре тяжести площадки. Полное давление жидкости на стенку $P = 3762 \text{ кг}$.
40. Полное давление на щит $P = 3040 \text{ кг}$.
Толщина досок № 2, 4, 6 одинакова, так как они несут одинаковую нагрузку, и должна быть выбрана около 7 см (по расчету 6,84 см).
41. Полное давление на перегораживающую стенку (результативное) 124,5 кг.

Центр давления находится на высоте 0,403 м от дна (для решения задачи использовать эпюру давления).

42. Используя эпюру давления, получаем суммарное давление на стенку $P = 183$ кГ.
43. Ось шарнира должна быть расположена на высоте $\frac{1}{8} H$ от дна, независимо от наклона стенки и от удельного веса жидкости.
- 44-46. Так как из условия равновесия щитка равнодействующая полного давления воды на щиток должна проходить через ось шарнира, последняя должна быть расположена на одном уровне с центром тяжести эпюры давления.
47. Цилиндр вращаться не будет, так как все действующие силы проходят через ось вращения цилиндра (давление жидкости направлено нормально к ограничивающей поверхности).
48. $P = 9,43$ кГ.

Поскольку стяжки AB работают только на растяжение, они должны быть рассчитаны только на реакцию от горизонтальной составляющей давления жидкости на стенку. Вертикальная составляющая давления, обуславливающая деформацию самой стенки, в данной задаче нас не интересует. Выделяя одну панель между двумя смежными стяжками, определяем горизонтальную составляющую, которая равна давлению на вертикальную проекцию данной изогнутой стенки. Так как эпюра нагрузки имеет форму треугольника, на стяжку приходится $\frac{1}{8}$ горизонтальной составляющей полной нагрузки на панель, т. е. 338 кГ.

49. Выделяя элемент трубы длиной 1 см или 1 м, подсчитывая полное давление на диаметральною проекцию этого элемента и составив уравнение прочности, получаем толщину стенки около 2 мм (1,875 мм).
51. Так как давление жидкости направлено нормально к стенке, то в данном случае вертикальная проекция полного давления жидкости равна нулю. Горизонтальная составляющая, на которую и следует вести расчет, численно равна полному давлению на вертикальную проекцию данной цилиндрической стенки и может быть определена по формулам (5) и (6). $P_x = 32400$ кГ, но так как работают два сечения пояса, расчет следует вести на половину P_x .
52. Диаметр сечения стяжек 18,5 мм.
53. $P_x = 2565$ кГ, $P_y = 77$ кГ.
54. Нагрузка на понтон (включая и его собственный вес) равна 4 т.
55. Так как собственный вес поплавка и платформы равен 1 т, то общая подъемная сила поплавка должна быть равна 12 т, отсюда, по закону Архимеда, объем поплавка, если он находится в пресной воде, должен быть не менее 12 м³.
56. При заданном соотношении диаметра и длины, диаметр цилиндрического поплавка должен быть не менее 1085 мм.
57. Натяжение цепи равно 134 кГ.
58. Для пресной воды — минимум 8 т. Так как при погружении водолазного колокола (открытого внизу), давление воды вокруг него увеличивается и воздух внутри него сжимается, то кажущийся вес водолазного колокола при погружении увеличивается.
59. Диаметр поплавка должен быть не менее 72 мм, считая, что веса всех движущихся частей устройства в воздухе уравновешены.
60. Определяем давление на клапан, прибавляем собственный вес клапана и цепи в воде (1 кГ). Сумма даст подъемную силу поплавка, откуда и определяются его размеры: (151 × 151 × 151) мм; эти размеры требуется увеличить из расчета собственного веса поплавка.

61. Поскольку плавающее тело находится в равновесии, очевидно, что его собственный вес уравновешивается, по закону Архимеда, весом вытесненной им воды, которая занимает объем равный $\frac{9}{10}$ объема тела. Следовательно, относительный удельный вес тела равен $\delta = 0,9$.
62. Принимая относительный удельный вес керосина $\delta = 0,82$, получаем относительный удельный вес CaC_2 равным $\delta = 2,22$.
63. Составляя уравнение, получаем состав сплава по весу медь — $5,5\%$, алюминий — $94,5\%$.
64. Принимая удельный вес расплавленного чугуна $\gamma = 7000 \text{ кг/м}^3$, получаем $Q = 504 \text{ кг}$.
65. На балки AB передается усилие 267 кг . Вертикальная составляющая полного давления воды на баржу направлена вертикально вверх и по величине равна весу баржи с грузом, т. е. 1000 кг (условие равновесия баржи на воде).
66. Условия равновесия куска воска, частью погруженного в воду и другой частью находящегося в масле, приводят к уравнению первой степени, решив которое находим, что в воду погружены $\frac{5}{9}$ объема воска.
67. Скорость истечения при этих условиях $v = \sqrt{2gh}$, т. е. такая же, как скорость падения с высоты h в безвоздушном пространстве (уравнение Торичелли).
- 68-72. Для построения пьезометрической линии, показывающей, как изменяется давление в потоке по его длине, следует составить уравнение Бернулли, причем первым сечением принять свободную поверхность воды в баке, а вторым сечением — выходное сечение трубы. Предполагается, что размеры бака настолько велики, что скорость на поверхности воды в нем равна нулю и положение самой поверхности неизменно по высоте. Давление на поверхности — атмосферное. Давление в выходном сечении трубы — также атмосферное, так как потенциальная энергия потока, обуславливающаяся избыточным в нем давлением, при отсутствии потерь вся переходит в кинетическую. Таким образом, пьезометрическая линия в выходном сечении потока проходит через его ось. Для определения промежуточных точек пьезометрической линии следует сравнивать промежуточные сечения с выходным, составляя для них уравнение Бернулли, которое как уравнение может быть решено, когда в нем имеется одна неизвестная. Напомним, что скоростной напор, появление которого обуславливает уменьшение пьезометрического напора, отсчитывается от напорной линии сверху вниз. Остаток до оси потока дает пьезометрический напор в данном сечении. Если пьезометрическая линия проходит ниже оси потока, это обозначает, что давление в нем ниже атмосферного. Если выше — значит давление больше атмосферного.
73. По заданным расходам определить скорости, а по ним скоростные напоры. Отсюда — пьезометрические напоры и пьезометрическая линия.
74. Давление уменьшилось, так как вода, бывшая раньше неподвижной, начала двигаться. Уменьшение пьезометрического напора равно увеличению скоростного (уравнение Бернулли). Зная, что 1 кг/см^2 соответствует напору 10 м водяного столба, и приравнявая соответствующую величину $\frac{v^2}{2g}$, определяем v , а затем и расход, по уравнению сплошности.
Расход $Q = 35,3 \text{ л/сек}$.
75. Размер шкалы около $0,5 \text{ м}$,

- 76 Принимая относительный удельный вес керосина равным 0,82, получаем $v \leq 1,77$ м/сек.
77. К пьезометрическому напору следует добавить скоростной напор, равный 0,112 км/ки (м).
78. $h = \frac{v^2}{2g} (n^4 - 1)$.
79. Расход $Q = 28$ л/сек.
82. Определяем число Рейнольдса. Движение турбулентное.
83. Нижняя критическая скорость 5,24 см/сек, верхняя критическая скорость 34,1 см/сек.
84. Практически невозможен, т. е. турбулентный режим был бы возможен при скорости 780 м/сек, в то время как в маслопроводах скорости большие 1—2 м/сек почти не встречаются, особенно при использовании весьма вязких масел.
85. Минимальный расход $Q = 71,6$ л/сек.
88. Верхняя критическая скорость движения воды в радиаторе 0,244 м/сек.
89. Составляем уравнение подобия, откуда видим, что при максимальной скорости на модели 20 м/сек, жидкость, используемая для испытания, должна иметь кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0,033$ см²/сек. Такой, примерно, коэффициент имеет керосин при температуре около 10° С. Если взять жидкость менее вязкую, как, например, вода, что гораздо удобнее для опытов, максимальные скорости должны быть еще меньшими. В частности, для воды при 10° С получаем максимальную скорость около 8 м/сек.
90. Из уравнения подобия имеем: если модель испытывается в воздухе так же, скорость воздуха должна быть в 5 раз большей скорости проектной. Если модель испытывается в потоке воды, то скорость потока вокруг модели должна быть 55 км/час или 15,25 м/сек.
91. Используя уравнения (11) и (12), получаем, что искомое усилие равно 0,0033 кг.
92. Кинематический коэффициент вязкости $\nu = 0,3529 \cdot 10^{-4}$ м²/сек. Динамический коэффициент вязкости $\mu = 0,00324$ кг.сек/м².
93. Пользуясь уравнением (14), определяем потерянный напор (скоростным можно пренебречь по малости), получающийся равным 4,17 м, а так как напор в баке $H = 40$ см, то бак следует расположить на высоте 3,77 м.
94. Подставляя в уравнение (13), находим гидравлический уклон при 5° С $i = 0,1624$; это означает, что работа вредных сопротивлений на 1 кг жидкости в потоке, на пути 1 м, равна 0,1264 км, или же пьезометрическая линия наклонена к горизонту под углом 7°12'. При 30° С имеем $i = 0,0673$, что соответствует наклону 3°52'.
95. Подставляем данные задачи в формулу (14), определяем скорость. Попутно проверяем, действительно ли ламинарное движение, т. е. можно ли было пользоваться формулой (14). По выяснении, определяем по уравнению сплошности суточный расход $Q = 1321$ м³.
100. Воспользовавшись формулой (20), взяв значение коэффициента сопротивления из таблицы, получаем потерю напора при данной скорости $h_w = 0,2$ м.
101. Потери напора 1,2 см, 4,9 см и 19,5 см.
102. Скорость истечения 2,74 м/сек, расход 5,38 л/сек.
103. Принимая коэффициент сопротивления сетки и клапана вместе равным 10, получаем общий коэффициент сопротивления всей системы $\zeta = 12,5$. Отсюда, по скорости и скоростному напору — потерянный напор, который

должен быть прибавлен к отрицательному напору — высоте всасывания, для определения вакуума во всасывающей трубе. Вакуум — 4,49 м водяного столба.

104. Расход $Q = 4,4$ л/сек.
105. Используя формулы (17), (18), 20) и (216), получаем: теоретическая скорость истечения $3,43$ м/сек, действительная " $3,33$ м/сек, действительный расход $0,327$ л/сек, потерянный напор около $0,036$ м.
106. Диаметр отверстия $5,4$ см.
107. Расход уменьшится на $13,4\%$.
108. Расход увеличится на $12—13\%$, если на внутренний конец трубы надеть коническую, а еще лучше — конoidalную насадку.
109. При изменении напора, расход возрастает пропорционально корню квадратному из напора. Поэтому, в данном случае расход увеличится на $11,56\%$, при увеличении напора с $1,5$ до 2 м.
110. Составляем уравнение Бернулли для свободной поверхности и сечения отверстия, учитывая, что у свободной поверхности жидкость движется. Пользуясь уравнением сплошности, делаем приведение и получаем после подсчета расход $Q = 1,375$ л/сек.
111. Скорость истечения $3,98$ м/сек, расход $15,31$ л/сек.
112. Составляя уравнение Бернулли для свободной поверхности и выходного сечения трубы, с учетом сопротивлений, можно определить скорость истечения. Пренебрегая потерями на трение, рассматриваем данный отрезок трубы как насадку Борда. Поскольку труба цилиндрическая и вся заполнена жидкостью, очевидно, что скорости по всей ее длине не изменяются и действующим напором следует считать $0,8$ м. Скорость истечения $2,82$ м/сек. Расход $5,52$ л/сек.
113. Деления должны быть расположены на высоте $28,1, 44,5, 58,3, 70,3$ мм от гребня водослива.
114. Длина водосливной плотины должна быть не менее 55 м.
115. Решая задачу по формуле (24), получаем время опораживания 12 минут 50 секунд.
116. Диаметр круглого отверстия должен быть около 64 мм. Размер должен быть уточнен в соответствии с сортаментом.
117. В первом приближении, принимая $\lambda = 0,03$, находим, пользуясь формулой (25), требуемый напор $23,6$ м; это значит, что в начале трубопровода необходимо создать давление около $2,4$ кг/см². Такой приближенный результат следует уточнить, подсчитав по одной из формул, например (30), величину λ и решить уравнение (25) вторично, подставив новое значение λ .
118. В первом приближении, принимая $\lambda = 0,03$, находим, пользуясь одной из формул (27), диаметр трубопровода, получающийся равным $5,5$ см. Окончательно диаметр трубы устанавливается согласно сортаменту и, в отдельных случаях, повторным расчетом уточняют величину напора в начале трубы, или же, при заданном напоре, величину расхода.
119. Пользуясь эмпирической формулой для деревянных труб, находим скорость воды в трубе $1,07$ м/сек, расход $33,6$ л/сек.
120. Приближенный расчет по формулам (27), при $\lambda = 0,03$, дает $H = 6,17$ м (потерянный напор $6,12$ м и скоростной напор $0,05$ м). Поскольку задан расход и допустимая скорость, можно сразу определить диаметр трубопровода, который получается равным 10 см.

Это дает возможность подсчитать число Рейнольдса, для подстановки в формулу (30), откуда получаем $\lambda = 0,026$. Дальнейший подсчет по формуле (25) дает потерянный напор 5,32 м, следовательно полный напор в начале трубы должен быть 5,37 м, учитывая скоростной напор.

121. Приблизительно, по формулам (27), при $\gamma = 0,08$, получаем $Q = 7,64$ л/сек. Получив эту цифру, следует определить скорость, а затем уточнить значение λ , по формуле (30), после чего, проделав снова расчет по формуле (25), получить более точное значение величины $Q = 8,1$ л/сек. При подсчете λ , коэффициент K был принят равным $1000 \cdot 10^{-8}$ м.
122. Скоростная характеристика 17,19 м/сек.
Расходная характеристика 2160 л/сек.
- 123-125. Коэффициент сопротивления, принимая $\lambda = 0,03$, равен 120. Скоростной коэффициент трубопровода $K = 0,909$.
126. Скоростной коэффициент системы равен $K = 0,174$ (при $\lambda = 0,03$).
127. Принимая $\lambda = 0,03$, получаем: в первом случае $i = 0,0492$, во втором случае $i = 0,1968$.
Гидравлический уклон возрастает прямо пропорционально квадрату изменения скорости, а, следовательно, прямо пропорционально квадрату расхода.
128. Вода движется в трубопроводе по направлению от А к Б. Средняя скорость движения 0,61 м/сек, расход 11,12 л/сек (подсчитано в предположении $\lambda = 0,03$, полученные цифры должны быть в дальнейшем уточнены).
129. Мощность насоса 2,54 л. с.
130. Диаметр всасывающей трубы 250 мм, максимальная высота всасывания, учитывая сопротивления, должна быть меньше 5 м.
131. Для решения задачи пользуемся расходными характеристиками заданных трубопроводов. Опираясь на формулы (14) и (35), составляем уравнение потерь в последовательном трубопроводе (пренебрегая местными потерями), решив которое получаем полный напор $H = 25,9$ м. Ту же задачу можно решить по уравнению (25).
132. Основываясь на том, что в разветвленном трубопроводе общие потери в отдельных ветвях одни и те же, составляем уравнение на основе формулы (25) соотношения расходов в обеих ветвях.
Решив, получаем, что через водомер проходит $\frac{1}{10}$ общего расхода через магистраль. Ту же задачу можно решить по формулам (35).
133. Пользуясь формулами (14) и (35), исходя из равенства потерянных напоров, получаем: $Q_1 = 5,67$ л/сек, $Q_2 = 3,70$ л/сек, $Q_3 = 0,63$ л/сек. Ту же задачу можно решить по формуле (25).
134. Эта задача похожа на предыдущие, так как давления в конце каждой из ветвей одинаковы (атмосферное), следовательно, данная задача решается либо по формулам (35), либо по формуле (25), опираясь на равенство потерянных напоров в отдельных ветвях.
Определяем, какая часть полного расхода (пока неизвестного) проходит через каждую ветвь (как задача 121), а затем решаем задачу о последовательном трубопроводе: магистраль и одна из ветвей (аналогично задаче 120). В результате получаем общий расход 43,6 л/сек; через первую ветвь 28,4 л/сек, через вторую 15,2 л/сек.
135. Перепад давления на всей длине трубы равен $0,0048$ кг/см², или 48 мм водяного столба, или 3,5 мм ртутного столба.
136. Давление повысится на 4,4 кг/см².

137. Принимая для воды $E_{ж} = 20\,000 \text{ кг/см}^2$, для железа $E_{т} = 2\,000\,000 \text{ кг/см}^2$ получаем $E = 16\,000 \text{ кг/см}^2$.
138. Приблизительно через 4 сек. (3.99).
139. Давление увеличивается на $12,75 \text{ кг/см}^2$ на каждый метр потерянной скорости.
140. Давление возрастет на $19,15 \text{ кг/см}^2$.
141. Сосуд опустится вследствие реактивного действия струи.
142. При отсутствии потерь, в первом случае действующие силы взаимно уравновешиваются. Во втором случае на бак действует сила $9,42 \text{ кг}$.
143. $P = 19,6 \text{ кг}$.
144. 458 об/мин. Крутящий момент около 600 кгм.
-

СОДЕРЖАНИЕ

| | Стр. |
|---|------|
| Предисловие | 3 |
| 1. Основные понятия. Задачи 1—17 | 5 |
| 2. Закон Паскаля. Задачи 18—31 | 12 |
| 3. Давление жидкости на плоскую стенку. Задачи 33—46 | 18 |
| 4. Давление жидкости на криволинейную стенку. Задачи 47—53 | 25 |
| 5. Закон Архимеда и его приложения. Задачи 54—66 | 28 |
| 6. Уравнение Бернулли. Задачи 67—81 | 32 |
| 7. Ламинарное и турбулентное движение жидкости. Задачи 82—90 | 37 |
| 8. Сопротивление при ламинарном движении жидкости. Задачи 91—99 | 43 |
| 9. Местные потери. Задачи 100—104 | 48 |
| 10. Истечение через отверстия, насадки и водосливы. Задачи 105—116 | 53 |
| 11. Потери в трубопроводах. Задачи 117—135 | 59 |
| 12. Неустановившееся движение жидкости и удар в трубопроводах Задачи 136—140 | 71 |
| 13. Давление потока жидкости на преграду и на погруженное в поток тело. Задачи 141—149 | 74 |
| 14. Номограммы некоторых расчетных формул | 79 |
| 15. Использование счетной линейки для гидравлических расчетов | 92 |
| 16. Справочные таблицы | 99 |
| 17. Ответы | 107 |

Ответств. редактор **К. И. Страхович** Техн. редактор **М. Ф. Клименко**
Корректор **К. А. Зюнова**

Время сдачи в набор 15/VII 35 г. Подписано к печ. 26/IV-36 г. Стат.
форм. бум. 82×110¹/₃₂. Кол. печ. листов 7¹/₄. Учетн. авторск. листов 6,3.
Леноблгортит № 75С4. Заказ № 3441. Инд. ЭГ. 15-5-2. Тираж 3000 экз.

1-я тип. издательства Ленингр. Облесполкома и Совета, 2-я Советская, 7.

