

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
ТИХООКЕАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра гидравлики, водоснабжения и водоотведения

Решения задач размещены на сайте zadachi24.ru

Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика

методические указания по выполнению контрольной работы
для студентов-бакалавров направления 270800.62 БНД «Нефтегазовое дело»
профиль НД «Эксплуатация и обслуживание объектов транспорта и хранения
нефти, газа и продуктов»

Составитель: Пуляевский А.М.

Хабаровск
ТОГУ - ЦДОТ
2013

Методические указания и задания к контрольным работам по курсу
«Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика» для студентов
направления 270800.62 БНД «Нефтегазовое дело»
составлены на кафедре ГВиВ Тихоокеанского госуниверситета
д.т.н., проф. А.М. Пуляевским на основе методических указаний к курсу
«Гидравлика и аэродинамика», разработанных на кафедре Гидравлики ВЗИСИ
к.т.н. Абрамовым Л.К. и к.т.н. Николаевым В.Г.
(зав. кафедрой д.т.н., проф. И.И. Мечитов)

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика представляет собой один из разделов механики жидкости, в которой изучаются основные законы движения и равновесия как капельных, так и газообразных жидкостей.. Основой для изучения является успешное овладение методами математического анализа и глубокое знание основных законов физики, теоретической механики, термодинамики.. теории тепло- и массообмена.

Знание законов гидравлики и нефтегазовой гидромеханики необходимо для решения многих технических вопросов из области нефтегазового дела. Расчет различного назначения трубопроводов (воздуховодов, водопроводов, газо- и нефтепроводов, воздуховодов, водопроводов), конструирование гидравлических и воздуходушных машин (насосов, компрессоров и вентиляторов), а также решение целого ряда других инженерных задач требуют глубокого понимания законов гидравлики и нефтегазовой гидромеханики.

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ, ПОДЛЕЖАЩИЕ ИЗУЧЕНИЮ

Курс гидравлики и нефтегазовой гидромеханики включает следующие основные вопросы, подлежащие изучению.

Свойства жидкостей и газов. Основные физические свойства жидкостей и газов: текучесть и вязкость, плотность и удельный вес, сжимаемость, и температурное расширение.

Гидростатика. Силы, действующие в жидкости. Гидростатическое давление и его свойства. Дифференциальные уравнения Эйлера равновесия жидкости и газа в поле силы тяжести. Закономерности изменения давления и температуры в однородной атмосфере, при изотермическом и политропическом процессах. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Поверхность уровня. Абсолютное и избыточное давление, вакуум. Сила давления жидкости на плоские и криволинейные поверхности. Центр давления. Закон Архимеда и плавание тел [1, с.24-55] ; [2, с.16-43].

Основы кинематики жидкости и газа. Методы Эйлера и Лагранжа описания движения жидкости. Виды движения и деформаций элементарной частицы жидкости. Вращение жидкой частицы.

Основы теории потенциальных течений. Потенциал скорости и функция тока. Гидродинамическая сетка течения. Источники и стоки. Сложение потенциальных потоков.

Основы теории вихревых течений. Циркуляция скорости и теорема Томсона. Подъемная сила. Теорема Н.Е. Жуковского.

Подобие гидродинамических процессов. Основы теории моделирования. Основы теории гидравлических сопротивлений.

Основные уравнения гидродинамики. Основные понятия кинематики и динамики жидкости: линия тока, элементарная струйка, живое сечение, расход, средняя скорость. Виды движения жидкости. Дифференциальные уравнения Эйлера движения жидкости. Уравнение неразрывности для сточных и бессточных областей. Уравнение Д.Бернулли для струйки и потока идеальной и реальной (вязкой) жидкости. Смысл членов уравнения Д.Бернулли с энергетической и геометрической точек зрения. Учет неравномерности распределения скоростей по сечению потока. Уравнение Д. Бернулли для газов. Движение газа в трубе переменного сечения [1, с. 63-152]; [2, с.44-54] .

Гидравлические сопротивления и потери напора. Физический смысл гидравлических сопротивлений и потерь напора. Виды потерь напора: по длине и местные. Связь потерь напора и потерь давления. Режимы движения: ламинарный и турбулентный. Число Рейнольдса. Физический смысл. Закономерности при ламинарном режиме: распределение скоростей по сечению и потери напора.

Механизм турбулентного движения. Перемешивание и пульсация скоростей и давления. Осредненные по времени скорости. Касательные напряжения и распределение скоростей по сечению. Формула Дарси-Вейсбаха. Абсолютная и относительная шероховатость. Зависимость коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса. Опыты Никурадзе. Гидравлически гладкие и гидравлически шероховатые поверхности [1, с.166- 201]; [2, с.55-72] .

Местные гидравлические сопротивления. Механизм потерь напора. Формула Вейсбаха. Потери напора при внезапном расширении (формула Борда). Коэффициенты местных сопротивлений для различных видов сопротивлений [1, с.201-227] ; [2, с.73-98] .

Расчет напорных трубопроводов. Основные задачи расчета простого трубопровода. Обобщенные формулы для потерь напора и потерь давления. Расчет сложных трубопроводов; разветвленных; при параллельном и последовательном соединении труб. Движение в трубах некруглого сечения. Гидравлический радиус и гидравлический диаметр. Гидравлический удар в трубах, формула Н.Е.Жуковского. Кавитация в трубопроводах и гидравлических машинах. Расчет газопроводов при относительно малых и больших перепадах давления. Особенности расчета воздухопроводов (1, с.243-274); (2, с.99-127) .

Одномерные неустановившиеся потоки жидкости в трубах. Уравнение Бернулли для газов. До- и сверхзвуковые течения газа в трубах переменного сечения. Уравнение Гюгоньо. Одномерные потоки газа.

Неодномерные течения вязкой жидкости. Истечение газа , прямой скачок уплотнения.

Плоские течения газа. Сверхзвуковые течения; линии возмущения и косые скачки.

Истечение жидкости из отверстий к насадков. Истечение из малого отверстия в тонкой стенке. Определение расхода и скорости. Коэффициенты сжатия, скорости и расхода; их зависимость от числа Рей-нольдса. Уравнение траектории струи. Истечение подуровень, истечение из насадков. Виды насадков, Истечение из отверстий и насадков при переменном напоре. Особенности истечения газов. Затопленные турбулентные струи [1, с.284-307] ; [2, с. 147-166].

Относительное движение тела и жидкости. Обтекание тел потоком жидкости. Причины возникновения сил сопротивления и трения. Миделе- во сечение. Пограничный слой. Гидравлическая крупность и скорость витания [1, с. 227-242] ; [2, с. 192-204].

Основы теории подобия гидроаэродинамических явлений. Геометрическое, кинематическое и динамическое подобие. Критерии подобия. Общие сведения о моделировании [1, с.308-317]; [2, с.218-233].

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

Задание к контрольным работам составлено на основе программы курса "Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика" для направления БНД специальности № 270800.62, профиль НД, утвержденной департаментом образовательных программ и стандартов профессионального образования с учетом особенностей региона и условий организации учебного процесса Тихоокеанского государственного университета.

Таблица 1

Последняя цифра шифра	Контрольная работа	
	№1	№2
	Номера задач	
1	1, 6, 11, 16, 21	26, 31, 36, 41, 46
2	2, 7, 12, 17, 22	27, 32, 37, 42, 47
3	3, 8, 13, 18, 23	28, 33, 38, 43, 48
4	4, 9, 14, 19, 24	29, 34, 39, 44, 49
5	5, 10, 15, 20, 25	30, 35, 40, 45, 50
6	1, 10, 14, 18, 22	30, 34, 38, 42, 50
7	2, 6, 11, 20, 24	29, 33, 37, 41, 49
8	3, 7, 11, 20, 24	28, 32, 36, 45, 48
9	4, 8, 12, 16, 25	27, 31, 40, 44, 47
0	5, 9, 13, 17, 21	26, 35, 39, 43, 46

Студент выполняет одну контрольную работу, состоящую из пяти задач. Номера задач выбираются согласно последней и предпоследней цифрам зачетной книжки студента (табл.1). Если предпоследняя цифра шифра четная, включая 0, номера задач принимаются через одну, начиная с первой в табл. 1; нечетной предпоследней цифре – так же, но начиная со второй. Например, если последние две цифры шифра – 12, следует решать задачи под №№ 7, 17, 27, 37, 47; если 89 – №№ 4, 12, 25, 31, 44; числовые значения указанных в таблице величин - по предпоследней цифре шифра (табл.2). Контрольные работы, не соответствующие учебному шифру, не рассматриваются и возвращаются студенту.

Задачи необходимо решать самостоятельно, поскольку только так можно выявить возможные недоработки и непонимание теоретического материала. В условиях задач не всегда указаны все цифровые значения параметров, необходимых для решения (например, плотность, коэффициент вязкости или другой параметр), следует использовать рекомендуемую справочную литературу и по ходу решения задачи давать ссылки на соответствующий источник с указанием номеров страниц или таблиц.

Решение задач должно выполняться с соблюдением размерности всех входящих величин в системе СИ.

Приступая к решению задачи, необходимо обдумать схему решения, выписать нужные формулы, нарисовать расчетную схему.

Задачи № 1-5. Необходимо, предварительно изучив основное уравнение гидростатики и условие равновесия разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах, научиться правильно применять их при решении конкретных практических задач.

Задачи № 6-10. Надо уметь определять силу гидростатического давления на плоские и криволинейные цилиндрические поверхности; помни те, что для определения силы давления на криволинейную поверхность необходимо предварительно найти горизонтальную и вертикальную составляющие искомой силы. Результирующую силу F следует определять по формуле $F = \sqrt{F_r^2 + F_v^2}$. Поскольку наибольшие трудности возникают при определении вертикальной составляющей силы гидростатического давления, надо предварительно научиться выполнять построение тел давления для простейших геометрических фигур.

При решении задач № 11-15 следует применить уравнение Д. Бернулли для невязкой жидкости уравнение неразрывности для капельной кпд- кости в гидравлической форме; особое внимание следует обратить на правильность выбора контрольных сечений и плоскости отсчета энергии.

В задачах № 16-20 по расчету простых трубопроводов необходимо использовать уравнение Д.Бернулли для потока реальной (вязкой) жидкости; следует обратить внимание на различие в подходе к решению задач в зависимости от того, что является искомой величиной напор или расход В случае, когда необходимо определить расход, целесообразно предварительно определить значение коэффициента гидравлического трения λ по формуле Шифринсона, а затем, определив расход и область сопротивления трубопровода, уточнить

значение коэффициента λ , если область сопротивления трубопровода окажется отличной от квадратичной.

Наибольшую трудность представляют задачи № 21-25 на определение диаметра трубопровода при известных H и Q . Решение этих задач может быть получено - либо методом последовательных приближений, либо графоаналитическим методом.

Задачи № 26-30. Расчет сложных трубопроводов (параллельное соединение труб, разветвленный трубопровод); эти задачи рекомендуется выполнять с использованием при расчете потерь напора по длине обобщенных параметров: удельного сопротивления A ($h_l = ALQ^2$), сопротивления S ($h_l = SQ^2$), расходной характеристики K ($h_l = Q^2/K^2$), которые берутся из справочной литературы в предположении квадратичной области сопротивления. В окончательный результат вводится, если необходимо, поправка на неквадратичность.

В задачах № 31-35 коэффициенты истечения из отверстия определяется по графикам [1, с.298J; (2, с.Л 47)] в зависимости от числа Рейнольдса. При расчете истечения из насадков необходимо помнить, что если относительная длина насадка слишком мала, а напор достаточно велик, то истечение будет происходить как из отверстия. В задаче № 34 следует принять во внимание, что истечение происходит при переменном напоре.

В задачах * 41-45 два расчетных случая: газопроводы с малым перепадом давлений (когда относительный перепад $\Delta P/P_1 < 5\%$) и газопроводы с большим перепадом давления ($\Delta P/P_1 > 9\%$); в последнем приходится учитывать сжимаемость газа. Выбрав одну из расчетных формул (см. [1]; [2]; [4]), и произведя вычисления, необходимо проверить величину $\Delta P/P_1$ и, в случае необходимости, повторить вычисления, воспользовавшись другой зависимостью.

При выполнении задач № 46-48 студент должен четко представлять себе физическую природу возникновения сил сопротивления при относительном движении тела и жидкости, понимать разницу между сопротивлением трения и давления. Коэффициенты сопротивления определяются в зависимости от формы и соотношения размеров тела, а также числа Рейнольдса (при малых числах). В последнем случае при определении относительной скорости обтекания или размеров тела решение находится методом последовательных приближений.

В задаче № 49 следует обратить внимание на характер изменения скорости и расхода вдоль осесимметричной и плоской затопленной струи.

Решение задачи № 50 требует знания общих условий обеспечения подобия гидроаэродинамических явлений и правил моделирования с использованием частных критериев подобия.

ВНИМАНИЕ

Контрольная работа выполняется в школьной тетради ручкой и карандашом (для схем). Вначале записывается условие задачи полностью, затем составляется

схема с необходимыми дополнительными построениями, указываются исходные числовые данные задачи (Дано:). Далее приводится решение с подробными пояснениями.

Все записи и схемы должны выполняться аккуратно и быть читаемыми. Титульный лист работы оформляется по правилам ЕСКД.

Работы, выполненные с нарушениями этих требований, отклоняются без рассмотрения.

ЗАДАЧИ

1. К цилиндру подключен двух жидкостной ртутно-водяной манометр и технический пружинный манометр (рис.1). Определить показания технического манометра P_m , если известны: h_1, h_2, h_3, h_4 и H .

2. Определить разность давлений в точках А и В, находящихся на одном уровне в двух трубопроводах, наполненных водой, если розница уровней ртути в дифференциальном манометре равна h (рис .2.)

3. Определить необходимую высоту дымовой трубы котельной, ели она должна создать тягу ΔP при средней температуре дымовых газов t_r и температуре окружающего воздуха t_e . Плотности дымовых газов и воздуха принять для нормальных условий ($t=0^\circ\text{C}$ и $P=9,8 \times 10^4 \text{ па}$) соответственно равными $\rho_{ог}=1,27 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_{ов}=1,29 \text{ кг/м}^3$.

4. Определить величину вакуума в цилиндре А, заполненном воздухом, если в трубке "жидкостного вакуумметра ртуть поднялась на высоту h (рис 3).

5. В закрытом резервуаре с водой, температура которой 20°C , при помощи воздушной подушки поддерживается избыточное давление P_0 . Каковы показания ртутного манометра h , который установлен таким образом, что нижний уровень ртути находится на H ниже уровня воды в резервуаре (рис. 4.)

6. Найти начальное подъемное усилие T , если сила тяги действует ' нормально к плоскости прямоугольного затвора шириной B (рис.5). Глубина воды перед затвором h_1 , , за ним- h_2 ?, расстояние по вертикали от свободной поверхности до оси шарнира a . Угол наклона затвора к горизонту $\alpha=60^\circ$, вес затвора G . Трением в шарнире пренебречь.

7. Вода, находящаяся под избыточным давлением P , заполняет резервуар через трубу диаметром d (рис.6.). Определить минимально необходимый диаметр шарообразного поплавка, обеспечивающего автоматическое закрытие клапана при наполнение резервуара, если известны размеры a и b . весом поплавка и рычага пренебречь.

8. Определить полную силу давления жидкости на деталь, имеющую форму четверти круглого цилиндра радиусом R и укрепленную на болтах (рис .7.). Под

каким углом к горизонту на деталь направлена сила давления, если напор в жидкости Ж равен H , длина детали вдоль образующей равна b ?

9. Вертикальная цилиндрическая цистерна с полусферической крышкой (рис.8) до самого верха заполнена жидкостью Ж. Диаметр цистерны D , высота ее цилиндрической части H . Манометр М показывает манометрическое давление P_m . Найти силу, растягивающую болты А, и горизонтальную силу, разрывающую цистерну по сечению 1-1.

9

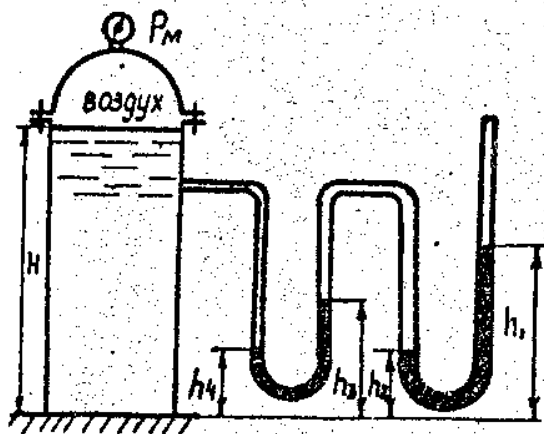


Рис. 1

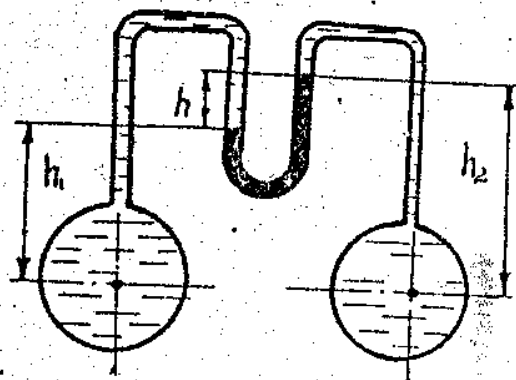


Рис. 2

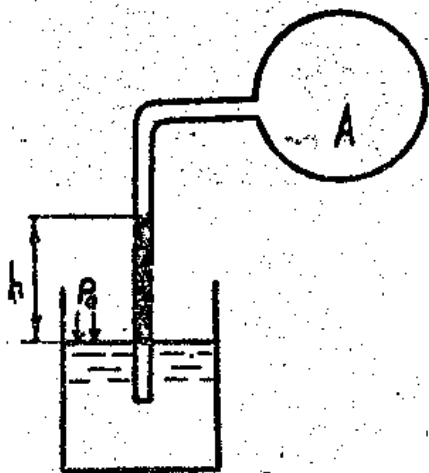


Рис. 3

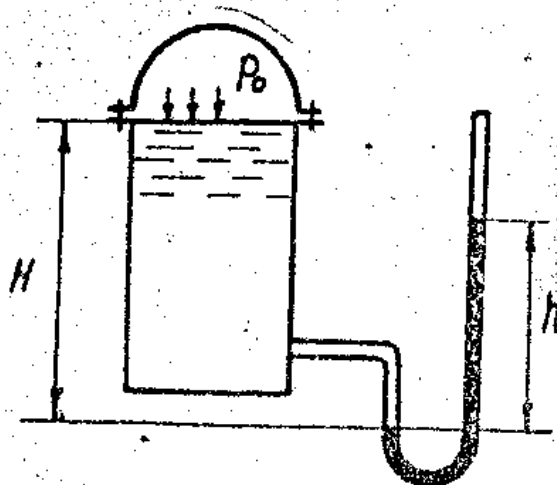


Рис. 4

Рис. 5

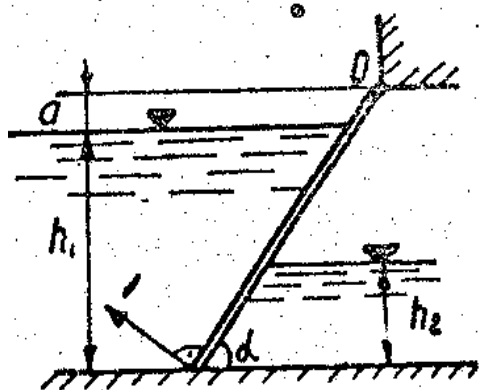


Рис. 5

Рис. 6

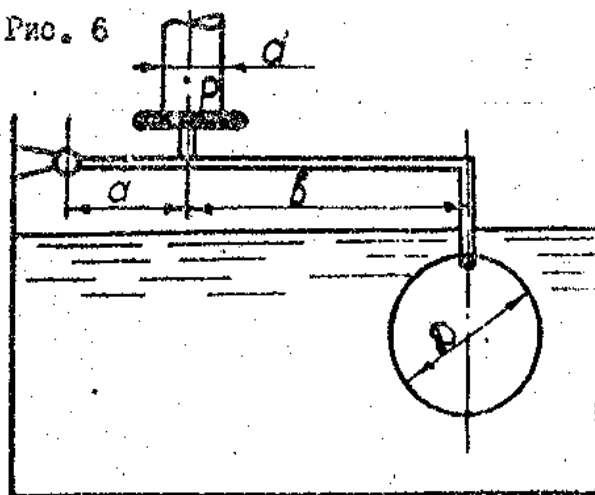


Рис. 6

10. Горизонтальный цилиндрический резервуар, закрытый полусферическими днищами, заполнен жидкостью Ж. Длина цилиндрической части резервуара L , диаметр D (рис.9.). Манометр показывает манометрическое давление P_m . Температура жидкости 20°C . Определить силы, разрывающие резервуар по сечениям :1-1,2-2,3-3.

11. Какую разницу уровней ртути h_g покажет ртутный манометр, присоединенный к напорной трубке (рис.10), если средняя скорость воды в сечении трубопровода диаметром d , составляет v . Трубопровод бесшовный, стальной, после нескольких лет эксплуатации.

12. На нагнетательном патрубке вентилятора диаметром d_1 (рис.2.), подающего воздух ($\rho_v=1,2 \text{ кг/м}^3$) с расходом Q при избыточном давлении P_1 , установлен диффузор с диаметром выходного сечения α_2 . Определить давление на выходе из диффузора. Изменение плотности воздуха и потери в диффузоре не учитывать.

13. При внезапном расширении трубопровода скорость жидкости в трубе меньшего диаметра равна v_1 (рис. 12). Определить разность показаний пьезометров h , если отношение диаметров труб $D: d=2$: потерями напора пренебречь.

14. Вода из открытого резервуара с расходом Q вытекает по трубопроводу переменного сечения с диаметрами d_1, d_2 и d_3 (рис. 13). Определить необходимый напор H , гидравлическими потерями пренебречь. Построить пьезометрическую кривую.

15. Определить теоретический расход воды, проходящий через водомер Вентури, установленный под углом $\alpha=30^\circ$ к горизонту (рис 14), если разность уровней, показываемая дифференциальным ртутным манометром, равна h . Большой и

меньший диаметры водомера соответственно равны d_1 и d_2 , расстояние между сечениями L .

16. Какое давление P_0 необходимо поддерживать в резервуаре А ($H_1=2\text{м}$), чтобы через кран (рис 15), расположенный на пятом этаже здания ($H=20\text{м}$), и имеющий коэффициент сопротивления $\zeta=3$, проходил расход воды Q ? На участке трубопровода длиной L_1 труба имеет диаметр d_1 , на участке L_2 - диаметр d_2 . Температура воды $t=20^\circ\text{C}$, абсолютная шероховатость стенок трубопровода $K_s=0,2\text{мм}$.

17. По трубопроводу, внезапно расширяющемуся от диаметра d_1 до диаметра d_2 протекает вода с расходом Q (рис 16). Определить, какую разность уровней ртути протекает дифференциальный манометр при прямом и обратном направлениях воды. Потерями напора на трение по длине пренебречь.

18. По сифону (рис .17) диаметром d , длина которого L , вода с расходом Q переливается из резервуара А в резервуар Б. определить разность горизонтов воды в резервуарах и величину наибольшего вакуума в сифоне. Расстояние от уровня воды в резервуаре А до центра тяжести сечения X-X равно $z=3\text{м}$. а расстояние от начала сифона до сечения x-x $0,4L$. Трубы стальные сварные, умеренно заржавевшие, температура воды $t=20^\circ\text{C}$ /

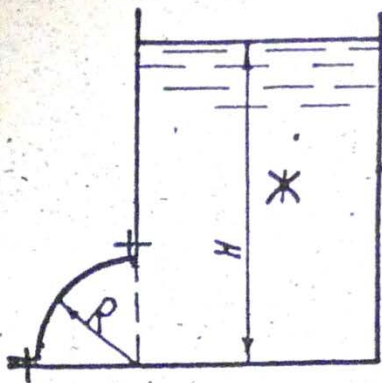


Рис. 7

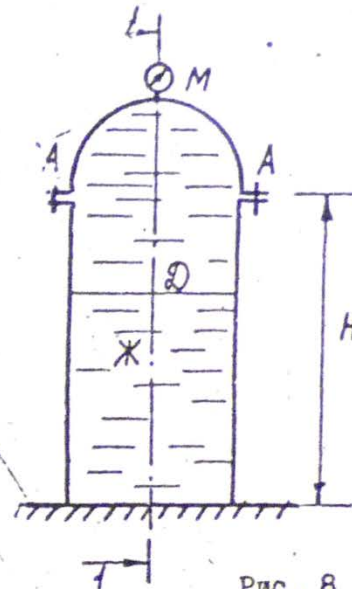


Рис. 8

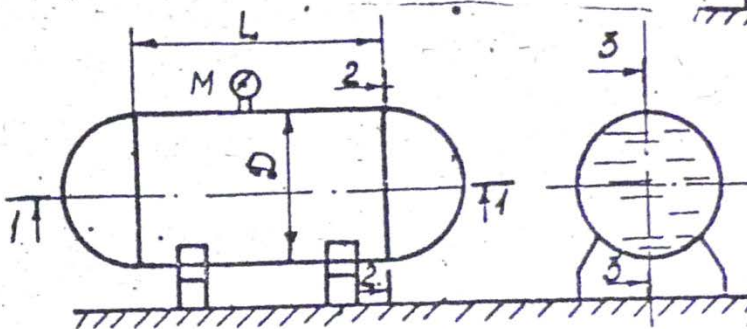


Рис. 9

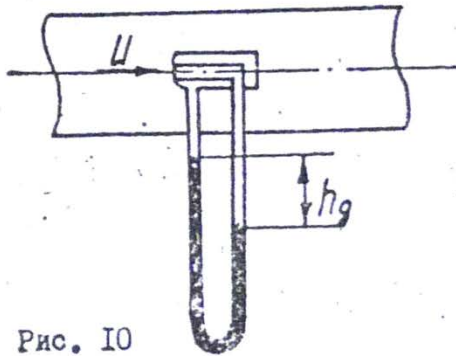


Рис. 10

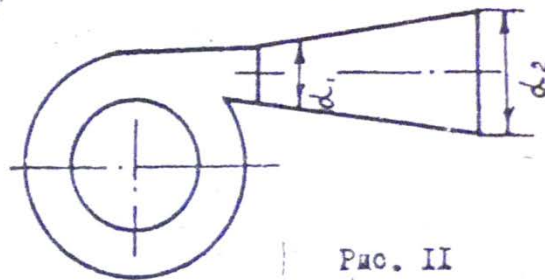


Рис. 11

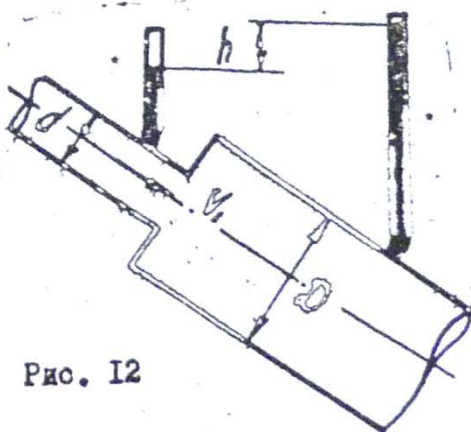


Рис. 12

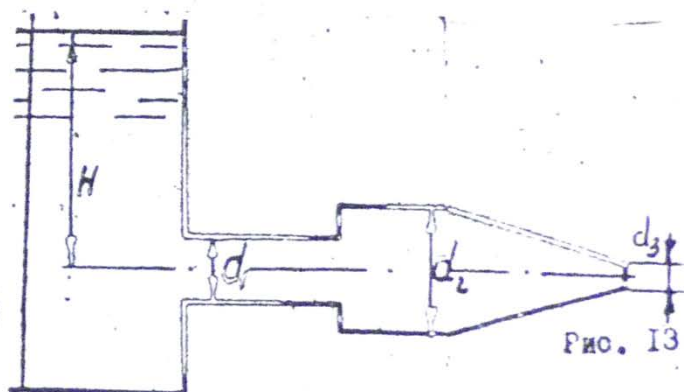


Рис. 13

Рис. 14

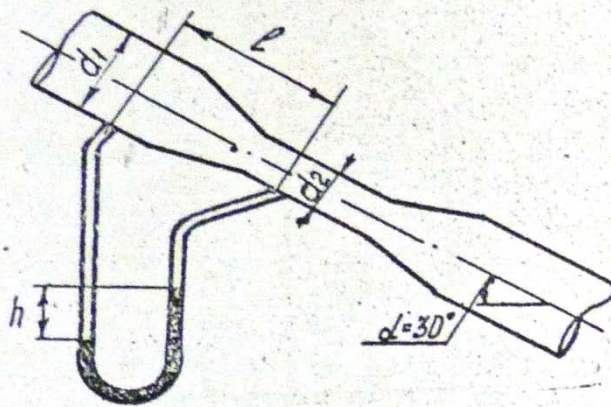


Рис. 15.

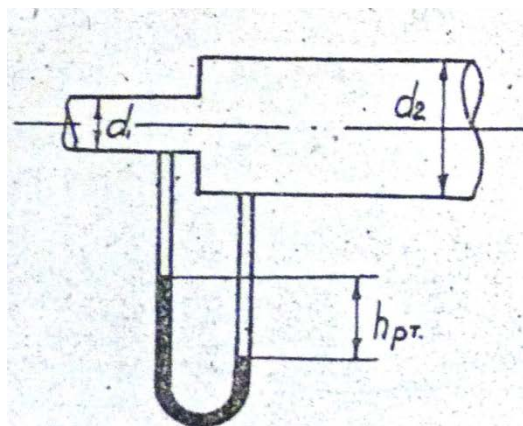
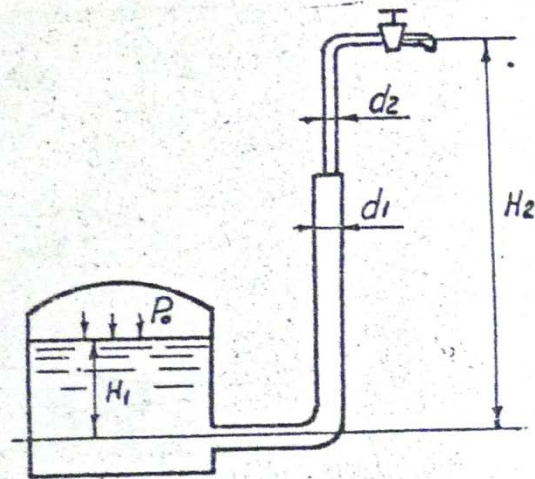


Рис. 16

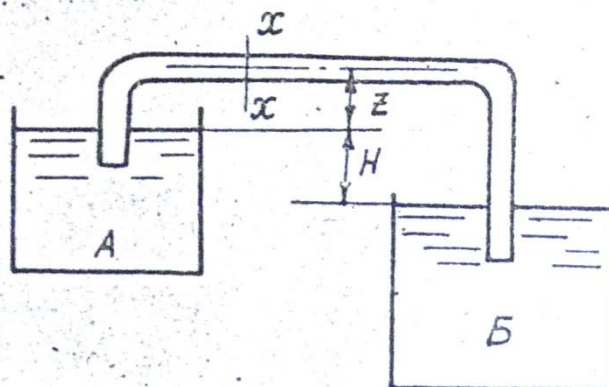


Рис. 17

19. Вода из водоема поступает в береговой колодец по самотечной трубе (рис.18.) длиной l и диаметром d . Определить, какой разнице уровней воды H в водоеме и колодце расход воды по трубе составит Q . Труба бетонная, бывшая в употреблении, температура воды $t=15^{\circ}\text{C}$.

20. На трубопроводе установлен пьезометр (рис. 19). После полного открытия вентиля в конце трубопровода разница уровней воды в резервуаре и пьезометре составила h . Определить расход воды, проходящей через трубопровод диаметром d и длиной l . Колена стандартные, трубы стальные, новые.

21. Необходимо определить диаметр сифона (рис. 17.) для пропуска расхода Q . Разность горизонтов воды в резервуаре составляет H , длина сифона L . Трубы чугунные, бывшие в употреблении, температура воды $t=15^{\circ}\text{C}$. Коэффициент сопротивления сетки на входе в сифон принять равным $\xi=4$.

22. Определить диаметр самотечной трубы, падающей воду из водоема в береговой колодец (рис.18), если разница уровней составляет H , а требуемый расход равен Q . Труба бетонная, бывшая в употреблении, температура воды $t=10^{\circ}\text{C}$, числовое значение коэффициента сопротивления на вход в трубопровод с сеткой принять из задачи 19 (по табл. 2).

23. Определить минимальный возможный диаметр трубопровода длиной l (рис. 19) при пропуске по которому расхода Q понижение уровня воды в пьезометре не превысило значение h . Труба стальная, сварная, умеренно заржавевшая, колена стандартные с углом поворота 90° .

24. Определить диаметры участков двух стальных трубопроводов ($K_s=0,5$ мм) длиной $l=1000$ м при их параллельном соединении (рис.20), если расходы воды через каждый трубопровод составляют соответственно Q_1 и Q_2 . Суммарные потери давления равны ΔP . Коэффициенты местных гидравлических сопротивлений трубопроводов ξ_1 и ξ_2 , температура воды $t=20^{\circ}\text{C}$.

25. Определить диаметр всасывающей трубы насоса, чтобы вакуум на входе в насос не превышал бы $P_{\text{вак}}$. Ось насоса расположена на высоте h над уровнем воды в колодце (рис. 21). Расход воды, подаваемой насосом, составляет Q , длина всасывающей трубы l , трубы стальные, сварные, умеренно заржавевшие, температура воды $t=15^{\circ}\text{C}$. Числовые значения коэффициентов на вход в трубопровод с сеткой $\xi_{\text{вх}}$ и $\xi_{\text{к}}$ принять по данным табл. 2.

26. Из открытого резервуара А вода по трубопроводу, состоящему из трех стальных труб, перетекает в резервуар Б (рис.22) Длины и диаметры труб соответственно равны $l_1, d_1, l_2, d_2, l_3, d_3$. Разность уровней в резервуарах H поддерживается постоянной. Определить расход жидкости, поступавшей в резервуар Б, а также распределение расходов между параллельно соединёнными трубопроводами. Местные потери напора не учитывать.

27. Вода из бака по трубопроводу длиной l_3 и диаметром d_3 поступает в разветвленный трубопровод, одна из ветвей которого изменяет диаметр d_1 и длину l_1 , соответственно d_2, l_2 . Определить расход воды, поступающей в точки 1 и 2, если напор равен H (рис. 23).

28. Трубопровод транспортирующий воду с расходом Q , разветвляется в точке А на три параллельные ветви. Определить распределение расхода в параллельных трубопроводах, если давление в точках А и Б (рис. 24) соответственно равны P_1 и P_2 . Трубы чугунные, не новые.

29. Вода в резервуарах А поступает в количестве Q и по системе трубопроводов в два открытых бака, напоры которых H_1 и H_2 (рис.25). Определить расходы, подаваемые в каждый из бачков, а также напор H в резервуаре А.

30. Водоснабжение объекта С производится из двух водонапорных башен (рис. 26), напоры которых H_1 и H_2 . Стальные трубопроводы имеют соответственно длины и диаметры l_1, d_1 и l_2, d_2 . Определить: 1) максимально возможный водозабор в точке С, равном H_c ; 2) расход, поступающий из одной башни в другую при отсутствии водозабора в точке С.

31. Из отверстия d в тонкой стенке резервуара (рис 27) вытекает вода, имеющая температуру t^0C . Отверстие расположено на высоте h над поверхностью земли. Постоянный напор воды в резервуаре H . Определить расход и скорость истечения, а также расстояние x , на котором струя коснётся поверхности земли.

32. Два резервуара, напоры в которых поддерживаются постоянными и равными соответственно H_1 и H_2 , соединены между собой короткой трубой l и диаметром d (рис 28.) Определить расход воды, перетекающий из одного резервуара в другой, если температура жидкости t^0C .

33. В нижней части цилиндрического резервуара присоединена короткая труба диаметром d , на которой установлен кран (рис. 29). Расход воды, поступающей в резервуар, равен Q . Пренебрегая потерями напора по длине, определить коэффициент сопротивления крана, при котором напор воды стабилизируется и станет равным H .

34. Определить время, за которое разность уровней в двух резервуарах уменьшится с H_1 до H_2 (рис. 30). Уровень воды в правом резервуаре поддерживается постоянным, диаметр левого резервуара D , резервуары соединены между собой трубопроводом диаметром d (эквивалентная абсолютная шероховатость $K_{\Sigma} = 0,5$).

35. Определить длину трубопровода диаметром d , при которой расход вытекающей воды будет такой же, как из отверстия того же диаметра. Напор воды равен H . Коэффициент гидравлического трения трубы принят равным $\lambda = 0,03$. Температура воды $t^{\circ}\text{C}$.

36. Подача воздуха в количестве Q осуществляется по трубопроводу прямоугольного сечения (стороны a, b) длиной l . как изменятся потери давления при замене трубы прямоугольного сечения на круглую, при сохранении неизменными расхода и скорости в трубе? Плотность воздуха ρ , кинематический коэффициент вязкости ν . Трубы стальные, не новые.

37. К концам участка длиной l воздухопровода прямоугольного сечения ($a \times b$) подключен микроманометра, заполненный спиртом (удельный вес спирта $\gamma_{\text{сп}} = 7740 \text{ Н/м}^3$). При угле наклона измерительной трубки α . Показание манометра h (рис 31). Расход воздуха Q , удельный вес воздуха γ . Определить коэффициент гидравлического трения трубопровода λ .

38. Подобрать размеры прямоугольного сечения воздухопровода (сторона a, b), если падение давления на участке длиной l составило Δp . Весовой расход воздуха G . В расчетах принять значение коэффициента гидравлического трения $\lambda = 0,025$, отношение $b/a = 2$. Плотность воздуха ρ .

39. Определить потерю давления в трубопроводе, состоящем из двух последовательных участков переменного прямоугольного сечения (соотношение $a_1 \times b_1, a_2 \times b_2$) длиной l_1 и l_2 , если расход в начале трубопровода Q , а на границе участков отбирается расход q . Плотность газа ρ , кинематический коэффициент вязкости ν . Трубы стальные. Потерей давления в местных сопротивлениях можно пренебречь.

40. Вода при температуре $t^{\circ}\text{C}$ протекает в количестве Q в горизонтальной трубе кольцевого сечения, состоящей из двух концентрических оцинкованных стальных труб. Внутренняя труба имеет наружный диаметр D_1 , а наружная труба имеет внутренний Диаметр D_2 . Найти потери напора по длине L .

41.* Определить потери давления в газопроводе диаметром и длиной, Плотность газа $\rho = 0,79 \text{ кг/м}^3$, динамический коэффициент вязкости, $\mu = 12,0 \text{ н*с/м}^2$.

42.*Определить минимально начальное давление газа P_1 необходимое для пропуска весового расхода G по стальному газопроводу, диаметром d и длиной l , чтобы давление в конце трубопровода было бы не менее P_2 . Удельный вес газа $\gamma=8 \text{ н/м}^3$, кинематический коэффициент вязкости $\nu=14,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

43.*Определить диаметр газопровода, при котором обеспечивается пропуск расхода Q по трубопроводу длиной l если начальное давление P_1 , конечное P_2 . Удельный вес газа $\gamma=7,5 \text{ н/м}^3$, кинематический коэффициент вязкости $\nu=14,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, эквивалентная абсолютная шероховатость $K_{\Sigma}=0,15$.

44.*Определить, какой расход может пропустить газопровод диаметром d и длиной l если создать на концах его разность давлений $\Delta P=P_1-P_2$. Плотность газа $\rho=0,72 \text{ кг/м}^3$, кинематический коэффициент вязкости $\nu=15,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, эквивалентная абсолютная шероховатость $K_{\Sigma}=0,1 \text{ мм}$.

45.*Стальной газопровод диаметром d и длиной l предназначен для пропуска массового расхода M . Выяснить, не упадет ли давление в конце, трубопровода ниже P_2 , если в начале газопровода создать давление P_1 . Удельный вес газа $\gamma=7,7 \text{ н/м}^3$, кинематический коэффициент вязкости $\nu=16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

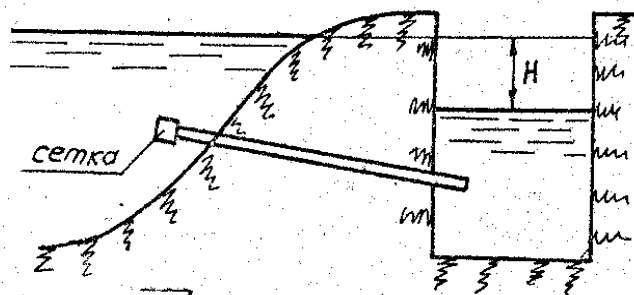


Рис. 18

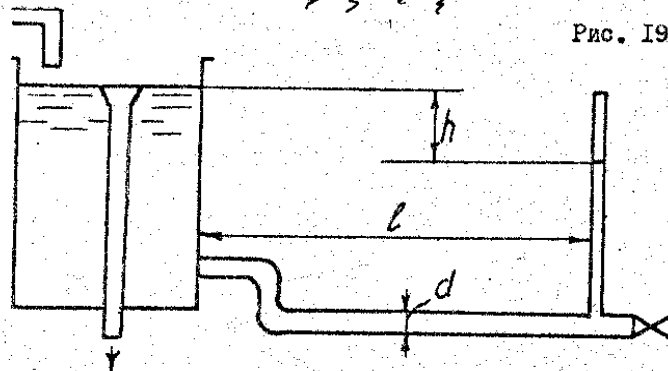


Рис. 19

Рис. 20

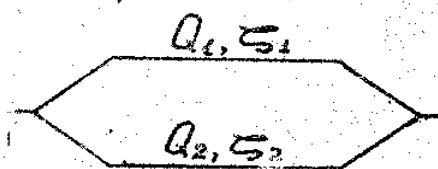


Рис. 21

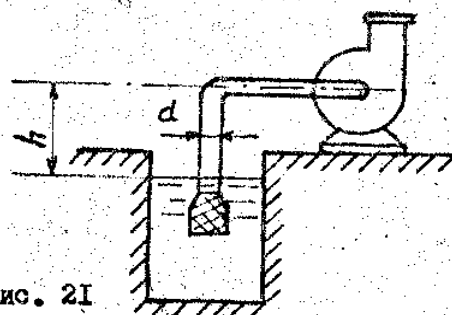


Рис. 22

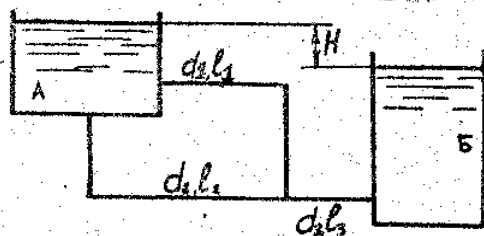
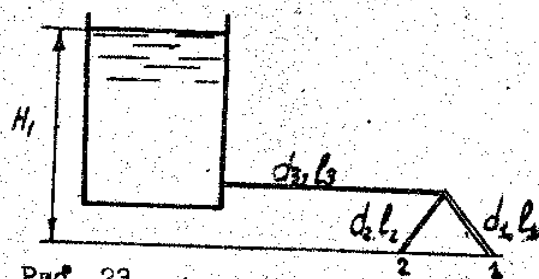


Рис. 23



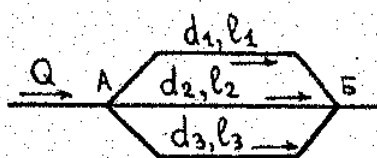


Рис. 24

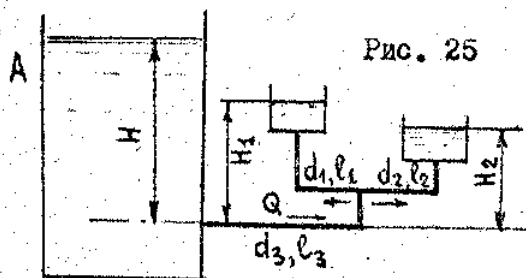


Рис. 25

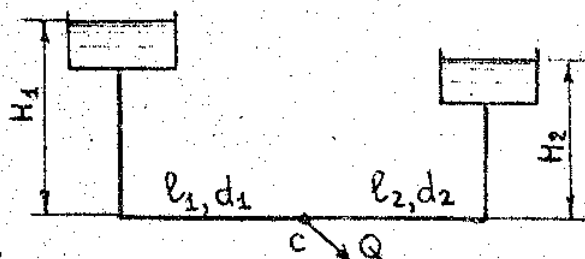


Рис. 26

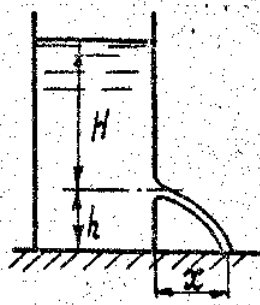


Рис. 27

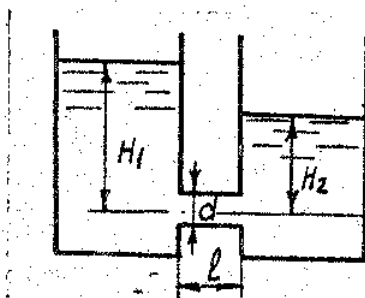


Рис. 28

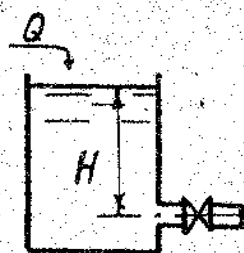


Рис. 29

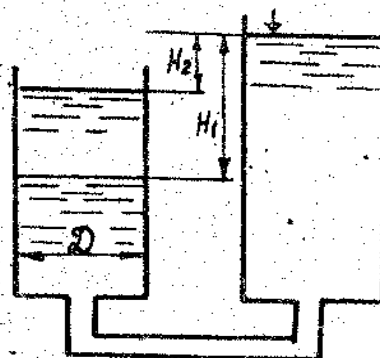


Рис. 30

46. Определить силу, с которой воздушный поток, движущийся со скоростью V , стремится опрокинуть цилиндрическую дымовую трубу диаметром D и высотой H . Удельный вес воздуха γ .

47. Определить гидравлическую крупность шарообразной частички диаметром d с удельным весом γ , которая равномерно осаждается в жидкости (или газе), имеющей плотность ρ .

48. Определить скорость витания шара (диаметр шара d , его плотностью ρ), находящегося в восходящем потоке жидкости (или газа), удельный вес которой γ .

49. Определить расход и скорость воздуха в сечении струи, расположенной на расстоянии L . От круглого сопла, если выходное отверстие сопла имеет диаметр d ; а скорость выхода воздуха из него – V .

50.* Стальной новый трубопровод диаметром d , по которому буде транспортироваться вода, для определения величины сопротивлений продувается воздухом в аэродинамической лаборатории. Определите необходимую скорость воздуха при продувке, если скорость воды V_v , $t_0=20$ 0с.

*В задачах № 41-45 удельный вес, плотность, вязкость и расход газа даны для нормальных условий (температура 0°C, давление 760 мм.рт. столба).

Таблица 2

Номер задачи	Наименование величины и единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	$H, \text{ м}$	2,5	3,0	2,8	2,3	3,2	2,2	2,7	3,5	3,6	2,9
	$h_1, \text{ мм}$	650	680	620	590	730	560	710	630	750	700
	$h_2, \text{ мм}$	320	300	310	330	350	230	290	280	380	350
	$h_3, \text{ мм}$	570	610	650	670	690	720	590	610	650	710
	$h_4, \text{ мм}$	280	250	230	260	300	350	220	260	340	380
2	$h, \text{ мм}$	670	520	740	560	790	850	470	610	530	820
3	$P, \text{ Па}$	350	400	300	380	300	420	280	360	450	290
	$t_r, ^\circ\text{C}$	400	350	370	320	420	300	380	280	250	300
	$t_3, ^\circ\text{C}$	30	20	25	10	20	30	15	25	20	30
4	$h, \text{ мм}$	230	580	320	610	280	470	520	370	200	290
5	$P_0, \text{ МПа}$	0,06	0,05	0,055	0,04	0,06	0,075	0,045	0,065	0,075	0,03
	$H, \text{ м}$	3	2,5	2,0	3,5	2,8	3,2	2,2	1,8	2,3	3,7
6	$h_1, \text{ м}$	5,0	4,0	3,0	4,5	6,0	3,5	5,5	3,0	5,0	6,0
	$h_2, \text{ м}$	2	1,5	1,0	2	3,0	1,0	2,0	1,5	3,0	3,5
	$a_2, \text{ м}$	1,0	0,8	0,6	0,7	0,9	0,5	0,8	1,4	1,5	0,5
	$a_3, \text{ кН}$	30	20	15	25	35	15	30	20	25	30
	$b, \text{ м}$	4,0	2,0	3,0	2,5	3,0	3,5	2,0	3,0	3,5	4
7	$P, \text{ МПа}$	0,50	0,30	0,40	0,60	0,35	0,55	0,45	0,60	0,40	0,65
	$d, \text{ мм}$	100	120	80	70	130	80	70	90	100	50
	$a, \text{ мм}$	200	100	120	150	100	130	110	100	150	120
	$b, \text{ мм}$	1000	500	600	750	600	650	660	700	750	840
8	Σ	керосин	вода	бензин	нефть	глицерин	вода	нефть	бензин	керосин	глице
	$R, \text{ м}$	2,0	1,5	2,5	3,0	1,0	2,0	1,5	3,0	2,0	2,5
	$H, \text{ м}$	6,0	5,0	5,0	6,0	4,0	5,5	3,5	5,0	4,0	4,0
	$b, \text{ м}$	3,0	2,5	3,0	2,0	3,0	2,5	3,0	2,5	1,5	3,0

9	Σ ΣH , м P_{Σ} , кПа	глицерин 2,6 4,0 5,0	керосин 1,4 3,0 11,0	бензин 1,8 3,5 16,0	нефть 2,4 4,2 18,5	вода 2,0 3,8 6,0	глицерин 1,8 4,6 19,5	бензин 2,5 5,0 16,0	нефть 1,6 3,8 21,5	вода 2,2 4,4 23,5	керосин 2,6 3,9 25,0
10	Σ L , м ΣP , кПа	вода 1,0 1,0 15,0	керосин 1,5 1,0 10,0	бензин 2,5 1,5 35,5	глицер. 3,5 2,0 18,7	нефть 2,0 1,0 26,5	вода 4,0 2,0 34,2	бензин 3,7 2,5 21,0	глицер. 3,0 1,5 16,3	керосин 4,5 2,5 23,6	нефть 2,0 1,5 37,8
11	v , м/с d , мм	6,5 100	3,0 80	4,5 120	5,5 150	2,5 100	5,0 120	6,0 140	7,0 80	4,0 150	3,5 80
12	Q , м ³ /с d_1 , мм d_2 , мм P_1 , Па	0,8 200 400 1000	4,5 500 700 1200	1,0 250 350 800	3,0 400 550 900	1,5 300 500 1100	0,4 150 300 1200	2,5 350 500 1000	3,6 450 600 900	1,3 250 350 1200	1,7 300 500 1000
13	v_1 , м/с	4,5	2,0	4,0	3,5	5,0	2,5	6,0	3,0	5,5	6,5
14	d_1 , мм d_2 , мм d_3 , мм Q , м ³ /с	200 250 150 0,4	350 400 290 1,0	160 200 140 0,3	350 400 300 0,8	220 260 180 0,5	120 160 80 0,1	230 280 190 0,55	200 250 150 0,35	240 290 190 0,6	280 230 140 0,45
15	h , мм пр.ст. d_1 , мм d_2 , мм ℓ , мм	700 150 70 400	450 180 60 600	600 200 75 350	800 140 60 450	500 250 140 600	650 160 60 400	550 200 70 500	750 240 100 600	400 140 60 350	650 200 100 500
16	Q , м ³ /ч ℓ_1 , м ℓ_2 , м d_1 , мм d_2 , мм	3,0 15 10 40 20	14,0 20 15 70 30	2,5 25 10 30 16	4,5 20 15 40 20	7,0 20 12 50 20	10,0 18 14 60 30	2,5 16 12 60 16	8,5 18 14 60 20	5,5 16 10 36 16	12 20 16 70 30
17	Q , м ³ /ч d_1 , мм d_2 , мм	70 80 250	150 140 300	60 60 200	100 110 240	85 100 250	130 130 320	65 70 200	95 120 250	100 90 100	110 120 300

Продолжение табл.2

Номер задачи	Наименование величины и единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
18	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,02	0,005	0,025	0,003	0,015	0,004	0,03	0,0015	0,012	0,014
	$d, \text{ мм}$	90	60	120	40	100	50	130	30	80	70
	$L, \text{ м}$	20	15	22	18	14	12	25	10	16	12
	$\rho, \text{ кол.}$	4,5 0,3	3,8 0,25	3,9 0,22	4,2 0,2	4,1 0,18	3,4 0,15	4,3 0,20	4,4 0,26	4,0 0,24	3,5 0,17
19	$Q, \text{ л/с}$	9,42	84,7	18,5	58,8	21,1	37,7	13,6	63,6	24,1	30,5
	$d, \text{ мм}$	100	300	140	250	150	200	120	260	160	180
	$L, \text{ м}$	100	200	150	230	140	180	130	240	190	170
	$\rho, \text{ рх.}$	3,5	4,3	3,9	4,5	3,7	4,2	3,8	4,0	3,4	3,6
20	$L, \text{ м}$	8,2	4,7	6,3	5,1	5,5	5,2	6,1	6,4	5,0	5,7
	$d, \text{ мм}$	20	50	30	40	70	60	80	100	120	90
	$L, \text{ м}$	14	25	25	22	20	30	26	36	45	32
	$Q, \text{ л/с}$	20	5	25	3	15	4	30	1,5	12	14
21	$H, \text{ м}$	5,9	1,9	2,4	6,1	1,6	2,6	2,7	4,2	3,0	6,5
	$L, \text{ м}$	22	16	24	20	15	14	28	11	18	14
22	$Q, \text{ л/с}$	30,5	24,0	18,5	63,6	13,6	84,7	57,8	9,5	21,5	37,8
	$H, \text{ м}$	2,0	2,5	2,5	1,8	2,5	1,5	2,0	2,6	2,2	2,0
	$L, \text{ м}$	180	200	160	250	140	220	250	120	150	180
	$Q, \text{ л/с}$	1,8	0,7	4,3	2,7	12	6,7	19	16	25	32
23	$H, \text{ м}$	6,3	8,2	4,7	5,1	5,5	5,2	5,7	6,1	6,4	5,0
	$L, \text{ м}$	15	14	25	22	20	30	32	26	36	45
24	$Q, \text{ л/с}$	13	6,6	2,6	22	26	28	38	50	88	176
	$Q, \text{ л/с}$	38	25	15	53	100	70	120	180	195	315
	$L, \text{ м}$	18	20	8	14	10	8	14	28	24	10
	$\Delta P, \text{ Па}$	12	18	40	10	4	10	3	5	12	8
		$4,3 \times 10^5$	$4,9 \times 10^5$	$6,2 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	2×10^5	$1,1 \times 10^5$	1×10^5	$0,6 \times 10^5$	$0,75 \times 10^5$	$0,6 \times 10^5$

25	Q, λ/c h, M l, M P _{Box} , Па ξ_{BX} ξ_K	5 4 9 6,5x x10 ⁻⁴ 0,7 0,20	20 4,5 15 6,6x x10 ⁻⁴ 1,2 0,30	30 3 8 5,6x x10 ⁻⁴ 0,8 0,25	23 3,5 12 4,5x x10 ⁻⁴ 1,4 0,15	6 4,5 10 6,3x x10 ⁻⁴ 1,5 0,23	37 3,5 10 4,8x x10 ⁻⁴ 1,6 0,28	13 2,5 7 4,2x x10 ⁻⁴ 1,3 0,26	2 2,0 6 6x10 ⁻⁴ 1,0 0,24	11 2,5 5 4,4x x10 ⁻⁴ 1,3 0,22	16 3,5 9 5x10 ⁻⁴ 0,9 0,23
26	l ₁ , M l ₂ , M l ₃ , M d ₁ , MM d ₂ , MM d ₃ , MM H, M	30 45 100 40 50 80 5,0	20 50 50 50 70 90 3,2	40 25 75 70 40 80 5,2	100 60 200 100 90 125 6,0	150 75 100 50 40 70 9,0	50 100 70 70 80 100 4,8	10 18 12 25 32 40 3,0	20 26 70 32 40 50 7,2	10 30 12 50 80 90 1,4	60 220 150 80 100 125 6,9
27	l ₁ , M l ₂ , M l ₃ , M d ₁ , MM d ₂ , MM d ₃ , MM H, M	58 110 200 90 100 125 6,1	25 18 65 40 32 50 7,0	32 40 95 40 50 80 5,2	55 95 64 70 80 100 5,0	17 10 11 32 25 40 3,1	50 23 55 70 50 90 3,0	28 9 11 80 50 90 1,4	35 20 80 70 40 80 6,0	210 57 145 100 80 125 7,0	140 90 110 50 40 70 8,7
28	Q, λ/c l ₁ , M l ₂ , M l ₃ , M d ₁ , MM d ₂ , MM d ₃ , MM p ₁ , Па p ₂ , Па	8 100 200 350 40 50 70 3,4x x10 ⁻⁵ 2x10 ⁻⁵	15 200 250 330 50 70 80 6x10 ⁻⁵ 4x10 ⁻⁵	12 50 160 200 40 70 90 4,5x x10 ⁻⁵ 4x10 ⁻⁵	44 400 360 430 100 125 150 5,6x x10 ⁻⁵ 5x10 ⁻⁵	110 600 500 1000 150 200 250 4,7x x10 ⁻⁵ 4,1x x10 ⁻⁵	180 300 360 220 200 250 300 3,5x x10 ⁻⁵ 3,32x x10 ⁻⁵	250 700 2000 1100 200 300 350 4,9x x10 ⁻⁵ 4,1x x10 ⁻⁵	75 1000 2000 1700 125 150 200 6x10 ⁻⁵ 4x10 ⁻⁵	475 250 250 380 300 400 500 4,2x x10 ⁻⁵ 4,1x x10 ⁻⁵	60 1000 500 1200 100 100 200 5,5x x10 ⁻⁵ 4,3x x10 ⁻⁵

Продолжение табл.2

Номер задачи	Наименование величины и единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
29	Q , л/с	24	12	17	13	19	19	18	21	20	7
	l_1 , м	50	200	300	200	100	300	100	200	100	300
	l_2 , м	300	200	100	400	100	50	300	300	200	100
	l_3 , м	200	100	150	250	350	300	500	400	200	300
	d_1 , мм	75	100	75	60	60	100	50	150	75	60
	d_2 , мм	100	100	125	75	100	50	125	50	100	50
	d_3 , мм	150	125	150	100	125	150	100	175	150	75
	H_1 , м	17	14	6	15	2	3	7	5	4	3
30	H_2 , м	22	12	12	13	15	12	13	2	9	10
	H_1 , м	18	32	30	31	18	35	44	22,8	22	32
	H_2 , м	16	22	28	33	33	32	34	24,2	16	39
	l_1 , м	600	1000	500	150	400	450	1500	300	700	600
	l_2 , м	300	200	500	200	700	500	200	400	150	650
	d_1 , мм	400	200	150	200	300	150	300	250	200	100
	d_2 , мм	500	300	250	150	100	250	200	300	125	200
	H_c , м	15	20	25	30	16	28	32	21	14	35
31	d , °C	1	2	3	1,5	2,5	3,5	0,8	0,4	0,9	1,2
	t , °C	10	20	30	15	25	35	16	18	22	28
	H , м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
32	H_1 , м	20	12	16	14	12	10	8	6	4	2
	H_2 , м	25	12	8	2	6	15	16	5	18	18
	l_1 , м	3	4	2	20	0	1	13	11	10	1
	l_2 , см	4	8	3	10	1,5	1	9	9	18	12
33	d , мм	10	20	30	20	10	10	25	50	30	20
	t , °C	20	16	18	22	24	25	17	19	21	23
33	d , мм	2,5	5	7,5	10	2	6	15	20	5	10
	Q , л/с	0,027	0,1	0,22	0,36	0,013	0,11	0,62	0,94	0,05	0,14
33	H , м	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

34	$H, \text{ M}$ $H_2, \text{ M}$ $d, \text{ M}$ $l, \text{ M}$ $d, \text{ MM}$	10 12 15 15	5 3 1,5 40 10	8 12 60 15	12 6 3 100 25	14 10 2,5 150 30	16 4 3,5 200 75	9 5 1,2 300 50	11 1,5 2,3 1000 100	13 10 1,8 800 50	7 2 3,2 500 150
35	$d, \text{ CM}$ $H, \text{ M}$ $t, ^\circ\text{C}$	1 10 10	1,5 8 14	2 6 16	2,2 4 18	1,3 12 20	2,5 14 25	3 16 30	0,8 18 24	1,8 20 35	3,5 22 22
36	$Q, \text{ M}^3/\text{c}$ $a, \text{ CM}$ $b, \text{ CM}$ $l, \text{ M}$ $v, \text{ M}^2/\text{c}$ $\rho, \text{ KG/M}^3$	0,25 12 20 10 1,5x $\times 10^{-6}$ 1,2	0,1 8 12 20 16x $\times 10^{-6}$ 1,25	0,05 5 10 25 14x $\times 10^{-6}$ 1,28	0,1 5 10 30 15,5x $\times 10^{-6}$ 1,27	0,2 10 10 15 16,5x $\times 10^{-6}$ 1,26	0,5 15 20 26 14,5x $\times 10^{-6}$ 1,2	0,6 15 30 18 14x $\times 10^{-6}$ 1,22	1 20 30 20 15x $\times 10^{-6}$ 1,23	0,3 12 15 14 16x $\times 10^{-6}$ 1,24	0,1 10 12 6 1,2
37	$L, \text{ M}$ $d, \text{ O}$ $l, \text{ MM}$ $Q, \text{ M}^3/\text{c}$ $r, \text{ H/M}^3$ $a, \text{ CM}$ $b, \text{ CM}$	5 30 12 0,2 12,7 10 20	6 80 33 0,08 12,6 5 10	4 60 14 0,03 12,5 4 7	3 50 13 0,04 12,4 5 8	7 45 35 0,2 12,3 10 12	8 60 32 0,6 12,2 15 20	9 30 21 0,5 12,1 15 30	12 45 27 1,4 12,0 20 40	10 60 42 0,3 11,9 15 15	5 20 30 0,1 11,8 10 10
38	$\rho, \text{ M}$ $\Delta\rho, \text{ Па}$ $\sigma, \text{ H/C}$ $\rho, \text{ KG/M}^3$	100 300 1,2 1,25	150 230 2,4 1,26	200 160 3,6 1,2	25 150 4,9 1,29	300 20 6,1 1,24	35 3220 1,2 1,23	40 460 2,4 1,28	450 120 3,6 1,27	50 300 4,9 1,2	55 130 6,1 1,28
39	$a_1, \text{ CM}$ $b_1, \text{ CM}$ $a_2, \text{ CM}$ $b_2, \text{ CM}$ $l_1, \text{ M}$ $l_2, \text{ M}$ $Q, \text{ M}^3/\text{c}$ $Q, \text{ M}^3/\text{c}$ $\rho, \text{ KG/M}^3$ $v, \text{ M}^2/\text{c}$	15 20 10 12 12 22 0,52 0,2 1,21 $\times 10^{-6}$	15 30 12 25 6 7 0,61 0,3 1,22 $\times 10^{-6}$	20 30 18 25 8 5 1,07 0,4 1,23 $\times 10^{-6}$	12 15 10 12 15 10 0,34 0,1 1,24 $\times 10^{-6}$	10 12 8 10 11 9 0,12 0,05 1,25 $\times 10^{-6}$	10 10 8 10 9 9 0,2 0,09 1,26 $\times 10^{-6}$	5 10 5 10 8 10 0,1 0,03 1,27 $\times 10^{-6}$	5 10 4 9 14 10 0,06 0,02 1,28 $\times 10^{-6}$	8 12 5 10 7 11 0,12 0,04 1,29 $\times 10^{-6}$	12 20 10 18 13 15 0,24 0,1 1,5x $\times 10^{-6}$

Окончание табл.2

Номер задачи	Наименование величины и единицы измерения	Предпоследняя цифра шифра									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
40	D_1 , см D_2 , см ℓ , м Q , м ³ /с t , °C	10 12 100 0,01 20	5 8 150 0,006 10	12 15 80 0,026 14	15 20 50 0,034 16	10 12 10 0,02 18	6 8 110 0,004 22	12 15 90 0,02 24	15 18 70 0,03 26	20 25 40 0,04 28	7 10 20 0,016 30
41	d , мм ℓ , м M , кг/с P_1 , Па	100 7000 0,3 5×10^5	75 100 0,02 $0,5 \times 10^5$	100 4500 0,2 4×10^5	150 3000 0,7 3×10^5	50 1000 0,005 $0,4 \times 10^5$	100 5000 0,2 8×10^5	200 6000 1,1 5×10^5	150 3500 0,1 2×10^5	250 5500 1,5 3×10^5	150 6500 0,5 4×10^5
42	G , н/с d , мм ℓ , м P_1 , Па	2 100 4600 2×10^5	0,05 50 1200 3×10^5	7 150 3200 4×10^5	3 100 6800 5×10^5	2 75 110 4×10^5	11 200 6300 5×10^5	1 150 3600 2×10^5	15 250 5600 2×10^5	5 150 6700 3×10^5	2 100 5100 7×10^5
43	Q , м ³ /с ℓ , м P_1 , Па P_2 , Па	0,02 100 0,5 $x10^5$ 0,49 $x10^5$	0,2 4300 5 5×10^5 4 4×10^5	0,3 6500 8 8×10^5 5,5 5×10^5	0,005 1000 0,5 $x10^5$ 0,45 $x10^5$	0,75 3500 4 4×10^5 2×10^5	1,0 5500 8 8×10^5 7×10^5	0,22 4900 9 9×10^5 8×10^5	1,5 5400 4 4×10^5 2×10^5	0,1 3300 3 3×10^5 2,96 $x10^5$	0,5 6600 5 5×10^5 3,8 $x10^5$
44	d , мм ℓ , м P_1 , Па	100 7000 5×10^5	75 100 0,5 $x10^5$	100 4500 4×10^5	100 5000 8×10^5	150 3000 3×10^5	50 1000 0,4 $x10^5$	150 3500 2×10^5	200 6000 5×10^5	150 6500 4×10^5	250 5500 3×10^5

45	d , мм e , м M , кг/с P_1 , Па P_2 , Па	250 5000 1,5 3×10^5 1×10^5	150 6000 0,6 4,2x $x \times 10^5$ 3×10^5	200 5500 1,6 5,1x $x \times 10^5$ 3×10^5	150 3000 0,15 2,2x $x \times 10^5$ 1,5x $x \times 10^5$	50 900 0,006 1x $x \times 10^5$ 0,5x $x \times 10^5$	150 3200 0,75 3,5x $x \times 10^5$ 1×10^5	100 5200 0,22 7,5x $x \times 10^5$ 7×10^5	100 4700 0,2 4,2x $x \times 10^5$ 2×10^5	75 110 0,02 0,5x $x \times 10^5$ 0,4x $x \times 10^5$	100 6700 0,31 5,5x $x \times 10^5$ 2×10^5
46	V , м/с D , м H , м γ , Н/м ³	20 2 40 11,8	25 1,5 30 11,9	30 1 20 12,0	35 0,8 10 12,0	40 1,5 25 12,1	45 1 15 12,2	50 1,3 20 12,3	15 1,7 24 12,4	10 0,9 12 12,5	23 0,8 11 12,6
47	d , мм ρ , кг/м ³ γ , Н/м ³	0,01 1,2 29400	0,02 1,25 24500	0,05 1,23 44100	0,1 1000 63700	0,2 1,15 53900	0,3 1,29 24500	0,5 840 34300	1 1,29 25500	2 1000 58800	3 13600 25000
48	d , мм γ , Н/м ³ ρ , кг/м ³	1 9800 2500	2 8200 3000	3 9300 6000	0,1 9800 5000	0,2 12,6 2600	0,3 7700 3600	0,01 11,8 2500	0,5 9800 7000	0,05 12260 4500	0,02 12,2 2600
49	V , м/с L , м d , м	5 3 0,01	7,5 4 0,1	10 5 0,05	12,5 3,5 0,08	15 4,5 0,15	17,5 5,5 0,2	20 6 0,1	22,5 6,5 0,15	25 7 0,25	30 7,5 0,06
50	d , м V , м/с	0,1 1	0,2 1,5	0,3 1,2	0,15 1,3	0,25 1,4	0,05 0,8	0,2 2	0,1 1,5	0,3 1,1	0,05 1,3

