

532 (07)

Г 325



ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

Темнов В.К.

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ
ГИДРОАЭРОМЕХАНИКЕ

ЧЕЛЯБИНСК
1979

Сборник задач является учебным пособием к курсам "Механика жидкости и газа", "Гидроаэромеханика", "Гидравлика и аэродинамика", "Гидравлика" для механических, энергетических и строительных специальностей. Он может быть использован при проведении практических занятий и для выдачи домашних и контрольных заданий.

Подобляющее большинство задач имеет десять вариантов исходных данных, что при ограниченном общем числе задач дает возможность обеспечить студентов индивидуальными домашними заданиями, а на практических занятиях в аудитории – привлечь к активному участию в решении задач как можно больше студентов. Особенно полезны в последнем случае задачи, в которых выявляется влияние одного или нескольких параметров на характеристики потока или какого-либо гидравлического устройства.

В сборник вошел ряд классических задач из учебной литературы [1-8]; темы некоторых задач заимствованы из других сборников [10-12]. Многие задачи составлены автором.

Некоторые справочные данные, необходимые для решения задач, приводятся в конце сборника. На с. 115-118 даются указания по решению задач повышенной трудности. При решении типовых задач может быть использовано пособие "Примеры гидравлических расчетов". (Под редакцией А.Д.Альтшуля. М., Стройиздат, 1976).

Рецензенты: кафедра гидравлики Московского ордена Ленина энергетического института; проф., докт. техн. наук Завьялов Г.А. и доц., канд. техн. наук Политов В.С. (Челябинский государственный университет).

И/696479

© ЧЕЛЯБИНСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

1979

І. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

І-І. Как изменяется плотность воды на большой глубине, при постоянной температуре?

І-2. Жидкость, полностью заполняющая жесткий герметичный сосуд, подогревается с $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до t_2 (см. таблицу). Как при этом изменится давление, если первоначально оно было атмосферным?

Можно ли избежать такого большого повышения давления при данном нагреве и каким образом?

Вариант	І	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$t_2, ^\circ\text{C}$	25	30	35	40	45	30	35	40	45	50
Жидкость	Масло М -20					Вода				

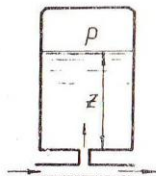
І-3. Модули упругости воды и масла при атмосферном давлении соответственно: $E_B = 2100$ МПа, $E_H = 1500$ МПа. Какими они будут при давлениях $p_1 = 20$ МПа и $p_2 = 200$ МПа, если температура останется прежней?

І-4. В масло АМГ-10 ($E = 1350$ МПа при $p = 0,1$ МПа) попало $n\%$ (по объему) нерастворенного воздуха. Как изменится модуль упругости при давлениях $p_1 = 0,1$ МПа и $p_2 = 2$ МПа?

Вариант	І	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$n, \%$	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,5	2	3	4	5

І-5. Полагая тропосферу политропной ($n = 1,2$), выяснить, как изменяется скорость звука в зависимости от высоты. Высота тропосферы около 14 км.

І-6. Построить характеристику пневматического аккумулятора ($D = 80$ мм, $H = 400$ мм), выражающую зависимость давления от объема поступающей жидкости при медленном и быстром наполнениях. Абсолютное давление воздуха в аккумуляторе при $Z = 0$ и $t_0 = 15^\circ\text{C}$ равно p_0 (см. таблицу); $p_{\max} = 10 p_0$.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ_0 , МПа	0,6	0,2	0,5	0,7	0,1	0,8	0,3	0,9	0,4	1,0

I-7. Как изменятся объем и вязкость масла МС-20 в гидравлической системе, если в результате ее длительной работы температура масла повысится с $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до t_2 (см. таблицу) Первоначальный объем масла $W_0 = 0,2 \text{ м}^3$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
t_2 , $^\circ\text{C}$	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85

I-8. Плотность и кинематический коэффициент вязкости воздуха при $t_1 = 15^\circ\text{C}$ и $p_1 = 100 \text{ кПа}$ соответственно $\rho_1 = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $\nu_1 = 0,15 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить плотность и динамический коэффициент вязкости воздуха при температуре t_2 и давлении p_2 .

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
t_2 , $^\circ\text{C}$	30	5	20	40	25	10	35	45	50	0
p_2 , кПа	200	200	300	400	350	500	450	150	500	300

I-9. Давление жидкости измеряется стеклянным пьезометром. Исходя из допустимой погрешности $\Delta p/\rho \leq 0,005$, определить минимальный диаметр пьезометра, при котором можно пренебречь капиллярностью.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ , кПа	5	7	3	6	4	6	8	5	7	4
Жидкость	Вода					Керосин				

I-10. На одном из участков гидросистемы абсолютное давление падает от p_1 (см. таблицу) до $p_2 = 0,2 p_1$. Выяснить, какое максимальное количество растворенного воздуха может выделиться в расчете на единицу объема жидкости.

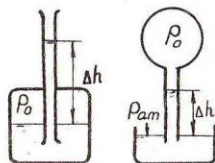
Как изменится при этом скорость звука, если жидкость поступает на данный участок, не имея нерастворенного воздуха?

При каком давлении в гидросистеме может появиться кавитация, если температура жидкости t_0 °C?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_r , МПа	10	7	4	15	1,5	1	2	4	3	2
t_0 , °C	70	40	50	60	15	20	30	15	25	35
Жидкость	Масло АМГ-10			Вода			Керосин			

II. РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

2-1. Определить абсолютное и избыточное давление p_0 в сосудах при заданной высоте столбиков жидкости Δh (см. таблицу). Как изменятся высоты Δh , если вдвое уменьшить давление p_0 ?

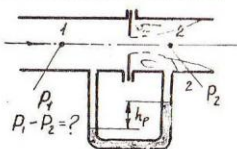


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δh , см	120	90	100	60	80	20	30	40	50	70
Жидкость	Вода		Бензин			Ртуть		Спирт		

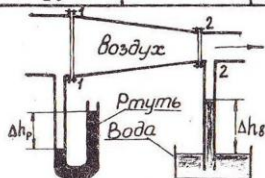
2-2. Вычислить давление на поверхности батискафа, погруженного в море на глубину h . Задачу решить без учета и с учетом изменения плотности воды в зависимости от глубины. Сравнить результаты.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , км	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2

2-3. По показанию U -образного ртутного манометра вычислить падение давления за диафрагмой.

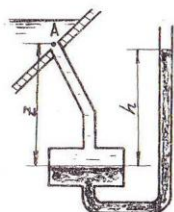


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_p , см	50	70	30	60	20	40	80	10	25	45
Жидкость в трубе	Вода		Бензин		Керосин			Нефть		



2-4. По показаниям приборов вычислить разность давлений в сечениях трубопровода I и 2.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δh_p , мм	45	50	35	20	15	30	15	10	25	20
Δh_g , мм	90	50	150	60	80	40	45	150	200	100



2-5. Давление в резервуаре с маслом измеряется ртутным чашечным манометром. Зная показание прибора h (см. таблицу) и $z = 5h$, определить давление в точке A.

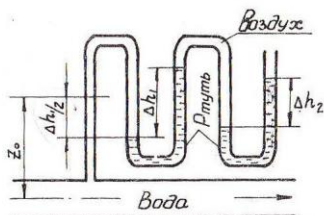
При пользовании таким манометром, как правило, пренебрегают изменением уровня ртути в чашке, считая его таким же, как и при $h = 0$. Это вносит погрешность в измерения. Каким должно быть соотношение диаметров трубки и чашки, чтобы погрешность измерения, вызванная изменением уровня ртути в чашке, не превышала 0,1 %?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , см	24	15	28	20	50	40	36	32	18	10

2-6. По показаниям батарейного манометра (см. таблицу) вычислить давление в напорном водоводе.

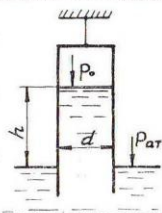
Считая сжатие воздуха в правом верхнем колене манометра изотермическим, выяснить, какими будут перепады уровней Δh_1 и Δh_2 , если давление в водоводе увеличится в 1,5 раза.

Известно: $Z_0 = 1$ м; $l_0 = 73,5$ см — длина части трубки с верхним коленом, заполненной воздухом, при атмосферном давлении (при этом $\Delta h_2 = 0$, $\Delta h_1 = 0$).



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δh_1 , см	17,6	25	59,5	31,4	47,5	56	42,6	52	37,3	63
Δh_2 , см	10	15	50	20	35	45	30	40	25	55

2-7. В стакане, опрокинутом вверх дном и подвешенном на тросике, создано абсолютное давление p_0 . Определить высоту подъема жидкости в стакане и силу натяжения тросика, если масса стакана $m = 15$ кг, его диаметр $d = 100$ мм, а давление атмосферы $p_{at} = 100$ кПа.

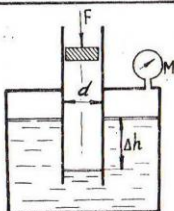


При каком давлении p_0 сила натяжения тросика будет равной нулю? Каким при этом будет уровень жидкости в стакане?

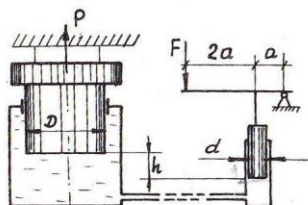
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_0 , кПа	85	89	92	86	90	30	50	80	85	90
Жидкость	Керосин			Вода		Ртуть		Глицерин		

2-8. Определить перепад уровней масла Δh в цилиндре и в сосуде при заданных показаниях манометра p_m (избыточное давление) и нагрузке на поршень цилиндра F . Масса поршня $m = 1$ кг.

Какую силу надо приложить к поршню, чтобы уровни выровнялись?

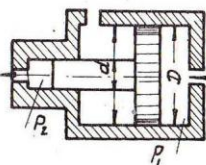


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ_m , кПа	10	-10	15	-15	20	-20	25	-25	30	-30
F , Н	30	20	90	50	500	250	900	300	500	400
d , мм	50	80	120	140	150	160	250	300	180	200



2-9. Вычислить силу опрессовки детали P при заданном усилии F на конце рычага. Известны: масса малого поршня $m = 0,3$ кг, масса большого - $M = 8$ кг, $a = 0,2$ м, $h = 0,5$ м, $D = 5d$. Рабочая жидкость - масло.

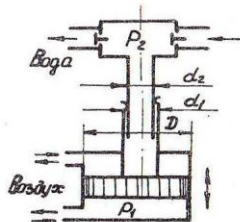
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , Н	200	250	300	500	700	600	800	400	350	450
d , мм	20	22	25	32	36	30	40	28	18	24



2-10. Какое давление P_1 необходимо подвести к цилиндру гидравлического мультипликатора, чтобы получить на выходе давление P_2 ? Соотношение диаметров $D : d = 5$. Вычислить силу давления на плунжер.

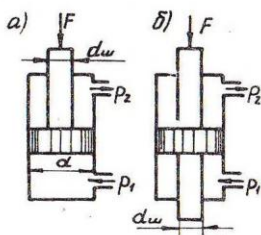
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_2 , МПа	5	10	6	16	18	24	20	8	15	12
d , мм	15	10	18	15	12	8	12	20	25	14

2-II. На чертеже представлена принципиальная схема пневмо-водяного насоса. Какое наибольшее давление в камере 2 следует ожидать при нагнетании, если к камере I подвести давление p_1 ? Известны: $D = 100$ мм, $d_1 = 1,1 d_2$.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_1 , кПа	250	300	350	400	450	500	420	380	200	150
d_2 , мм	20	16	18	22	24	25	20	14	15	12

2-12. Поршень с односторонним штоком (см. рисунок, схема а, $d = 40$ мм, $d = m d'$) равномерно движется в цилиндре, преодолевая нагрузку F . Определить необходимое для этого давление p_1 , если $p_2 = 100$ кПа. Какое давление p_1 потребуется при той же нагрузке в случае поршня с двухсторонним штоком (схема б)? Трением штока и поршня пренебречь.



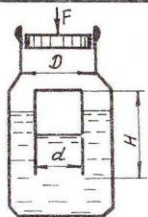
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	2	4	0,5	1	2,5	4,5	1,5	5	3,5	3
m	0,4	0,6	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,7	0,4	0,4

2-13. Гидроцилиндр имеет поршень с односторонним штоком ($d = 20$ мм, $X_{max} = 60$ мм) и пружину с жесткостью C (см. таблицу), имеющую нулевое сжатие при крайнем нижнем положении поршня. Построить графики зависимости положения поршня от давления поступающей в цилиндр жидкости $X(p)$ при заданном усилии на штоке. Выяснить, как изменится полученная характеристика, если: 1) снять нагрузку со штока ($F = 0$);



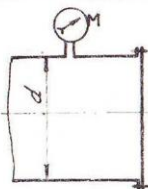
2) заменить пружину на другую, имеющую в два раза большую жесткость.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , Н	100	40	60	120	80	140	220	160	180	200
C , Н/мм	6,5	8	7,5	6	7	5,5	3,5	5	4,5	4



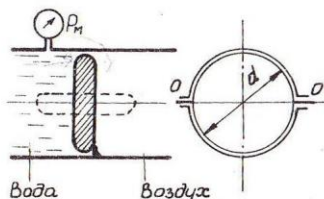
2-14. Малый сосуд ($H = 2,5d$; d см. в таблице) наполовину заполнен водой и вместе с воздухом, объем которого при атмосферном давлении составляет половину сосуда, погружен вверх дном в большой сосуд ($D = 1,5d$), также наполненный водой. Определить минимальное усилие F , при котором малый сосуд массой m погрузится на дно большого.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m ,	10	20	30	40	70	80	60	50	40	10
d , мм	20	24	28	32	36	40	35	30	225	18



2-15. Цилиндрический бак ($d = 1$ м) заполнен нефтью. Определить силу давления на торцовую стенку бака и найти центр давления (точку приложения силы давления) при заданном показании манометра P_m (избыточное давление).

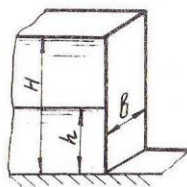
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_m , кПа	50	10	15	20	60	40	30	45	35	25



2-16. Определить момент, необходимый для открытия дискового затвора, и выяснить, как влияет на искомый момент избыточное давление, измеряемое манометром. Моментом трения в опорных узлах пренебречь. Как изменится искомый момент, если вода будет и с другой стороны затвора?

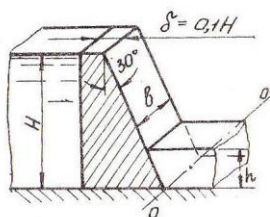
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α , м	1	1,2	1,4	2,0	0,6	0,8	1,8	1,6	0,4	0,2

2-17. Построить эпюру давления двух различных жидкостей на вертикальную стенку, определить суммарную силу давления и найти центр давления. Высота стенки $H = 1,2$ м, ширина $b = 1$ м.



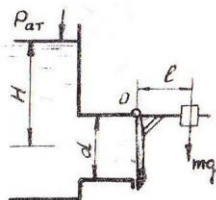
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	0,8	0,3	0,5	0,6	0,4	0,2	0,8	0,6	0,4	0,9
Жидкость	Вода и нефть			Вода и керосин			Вода и масло			

2-18. Плотина находится под двусторонним давлением воды. При заданной минимальной глубине в нижнем бьефе определить силу давления, стремящуюся сдвинуть плотину вдоль основания, и момент, опрокидывающий плотину вокруг $o-o$. Ширина плотины $b = 25$ м, максимальная глубина воды в верхнем бьефе $H = 15$ м.

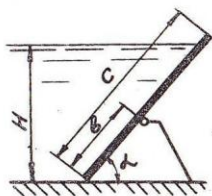


Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , м	3	2	1,5	0,5	1	2,5	4	5	3,5	4,5

2-19. Закрытие цилиндрического выпуска плоским клапаном обеспечивается с помощью груза, укрепленного на рычаге. Клапан и рычаг с грузом представляют собой жесткую конструкцию, поворачивающуюся вокруг шарнира O . При заданном плече рычага $\ell = 0,4$ м подобрать массу груза с таким расчетом, чтобы открытие клапана происходило при напоре $H = 2$ м.

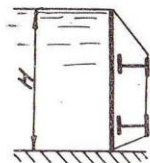


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	200	36	100	60	150	60	180	80	120	50



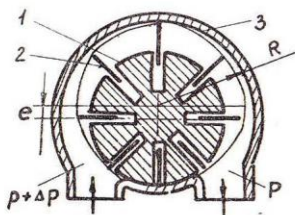
2-20. Отверстие гидротехнического сооружения закрывает опрокидывающийся плоский затвор, установленный под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту и имеющий массу $m = 240$ кг, высоту $c = 2$ м, ширину $l = 3$ м. Опорные шарниры затвора располагаются на расстоянии b (см. таблицу) от нижнего края. Выяснить, при каких напорах H затвор опрокинется и откроет отверстие для слива воды.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
b , м	0,66	0,56	0,60	0,48	0,62	0,52	0,58	0,64	0,54	0,50



2-21. Определить высотное положение двух горизонтальных балок плоского затвора с таким расчетом, чтобы сила давления на затвор распределялась между ними поровну и максимальный изгибающий обшивку момент имел минимально возможную величину.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	2	2,4	2,8	3	3,2	3,6	4	2,5	3,5	1,5



2-22. Пластинчатый гидромотор состоит из цилиндрического ротора 1 с радиальными пазами, в которые свободно входят пластины 2, и неподвижного корпуса 3 с патрубками для подвода и слива рабочей жидкости (масла). Ротор установлен эксцентрично относительно корпуса, поэтому момент сил давления на пластины с одной стороны ротора не компенсируется моментом сил давления с другой стороны. Зная размеры ротора ($K = 40$ мм, $\beta = 20$ мм), его эксцентриситет $e = 4$ мм и перепад

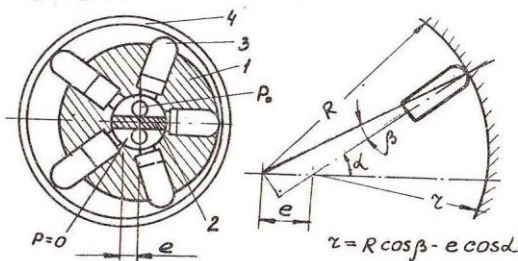
давления Δp , определить крутящий момент и радиальную силу давления жидкости на ротор. Как можно существенно уменьшить радиальную силу не изменяя крутящего момента?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δp , МПа	10	6	4	12	3	5	7	9	11	14

2-23. Радиально-плунжерный гидромотор имеет вращающийся блок цилиндров 1, свободно насаженный на неподвижную цапфу 2. По каналам в цапфе жидкость подводится к цилиндрам и сливается из них. При этом каждый цилиндр одну половину оборота соединен с каналом высокого давления p_0 , а вторую половину — со сливным каналом, в котором нулевое избыточное давление. Плунжеры 3 совершают радиальные перемещения в цилиндрах и при вращении скользят вдоль опорной поверхности неподвижного корпуса 4. При эксцентричном расположении блока цилиндров относительно корпуса и при наличии перепада давления в каналах питания и слива появляется крутящий момент, который приводит во вращение блок цилиндров. Известны: радиус опорного кольца корпуса $R = 50$ мм, эксцентриситет блока цилиндров $e = 4$ мм, диаметр плунжера $d = 8$ мм и число цилиндров n . Определить крутящий момент от одного плунжера и проиллюстрировать графиком изменение этого момента с поворотом плунжера

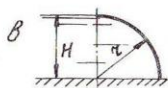
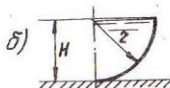
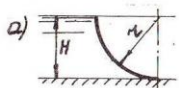
$M(\alpha)$.

Вычислить осредненное за один оборот значение крутящего момента всех плунжеров.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_0 , МПа	40	35	30	25	20	16	12	10	77	50
n	5	6	7	8	9	10	11	12	13	4

2-24. Определить силу давления воды на четверть цилиндрической поверхности при $H = \gamma$. Длина образующей цилиндра $\ell = 1$ м.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
γ , м	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,2	3,2	2,2
Схема на рисунке	а			б				в		

2-25. Сколько цилиндрических понтонов необходимо для перероски груза массой m при осадке $h \approx 0,5d$, если собственный вес одного понтона $q = 0,6$ т, его длина $\ell = 2,5$ м, а диаметр $d = 800$ мм?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m , т	2	5	7	3	6	9	4	8	10	12

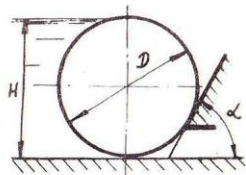
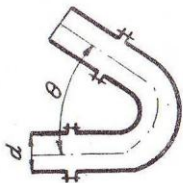


Рис. 2-26

2-26. Цилиндрический затвор ($\ell = 5D$, D см. в таблице) опирается своими краями на наклонные опорные поверхности ($\alpha = 60^\circ$), между которыми имеется отверстие для слива воды. Определить силу давления воды на затвор и подобрать его массу с таким расчетом, чтобы автоматическое вскатывание затвора по наклонной опоре начиналось при напоре $H=D$.

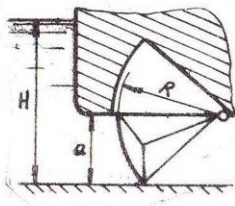
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , м	2	1,5	2,6	3	3,5	4	4,5	5	3,2	2,4

2-27. Подсчитать силу гидростатического давления на колено трубопровода ($d = 200$ мм), расположенное в горизонтальной плоскости. Избыточное давление в трубе p .



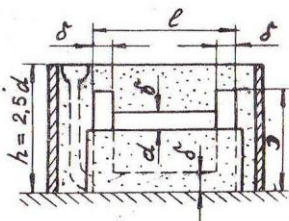
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p , кПа	1000	1500	180	2000	4200	800	320	400	500	1800
θ°	120	360	90	75	60	270	45	150	30	0

2-28. Донное водосбросное отверстие размером $a \times b = 2$ м x 4 м перекрыто секторным затвором, радиус которого $R = 2a$. Определить величину и линию действия силы давления воды на обшивку затвора при заданном напоре H .

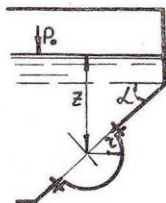


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	10	6	12	20	8	14	14	9	18	16

2-29. Из металла отливается полцилиндрическая деталь с фланцем. Зная размеры детали ($D = 1,5d$; $l = 2,5d$; $\delta = d/12$, d см. в таблице), род металла, определить наибольшее давление в форме и вертикальную силу давления на землю.

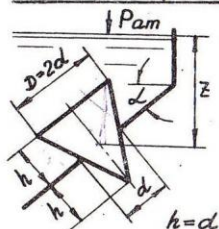


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	120	150	200	240	300	380	460	340	100	60
Металл	Дюралюминий			Сталь		Чугун		Латунь		



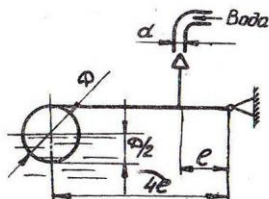
2-30. Круглое отверстие радиусом $r = 80$ мм в наклонной стенке резервуара закрыто сферической заглушкой. При заданном избыточном давлении p_0 определить силы, разрывающие и срезающие болты, которыми заглушка прикреплена к стенке резервуара, наполненного нефтью. Погружение центра отверстия $Z = 1$ м.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_0 , кПа	20	0	-10	15	-5	25	10	-15	30	18
α , град	45	60	0	30	90	0	45	90	30	60



2-31. Коническая пробка закрывает круглое отверстие диаметром $d = 100$ мм в наклонной стенке резервуара с водой. Вычислить силу, с которой пробка прижимается к стенке.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Z , м	1,2	1	0,9	0,7	0,8	0,6	1,1	1,5	1,8	0,5
α , град	0	15	45	60	30	90	75	68	52	22



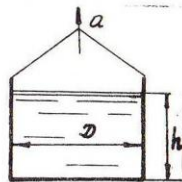
2-32. Наполнение бака контролируется поплавковым устройством. Определить диаметр шара-поплавка, при котором будет обеспечено закрытие подводящей трубы с избыточным давлением воды p . Шар изготавливается из листовой латуни толщиной $\delta = 0,5$ мм. Масса рычага $m_p = 60$ г, масса запорной иглы $m_u = 30$ г.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ , кПа	500	300	200	600	800	250	350	450	550	150
d , мм	5	6	8	4	3	5	4	6	3	10

2-33. Выяснить объем и плотность металла, если при его взвешивании на рычажных весах в воздухе зафиксирована масса m_1 , а в воде - m_2 .

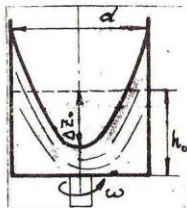
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m_1 , г	150	200	400	300	350	500	450	600	650	250
m_2 , г	135	120	260	260	300	450	400	570	500	232

2-34. Определить силу давления расплавленного металла на дно цилиндрической бадьи ($D = 500$ мм, $h = 400$ мм) при ее вертикальном подъеме с ускорением a .

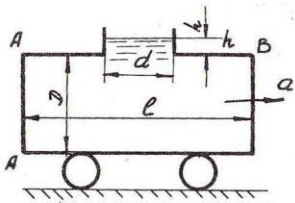


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
a , м/с ²	4	5	6	2,5	1,5	3	2	3,5	4,5	5,5
Металл	Дюралюминий			Чугун		Латунь		Сталь		

2-35. Цилиндрический стакан ($d = 200$ мм), частично заполненный маслом, равномерно вращается вокруг вертикальной оси. Наполнение неподвижного стакана $h_0 = 0,5d$. Определить понижение уровня жидкости на оси стакана при разных скоростях вращения и построить график полученной зависимости $\Delta Z_0(\omega)$.

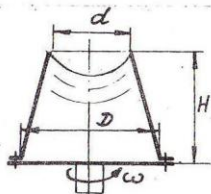


Найти скорость, при которой свободная поверхность жидкости коснется дна. Какой при этом будет глубина у стенки? Построить эпюры избыточного давления жидкости на стенку и на дно стакана при этой скорости.



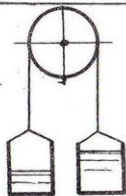
2-36. Цистерна ($D = 2$ м, $d = 0,5$ м, $l = 6$ м) заполнена нефтью до уровня $h = 0,5d$. Найти силу давления на торцовую стенку А-А неподвижной цистерны. Как изменится искомая сила при движении цистерны с ускорением a по горизонтальному пути?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7.	8	9	0
$a, \text{ м/с}^2$	5	7	2	6	3	10	4	I	8	9



2-37. Конический сосуд ($D = 100$ мм, $d = 50$ мм, H см. в таблице) полностью заполнен водой. Определить силу, отрывающую корпус от основания, при отсутствии вращения. Как изменится искомая сила, если бак привести во вращение с заданной угловой скоростью? Какой объем воды при этом выльется?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$H, \text{ мм}$	100	90	60	110	80	120	140	70	150	130
$\omega, \text{ 1/с}$	10	12	14	16	22	12	18	20	15	8

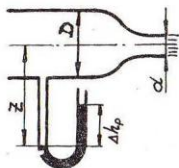


2-38. Два одинаковых сосуда (массой M_c каждый) соединены тросиком, переброшенным через блок. Массы жидкости в сосудах разные: M_1 и M_2 . Пренебрегая трением блока и массой тросика, определить ускорение с которым движутся сосуды, и силы давления жидкости на дно каждого из них.

2-39. Жидкость плотностью ρ наполовину заполняет цилиндрический сосуд и равномерно вращается вместе с ним вокруг его горизонтальной оси, образуя сплошной кольцевой слой у стенки. Выяснить форму свободной поверхности и сравнить толщины слоя жидкости по вертикальной оси.

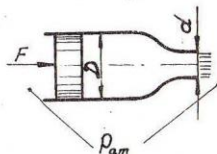
III. СТАЦИОНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ИДЕАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ

3-1. Определить расход воды через сопло ($D = 2d$, d см. в таблице) при заданном показании ртутного манометра, полагая жидкость идеальной; $z = 0,6$ м.



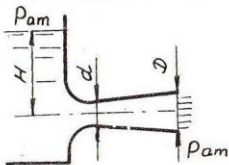
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	10	12	16	8	18	20	14	22	24	6
Δh_p , мм	150	180	200	300	120	250	280	400	230	350

3-2. При какой силе давления F на поршень скорость истечения идеальной воды из сопла ($d = 10$ мм, $D = 50$ мм) в атмосферу станет равной U ? Каким будет при этом расход жидкости?

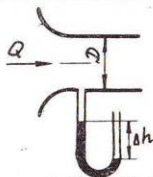


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U , м/с	15	25	6	12	4	20	8	30	2	18

3-3. Пренебрегая гидравлическими сопротивлениями, определить расход воды через насадок Вентури ($D = 1,25d$), давление в узком сечении насадка и построить пьезометрическую линию вдоль потока в насадке.

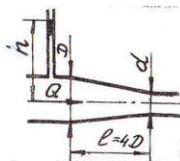


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	1,2	1,4	1,0	2,5
d , мм	50	60	45	40	30	25	55	36	70	20



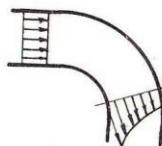
3-4. Воздух поступает в трубопровод из атмосферы. Падение давления во входном раструбе измеряется спиртовым манометром. Пренебрегая сопротивлением входа, определить расход воздуха при заданном показании манометра.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , см	10	14	12	15	18	20	24	16	8	22
D , мм	400	300	340	280	380	250	200	320	420	360



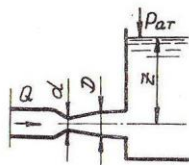
3-5. Полагая течение воды на конфузорном участке трубопровода ($D = 1,5d$) идеальным (без потерь напора), построить пьезометрическую и напорную линии при заданном расходе Q и уровне жидкости в пьезометре $h = 0,5$ м.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	1,2	1	0,6	0,5	1,5	0,9	0,3	1,8	2	2,5
d , мм	18	15	12	10	16	14	9	20	22	25



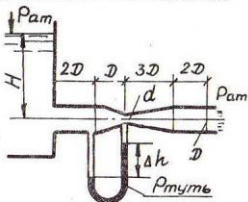
3-6. Объяснить падение скорости в потоке идеальной жидкости от выпуклой стенки колена трубопровода к вогнутой. Перед коленом распределение скоростей было равномерным.

3-7. Определить максимальный расход жидкости через трубопровод с местным сужением ($D = 1,6d$, d см. в таблице) при условии, что давление в его узком сечении должно быть не ниже давления парообразования. Температура воды $t = 30^\circ\text{C}$, подогревание выходного отверстия $Z = 1$ м, сопротивление не учитывать.



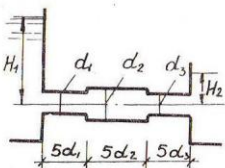
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	12	18	25	40	80	60	36	30	45	32

3-8. Через короткую трубку, имеющую форму водомера Вентури, вода вытекает в атмосферу. Зная размеры трубки ($d = 0,8D$; D см. в таблице) и показание ртутного манометра Δh , найти расход Q и напор H ; построить пьезотермическую и напорную линии. Гидравлическими сопротивлениями пренебречь.

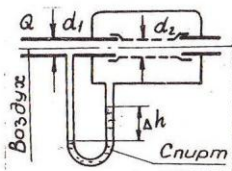


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h , см	28	30	32	35	38	40	42	45	50	25
D , мм	48	45	42	40	38	36	32	30	25	50

3-9. Пренебрегая потерями напора, определить скорости течения на всех участках составной трубки и построить пьезометрическую линию. Напоры в резервуарах: $H_1 = 2$ м, $H_2 = 0,6$ м; диаметр средней трубки $d_2 = 25$ мм, d_1 и d_3 см. в таблице.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	20	18	20	30	40	30	50	20	36	16
d_3 , мм	18	22	30	18	32	40	30	50	30	18



3-10. (Гидромеханический парадокс). Часть металлической трубки ($d_1 = 20$ мм) в камере заменена резиновой. Не учитывая упругость резины и полагая воздух идеальным, определить диаметр d_2 резиновой трубки при расходе $Q = 12$ л/с.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δh , см	12	-12	16	-16	10	-10	18	-18	20	-20

3-11. Выяснить, потенциально ли течение, заданное функцией тока $\psi = a_0(x^4 + a_1x^3y - 6x^2y^2 + a_2xy^3 + y^4)$. Если течение не потенциальное, то при каком значении a_2 оно будет потенциальным?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
a_1	I	2	2	-3	4	-5	2	-8	I	-5
a_2	-I	I	-6	3	4	3	-2	-8	6	5

3-12. Течение задано потенциалом скорости

$$\varphi = U_0 r \left[1 - \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \right] \cos \theta + \frac{\Gamma}{2\pi} \theta,$$

где r , θ - цилиндрические координаты. Построить несколько линий тока в области $r_0 < r < 4r_0$, а также графики изменения скорости и давления вдоль одной из них. Известно: $U_0 = 10$ м/с, $r_0 = 0,1$ м, $\Gamma = k\pi r_0 U_0$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
K	4	2	-6	0	3	8	-3	7	I	5

3-13. Выявить характер течения, заданного комплексным потенциалом

$$W = (a - ib) \ln z,$$

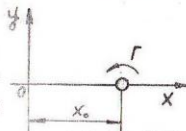
где a и b - действительные положительные величины.

Построить линии тока, показать направление течения и вычислить циркуляцию скорости по окружности радиусом r с центром в начале координат, а также удельный расход жидкости через эту окружность. Выяснить физический смысл параметров a и b .

3-14. Проанализировать течение с комплексным потенциалом $W = az^n$ (построить линии тока, указать возможные границы потока, указать направление течения). Вычислить удельный расход жидкости между точками $A (x = 2, y = 0)$ и $B (x = 2, y = 2)$, а также циркуляцию скорости по контуру, связывающему эти точки.

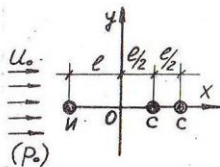
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n	2	1/2	3	3/4	2/3	2	1/2	3	3/4	2/3
a	$a > 0$					$a < 0$				

3-15. Определить комплексный потенциал течения вокруг вихресточка, находящегося в точке $x = x_0, y = 0$. Построить эпюру давления вдоль оси x , приняв избыточное давление вдали от вихресточка равным нулю, а циркуляцию $\Gamma = -kq = 2\chi$ ($\text{м}^2/\text{с}$).



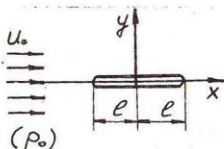
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
K	1	0,5	2	1,5	2,5	1	0,5	2	2,5	1,5
$x_0, \text{ м}$	+2					-2				

3-16. Источник ($q_n = q$) и два одинаковых стока $q_c = q/2$ обтекаются безграничным потоком со скоростью на бесконечности $U_0 = 10 \text{ м/с}$. Найти функцию тока и построить три линии тока, проходящие через точки $x = -3\ell, y_1 = 0; y_{2,3} = \pm \ell/2$, где $\ell = 0,6 \text{ м}$. Вычислить удельный расход между крайними линиями тока.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$q, \text{ м}^2/\text{с}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	30

3-17. Найти потенциал скорости у потока, описанного в предыдущей задаче. Построить графики изменения относительных величин скорости u/u_0 и давления $(p-p_0)/\rho u_0^2$ вдоль оси ординат. Вычислить циркуляцию скорости между критическими точками.

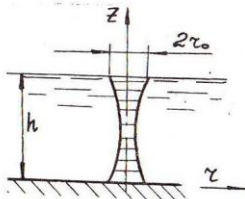


3-18. Найти функцию тока плоского потенциального течения вокруг узкой щели, расположенной вдоль оси y симметрично оси x . Суммарный удельный расход жидкости, равномерно стекающей в щель, равен q .

Провести в полуплоскости $y > 0$ три линии тока, средняя из которых должна пройти через критическую точку. Построить график изменения относительного избыточного давления $(p_0 - p)/\rho u_0^2$ вдоль оси ординат. Известно $e = 0,2 \text{ м}$; $u_0 = 5 \text{ м/с}$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$q, \text{ м}^2/\text{с}$	5	10	15	8	12	18	24	20	27	30

3-19. Доказать теорему Гельмгольца: "Если силы, действующие на баротропную жидкость, имеют потенциал, то вихревая трубка во все время движения состоит из одних и тех же частиц жидкости".



3-20. В потоке воды ($h = 0,6 \text{ м}$, $V = 4 \text{ м/с}$) образовался вихрь с вертикальной осью, радиус которого на свободной поверхности $r_0 = 5 \text{ см}$, а угловая скорость ω (см. в таблице). Рассчитать и проиллюстрировать графически изменение угловой скорости и давления вдоль оси вихря, считая что его радиус изменяется по закону

$$r = r_0 \left[1 - 2 \left(\frac{z}{h} \right) + 2 \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right].$$

0 Построить график изменения давления и угловой скорости в радиальном направлении на уровне $Z = 0,5 h$, полагая течение вне вихря потенциальным.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\omega_0, 1/c$	80	100	60	120	50	70	40	90	110	130

3-21. Рассчитать траекторию движения прямолинейного вихря заданной интенсивности \mathcal{J} в однородном потенциальном потоке ($U_0 = 5$ м/с). Ось вихря перпендикулярна вектору U_0 , а диаметр вихря $d = 1$ см.

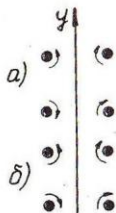
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\mathcal{J}, cm^2/c$	1,0	0,6	2,0	0,8	1,5	0,6	1,2	1,8	2,4	0,4

3-22. Две прямолинейные вихревые нити одинаковой интенсивности, но с противоположным вращением окружены потенциальным потоком. С какой скоростью в бесконечности должен набегать на них поток, чтобы они остались на месте? Определить комплексный потенциал течения и построить график изменения давления вдоль линии, пересекающей обе нити под прямым углом.



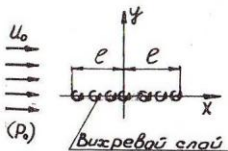
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\mathcal{J}, cm^2/c$	100	60	120	80	140	160	200	50	90	150

3-23. Дать обоснованное качественное описание характера деформации вихревой системы, состоящей из 4 параллельных прямолинейных вихревых нитей одинаковой интенсивности. Первоначально они располагаются по углам квадрата. Выяснить, как будет изменяться с течением времени взаимное расположение отдельных вихрей при противоположном (схема а) и одинаковом (схема б) направлении вращения каждой пары вихрей, если окружаю-



щая жидкость на большом расстоянии от них находится в покое.

Как отразится на деформации вихревой системы поступательное движение окружающей жидкости вдоль оси y ?

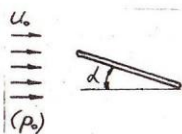


3-24. Вихревой слой с удельной интенсивностью $i = \gamma/2e$ обтекается однородным потоком со скоростью $u_0 = 6$ м/с на бесконечности. Найти функцию тока, построить три линии тока, проходящие через точки $x_{1,2,3} = -2e, y_1 = 0, y_{2,3} = \pm e/2$, приняв $e = 0,2$ м, определить удельный расход жидкости между крайними линиями тока.

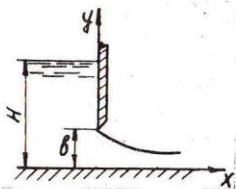
Построить графики изменения относительных величин скорости u/u_0 и давления $(p_0 - p) / \rho u_0^2 / 2$ вдоль оси ординат.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$i, \text{ м/с}$	5	-3	2	-2	4	6	3	-4	8	-5

3-25. Найти потенциал скорости у течения, описанного в предыдущей задаче. Построить графики изменения относительных величин скорости (u/u_0) и давления $(p - p_0) / \rho u_0^2 / 2$ вдоль оси абсцисс. Вычислить силу давления потока на вихревой слой. Воспользоваться исходными данными предыдущей задачи.



3-26. Поток воды со скоростью на бесконечности $u_0 = 10$ м/с обтекает прямую пластину, установленную под углом атаки α . Полагая течение плоским и потенциальным и используя постулат Жуковского и Чаплыгина, определить циркуляцию скорости вокруг пластины и вычислить подъемную силу.



3-27. Истечение идеальной жидкости через щель (см. рисунок предыдущей задачи) описывается уравнениями:

$$\Phi = \exp\left(-\frac{\pi W}{2\psi_0}\right) ; \quad \Phi = -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{u_c} \frac{dW}{dz} - u_c \frac{dz}{dW} \right)$$

где $W = \Phi + i\psi$

$$z = x + iy$$

Φ

- комплексный потенциал;

- комплексный аргумент;

- вспомогательная переменная

- $\psi_0 = \varepsilon \nu u_c$ - функция тока на верхней границе струи;
 u_c - скорость в сжатом сечении струи;
 $\varepsilon = \kappa / (\kappa + 2)$ - коэффициент сжатия.

Вылить и графически проиллюстрировать изменение скорости и давления вдоль вертикальной твердой стенки.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
4/11	0,10	0,18	0,12	0,16	0,08	0,15	0,09	0,13	0,17	0,14

IV. СТАЦИОНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

4-1. Течение в круглой трубе радиусом r_0 задано полем скоростей $u_x = W \frac{y}{r_0} (1 - \frac{r}{r_0})$, $u_y = W \frac{x}{r_0} (1 - \frac{r}{r_0})$, $u_z = V [1 - (\frac{r}{r_0})^2]$,

где $r = \sqrt{x^2 + y^2}$; x, y, z - декартовы координаты.

Получить возможно более полную характеристику этому движению, предварительно выяснив форму линий тока, общий характер течения, вихревое поле, характер деформации потока.

Определить расход жидкости через трубу.

4-2. Выяснить режим течения масла И-20 в трубе круглого сечения ($d = 20$ мм) и воздуха в канале прямоугольного сечения ($a \times b = 50 \times 100$ мм²) при заданном расходе Q , температуре $t = 30^\circ\text{C}$ и давлении воздуха $p = 0,15$ МПа.

Определить коэффициент гидравлического трения и касательные напряжения у стальных стенок трубы и канала.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	10	4	14	8	20	12	6	18	22	16

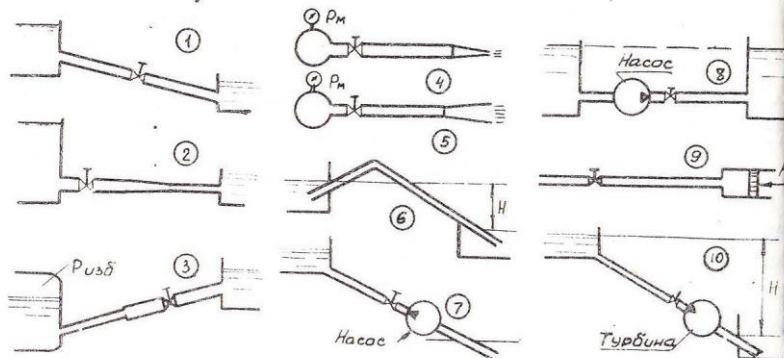
4-3. Выявить диапазон скоростей, в котором характеристика лопаточной трубки ($l = 300d$), выражающая зависимость потерь давления от средней скорости, имеет линейный характер при течении масла АМГ-10 ($t = 30^\circ\text{C}$).

Рассчитать и построить характеристику той же трубы при течи по ней с теми же скоростями бензина ($t = 30^{\circ}\text{C}$).

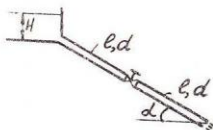
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	16	8	12	22	6	25	14	18	10	20

4-4. Доказать, что на участке с равномерным течением потери напора у всех струек одинаковой длины равны между собой.

4-5. Построить напорную и пьезометрическую линии для потоков вязкой жидкости, представленных на схемах.

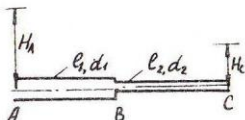


4-6. Вода ($t = 10^{\circ}\text{C}$) вытекает в атмосферу по дюралюминиевой трубке ($l = 75d$, d см. в таблице), установленной под углом α к горизонту. Построить графики изменения средней скорости и давления вдоль потока. Напор в резервуаре $H = 0,6$ м, коэффициент сопротивления крана $C_{\text{кр}} = 2$.



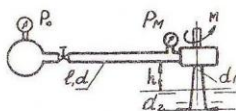
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	20	18	22	16	24	14	26	12	28	10
α , град	45	60	75	90	45	60	90	75	60	90

4-7. Две новые чугунные трубы разного диаметра (d_1 см. в таблице, $l_1 = 200 d_1$, $l_2 = 100$ мм, $l_2 = 250$ м) соединены между собой последовательно. Зная концевые напоры ($H_c = 4$ м, H_A см. в таблице), определить напор потока воды ($t = 20^\circ\text{C}$) в месте соединения (узел В) и построить напорную и пьезометрическую линии.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_A , м	40	20	18	48	25	6	15	24	7	36
d_1 , мм	50	100	150	100	200	50	125	75	125	150

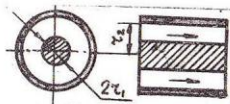
4-8. Питание турбины осуществляется по главной трубе ($l = 500 d$, d см. в таблице) из магистральной линии с избыточным давлением $P_0 = 600$ кПа. Отводится вода от турбины через диффузор ($d_1 = d$, $d_2 = 1,2 d_1$, $l_1 = 1,5 h$, $h = 0,4$ м). Определить мощность турбины при заданном давлении перед ней. При каком расходе ее мощность будет наибольшей? Найти максимальную мощность. Гидравлическое сопротивление прочной части турбины не учитывать.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	50	25	40	16	30	45	55	36	20	60
P_0 , кПа	500	450	520	380	400	420	320	550	350	400

4-9. Исследовать плоское ламинарное течение жидкости в зазоре δ между двумя параллельными пластинами, вызванное перемещением одной из них со скоростью V без изменения зазора. Выявить поля линейных и угловых скоростей, скоростей линейной и угловой деформации, касательных напряжений и давлений; построить график зависимости силы трения, действующей на единицу площади пластины, от скорости V .

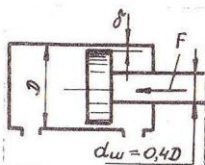
4-10. Ламинарное течение между двумя неподвижными параллельными стенками, расстояние между которыми δ , вызвано перепадом давления Δp в начале и конце щели. Полагая течение по всей длине l щели равномерным, выяснить распределение скоростей и определить коэффициент гидравлического трения.



4-11. Выявить поле скоростей у равномерного ламинарного потока в канале кольцевого поперечного сечения, образованном двумя неподвижными соосными цилиндрическими поверхностями.

Найти и изобразить графически зависимость расхода турбинного масла ($t = 30^\circ\text{C}$) от перепада давления в канале радиусом $r_1 = 5 \text{ мм}$ и $l = 1 \text{ м}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
r_2/r_1	1,5	2	1,2	2,6	1,4	1,6	1,8	2,2	2,4	2,8



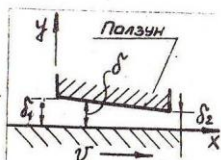
4-12. Выяснить распределение скоростей у равномерного потока вязкой жидкости в равномерном радиальном зазоре ($\delta = 0,01D$) между цилиндром и поршнем. Поршень движется со скоростью v_n , преодолевая внешнее силовое сопротивление F . Определить утечки масла при $F = 10 \text{ кН}$ и $v_n = 0,1 \text{ м/с}$. Вычислить силу трения поршня, предварительно определив касательные напряжения на его поверхности.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , мм	50	32	60	40	36	55	70	45	80	90

4-13. В клинообразном зазоре плоского подшипника скольжения распределение продольных скоростей у потока масла в системе координат, связанной с ползуном, следует закону

$$\frac{u_x}{v} = (1 - y/\delta) \left[1 - 3y/\delta \left(1 - \frac{2\delta_1\delta_2}{\delta(\delta_1 + \delta_2)} \right) \right],$$

где V – скорость опорной поверхности;
 y – расстояние от опорной поверхности;
 δ – величина зазора, изменяющаяся от δ_1 в начале канала до δ_2 в конце.

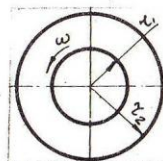


Выполнить изменение касательных напряжений вдоль опорной поверхности и вычислить силу трения, действующую на единицу ширины поверхности, при $\delta_1 = 2\delta_2$, $l = 100$ мм, $\mu = 0,05$ Па.с.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
δ_2 , мм	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,04	0,11	0,12	0,03
V , м/с	2	2,5	3	3,5	4	4,5	1,5	5	5,5	1

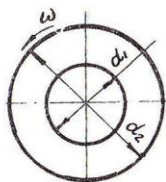
4–14. Сравнив эпюры скоростей (их аналитическое выражение дано в предыдущей задаче) в начальном и конечном поперечных сечениях клинообразного канала при $\delta_1 = 2\delta_2$, указать место возможного отрыва потока от стенки канала. При каком соотношении δ_1 / δ_2 течение в канале будет безотрывным?

4–15. Цилиндр ($r_1 = 30$ мм, $l = 300$ мм) равномерно вращается внутри неподвижного цилиндра диаметром $r_2 = 1,25 r_1$. Выявить поле скоростей в равномерном радиальном зазоре, заполненном турбинным маслом с температурой 20°C .



С какой угловой скоростью будет вращаться малый цилиндр при заданном моменте M_t ? Выяснить, как будет изменяться угловая скорость при изменении r_2 в широких пределах $r_1 \leq r_2 \leq \infty$, если момент M_t и радиус малого цилиндра оставить неизменными. Построить график $\omega(r_2/r_1)$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
M_t , Н.м	0,3	0,2	0,1	0,15	0,4	0,25	0,5	0,35	0,45	0,6



4-16. Вязкая жидкость заполняет равномерный радиальный зазор между двумя цилиндрическими поверхностями, одна из которых - внутренняя - неподвижна, а другая - внешняя - вращается с угловой скоростью ω . Распределение скоростей в жидкости следует по закону

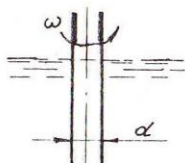
$$u_x = u_r = 0; \quad u_\theta = c_1 r + \frac{c_2}{r},$$

где c_1 и c_2 - постоянные, определяемые граничными условиями.

Выяснить изменение давления в зазоре, приняв давление у поверхности малого цилиндра атмосферным, $d_2 = 2d_1$. Построить эпюры распределения скоростей и давлений поперек зазора.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	45	40	30	22	36	32	28	24	20	48
ω , 1/с	20	24	28	32	36	40	44	48	20	16

4-17. В большом открытом резервуаре с водой вращается длинная труба ($d = 100$ мм) вокруг своей вертикальной оси со скоростью ω . Определить перепад уровней воды у внешней стенки трубы и вдали от нее.



Рассчитать и построить профили свободной поверхности воды вне и внутри трубы, полагая стенку очень тонкой.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ω , 1/с	40	52	60	28	44	32	56	36	64	48

4-18. Распределение скоростей при равномерном турбулентном движении в круглой гладкой трубе при $Re < 10^5$ удовлетворительно описывается формулой

$$\frac{u}{u_0} = 8,7 \left(\frac{u_0 y}{\nu} \right)^{1/7},$$

где u_0 - динамическая скорость;

y - расстояние от стенки.

Привести формулу для определения коэффициента трения λ и касательных напряжений у стенки трубы. Вычислить обе величины при течении воды ($t = 20^\circ\text{C}$) в трубе диаметром $d = 32$ мм со средней скоростью V .

вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V , м/с	6	6,5	5	5,5	4	4,5	3	3,5	2	7

4-19. Распределение скоростей при развитом турбулентном течении жидкости в круглой шероховатой трубе удовлетворительно описывается формулой

$$\frac{u}{u_0} = 2,5 \ln \frac{y}{\Delta} + 8,48,$$

где u_0 - динамическая скорость;

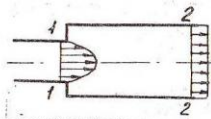
y - расстояние от стенки;

Δ - абсолютная шероховатость стенки.

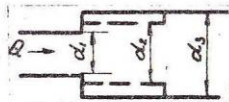
Привести формулы для определения коэффициента гидравлического трения и касательных напряжений у стенки трубы. Вычислить обе величины при $\Delta = 0,1$ мм; $d = 25$ мм и средней скорости потока воды V .

вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V , м/с	6	6,2	5,6	6,4	5,8	6,6	7,2	6,8	5,4	7

4-20. Поток жидкости перед резким расширением трубы имеет существенно неравномерный профиль скоростей ($d_1 = (d_2 + 2)/3$; λ в таблице). Определить потери напора и коэффициент сопротивления при полном выравнивании профиля скоростей за расширением ($d_2 = d_2' \approx l$), полагая изменение давления по торцовой кольцевой стенке гидростатическим. Как влияет начальная неравномерность профиля скоростей на коэффициент сопротивления?

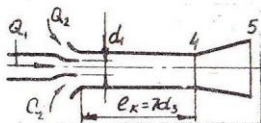


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1	2	1,5	2,5	1,3	2,8	1,8	3	2,2	3,5	4



4-21. Переход от трубы с диаметром $d_1 = 25$ мм к трубе с диаметром $d_3 = 50$ мм можно осуществить сразу или ступенчато с помощью промежуточного патрубка диаметром d_2 . При каком варианте гидравлическое сопротивление участка перехода будет наименьшим и насколько?

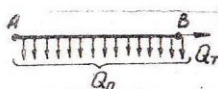
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_2 , мм	40	36	30	42	38	32	44	34	45	35



4-22. Определить повышение давления в смесительной камере эжектора и диффузоре $\Delta p_{5-3} \approx p_5 - p_3$ при заданных расходах активного $Q_1 = 4$ л/с и пассивного Q_2 потоков, полагая, что в сечении 4 полностью выравниваются скорости. Диаметры выходных сечений сопла $d_1 = 16$ мм, диффузора $d_5 = 60$ мм; диаметр смесительной камеры $d_3 = d_4 = 32$ мм; осредненный коэффициент гидравлического трения смесительной камеры $\lambda = 0,01$, ее длина $l_k = 7 d_3$.

При каком диаметре смесительной камеры искомый перепад давления будет наибольшим?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q_2 , л/с	4	8	0	2	6	1	5	3	7	10

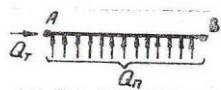


4-23. Из коллектора (стальная труба, $l = 2,2$ м, $d = 60$ мм) осуществляется равномерная раздача воды при транзитном расходе $Q_T = 8$ л/с. Выяснить, как изменяется статическое давление вдоль коллектора, и построить пьезометрические линии при двух

заданная путевой расхода: $Q_{пг}$ (см. таблицу) и $Q_{пг} = 4 Q_{пн}$.
 Начальное давление в начальном сечении коллектора $p_A = 500$ кПа.

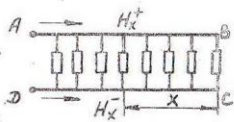
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q_{пг}$, л/с	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4

4-34. В коллектор поступает вода равномерно по всей длине в общем объеме $Q_{пн}$ и, кроме того, сосредоточенно в начальном узле в объеме $Q_{пг}$. Выяснить и проиллюстрировать на графике изменение полного напора вдоль стального коллектора ($l = 100 d$, $d = 50$ мм) при расходах $Q_{пг} = 3$ л/с и $Q_{пн} = \kappa Q_{пг}$.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
κ	1	1,3	1,6	2	2,2	2,5	2,7	3	3,3	3,6

4-36. Питание приборов осуществляется водой, поступающей из коллектора АВ и сливаемой в коллектор СД. На всех участках течение напорное. Оба коллектора изготовлены из одинаковых стальных труб длиной $l = 250 d$ и диаметром $d = 32$ мм. Полагая раздачу воды непрерывной и равномерной, выяснить закономерность изменения разности полных напоров и разности статических давлений в противоположных сечениях обоих коллекторов, т.е. $\Delta H_x(x)$ и $\Delta p_x(x)$, где $\Delta H_x = H_x^+ - H_x^-$.

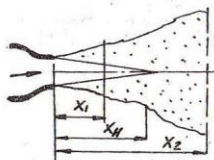


$\Delta p_x = \rho g \Delta H_x$ (знак плюс относится к напорному коллектору, а знак минус - к сливному). Минимальный перепад напоров $\Delta H_{BC} = 2$ м.

Определить общий расход всех приборов при заданном начальном перепаде давления Δp_{AB} .

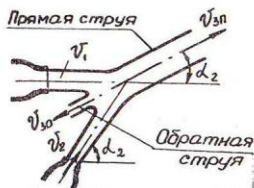
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δp_{AB} , кПа	200	120	240	100	180	220	140	280	160	260

4-26. Решить предыдущую задачу, заменив рабочую жидкость - воду - на масло АМГ-10 ($t = 30^{\circ}\text{C}$) и увеличить перепад давления $\Delta P_{\text{дп}}$ в 5 раз.



4-27. Воздух вытекает со скоростью U_0 из круглого сопла диаметром d_0 . Постройте эпюры скоростей и вычислить расход воздуха в сечениях турбулентной струи, расположенных на расстояниях $X_1 = 0,8X_N$ и $X_2 = 2,5X_N$ от сопла (X_N - длина начального участка струи). Построить графики изменения осевой скорости и расхода вдоль струи на участке $0 \leq X \leq X_2$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U_0 , м/с	10	12	6	16	8	20	4	14	25	18
d , мм	16	20	40	25	30	10	50	12	4	8

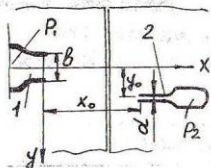


4-28. Две плоские струи, вытекающие из сопел под углом друг к другу $\alpha_2 = 60^{\circ}$, встречаясь, образуют две новые струи - прямую и обратную. Пренебрегая сопротивлением окружающей среды и полагая направление обратной струи противоположным направлению прямой, определить средние скорости, толщины и направления новых струй. Известно: $v_1 = 5$ м/с, $v_2 = \kappa v_1$, $b_2 = 10$ мм, $b_1 = \rho b_2$, $S = 40$ мм.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
κ	2	0,2	1,4	1	0,8	1,6	1,2	0,6	1,8	0,4
ρ	1,5	0,4	2	0,6	1	1,2	0,8	0,6	2	0,2

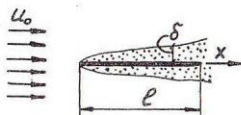
С учетом полученных данных начертить схему взаимодействия струй.

4-29. Струйный датчик смещения, содержащий два сопла 1 и 2, контролирует относительное положение двух деталей по оси y . Струя формируется соплом 1. На каком расстоянии y_0 от оси этого сопла следует установить другое - приемное - сопло 2, чтобы обеспечить максимальную чувствительность датчика к перемещению деталей в обе стороны? Для этого положения приемного сопла построить характеристику датчика $(P_2 - P_{ат}) = f(S)$. Известно: $b = 5$ мм; $d \ll b$; $x_0 = x_H$, где x_H - длина начального участка струи.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$(P_1 - P_{ат}), \text{кПа}$	1	2	1,2	0,8	1,6	2,2	1,8	1,4	2,4	0,6

4-30. Пластина длиной $l = 0,25$ м обтекается потоком воды со скоростью u_0 вдали от нее. Рассчитать и построить график изменения касательных напряжений на пластине и толщины пограничного слоя по всей ее длине, полагая течение плоским и критическое число $Re_{кр} = 4 \cdot 10^5$. Как изменится толщина пограничного слоя в конце пластины, если степень турбулентности потока возрастет так, что критическое значение числа Рейнольдса уменьшится вдвое?



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$u_0, \text{м/с}$	4,5	4	3,8	4,2	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6

4-31. Доказать неустойчивость плоской формы свободной поверхности жидкости при наличии ветра.

4-32. Выявить закон нарастания толщины турбулентного пограничного слоя вдоль гладкой пластины при продольном обтекании ее безграничным потоком со скоростью u_0 на бесконечности. Распределение скоростей поперек пограничного слоя $u/u_0 = 8,7(u_0 y / \nu)^{1/7}$, где u_0 - динамическая скорость; y - расстояние от пластины.

Вычислять толщину пограничного слоя и касательные напряжения в конце пластины, если длина пластины $\ell = 0,5$ м, плотность жидкости $\rho = 1000$ кг/м³, коэффициент вязкости $\nu = 10^{-6}$ м²/с.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
u_0 , м/с	5	4	4,2	4,4	4,6	4,8	5,2	5,4	5,6	5,8

4-33. Касательные напряжения на поверхности шероховатой пластины при турбулентном пограничном слое выражаются приближенной зависимостью

$$\tau_0 = 0,0075 \left(K_e + \frac{83}{Re_e} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{\ell}{\delta} \right)^{\frac{1}{4}} \rho u_0^2$$

где ℓ - длина пластины;

u_0 - скорость потока перед ней;

$K_e = \Delta : \ell$ - относительная шероховатость.

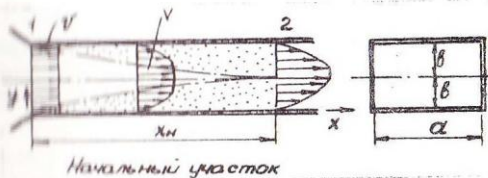
Принимая степенной закон распределения скоростей в пограничном слое $u = V(\eta/\delta)^{\frac{1}{2}}$, где η - расстояние от пластины, вывести формулы для определения местного и осредненного (по длине пластины) коэффициентов трения.

Вычислить и построить график зависимости осредненного коэффициента трения от числа Рейнольдса в диапазоне $5 \cdot 10^5 \leq Re_e \leq 10^9$ при заданной шероховатости.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$K_e \cdot 10^7$	20	400	1	100	50	4	70	200	10	600

4-34. Формирование равномерного потока происходит на начальном участке канала в процессе развития пограничных слоев вплоть до их смыкания в сечении 2. Считая течение плоским ($a \gg 2b$), профиль скоростей в сечении 1 равномерным, а в ламинарном пограничном слое $u_x = V \sqrt{\eta/\delta} (2 - \eta/\delta)$, где η - расстояние от стенки, объяснить закономерность нарастания пограничного слоя у ламинарного потока и вычислить длину начального участка при заданном $Re = V 2b / \nu$.

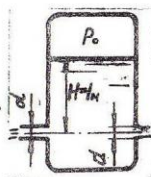
Построить (без расчета) график изменения коэффициента трения вдоль начального участка $\lambda(x/b)$.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\rho_{\text{ж}} \cdot 10^{-3}$	2	1,5	1	1,2	2,2	1,4	1,6	1,8	1,7	1,9

У. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ И НАПОРНЫХ ГИДРОСИСТЕМ

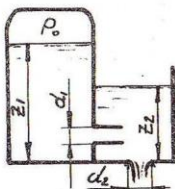
б-1. Сравнить скорости и расходы при истечении воды в атмосферу через отверстие и внешнюю цилиндрическую насадку одинаковых диаметров $d = 10$ мм. Быстрее ли будет вытекать из сосуда ртуть при том же наполнении и давлении ρ_0 ?



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\Delta, \text{кПа}$	10	-4	0	150	-2	80	-8	200	-6	250

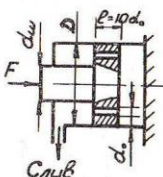
б-2. Катер получил пробоину площадью $\omega = 100 \text{ см}^2$ на глубине $H = 0,2$ м. В момент аварии он был недогружен до своего предельного веса на G МН. Определить время затопления катера, полагая напор H постоянным, а коэффициент расхода пробоины $\mu = 0,5$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$G, \text{МН}$	1	3	0,5	1,5	1,8	2,5	1,2	0,6	2	0,8



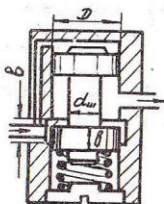
5-3. Из закрытого бака через цилиндрический насадок вода вытекает в промежуточную емкость. Из нее через отверстие с острыми кромками - в атмосферу. Найти уровень воды в открытом резервуаре заданном избыточном давлении p_0 , $z_1 = 1$ м, $d_2 = 10$ мм.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_0 , кПа	10	15	20	12	18	16	08	25	15	30



5-4. С какой скоростью будет перемещаться поршень ($D = 36$ мм) в цилиндре, если к нему приложить усилие F ? Диаметры 4-х отверстий в поршне $d_0 = 2$ мм; диаметр штока $d_w = 12$ мм; коэффициент сопротивления сливного патрубка $C_c = 0,8$, а давление за ним атмосферное; температура масла АМГ-20 $^{\circ}$ С.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	1	0,6	1,2	0,8	1,4	1,8	2,4	1,6	2,2	2,0



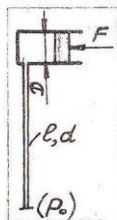
5-5. Построить расходную характеристику $Q(\Delta p_{1-2})$ предохранительного клапана золотниково-го типа при заданной жесткости пружины C и начальном поджатии $\Delta x_0 = 10$ мм. Наибольшее изменение давления должно соответствовать полному открытию окна золотника. Как изменится характеристика, если:

- 1) поставить пружину вдвое более жесткую;
- 2) вдвое уменьшить начальное поджатие пружины?

Диаметр золотника $D = 1,2d$, где d - диаметр присоединительных труб (см. таблицу), диаметр шейки золотника $d_w = \frac{2D}{3}$, ширина окна $b = 0,16D$, длина сливной трубы $l_c = 30d$, температура масла И-50 равна 50 $^{\circ}$ С.

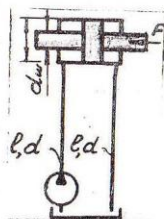
вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , мм	12	6	14	8	16	10	25	18	30	20
F , Н/мм	50	20	60	30	80	40	120	70	100	90

6-6. Какое давление необходимо создать в начале гидропровода (резиновый шланг, $l = 300d$), чтобы вызвать перемещение поршня в гидроцилиндре со скоростью $V = 7$ Диаметр цилиндра $D = 40$ мм, внешнее усилие $F = 2$ кН, температура масла И-20 равна 40°C .

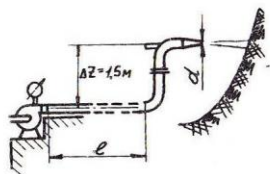


вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V , мм/с	10	20	8	14	18	4	12	16	6	24
d , мм	3	4	4	5	5	3	4	5	5	4

6-7. Определить подачу насоса и давление в выходном сечении при заданной силовой нагрузке гидродвигателя F и скорости штока $V_{ш} = 0,16$ м/с. Какую мощность насос передает маслу, как коэффициент сопротивления всасывающего патрубку ($\zeta_{вс} = 1,27$ Температура масла АМГ-10 40°C , диаметр соединительных трубок $d = 14$ мм, их длина $l = 10$ м, диаметр штока $d_{ш} = 0,3D$ (D - диаметр поршня).

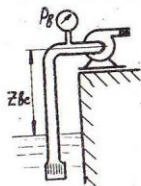


вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	15	6	10	4	5	8	10	12	17	20
d_w , мм	60	50	40	32	25	36	45	55	70	80



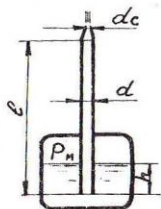
5-8. Для размыва грунта необходимо сообщить струе, вылетающей из сопла гидромонитора, скорость V . Какое давление на выходе насоса требуется для этого? Диаметр сопла d (см. таблицу); диаметр напорного трубопровода $D = 4d$, его длина $l = 1000D$, трубы стальные, коэффициент сопротивления гидромонитора, относенный к скоростному напору струи, $\zeta_M = 0,2$; температура воды 15°

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V , м/с	20	8	14	10	16	12	6	18	22	24
d , мм	25	32	45	40	30	36	50	16	20	18



5-9. Определить максимально возможную высоту установки насоса Z_{bc} , если его наибольшая подача Q_m , предельно допустимое разрежение на входе из-за кавитации $P_B = 70$ кПа. Всасывающая линия, собранная из оцинкованных труб диаметром d , имеет длину $l = 100d$ и радиус закругления $R = 1,2d$. Температура керосина 20°C .

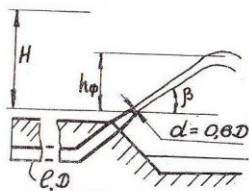
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q_m , л/с	20	15	45	30	4	10	12	18	3	2
d , мм	100	80	150	125	50	60	75	90	40	25



5-10. Из закрытого сосуда по вертикальной лоточной трубе ($l = 50d$), заканчивающейся конoidalным соплом ($d_c = 0,6d$), вода выбрасывается в атмосферу. Какое давление нужно создать в сосуде чтобы фонтан достигал высоты $h\phi$? Сопротивление воздуха не учитывать, а погружение h принять равным $10d$.

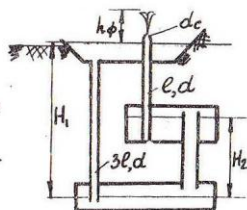
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h_{\text{ф}}$, м	1,5	1,8	1	3	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4
l , мм	10	12	8	20	14	18	6	16	22	24

6-11. Определить начальный напор H , при котором высота фонтанной струи будет равна $h_{\text{ф}}$. Относительная длина стального трубопровода $l/d = 400$, угол установки конуса в горизонту $\beta = 45^\circ$, угол конусности сопла 30° . Сопротивление воздуха не учитывать. Какова дальность полета струи?



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$h_{\text{ф}}$, м	2	3	2,5	2,8	1,5	1	2,2	1,8	2,4	3,2
l , мм	36	30	25	40	32	20	24	28	50	45

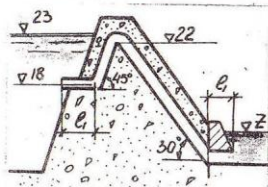
6-12. На чертеже представлена схема фонтана Герона. Зная размеры всех труб ($l = 3l_0$, d см. в таблице, трубы оцинкованные) и уровни воды в резервуарах ($H_1 = 3l$, H_2 см. в таблице), вычислить высоту фонтанной струи. Угол конусности сопла 30° , а диаметр выходного сечения $d_c = 0,6d$.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , мм	20	24	28	32	36	40	45	50	30	25
H_2 , м	2	1,5	2,5	3	2,2	2,8	1,8	3,2	3,4	1,4

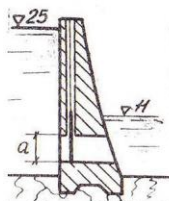
6-13. Определить расход воды, если известно, что водопровод проложен на прямолинейном участке асбестоцементного водовода $\Delta h_{\text{ли}}$, диаметр этого участка: $d = 100$ мм, $l = 500d$. Температура воды 10°C .

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\Delta h_{ан}$, м	10	2	7	3	6	12	5	9	8	4



5-14. При заданных уровнях верхнего и нижнего бьефов определить расход через сифонный водосбор прямоугольного сечения ($b = 3a$, $l = 5a$), устроенный в теле бетонной плотины, и вакуум в верхнем сечении сифона.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
a , м	0,4	0,6	0,8	1	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2	1,4
z , м	6	7	8	13	12	11	10	5	9	14



5-15. Выявить пропускную способность глубокого водосбора прямоугольного сечения, устроенного в теле бетонной плотины, при заданных уровнях верхнего и нижнего бьефов. Размеры поперечного сечения $a \times b$, причем $b = 3a$; длина $l = 6a$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
a , м	1	1,6	0,8	1,8	1,2	2	1,1	1,3	1,5	1,7

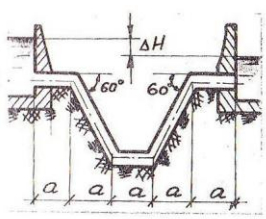
5-16. Определить диаметр стальной трубы ($l = 1$ км), способной обеспечить расход нефти Q при разности давления на ее концах $\Delta p = 0,6$ МПа. Температура нефти 20°C .

Какой расход воды сможет обеспечить эта труба при том же перепаде давления?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/с	60	40	30	50	70	80	20	10	25	15

0
4
рхне
чер
сече
в
вер

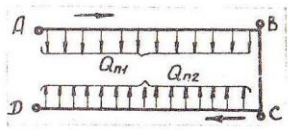
8-17. Переход канала через овраг осуществляется с помощью дамбы круглого сечения. Вычислить диаметр железобетонных труб, если расход канала Q , перепад уровней воды в канале по обеим сторонам оврага $\Delta H = 0,6$ м, характерный продольный размер дамбы $a = 20$ м.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	2	1,5	2,4	1,8	3,2	2,8	3	2,2	1,9	2,5

0
I,
I4
глуб
гров
уро
ереч
на

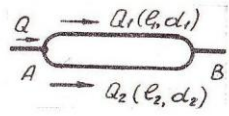
8-18. Определить падение напора в стальном трубопроводе, имеющего два участка непрерывной раздачи воды, и вычислить изменение в узле В, если полный напор в начале трубопровода $H_D = 15$ м, а геометрический напор в узле В $Z_B = 6$ м. Трубы на всех участках стальные, имеют одинаковые диаметры d и длину $\ell = 1$ км.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d, \text{ мм}$	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500
$Q_1, \text{ л/с}$	5	10	14	12	30	60	100	80	150	150
$Q_2, \text{ л/с}$	3	5	6	24	30	90	50	120	120	200

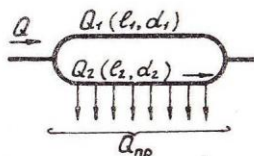
спло
ее
же
9
5
II

8-19. Как распределится расход масла между параллельными ветвями и как изменится статическое давление потока на участке разветвления трубопровода? Известно: $d_1 = 14$ мм, $\ell_1 = \ell_2 = 1$ м, температура масла 60°C .



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d_2, \text{ мм}$	12	16	10	18	8	20	6	22	9	17

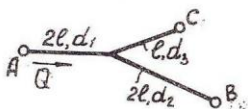
5-20. Выяснить, как распределится расход воды $Q = 100$ л/с между параллельными ветвями трубопровода и как изменится напор у потока на участке разветвления при отсутствии путевого расхода ($Q_{пз} = 0$). Известно: $d_1 = 250$ мм, $l_1 = 1$ км, $l_2 = 0,8$ км, трубы стальные.



Определить наибольший путевой расход, при котором не происходит перетока воды с первой участка на второй в узле В. Какими будут при этом расход в I линии и потери напора на участке разветвления?

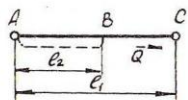
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9
d_2 , мм	300	125	175	200	250	400	350	150	450

5-21. Определить потери напора вдоль разветвленного трубопровода при заданном расходе воды Q . Концевые напоры в узлах В и С одинаковые, $d_2 = 75$ мм, $l = 100$ м, трубы асбестоцементные.



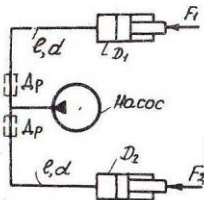
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9
Q , л/с	25	10	6	5	12	22	18	15	12
d_1 , мм	150	100	75	75	100	150	125	125	125
d_3 , мм	100	75	75	50	50	50	50	75	100

5-22. Как изменится пропускная способность трубопровода АС ($l = 20000 d_1$) после подключения к нему на участке АВ параллельной ветви длиной $l_2 = 0,4 l_1$, собранной из труб того же диаметра, при условии, что разность напоров в узлах А и С останется прежней ($\Delta H_{AC} = 45$ м)? Трубы стальные.



вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$l, \text{ мм}$	150	200	250	300	350	400	450	500	600	100

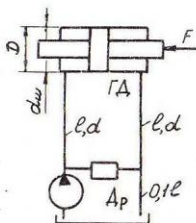
В-23. Один насос ($Q = 2 \text{ л/с}$) питает два гидродвигателя с различной силовой нагрузкой. Оба двигателя имеют разные диаметры. Найти скорости движения поршней, если гидросистема заполнена маслом АМГ-10 с температурой 20°C , $l = 10 \text{ м}$, $\alpha d = 14 \text{ мм}$, $F_1 = 4 \text{ кН}$, $D_1 = 50 \text{ мм}$.



Для синхронизации работы гидродвигателей используется дроссель. В какой линии надо установить его и какой коэффициент гидравлического сопротивления он должен иметь, чтобы движение обоих поршней происходило с одинаковой скоростью? Какая это будет скорость?

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ л/с}$	1,5	2	10	4	2	15	8	3	1	20
$l, \text{ мм}$	40	60	40	75	45	70	45	70	36	60

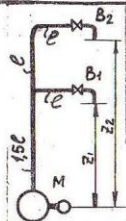
В-24. Регулирование скорости движения поршня у гидродвигателя ГД осуществляется с помощью дросселя D_p . Выяснить, при каком гидравлическом сопротивлении дросселя и его присоединительных патрубков происходит срагивание нагруженного поршня.



Расчитать и построить график зависимости скорости штока от коэффициента сопротивления дросселя при заданных Q_H и F . Трение поршня и поршня не учитывать.

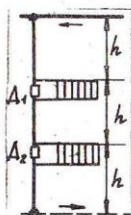
Как при этом будет изменяться давление на выходе насоса? Ответить: $l = 300d$; $\alpha d = 12 \text{ мм}$; диаметр поршня $D = 60 \text{ мм}$, диаметр $d_{ш} = 30 \text{ мм}$, температура масла И-20 равна 30°C .

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
F , кН	10	16	8	12	18	6	14	20	4	2
Q , л/с	0,4	0,6	0,35	0,4	0,7	0,55	0,5	0,8	0,3	0,2



5-25. Из магистрального трубопровода под избыточным давлением p_m подается вода на высоту z_1 и z_2 . Определить расход в верхней линии при закрытом вентилии B_1 . Как изменится этот расход, если открыть вентиль B_1 ? Трубы стальные новые; $z_1 = 1,5 \ell$; $\ell = 3$ м.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
p_m , кПа	120	150	200	250	300	180	220	280	320	240
d , мм	22	17	20	18	16	30	15	25	14	12



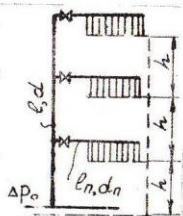
5-26. Необходимая циркуляция горячей воды через радиаторы, присоединенные к общему стояку по однотрубной схеме, обеспечивается путем установки диафрагм D_1 и D_2 на участках стояка между присоединительными трубками радиаторов. Вычислить диаметры отверстий у диафрагм, которые обеспечат заданное распределение расходов: $Q_1 = 0,6 Q$, $Q_2 = 0,75 Q$ (Q - общий расход стояка). Диаметр стояка 20 мм,

диаметры присоединительных патрубков $d_n = 14$ мм, их длина $\ell_n = 20 d_n$; высота этажа $h = 3$ м, коэффициент сопротивления радиатора $\xi_p = 2$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , мм ³ /с	400	150	500	200	600	300	550	250	350	450

Как изменится расход теплоносителя через верхний радиатор после отключения нижнего, если полный перепад давлений в стояке не изменится?

5-27. Определить расходы теплоносителя (воды) через радиаторы ($\zeta_p = 2$), присоединенные к стоякам по двухтрубной схеме, при заданном перепаде давлений Δp_0 в теплосети. Диаметры стояков $d = 25$ мм, диаметры присоединительных патрубков $d_n = 14$ мм, их длина $\ell_n = 120 d_n$; высота этажа $h = 3$ м; температура горячей воды 70°C , а охлажденной 40°C .

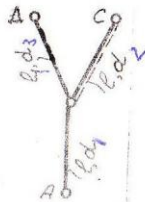


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δp_0 , кПа	20	32	16	24	36	40	28	44	12	48

Как изменятся расходы, если отключить средний радиатор?

5-28. Для увеличения подачи Q в пункт С намечается проложить вторую линию из труб того же диаметра $d_2 = 250$ мм, что и прежняя. Трубы стальные; $H_A = 32$ м; $\ell = 2$ км. Выяснить:

- как при этом изменится подача в пункт Д, если начальный напор H_A останется прежним;
- при каком начальном напоре H_A подача останется прежней.

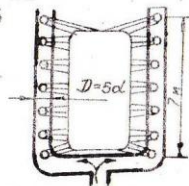


Концевые напоры $H_C = H_D = 10$ м.

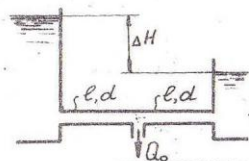
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	400	350	300	450	500	300	450	250	250	400
d_2 , мм	300	200	250	300	400	175	350	150	100	200

5-29. Установка для мойки транспорта содержит U - образный горизонтальный коллектор и 16 стояков диаметром d (см. таблицу) и высотой $h = 4$ м. Каждый стояк имеет отверстия, просверленные с одной стороны по всей высоте.

Пологая расходы всех стояков одинаковыми, а изменение расхода вдоль них равномерным, определить давление воды на входе в коллектор, при котором наименьшая скорость струйки составит 4 м/с при суммарной площади отверстий этого стояка, равной площади его поперечного сечения.

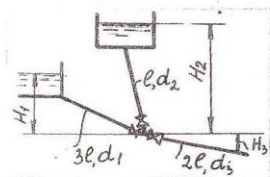


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	20	24	27	32	36	18	22	26	30	34



5-30. Из трубопровода, соединяющего два резервуара, забирается вода в количестве Q л/с. Зная разность уровней $\Delta H = 20$ м и размеры стального трубопровода ($l = 8000d$, d см. в таблице), определить расходы на его участках.

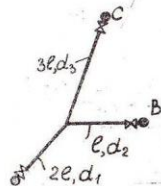
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q_0 , л/с	12	10	30	40	60	150	12	180	8	300
d , мм	100	125	150	200	250	300	75	350	50	400



5-31. Найти расходы во всех линиях разветвленной сети с двумя резервуарами и со свободным сливом воды в бассейн из третьей линии, если задвижки полностью открыты. Известно: $H_2 = 20$ м, $H_3 = -3$ м, $l = 1$ км, $d_1 = d_2 = 150$ мм, трубы стальные.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_1 , м	10	30	25	32	12	15	36	8	40	5
d_1 , мм	125	200	150	100	200	175	50	125	75	75

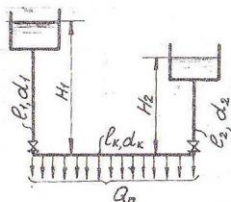
Выяснить, как изменятся расходы после отключения второй линии.



5-32. Размеры стальных труб на всех участках разветвленного трубопровода и концевые напоры известны: $l = 100$ м, $d_1 = 50$ мм, $d_2 = 32$ мм, $H_A = 20$ м, $H_B = 10$ м. Определить расходы всех линий при полностью открытых вентилях. Как изменятся расходы, если закрыть вентиль первой линии?

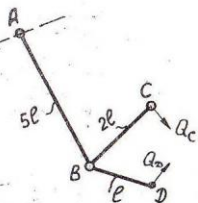
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_0 , м	6	12	25	14	30	16	4	40	8	2
d_k , мм	32	40	45	32	25	36	50	20	40	25

5-33. Коллектор с непрерывной раздачей воды ($\ell_k = 100$ м, $d_k = 100$ мм) имеет двустороннее питание. Полагая раздачу равномерной по всей его длине, определить общий расход воды при минимальном напоре в коллекторе $H_{\min} = 10$ м. Выяснить положение граничного вечения с минимальным напором, которое разделяет потоки от того и другого резервуара. Известно: $H_1 = 30$ м, $\ell_1 = 3H_1$, $d_1 = 80$ мм, трубы стальные, $\ell_2 = 2H_2$.



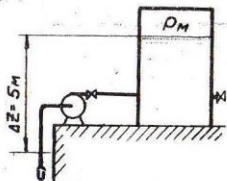
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H_0 , м	20	37	25	40	18	34	22	45	15	30
d_k , мм	60	60	50	70	70	40	50	40	80	60

5-34. В узле А сеть присоединяется к магистрали с напором $H_A = 30$ м. Зная распределение расходов в сети и длины отдельных участков ($\ell = 1$ км), составить варианты для экономического выбора диаметров труб по участкам. Напоры в конечных точках сети С и Д должны быть не меньше 15 м.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q_c , л/с	25	10	30	20	60	75	100	50	35	12
Q_d , л/с	15	20	25	40	30	50	80	150	10	5

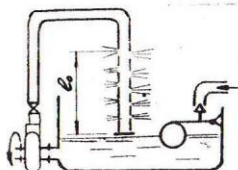
5-35. Подача воды в напорный бак осуществляется насосом ЗК-6. Определить расход воды при заданном избыточном давлении в баке P_M . Общая длина всасывающей и напорной линий $\ell = 1000$ д, где d - диаметр стальных труб этих линий.



Характеристика насоса ЗК-6 при $n = 2900$ об/мин:

Q , л/с	0	4	8	12	16	20	22
H , м	62	64	63	58	51	42	36

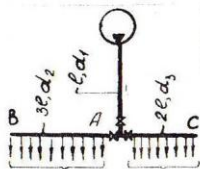
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_m , кПа	300	250	450	280	340	100	220	140	380	0
d	80	70	90	75	65	60	72	55	85	50



5-36. Определить подачу (расход) центробежного насоса на установке для увлажнения воздуха, напорный трубопровод которой заканчивается глухим торцом и участком $l_0 = 10d$ с перфорированной стенкой. Малые отверстия в стенке, через которые разбрызгивается вода, имеют суммарную площадь, равную 20 % от площади поперечного сечения трубы. Характеристика насоса:

Q , см ³ /с	0	100	200	300	400	500
H , м	8	7,8	7,3	6,8	5,7	4,5

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	12	16	20	10	14	18	11	13	15	17



5-37. Насос питает два коллектора с непрерывной раздачей воды. Полагая раздачу равномерной, найти путевые расходы обоих участков при заданных конечных избыточных давлениях $P_b = P_c = 100$ кПа, если $d_1 = 100$ мм, $d_3 = 70$ мм. Характеристика насоса:

Q_n , л/с	4	8	12	16	20	22
H , м	64	63	58	51	42	36

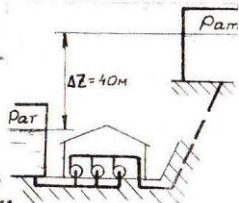
Как изменится давление в выходном сечении насоса после отключения коллектора АС, если расход и конечное давление в другом коллекторе останутся прежними?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	20	10	32	12	40	36	16	24	8	28
d , мм	80	60	70	50	80	75	70	60	50	75

5-38. Нефть ($\rho = 860 \text{ кг/м}^3$) перекачивается из одного нефтехранилища в другое тремя одинаковыми насосами, соединенными параллельно. Определить расходы нефти при одном, двух и трех работающих насосах. Известно:

$l = 2500 d$, где d - диаметр стальных труб.

Характеристика насоса 18НДС при 960 об/м:

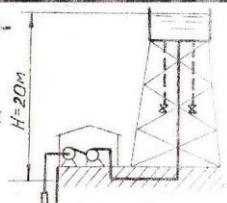


Q , л/с	0	200	400	600	800	900
H , м	72	70,5	69	64	54	44

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	800	900	1000	700	1100	600	500	1200	750	840

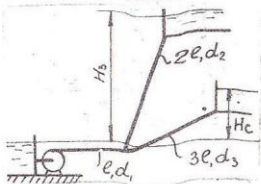
5-39. Два одинаковых последовательно соединенных насоса 8НДв подают воду в напорную башню по стальному трубопроводу, общая длина которого $l = 1000 d$. Определить расход воды и суммарный напор насосов при этом расходе.

Характеристика насоса 8НДв при 960 об/м:



Q , л/с	0	40	80	120	160	200
H , м	36	8	37,5	35	30	22

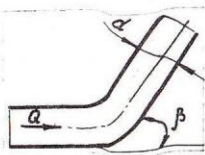
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9
d , мм	200	250	225	275	300	325	350	175	150



5-40 Вычислить расходы во второй и третьей линиях и определить мощность при заданном расходе первой линии $Q_1 = 50$ л/с. Трубы стальные; $H_8 = 15$ м, $H_c = 10$ м, $d_1 = 200$ мм, $d_2 = 125$ мм.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9
e , м	200	160	150	180	120	220	240	180	140

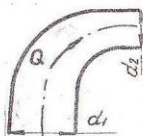
VI. СИЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОТОКА ЖИДКОСТИ С ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ



6-1. Составить формулу для определения силы давления потока масла на колено трубопровода ($R = 20$ мм) с углом поворота потока β и вычислить силу при расходе $Q = 1,5$ л/с и избыточном статическом давлении в трубе $P_0 = 1$ МПа. Показать направление вектора сил.

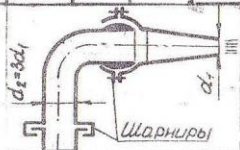
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9
β , град	360	90	45	180	120	60	150	30	270

6-2. Определить силу давления потока воды на колено трубопровода, поворачивающего поток в горизонтальной плоскости на угол 90° , при избыточном статическом давлении в начальном сечении $P = 300$ кПа. Показать направление вектора силы.



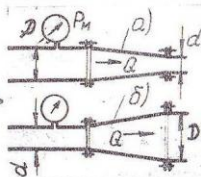
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	400	450	500	550	600	350	300	250	200	150
Q , л/с	150	180	220	260	300	120	100	80	60	40

6-3. Определить силу реактивного давления струи воды, вытекающей из гидромонитора со скоростью V . Какая сила давления при этом действует на колено?

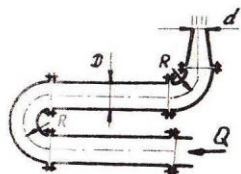


Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	20	16	18	22	24	17	19	21	23	25
V , м/с	50	60	70	35	45	55	80	65	30	40

6-4. Определить силу давления потока воды на стенки конического патрубка ($D = 15$, $l = 6d$) при избыточном давлении $P_M = 200$ кПа. Сравнить ее с силой статического давления на стенки патрубка при том же давлении.

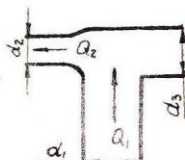


Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	18	22	32	20	40	25	15	27	36	30
Схема	а					б				



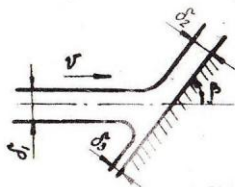
6-5. Найти силы давления воды на поворотные участки трубопровода ($R = 2d$) и на сопло ($D = 2d$, $l_c = 5d$).

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	25	30	36	40	32	50	45	20	60	55
Q , л/с	5	7	8	10	10	15	12	6	25	20



6-6. Определить силу давления потока масла на тройник при заданном соотношении расходов $Q_3/Q_2 = n$, если $Q_1 = 10$ л/с, $d_1 = 40$ мм, $d_2 = 20$ мм, $d_3 = 32$ мм, статическое избыточное давление $p_1 = 200$ кПа.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n	I	2	0,5	1,2	1,5	0,6	3	0,8	2,5	0,7

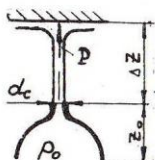


6-7. Плоская водяная струя ($\delta_1 = 10$ мм) со скоростью V набегаёт на наклонную пластину. Найти силу давления струи, действующую на единицу ширины пластины, и выяснить, в каком соотношении находятся толщины образовавшихся струй δ_2 и δ_3 . Трение о пластину можно не учитывать.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V , м/с	I	1,5	2	0,8	1,2	1,8	0,6	0,5	2,2	2,5
β , град	30		45		60		75		90	

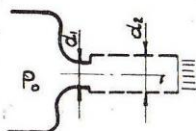
6-8. Как будет изменяться сила давления струи на плоский экран по мере отдаления его от среза сопла? Построить график зависимости $P(z)$ в широком диапазоне изменения аргумента

$0 \leq \Delta z \leq \Delta z_{\max}$ при заданном избыточном давлении P_0 . Сопротивление воздуха не учитывать и принять: $z_0 = 0,5 \text{ м}$, $d_c = 10 \text{ мм}$.

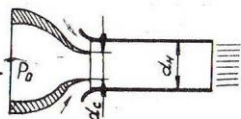


Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_0 , кПа	100	120	80	110	75	60	50	90	130	150

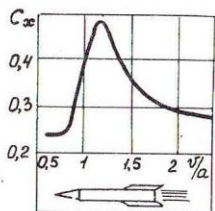
6-9. Выяснить влияние цилиндрического насадка на силу реактивного давления струи жидкости, вытекающей из коноидального сопла. Как изменится эта сила после присоединения насадка с диаметром $d_2 = 1,2 d_1$, если оставить прежними d_1 и давление P_0 ?



6-10. Тягу реактивного двигателя можно увеличить с помощью эжекторного цилиндрического насадка. Сравнить силы реактивного двигателя с таким насадком и без него при заданном соотношении диаметров сопла и насадка, полагая жидкость идеальной и несжимаемой, а распределение давлений в начальном сечении цилиндрического участка насадка равномерным.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d_n : d_c$	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2	1,8	1,6	1,4	1,2

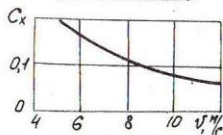
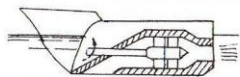


6-II. Определить скорость горизонтального полета ракеты, если скорость газовой струи в выходном сечении сопла $v_c = 1000$ м/с, давление в струе равно внешнему ($p_c = p_n = 100$ кПа), расход топлива и окислителя m , площадь миделевого сечения ракеты $S = 0,04$. Коэффициент лобового сопротивления приведен на рисунке (причем скорость звука $a = 340$ м/с).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m , кг/с	3,2	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2	1,8	1,6	1,4

6-12. Катер оборудован водометным движителем, сопло которого имеет диаметр d . Водозаборный канал движителя расположен перпендикулярно оси сопла. Определить скорость катера при заданном расходе движителя Q . Площадь миделевого сечения катера $S = 0,3$ м², а коэффициенты сопротивления приведены на рисунке к задаче 6-13.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380
Q , л/с	400	350	400	450	500	480	580	475	520	600



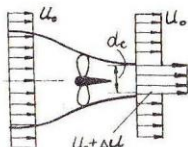
6-13. Водометный движитель катера состоит из осевого насоса и двух коротких каналов, по которым вода подводится к насосу и выбрасывается наружу через сопло диаметром d . Ось водозаборного канала при входе в канал направлена перпендикулярно оси сопла. Для движения катера со скоростью $v = 36$ км/ч необходима тяга

$R = 5$ кН. Какими при этом должны быть подача (расход) и напор осевого насоса, если коэффициенты сопротивления обоих каналов, приведенные к скоростному напору струи, $\epsilon_1 = 0,4$?

Как изменятся подача и напор насоса, если ось водозаборного канала повернуть на 30° в сторону носа? Диаметр водозаборного канала на 10% больше диаметра сопла.

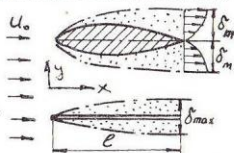
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	400	350	450	350	300	275	325	375	425	475

6-14. Витн увеличивает скорость воздушной струи ($d_c = 1$ м) за собой на величину ΔU . Определить силу тяги винта при $U_0 = 60$ м/с, идеализируя течение вокруг него, как показано на схеме, и не учитывая сжимаемость воздуха ($\rho = 1,2$ кг/м³).



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ΔU , м/с	40	35	30	25	45	50	55	60	20	15

6-15. Твердое тело симметричного профиля обтекается воздушным потоком ($\rho = 1,25$ кг/м³) со скоростью $U_0 = 60$ м/с. Определить силу сопротивления тела (в расчете на единицу его ширины) по известной толщине δ_m пограничного слоя и распределению скоростей в нем:



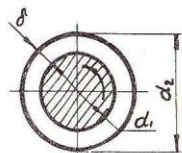
$$U_x = U_0 \left(\frac{141}{\delta} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
δ_m , мм	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12

6-16. Вычислить силу трения, действующую на стенки прямого участка стальной трубы ($l = 300 d$) при равномерном течении нефти ($t = 10^\circ\text{C}$) со скоростью $V = 2,5$ м/с. Как изменится эта сила, если по той же трубе с той же скоростью потечет вода ($t = 10^\circ\text{C}$)?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	50	25	70	32	80	36	100	40	150	200

6-17. Пластина (см. рисунок к задаче 6-15) длиной $l = 0,2$ м обтекается потоком воды ($t = 20^\circ\text{C}$). Построить графики изменения удельной силы трения и максимальной толщины пограничного слоя на пластине при изменении скорости потока от 0,5 м/с до 2 м/с. Критическое число Рейнольдса $(Re)_{кр} = 4 \cdot 10^5$.



6-18. В масле И-20 ($t = 25^\circ\text{C}$), заполняющем неподвижный цилиндр ($d_2 = 24$ мм), вращающемся длинный стержень диаметром $d_1 = 12$ мм. Распределение скоростей в зазоре следует закону $u = C_1 r + \frac{C_2}{r}$, где C_1 и C_2 - постоянные величины. Какой удельный (рассчитанный на единицу длины стержня) момент надо приложить к стержню,

чтобы достичь заданную угловую скорость ω ? Построить график зависимости момента от зазора δ в диапазоне $0,05 \leq \delta/d_1 \leq 0,20$ при неизменном d_1 .

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ω , 1/с	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56

6-19. Вращающийся цилиндр ($d = 30$ мм) погружен в поток воды так, что его ось перпендикулярна вектору скорости $u_0 = 1$ м/с. Полагая обтекание цилиндра плоским и безотрывным, а начальную скорость движения его оси равной нулю, определить силу давления на единицу длины цилиндра в начальный момент и выяснить траекторию движения его оси.

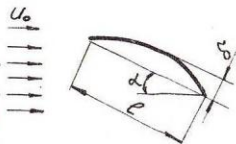


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ω , 1/с	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30

6-20. Изогнутая пластина ($l = 0,5$ м, см. в таблице) обтекает потоком воды ($t = 20^\circ\text{C}$) со скоростью $U_0 = 10$ м/с на бесконечности. Приняв теоретическое значение коэффициента подъемной силы $C_y \approx 2\pi(\alpha + 2\delta/l)$ и приближенное выражение для коэффициента лобового сопротивления

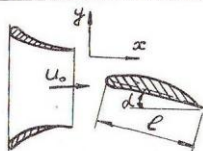
$$C_x \approx 0,072 Re_l^{-0,2} (1 + 7\delta/l)(1 + 4\alpha + 36\alpha^2),$$

где α - угол атаки в радианах, найти угол атаки, соответствующий наивысшему качеству, и при этом угле определить полную силу давления потока на единицу ширины пластины.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
100 δ/l	2	2,4	2,8	3,2	3,6	4	4,4	4,8	5,2	6

6-21. Продувка в аэродинамической трубе эллиптического профиля ($l = 0,25$ м) дала следующие значения коэффициентов подъемной силы C_y и лобового сопротивления C_x при $Re_l = 10^6$:



α , град	0	1	2	3	4	5	6	7	8
C_y	0,48	0,58	0,68	0,77	0,85	0,92	0,97	1,01	1,02
100 C_x	0,9	1	1,2	1,4	1,6	2	2,5	4	8

Найти, какие силы (в расчете на единицу ширины модели) изменились при угле атаки α_1 , а также при каком угле атаки качество профиля было наиболее высоким. Температура воздуха 20°C , а давление вдали от модели $P_0 = 100$ кПа.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α_1 , град	4	2	5	3	4,5	6	0	8	7	1

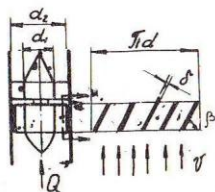
6-22. Для осевого насоса выбран профиль лопасти, характеристики которого при $Re_\ell = 10^6$ описаны в предыдущей задаче. Определить для заданной скорости u_0 набегающего потока воды ($t = 10^\circ\text{C}$) угол атаки, при котором качество профиля будет наиболее высоким, и вычислить при этом угле атаки удельные (на единицу ширины лопасти) подъемную силу и силу лобового сопротивления. Какими будут эти силы при нулевом угле атаки?

В первом приближении можно считать, что в диапазоне чисел Re_ℓ , соответствующем заданным скоростям, коэффициент C_y не изменяется, а коэффициент C_x изменяется так же, как у прямой пластины при нулевом угле атаки и полностью турбулентном пограничном слое. Длина хорды профиля $\ell = 0,4$ м.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
u_0 , м/с	10	8	14	12	18	16	9	15	13	17

6-23. Поток воды со скоростью на бесконечности $u_0 = 10$ м/с обтекает прямую пластину ($\ell = 0,25$ м), установленную под углом атаки α . Полагая течение плоским и потенциальным и используя постулат Жуковского и Чаплыгина, определить циркуляцию скорости вокруг пластины и вычислить удельную подъемную силу, действующую на единицу ширины.

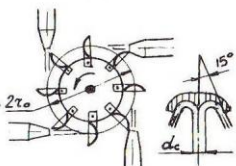
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
α , град	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1



6-24. Турбинный расходомер имеет колесо с прямыми плоскими лопатками, равномерно закрепленными на цилиндрической втулке. Плоскость лопасти составляет угол β с плоскостью ометаемой входной кромкой лопасти при своем вращении. Пренебрегая трением, найти зависимость скорости вращения колеса от расхода жидкости. Радиус втулки $d_1 = 9$ мм, радиус колеса $d_2 = 12$ мм, толщина лопасти $\delta = 0,8$ мм.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δ , град	30	34	38	42	46	50	54	26	22	18

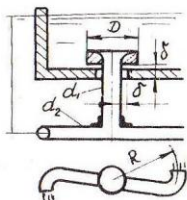
6-25. Рабочее колесо свободнотруйной турбины имеет профилированные, чашеобразные лопатки и приводится во вращение водяными струями, вытекающими из четырех сопел ($d_c = 40$ мм) с одинаковыми скоростями $V = 60$ м/с. $2\tau_0$.
 Определить крутящий момент на валу турбины и ее мощность при заданной угловой скорости вращения ω , если эффективный радиус колеса $r_e = 0,2$ м.



Построить качественный (без расчетов) график зависимости мощности турбины от скорости вращения. Определить оптимальную скорость вращения колеса, при которой мощность максимальна, и вычислить эту мощность.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ω , 1/с	100	60	180	40	200	120	80	140	220	160

6-26. Сегнерово колесо вращается под действием реактивного момента, возникающего при истечении воды из изогнутых трубок. Определить скорость вращения колеса при заданном напоре H . Ободной и радиальный зазоры подпятника $\delta = 0,1$ мм, длина вертикальной трубки $l = 0,5$ м, диаметр изогнутых трубок $d_2 = 0,6 d_1$, радиус центров их выпускных отверстий $R = 10 d_1$, диаметр подпятника $D = 2 d_1$. Выяснить, как изменится скорость вращения, если R уменьшить вдвое.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	12	20	8	18	10	16	12	22	14	24
H , м	0,8					0,5				



6-27. В системах гидроавтоматики широко используется усилитель типа "сопло-заслонка", с помощью которого при очень малых изменениях зазора δ можно получить значительные изменения давления P_0 перед соплом. Построить характеристику усилителя $P_0(\delta)$ в диапазоне $0,05 \leq \delta/d_c \leq 0,02$ при неизменном расходе Q , полагая, что масло АМГ-10 ($t = 20^\circ\text{C}$)

безотрывно вытекает через зазор между торцом сопла и заслонкой. Выяснить, как при этом изменяется сила давления на заслонку.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_c , мм	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1	2,2	2,4	2,6	2,8
Q , см ³ /с	80	60	50	30	25	15	120	150	200	250



6-28. Вычислить скорость равномерного падения стального шарика диаметром d в турбинном масле. С какой скоростью будет падать тот же шарик в воде? Температура жидкостей 30°C .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	4	6	8	10	12	15	18	20	2	1



6-29. Определить скорость витания шарообразных частиц диаметром d_1 (см. таблицу) и $d_2 = 30 d_1$ в воде ($t = 25^\circ\text{C}$). Какими будут скорости витания этих частиц в масле ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,6 \text{ см}^2/\text{с}$) и в воздухе ($\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$)?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2

Примечание. Скоростью витания называется скорость восходящего потока жидкости, при которой частицы не изменяют своего высотного положения.

6-30. Поток воды транспортирует твердые частицы по вертикальной трубе вверх. Плотность частиц $\rho_T = 2600 \text{ кг/м}^3$, их характерный размер W/S (W - объем частицы, S - площадь ее миделевого сечения); а осредненный коэффициент сопротивления частиц с учетом их взаимного влияния $\zeta_T = 0,5$. Определить скорость потока воды, при которой твердые частицы будут перемещаться с заданной скоростью U_T .



Какой будет при этом действительная концентрация частиц в трубе, если соотношение объемных расходов твердых частиц и воды $Q_T : Q_B = 1:7$?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
W/S , мм	10	20	6	12	24	8	15	28	18	32
U_T , м/с	1	0,5	1,2	1,6	0,7	2	0,6	0,8	1,4	0,9

6-31. Твердая плоская частица движется вместе с потоком жидкости. Указать наиболее вероятное положение частицы по отношению к вектору скорости потока вдали от частицы. Дать объяснение.



УП. ОДНОМЕРНОЕ СТАЦИОНАРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ГАЗА

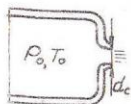
7-1. Тело с тупой передней частью летит в воздухе с относительной скоростью M . Определить давление, плотность и температуру в критической точке, если $\rho_\infty = 0,1 \text{ МПа}$, а $t_\infty = 0^\circ\text{C}$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
M	I	0,95	0,8	0,75	0,5	0,9	0,65	0,7	0,85	0,6

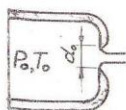
7-2. С какой скоростью летит самолет на высоте 2500 м, если звук от него запаздывает на Δt с. Ветра нет.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δt , с	5	6	7	8	9	8,5	7,5	6,5	5,5	4,5

7-3. Воздух вытекает через конический насадок в атмосферу ($\rho_{ам} = 0,1$ МПа). При каком минимальном давлении ρ_0 скорость струи станет звуковой? До какой температуры надо подогреть воздух в ресивере, чтобы получить температуру струи, равную 15°C ?

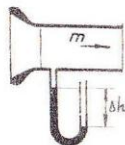


7-4. Воздух вытекает из ресивера в атмосферу через коническое сопло (см. рисунок к предыдущей задаче). Построить графики изменения параметров струи на срезе сопла при изменении давления ρ_0 в ресивере от 0,1 МПа до 0,5 МПа. Температура $T_0 = 300$ К.



7-5. Определить скорость, давление и температуру струи при истечении воздуха в атмосферу через отверстие с острыми кромками. Вычислить расход воздуха. Диаметр отверстия $d_0 = 12$ мм; $T_0 = 360$ К.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	I
ρ_0 , кПа	200	250	300	350	400	450	500	320	475	550

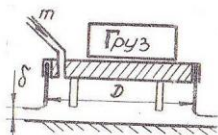


7-6. Входной растроб воздуховода используется в качестве расходомера. Определить массовый расход воздуха при заданном показании ртутного манометра Δh , если давление атмосферы $\rho_{ам} = 100$ кПа, ее температура $t = 15^\circ\text{C}$, а диаметр воздуховода $d = 200$ мм.

Какое наибольшее количество воздуха может поступить в воздуховод и каким при этом будет показание манометра?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δh , мм	100	150	50	180	200	120	220	80	240	260

7-7. Платформа на воздушной подушке служит для перемещения тяжелых грузов по относительно ровному полу. Какое количество воздуха надо подавать в камеру платформы, чтобы обеспечить перемещение груза массой M при зазоре между эластичной шторой и полом $\delta \leq 1$ мм. Собственная масса платформы $M_n = 50$ кг, ее диаметр $D = 2$ м.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
M , кг	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5

7-8. Известны параметры воздушного изотропного потока в конце конфузора (t_2 , T_{a2} и $\rho_2 = 0,5$ МПа). Определить скорость, давление, температуру и плотность потока в сечении 1, если $\omega_1 = 1,5 \omega_2$, $\omega_2 = 3$ см². Вычислить осевую силу давления на стенки конфузора.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
t_2 , °C	-10	0	10	20	15	30	-20	5	50	-5
T_{a2} , К	290	300	400	440	360	400	275	300	465	290

7-9. При заданных давлениях воздуха (ρ_1 , ρ_{01}) и температуре $T_{01} = 400$ К в начальном сечении диффузора определить абсолютные скорости изотропного потока в сечениях 1 и 2, если $\omega_1 = 2$ см², $\omega_2 = 2 \omega_1$. Вычислить массовый расход воздуха и найти силу давления на стенки диффузора.





4
5
6
7
8
9
0

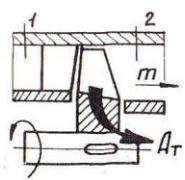
7	8	9
700	800	900
2000	1200	3000



5	6	7	8	9	0
80	150	200	300	400	500
120	200	250	250	200	300

Из коллектора постоянного сечения $\omega_2 = 20 \text{ см}^2$ равномерно забирается масса m_n . Определить параметры потока в сечении 2-2, если известны: $\rho_1 = 0,6 \text{ кг/м}^3$, $t_1 = 70^\circ\text{C}$. Построить эпюру давления по длине коллектора.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m_r , кг/с	2,0	2,6	1,7	3,0	1,2	1,8	0	3,2	2,5	2,0
m_n , кг/с	1,6	2,4	1,7	2,5	2,0	3,0	3,0	1,4	1,0	2,6



7-12. Определить мощность идеальной* турбины ($\varrho = 1$) по заданным параметрам воздушного потока перед ней: $\rho_1 = 50 \text{ м/с}$, $t_1 = 1000^\circ\text{C}$ - и за ней: $\rho_2 = 250 \text{ м/с}$, $\rho_2 = 50 \text{ кПа}$, t_2 см. в таблице. Площадь поперечного сечения канала за турбиной $\omega_2 = 0,01 \text{ м}^2$.

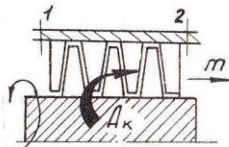
* Идеальными называются машины, которые передают энергию без потерь, не изменяя энтропии потока.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$T_1, ^\circ\text{C}$	500	400	100	300	450	150	200	350	250	550

7-13. Найти полное давление и температуру торможения воздушного потока за идеальной турбиной ($\zeta = 1$) по известным параметрам перед турбиной: $\mathcal{L}_1 = 30 \text{ м/с}$, $\rho_1 = 1 \text{ МПа}$, $T_1 = 1200 \text{ К}$, если удельная (на единицу массы) работа воздуха в турбине равна $A_{\text{т}}$, а соотношение площадей поперечных сечений канала $\omega_2 : \omega_1 = 1,5$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$A_{\text{т}}, \text{кДж/кг}$	700	660	620	580	540	500	460	420	380	340

7-14. Определить удельную работу $A_{\text{к}}$ над единицей массы воздуха в идеальном осевом компрессоре, который обеспечивает n - кратное повышение статического давления, при следующих параметрах потока перед и за компрессором: $\mathcal{L}_1 = 200 \text{ м/с}$, $T_1 = 250 \text{ К}$, $\rho_1 = 60 \text{ кПа}$, $\lambda_2 = 0,2$.

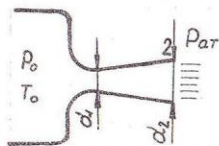


Вычислить скорость и температуру потока за компрессором.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n	5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10

7-15. Параметры воздушного потока перед компрессором: $\rho_1 = 60 \text{ кПа}$, $T_1 = 10^\circ\text{C}$, $\lambda_1 = 0,8$. Определить повышение температуры торможения полного и статического давлений в идеальном компрессоре ($\zeta = 1$) при заданной удельной работе $A_{\text{к}}$ над единицей массы воздуха.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$A_{\text{к}}, \text{кДж/кг}$	200	230	260	290	320	350	380	410	440	470



7-16. Построить эшпоры давления, скорости и температуры по длине сопла Лавалия при двух режимах течения воздуха:

- 1) расчетном, когда $P_2 = P_{atm}$;
- 2) предельном дозвуковом с критической скоростью в узком сечении.

Диаметр узкого сечения $d_1 = 5$ мм; давление в ресивере $P_0 = 0,5$ МПа, температуру T_0 см. в таблице. Истечение происходит в атмосферу ($P_{atm} = 0,1$ МПа).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
T_0 , К	280	320	360	400	420	450	480	500	520	550

7-17. Определить характерные поперечные размеры (d_1, d_2) сверхзвукового сопла при заданных параметрах воздуха в ресивере: $P_0 = 1$ МПа, $T_0 = 400$ К - и расходе m . Давление струи на выходе из сопла равно атмосферному ($P_{atm} = 100$ кПа). Найти число Маха, скорость и температуру струи в сечении 2.

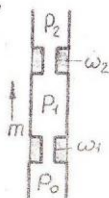
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m , кг/с	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

7-18. С помощью сопла Лавалия необходимо получить сверхзвуковую струю с заданным числом M_2 ($P_2 = P_{atm} = 0,1$ МПа, $t_2 = 15^\circ\text{C}$). Какими должны быть параметры воздуха в ресивере ($P_0; T_0$) и размеры сопла ($d_1; d_2$) при расходе m ? Выяснить, при каком давлении за соплом

- а) течение всюду дозвуковое, а в узком сечении - звуковое;
- б) в выходном сечении появится прямой скачок.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
M_2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,8	3,0	1,5	2,0
m , кг/с	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	0,6	0,9

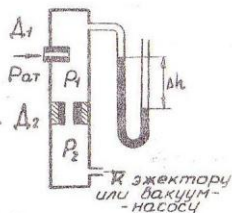
7-19. Пневмолиния содержит два дросселя с разными площадями поперечных сечений ($\omega_1 = 3 \text{ мм}^2$, $\omega_2 = n\omega_1$, n см. в таблице) и промежуточную камеру. Полагая течение воздуха изэнтропным, выяснить, как будет измениться относительное давление P_1/ρ_0 в промежуточной камере, если при неизменном давлении P_0 понижать давление за вторым дросселем до $P_2 = 0,1 P_0$. Построить графики $(P_1/\rho_0) = f(P_2/\rho_0)$ при заданном соотношении сечений дросселей и вычислить максимальный расход воздуха.



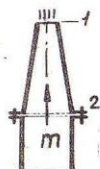
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$n = \omega_2/\omega_1$	3	2,5	2	1,5	1,4	1,2	1	0,8	0,6	0,5

7-20. Решить предыдущую задачу, полагая течение воздуха изотермическим и не учитывая сопротивления.

7-21. Аэродинамический барометр содержит две камеры, два дросселя с одинаковыми или разными проходными сечениями ω_1 , ω_2 и манометр, заполненный водой. Атмосферный воздух через дроссель Д1 поступает в камеру с давлением $P_1 < P_{at}$, а затем через дроссель Д2 перетекает со звуковой скоростью в камеру с давлением P_2 ниже критического. Полагая течение изэнтропным, определить соотношение давлений P_1/P_{at} при надкритическом режиме истечения через дроссель Д2. Построить характеристику барометра, выражающую зависимость $P_{at}(\Delta h)$.

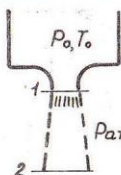


Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ω_1/ω_2	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,4	1,7	2



7-22. Определить осевую силу давления воздушного потока на стенки конического сопла при атмосферном давлении снаружи. Известно: $T_0 = 300 \text{ K}$, $d_2 = 15 \text{ мм}$, $d_1 = 3d_2$, $\lambda < 1$, ρ_0 см. в таблице.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ_0 , МПа	0,3	0,2	0,4	0,15	0,6	0,18	0,5	0,16	0,25	0,17



7-23. Определить силу реактивного давления струи на сосуд при истечении воздуха через конический насадок. Как изменится эта сила, если к коническому насадку присоединить диффузор, который обеспечивает плавное понижение давления до атмосферного. Известно: $T_0 = 500 \text{ K}$, $d_1 = 20 \text{ мм}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ρ_0 , МПа	0,5	0,3	0,8	1,0	0,2	0,9	0,4	0,7	0,17	0,6



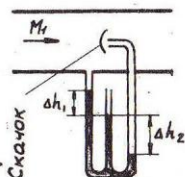
7-24. Определить параметры воздушного потока после резкого расширения канала (в сечении 2). Известно соотношение площадей сечений $\omega_2 : \omega_1$ (см. таблицу) и состояние потока в сечении 1: $\rho_0 = 0,2 \text{ МПа}$, $T_1 = 12^\circ\text{C}$, $\lambda = 0,95$. Сравнить полные давления потока в сечениях 1 и 2.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\omega_2 : \omega_1$	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4

7-25. Воздушный поток практически без теплообмена проходит участок с резким расширением канала. Выявить аналитическую зависимость соотношений статических ρ_2/ρ_1 и полных ρ_{02}/ρ_{01} давлений в сечениях 1 и 2 от начальной относительной скорости потока λ_1 . Построить графики этих зависимостей, взяв соотношение площадей сечений ($\omega_2 : \omega_1$) из таблицы предыдущей задачи.

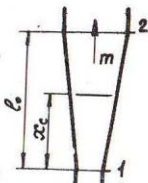
7-26. Определить безразмерные скорости сверхзвукового воздушного потока M_1 и λ_1 по показаниям ртутного манометра, подключенного к трубкам полного и статического давлений: $\Delta h_1 = 0,2$ м, Δh_2 см. в таблице, $P_{ат} = 100$ кПа.

Вычислить абсолютную скорость U_1 при температуре $t_1 = 40^\circ\text{C}$.



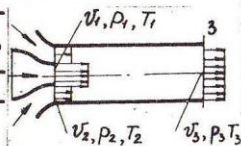
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δh_2	I,2	I	I,5	0,9	I,I	I,3	I,4	I,6	0,8	0,7

7-27. Течение воздуха в диффузоре сопровождается появлением скачка в сечении x_c . Параметры потока во входном сечении диффузора: $\lambda_1 = 1$, $P_1 = 200$ кПа, $t_1 = 15^\circ\text{C}$. Полагая скачок прямым, а течение перед ним и за ним изоэнтропным, определить скорости и статические давления у потока перед и за скачком, а также в конечном сечении диффузора ($d_2 = 4d_1$, $d_1 = 20$ мм). Построить графики изменения этих параметров вдоль диффузора.

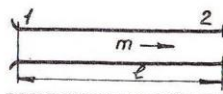


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
x_c/d_1	4	4,25	4,5	4,75	5	5,25	5,5	5,75	6	6,25

7-28. В цилиндрической камере эжектора смешиваются два воздушных потока с такими начальными параметрами: $P_1 = P_2 = 100$ кПа, $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $t_2 = 0^\circ\text{C}$, скорости U_1 и U_2 см. в таблице. Пренебрегая сопротивлением трения и полагая, что к концу камеры происходит полное выравнивание скоростей потоков, определить все параметры смеси в сечении 3. Относительная площадь сопла $\omega_c : \omega_3 = 0,25$.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
U_1 , м/с	200	260	100	280	70	220	150	50	180	240
U_2 , м/с	50	80	20	80	20	100	30	15	80	40



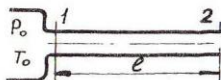
7-29. Параметры воздушного потока в начале теплоизолированного трубопровода диаметром d известны: T_1 см. в таблице, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $P_1 = 1,5$ МПа. При какой длине трубопровода скорость потока в конце будет критической? Определить все параметры потока в концевом сечении трубопровода и вычислить расход воздуха.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	16	20	25	30	36	40	45	50	55	60
T_1 , м/с	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60

7-30. Воздух по стальной трубе ($d = 20$ мм, l см. в таблице) вытекает в атмосферу ($P_{атм} = 100$ кПа), имея в начальном сечении сверхзвуковую скорость λ_1 . При каком значении этой скорости скачкообразный переход к дозвуковому течению произойдет сразу же за сечением I? До какого значения надо повысить начальную скорость потока, чтобы скачок переместился к концу трубы и исчез?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , м	2,4	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1	0,8	2,7	3

7-31. Из ресивера ($T_0 = 290$ К, P_0 см. в таблице) воздух вытекает в атмосферу ($P_{атм} = 0,1$ МПа) через стальную трубу диаметром $d = 20$ мм и длиной $l = 500 d$. Построить и сравнить эпюры скоростей и статических давлений вдоль трубы при адиабатном и изотермическом течении воздуха.



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_0 , МПа	0,6	0,8	1,0	1,2	0,9	0,7	1,1	0,4	1,5	0,5

7-32. Питание пневмопривода осуществляется из большого ресивера ($P_0 = 0,6$ МПа, $T_0 = 350$ К) по шероховатой стальной трубе

диаметром $d = 16$ мм и длиной $l = 5$ м. Пренебрегая теплообменом с внешней средой, определить параметры воздушного потока в конечном сечении трубопровода при заданном расходе m .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m , г/с	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120

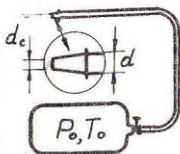
7-33. Воздухопровод кислородной станции длиной $l = 5$ км собран из труб диаметром d . Воздух поступает в него из атмосферы ($P_0 = 0,1$ МПа). Определить наибольший массовый расход воздуха и давление в конце трубопровода, при котором достигается этот расход. Движение изотермическое ($t = 17^\circ\text{C}$).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , м	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6

7-34. Воздух поступает в стальной теплоизолированный трубопровод квадратного сечения ($l = 40$ м; $b \times b = 100 \times 100$ мм²) из атмосферы ($P_{atm} = 0,1$ МПа, $t = 23^\circ\text{C}$). Определить массовый расход воздуха и скорости в разных сечениях воздухопровода при заданном статическом давлении потока в конечном сечении P_k .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_k , кПа	50	60	40	70	30	45	55	65	25	35

7-35. Определить параметры воздушной струи в выходном сечении сопла ($d_c = 0,5d$) при заданных давлении и температуре в ресивере: P_0 см. в таблице, $t_0 = 30^\circ\text{C}$. Сопло закреплено на конце резинового шланга длиной $l = 1000d$.



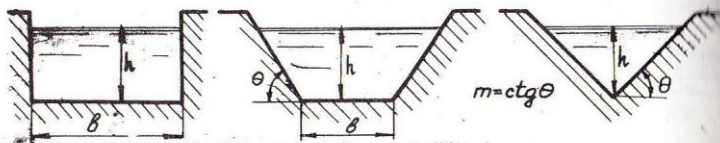
Вычислить расход воздуха и силу, которая отрывает сопло от шланга.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P_0 , кПа	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
d , мм	20	18	15	12	10	20	18	15	12	10

УШ. ТЕЧЕНИЕ В КАНАЛАХ И ЧЕРЕЗ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ. ФИЛЬТРАЦИЯ ЖИДКОСТИ

8-1. Выяснить пропускную способность канала, проложенного в земле при наполнении h_0 . Течение воды равномерное, коэффициент откосов $m = 2$, ширина канала по низу $b = 6$ м, уклон дна $i = 0,0003$.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_0 , м	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2



8-2. Определить размеры гидравлически наиболее выгодного сечения канала, который проложен в земле и должен пропустить расход $Q = 30$ м³/с при уклоне дна $i = 0,0001$. Коэффициент откосов m . Не будет ли размыва стенок канала, если допустимая скорость для данного грунта $V \leq 0,6$ м/с (см. рис. к задаче 8-1)?

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
m	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3

8-3. Определить нормальное и критическое наполнение канала ($b = 10$ м, $m = 0,5$), проложенного в скале и имеющего уклон дна i , при расходе $Q = 40$ м³/с. Выяснить состояние равномерного потока (см. рис. к задаче 8-1).

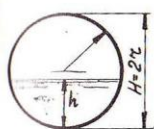
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$1000i$	0,1	0,3	0,5	0,8	2	5	8	10	20	30

8-4. Найти уклон дна прямоугольного бетонированного канала ($b = 4$ м), пропускающего в условиях равномерного течения при глубине h_0 расход $Q = 18$ м³/с. Вычислить критическое значение уклона дна (см. рис. к задаче 8-1).

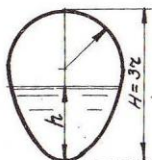
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_0 , м	I	I,2	I,4	I,6	I,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8

8-5. Определить расход и среднюю скорость потока воды в бетонированном канале замкнутого профиля ($\mathcal{Z} = 1$ м) при наполнении h_0 и уклоне дна $i = 0,001$. Выяснить состояние равномерного потока.

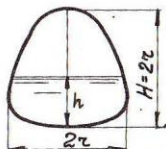
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_0/H	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,3	0,4	0,5
Сечение	Круглое		Шатровое		Овоидальное			Корытообразное		



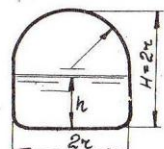
Круглое сечение



Овоидальное



Шатровое



Корытообразное

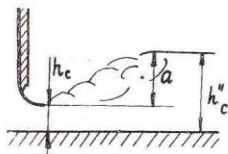
8-6. Найти нормальное и критическое наполнения канала замкнутого профиля ($\mathcal{Z} = 1,2$ м) при расходе Q и уклоне дна i . Выяснить состояние равномерного потока в канале (см. рис. к задаче 8-5).

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q ; м ³ /с	I	2	4	3	5	I5	IO	6	I5	IO
$1000 i$	2	40	0,6	I	25	IO	5	0,8	20	4
Сечение	Круглое		Овоидальное		Шатровое			Корытообразное		

8-7. В условиях равномерного течения канал замкнутого сечения с бетонированными стенками должен обеспечить расход воды Q при относительном наполнении $h_0/H = 0,6$ и уклоне дна $i = 0,006$. Определить размеры поперечного сечения канала, а также среднюю скорость и состояние потока в нем (см. рис. к задаче 8-5).

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	5	8	30	15	6	3	1	2	4	7
Сечение	Шатровое	Корытообразное	Круглое	Овоидальное						

8-8. Сопряжение струи воды, вытекающей из-под щита, с потоком в нижнем бьефе происходит в форме гидравлического прыжка в овальном сечении. Определить высоту прыжка в канале прямоугольного сечения при $h_c = 1$ м и средней скорости V_c . Какой будет высота прыжка в канале трапециевидального сечения ($b = 1$ м, $m = 1$)?



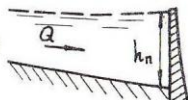
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V_c , м/с	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9

8-9. Прорытый в земле канал, имеющий трапециевидальный профиль ($b = 10$ м, $m = 2$), длину и уклон дна i , оканчивается уступом. Принимая глубину в конечном сечении равной критической, построить кривую свободной поверхности потока при расходе $Q = 30$ м³/с.



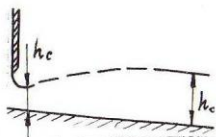
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
l , км	10	6	0,5	3,5	0,4	2	0,8	12	4	0,3
$1000 i$	0,1	-8	0	0,8	1	0,1	-10	0,5	0,3	-3

В-10. Построить кривую подпора в верхнем плесе при $h_n = 15$ м и расходе Q . Канал имеет прямоугольное сечение ($b = 8$ м) и проложен в равном грунте.



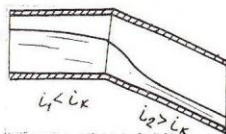
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	120	200	150	100	100	80	64	80	75	160
$1000 i$	0,9	20	0,7	30	0,5	1	0,1	40	0,3	8

В-11. Построить кривую свободной поверхности потока, вытекающего из-под шита ($h_c = 0$ м), при заданных расходе Q и уклоне дна i . Канал имеет прямоугольную форму сечения ($b = 4$ м) и бетонированные стенки и дно.

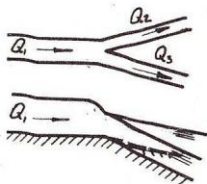


Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	450	100	200	40	50	35	100	20	120	50
$1000 i$	40	1	30	0,8	20	6	10	65	8	4

В-12. Построить кривую свободной поверхности потока на участке сопряжения двух бетонных коллекторов ($Z_1 = Z_2 = 0,8$ м; $i_1 = 0,0008$), уложенных с различными уклонами. Наполнение коллекторов в переходном сечении принять равным критическому.



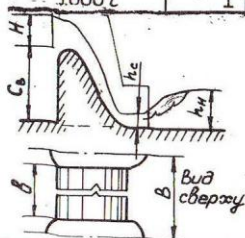
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	1,6	1,2	2	2,4	3	1,5	1,8	2,5	2	1,5
$1000 i_2$	60	50	40	30	20	25	35	45	10	15
Сечение	Круглое	Овоидальное			Шатровое			Корытообразное		



8-13. Канал прямоугольного сечения ($b = 6$ м) с уклоном дна $i_1 = 0,0002$ разветвляется на два канала с одинаковой шириной $b_2 = b_3 = 3$ м, но с разными уклонами дна: $i_2 = 0,0008$, i_3 см. в таблице. Выяснить, как распределится расход $Q = 15$ м³/с между двумя каналами, и определить глубины потоков во всех каналах вдали от места сопряжения.

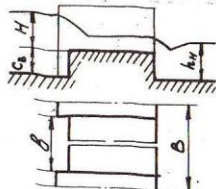
Нарисовать (без расчета) кривые свободной поверхности на участке сопряжения. Все каналы имеют бетонированные стенки и дно.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$1000 i_3$	I	0,4	2	0,6	3	1,2	4	6	8	10



8-14. Выяснить пропускную способность одного пролета водосливной плотины практического профиля ($C_s = 10$ м, $b = 14$ м, $B = 16$ м) при напоре H . Профилирующий напор $H_{\text{проф}} = 2,4$ м, а глубина в нижнем бьефе $h_N = 4,8$ м.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	1,5	1,8	2	2,2	2,4	2,8	3	3,2	3,6	4

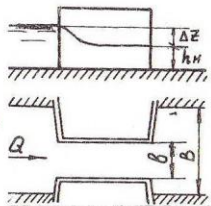


8-15. Определить расход одного пролета водослива с широким порогом ($C_s = 3$ м, $b = 10$ м, $B = 12$ м) при напоре H и глубине в нижнем бьефе $h_N = 3$ м.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	3,4	3,2	3	2,8	2,6	2,4	2,2	2	1,8	1,5

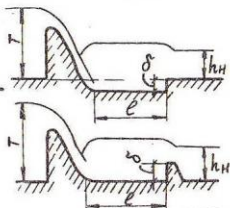
8-16. При режимах работы водосливов, описанных в задачах 8-14 и 8-15, выяснить характер сопряжения сливающейся струи с нижним бьефом.

8-17. Русло реки в месте строительства гидроузла стеснено перемычками. Определить подпор Δz при расходе Q и степени стеснения $B/B = 0,6$, если ширина русла $B = 200$ м, глубина в нижнем бьефе $h_N = 2,5$ м.



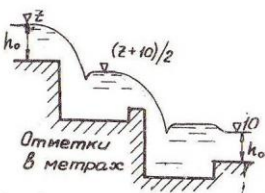
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , м ³ /с	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950

8-18. Определить размеры (δ , l) водобойного сооружения (колодца или стенки) за водосливом практического очертания при заданном удельном расходе $q = Q/B$, если $T = 40$ м, а глубина в нижнем бьефе $h_N = 3$ м.

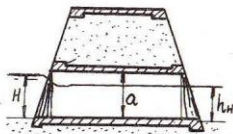


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
q , м ² /с	8	9	10	II	I2	5	6	7	8	9
Сооружение	Колодец					Стенка				

8-19. Сопряжение двух участков канала прямоугольного профиля выполняется в виде двухступенчатого перепада. Определить отметки дна и длину обеих ступеней, а также отметку гребня стенки в конце первой ступени при заданных параметрах потока перед и за перепадом: $h_0 = 2$ м, $v_0 = 1$ м/с. Построить в определенном масштабе схему перепада и нанести на нее все характерные размеры и отметки.

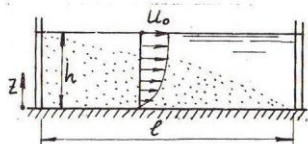


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
z , м	I3,2	I3,4	I3,6	I3,8	I4	I4,2	I4,4	I4,6	I4,8	I5



8-20. Какой расход пропустит железобетонная труба с квадратным сечением $a \times a = 1,6 \times 1,6 \text{ м}^2$, уложенная в наклон, под напором перед ней H , если глубина воды $h_n = 0,5 \text{ м}$, а коэффициент бокового обжатия $\varepsilon = 0,3$?

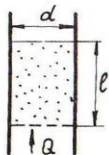
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	1,6	1,55	1,5	1,45	1,4	1,35	1,3	1,25	1,2	1,1



8-21. Мелкий песок, содержащийся в потоке воды ($t = 20^\circ\text{C}$), оседает на дно гравитационной песколовки. Промысловые скорости распределяются поперек потока по степенному закону $u = u_0 (x/h)^{1/2}$. Пренебрегая влиянием турбулентных пульсаций, определить

скорость u_0 при которой осядут на дно все песчинки ($\rho_n = 2600 \text{ кг/м}^3$) крупнее d_{min} , если длина песколовки $l = 20 \text{ м}$, а глубина потока $h = 1,5 \text{ м}$.

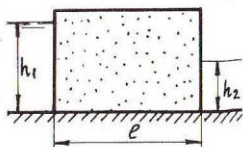
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_{min} , мм	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6



8-22. Вычислить потери напора в песчаном фильтре ($d = 300 \text{ мм}$, $l = 1 \text{ м}$) при расходе воды Q . Коэффициент ламинарной фильтрации $k = 0,02 \text{ см/с}$.

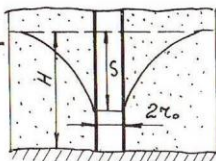
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Q , л/ч	300	200	50	80	65	100	150	400	500	600

8-23. Определить удельный расход воды через перегородку прямоугольной формы ($l = 5$ м, $k = 0,005$ см/с) при заданных уровнях воды до и после перегородки: $h_1 = 2,5$ м, h_2 см. в таблице. Построить кривую депрессии.



Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h_2 , м	I	I, I	I, 2	I, 3	I, 4	I, 5	I, 6	I, 7	I, 8	I, 9

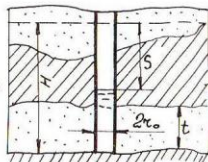
8-24. Каков дебит (расход Q) простого грунтового колодца при заданной глубине откачки S ? Радиус колодца $r_0 = 0,5$ м, мощность водоносного пласта $H = 10$ м, а коэффициент фильтрации $k = 0,005$ см/с.



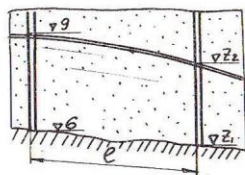
Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
S , м	4,4	4,2	4	3,8	3,6	3,4	3,2	3	2,8	2,6

Указание: радиус действия колодца в первом приближении можно найти по эмпирической формуле $R = 3000S\sqrt{k}$ (м), где S измеряется в м, k - в м/с.

8-25. Определить дебит (расход Q) артезианской скважины радиусом $r_0 = 0,2$ м при глубине откачки S , если напор в водоносном пласте $H = 30$ м, толщина этого пласта $t = 3$ м, коэффициент фильтрации $k = 0,003$ см/с. При определении радиуса действия скважины воспользоваться указанием к предыдущей задаче.

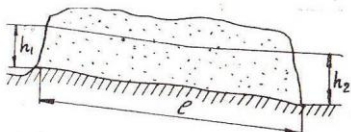


Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
S , м	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3



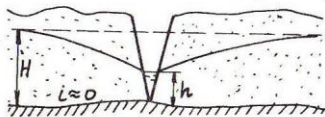
8-26. С помощью буровых скважин, расстояние между которыми $l = 400$ м, определены отметки залегания водоупорного пласта и поверхности грунтовых вод. Зная коэффициент фильтрации $K = 0,01$ см/с и полагая течение плоским, вычислить удельный расход,

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
z_1 , м	5	7,2	4,6	3,8	6,8	7	7,2	5,2	7,5	4,1
z_2 , м	7,2	8	6,8	5,7	7,5	7,7	8	7,5	8,2	6,5



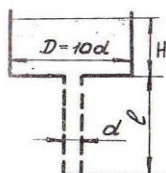
8-27. Определить удельный расход воды, фильтрующейся из озера в канал (или обратно), и построить кривую депрессии при глубинах $h_1 = 1$ м, $h_2 = 2$ м и уклоне поверхности водоупора i . Расстояние между каналом и озером $l = 200$ м, коэффициент фильтрации грунта $K = 0,05$ см/с.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$1000i$	10	-20	0	20	5	-10	-5	30	-30	40



8-28. Уровень грунтовых вод понижается с помощью осушительного канала. Выяснить, на каком расстоянии от канала уровень понизится на величину Δz , если глубина в канале $h = 1$ м, а вдали от него $H = 3$ м. Коэффициент фильтрации грунта $K = 0,005$ см/с.

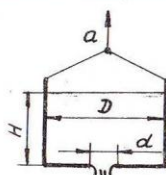
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Δz , м	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,3	0,35



9-1. Сравнить время опорожнения резервуара при истечении воды через отверстие и через стальную трубу ($l = 2H$, $H = 1$ м).

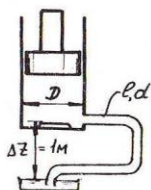
Построить графики изменения расхода с течением времени в том и другом случае.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	25	30	36	20	40	45	50	18	14	32



9-2. Определить время полного опорожнения сосуда, движущегося с ускорением a . Начальное наполнение $H_0 = D = 0,2$ м. Построить графики изменения скорости и уровня с течением времени. Жидкость - вода.

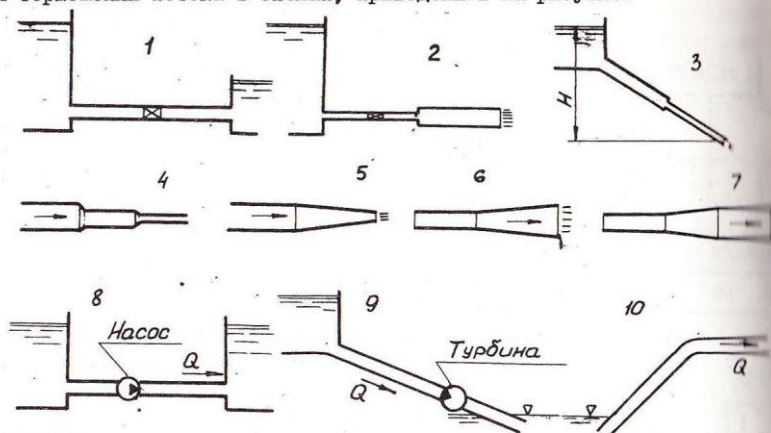
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	50	40	30	60	45	25	35	55	20	32
a , м/с ²	10	25	-4	4	8	16	-2	6	20	-6



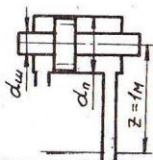
9-3. Поршень у гидродвигателя одностороннего движения возвращается в исходное положение под действием собственного веса. Определить время посадки поршня, если масса его и связанных с ним деталей m , диаметр $D = 3d$ и ход $S = 5D$; Длина сливной линии $l = 300d$, рабочая жидкость - масло И-30 ($t = 25^\circ\text{C}$). Трением поршня пренебречь.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6
m , кг	20	18	15	12	10	8	6	4	2	1

9-4. Построить напорную и пьезометрическую линии при разгоне и торможении потока в схемах, приведенных на рисунке.



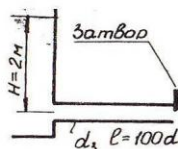
9-5. Какой диаметр должна иметь латунная сливная труба длиной $\ell = 1$ м у гидроцилиндра, чтобы перепад давления на ее концах не превышал 10 кПа? Наибольшие скорость и ускорение поршня соответственно $v_n = 10$ см/с, $a_n = 5g$ (g - ускорение свободного падения); температура масла И-20 равна 40°C , диаметр штока $d_{ш} = 0,4 d_n$.



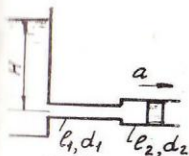
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_n , мм	100	75	50	90	60	80	40	65	85	55

9-6. Выявить закон изменения скорости истечения жидкости через стальную трубу после мгновенного открытия затвора.

Определить продолжительность разгона потока, пренебрегая двухпроцентным отклонением скорости от ее стационарного значения.



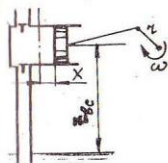
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	10	14	16	18	22	28	32	20	25	30
Жидкость	Масло И-20					Вода				



9-7. В цилиндре ($d_2 = 2d_1$, $l_2 = 10d_2$), соединенном трубой ($l_1 = 100d_1$) с напорным баком, перемещается поршень. Проиллюстрировать (без расчета) изменение полного и пьезометрического напоров потока в любой момент времени при равноускоренном движении поршня.

Определить предельное ускорение, при котором не произойдет отрыва потока от поршня, если $H = 1$ м, а температура воды $t = 20^\circ\text{C}$.

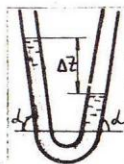
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	10	15	20	25	30	36	40	45	50	8



9-8. Определить предельную скорость вращения кривошипного механизма ($r = d_n$), при которой не происходит отрыва воды ($t = 20^\circ\text{C}$) от поршня. Перемещения поршня подчиняются закону $x = r(1 - \cos \omega t)$, где ω - угловая скорость вращения; перепад давления, необходимый для открытия всасывающего клапана, $\Delta p_{кл} = 2$ кПа;

всасывающая линия собрана из стальных труб ($l = 100d$, $d = 0,8d_n$), высота всасывания $x_{bc} = 0,75l$.

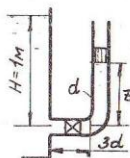
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_n , мм	32	36	40	45	50	55	60	65	70	80



9-9. Определить частоту колебаний воды ($t = 10^\circ\text{C}$) в V-образной трубке при свободном выравнивании уровней. Полная длина жидкого шнура $l = 60d$, где d - диаметр трубки.

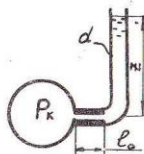
При каком диаметре трубки не возникнет колебаний?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	12	15	18	20	25	28	32	36	40	10
α , град	90	75	60	45	30	75	60	45	30	60



9-10. В пьезометрической трубке свободно (без трения) перемещается поплавков массой M . Построить график изменения высоты поплавок с течением времени после мгновенного открытия пробкового крана, если в начальный момент времени $z_0 = 5d$. Определить время стабилизации положения поплавок.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	12	15	20	3	6	10	14	10	16	10
M , г	30	45	80	2	8	20	40	15	50	60
Жидкость ($t = 10^\circ\text{C}$)	Масло И-20			Вода			Масло АМГ-10			



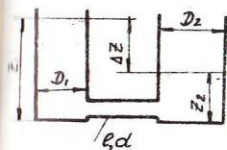
9-11. Пьезометр ($d = 10$ мм) присоединен к камере с пульсирующим давлением $p_k = p_0 (1 + 0,1 \sin \omega t)$ через дроссель с отверстием ($l_0 = 20$ мм, d_0 см. в таблице). Определить среднее значение уровня z и амплитуду его изменения при $p_0 = 10$ кПа.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_0 , мм	2	1,6	1	0,8	1,2	1,4	1,8	2,2	2,4	2,6
ω , рад/с	120	150	20	50	80	100	180	200	250	300

9-12. Демпфирование колебаний уровня в пьезометре осуществляется с помощью вставки с малым отверстием ($l_0 = 20$ мм). Определить относительный диаметр отверстия d_0/d , при котором изменение уровня составит $\Delta z \leq 0,02 p_0 / \gamma$. Пульсация давления в камере $p_k = p_0 (1 + 0,1 \sin \omega t)$. Потерями давления из-за гидравлических сопротивлений пренебречь (см. рис. к задаче 9-11).

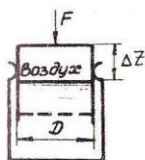
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ω , рад/с	20	40	60	80	100	90	70	50	30	10

9-13. Построить график изменения перепада уровней керосина ($t = 30^{\circ}\text{C}$) в сообщающихся сосудах ($D_1 = 2d, D_2$ см. в таблице) и скорости течения в соединительной трубке ($l = 100d$) при свободном восстановлении равновесного состояния, если начальный перепад $\Delta z_0 = 0,5$ м.



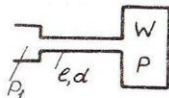
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D_1 , мм	5	10	20	30	3	12	24	4	15	40
D_2 , мм	100	200	250	600	30	150	24	40	60	100

9-14. Нагрузка, приложенная к пневмогидравлическому амортизатору, изменялась до величины F . Выяснить и проиллюстрировать графиком изменение осадки цилиндра с течением времени. Начальное давление воздуха в цилиндре $p_0 = 2$ МПа при $\Delta z_0 = 0,5D$; диаметры шести отверстий в диафрагме $d_0 = 0,1D$; рабочая жидкость — глицерин ($t = 20^{\circ}\text{C}$). Какова продолжительность полной осадки?



Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , мм	160	140	120	110	100	90	80	70	50	40
F , кН	10	50	40	30	25	20	16	12	6	5

9-15. Трубопровод ($l/d = 200$) и тупиковая емкость объемом $W = 1$ л заполнены маслом ($\rho = 900$ кг/м³, $\nu = 1$ см²/с) и находятся под избыточным давлением $p_0 = 1,2$ МПа. Выяснить понижение давления в емкости после мгновенного соединения трубопровода со сливным каналом, где давление атмосферное. Построить график $p(t)$ при $p_1 = p_{atm}$ и найти время падения давления до величины $p = 0,02p_0$.



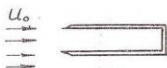
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	10	9,5	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5

9-16. В результате падения избыточного давления p_1 от 140 Па до 100 Па началось опорожнение тупиковой пневмокамеры объемом $W = 1 \text{ см}^3$ через канал диаметром $d = 0,5 \text{ мм}$. Определить изменение давления в камере с течением времени и построить график этой зависимости. Температура воздуха $t = 70^\circ\text{C}$. Выяснить продолжительность опорожнения камеры (см. рис. к задаче 9-15).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ℓ/d	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950

9-17. Наполнение глухой пневмокамеры объемом $W = 30 \text{ см}^3$ происходит через дроссель ($\ell = 1000d$, d см. в таблице) при постоянном избыточном давлении $p_1 = 500 \text{ Па}$. Составить уравнение, описывающее изменение давления в камере с течением времени, и, решив его, построить график $p(t)$. Начальное давление в камере $p = p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$, температура воздуха 30°C . Как быстро наполнится камера?

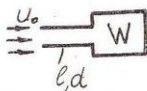
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	1	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6

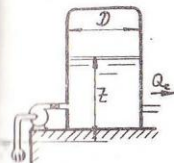


9-18. Акустический осциллятор представляет собой трубку, которая открытым концом устанавливается против струи (другой ее конец закрыт). Какую длину должна иметь трубка, чтобы при температуре воздуха 20°C получить заданную частоту колебаний ν ?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ν , кГц	10	8	6	4	2	1	0,8	0,5	0,3	0,1

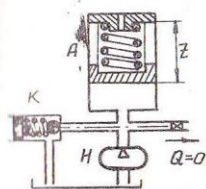
9-19. В качестве аэродинамического генератора колебаний иногда используется осциллятор Гельмгольца, который состоит из емкости W и цилиндрической трубки (ℓ, d). Струя воздуха, натекая на трубку, создает в емкости переменное давление. Составив дифференциальное уравнение движения массы газа в трубке без учета трения, найти частоту колебаний. Как влияет на частоту трение в трубке?





9-20. Определить время наполнения напорного бака центробежным насосом при заданном расходе Q_c . Построить графики изменения полного и геометрического напоров в баке с течением времени. Начальный уровень $z_0 = 3$ м, объем воздуха в баке при атмосферном давлении $W_0 = 0,5$ м³; диаметр бака $D = 800$ мм; протяженность линий всасывания и нагнетания $l = 300d$, где d — диаметр стальных труб.

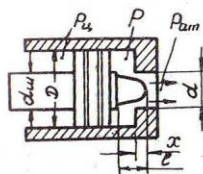
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	40	36	32	42	46	50	55	44	50	53
Q_c , л/с	1,5	1,0	0	2	3	3,5	4,0	2	3	4
Насос	1,5 К-6					2К-6				



9-21. Определить время полной зарядки аккумулятора при подаче насоса $Q_H = 6,3$ л/с и при заданном давлении настройки клапана P_K . Характеристика клапана $P = P_K [1 + 0,1(Q/Q_H)^2]$, где P — давление перед клапаном.

Построить графики увеличения со временем давления и объема масла в аккумуляторе. Соединительные трубки ($d = 0,2d_A$) короткие и их сопротивлением можно пренебречь; жесткость пружины в аккумуляторе $C = 300$ Н/мм, ее начальное поджатие $\Delta z_0 = 0,2d_A$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_A , мм	100	120	75	85	80	50	70	45	36	60
P_K , МПа	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

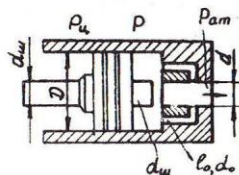


9-22. Торможение поршня ($D = 4d$, $d_w = 2d$) осуществляется путем дросселирования сливного отверстия шипом ($l = d$), который изменяет площадь проходного сечения канала между кромками отверстия и поверхностью шипа по линейному закону: $S = 0,25\pi d^2(1 - x/l)$. Полагая в первом приближении коэф-

коэффициент расхода отверстия неизменным ($\mu_0 = 0,6$), выяснить и проиллюстрировать графиками изменение скорости, давления p и положения поршня с течением времени. Начальная скорость движения $U_0 = 0,2$ м/с, масса поршня и связанных с ним деталей M , давление в цилиндре $p_{ц} = 800$ кПа, а в сливной полости – атмосферное ($p_{ам} = 100$ кПа); жидкость – масло АМГ-10 ($t = 50^\circ\text{C}$).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
M , кг	5	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5
d , мм	12	10	10	8	8	8	6	6	5	4

Указание: описать процесс торможения уравнениями количества движения поршня и неразрывности жидкости перед поршнем. Решить полученную систему уравнений можно, например, на ЭВМ "Наири" с использованием стандартной программы.



9-23. Демпфирующее устройство, которое используется для торможения поршня, состоит из цилиндрического шипа ($d_{ш} = d - \delta$, $\delta = 0,1$ мм) и двух каналов ($d_0 = 0,15d$, $l_0 = 15d_0$). Пренебрегая трением поршня и шипа, а также перетечкой масла АМГ-10 ($t = 40^\circ\text{C}$) через радиальный зазор δ между шипом и стенками

сливного канала, выяснить и проиллюстрировать графиками изменения скорости, давления p и положения поршня с течением времени. Найти время полного торможения поршня, полагая, что оно начинается при $x_0 = -d/4$, когда площадь кольцевого прохода между краем шипа и кромкой большого сливного отверстия становится равной площади этого отверстия (ось x направлена в сторону движения поршня и имеет начало у внутренней торцевой стенки цилиндра).

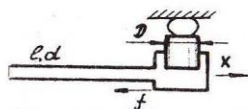
Начальная скорость поршня $U_0 = 0,25$ м/с, масса поршня и связанных с ним деталей M ; давление в цилиндре $p_{ц} = 2$ МПа, а в сливном патрубке – атмосферное.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
M , кг	1	2	0,8	1,5	3	1,5	2	1	3	4
D , мм	32	40	20	45	60	36	48	24	60	70

Примечание. Воспользоваться указанием к предыдущей задаче.

З-24. Построить график зависимости скорости звука в масле ИТ-10, содержащем небольшое количество нерастворенного воздуха, от объемного газосодержания ($\beta = W_{\text{воздуха}} / W_{\text{смеси}}$) в диапазоне $\beta = 0 \dots 0,02$ при заданном абсолютном давлении P .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
P , МПа	0,1	0,5	1	2	5	10	15	20	30	50

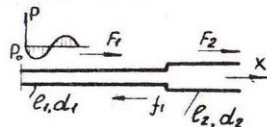


З-25. Плунжер гидравлического пресса, двигающийся со скоростью $V_0 = 10$ см/с, резко остановился. Это возмущение потока передается волной вдоль стального толстостенного трубопровода ($l = 400d$, $d = D/2$).

1. Составить выражение волновой функции f .
2. Определить наибольшее повышение давления в трубопроводе, вызываемое этой волной.
3. Построить эпюры давления и скорости потока вдоль трубопровода в момент времени $t = l/a$, где a – скорость распространения волны.

Начальное статическое давление $P_0 = 24$ МПа, объем цилиндра $W = D^3$, рабочая жидкость – масло И-20.

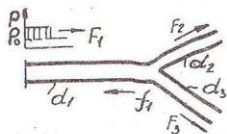
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D , мм	50	80	40	60	75	120	100	80	30	20



З-26. Волна синусоидального изменения давления $F_1 = \Delta p \sin \omega t$ распространяется вдоль трубопровода. Достигнув стыка двух участков, она, изменившись, проходит на следующий участок волной F_2 и отражается от стыка волной f_1 . Найти

выражение волновых функций F_2 и f_1 при заданном соотношении диаметров. Материал труб и относительные толщины стенок труб на обоих участках одинаковые. В каком случае возникнет резонанс на I участке?

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_2/d_1	0,5	1,5	0,4	2	0,6	2,5	0,7	1,8	0,8

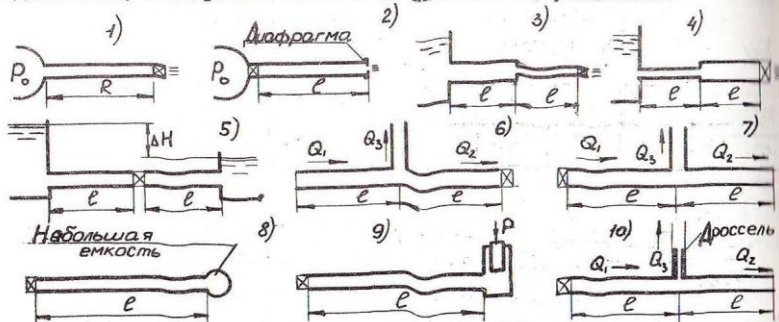


9-27. Волна скачкообразного повышения давления $F_r = \Delta p$ проходит узел с ветвлением трубопровода и отражается от него. Как изменится давление в узле сразу же после прохождения этой волны, если первоначально давление в узле $p_0 = 400$ кПа, а $\Delta p = 200$ кПа? Материал труб и относительные толщины стенок труб на всех участках одинаковые, $d_2 = d_3$.

Материал труб и относительные толщины стенок труб на всех участках одинаковые, $d_2 = d_3$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d_3/d_1	1	0,95	0,80	0,85	0,8	0,7	0,6	0,55	0,5

9-28. Построить эпюры давления и скоростей на всех участках трубопровода в момент $t_1 = 2,5 l/a$ (схемы 1, 3, 4) или $t_2 = 1,5 l/a$ (остальные схемы) после 1) резкого (мгновенного) открытия и 2) резкого закрытия затвора. Скорость звука на обоих участках принять одинаковой, а гидравлические сопротивления не учитывать.



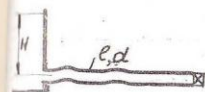
9-29. В узле А создается возмущения периодического характера $V_A = V_{0A} (1 + 0,5 \sin \omega t)$, где $V_{0A} = 2$ м/с - постоянная составляющая скорости. Уровень и давление в промежуточном резервуаре остаются постоянными: $H = 0,5$ м, $p_0 = 1$ МПа.

1. Найти волновые функции прямых и обратных волн на обоих участках ($l = 200 d_{min}$).

2. Определить частоту ω , при которой будет наблюдаться наибольшее повышение давления в трубопроводе (трубы толстостенные).

3. Построить эпюру распределения скоростей вдоль трубопровода в момент $t = 2l/a$ при частоте $\omega = \pi a / 2l$.

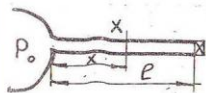
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_1 , мм	10	18	20	25	16	50	25	30	20	22
d_2 , мм	18	10	40	15	32	25	42	18	36	12



9-30. Определить максимальное повышение давления в трубопроводе ($l = 100$ м) при полном закрытии затвора в течение: 1) $\Delta t_p = 0,1$ с и 2) $\Delta t_p = 1$ с, если уменьшение расхода воды происходит равномерно. Трубы стальные с толщиной стенки $\delta = 0,05d$, сопротивление затвора при полном открытии пренебрежимо мало.

Построить эпюры распределения давления и скоростей вдоль трубопровода в момент времени $t = 1,5l/a$ (a - скорость звука) при $\Delta t_p = 0,1$ с.

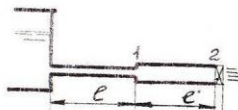
Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	36	40	50	60	72	80	100	45	55	65



9-31. Закрытие затвора происходит в течение времени $\Delta t_p = 2l/a$ (a - скорость звука) и вызывает линейное изменение расхода воды от $Q = 4$ л/с до нуля при $p_0 = 0,2$ МПа. Не учитывая сопротивлений трубопровода ($d =$

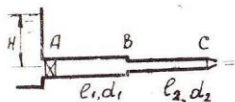
100 мм, $l = 100$ м, толщина стенки $\delta = 4$ мм), построить графики изменения скорости и давления в сечении x в течение времени $0 \leq t \leq 8l/a$. Указать наибольшее и наименьшее давления в этом сечении.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
x/l		0,2	0,3	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1



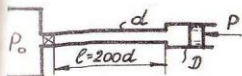
9-32. При открытом затворе скорость течения воды на втором участке трубопровода составляет 1 м/с , а давление $P_{20} = 100 \text{ кПа}$. Определить наибольшее повышение давления в трубопроводе при резком (мгновенном) закрытии затвора. Построить графики изменения давления и скорости в сечениях 1 и 2 с течением времени ($0 < t < 8l/a$). Трубы стальные толстостенные, $l = 50 \text{ м}$.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d_1, \text{ мм}$	50	50	60	40	32	36	80	36	60	20
$d_2, \text{ мм}$	100	80	80	85	50	50	50	72	32	50



9-33. Построить графики изменения расхода воды и давления в узлах В и С при открытии (или закрытии) затвора, установленного в начале трубопровода. В конце трубопровода — сопло с диаметром $d_2 = 18 \text{ мм}$. Трубы стальные с толщиной стенки $\delta_i = 0,04d_i$; размеры на втором участке: $l_2 = 25 \text{ м}$, $d_2 = 25 \text{ мм}$; остальные см. в таблице. Изменение площади проходного сечения затвора с течением времени линейное: $\omega = \omega_0 t / \Delta t_0$ — при открытии, $\omega = \omega_0 (1 - t / \Delta t_0)$ — при закрытии, где ω_0 — площадь проходного сечения при полном открытии; Δt_0 — время полного открытия (или закрытия).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$d_1, \text{ мм}$	22	30	18	32	20	40	19	36	20	32
$l_1, \text{ м}$	28	28	14	28	28	56	14	42	14	42
$\Delta t_0, \text{ с}$	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,5	0,15	0,3	0,2	0,2
Регулирование	Открытие					Закрытие				



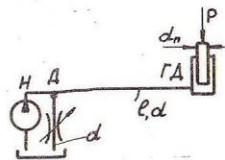
9-34. После резкого открытия пробкового крана поршень силового цилиндра ($D = 2d$) приходит в движение. Построить график изменения скорости поршня и давления в цилиндре с течением времени. Опре-

делить время разгона, принимая за конец разгона момент, когда скорость отличается от максимальной на 2%. Какой путь проходит поршень при разгоне? Трением поршня и утечками масла МС ($t = 20^\circ\text{C}$) из цилиндра пренебречь; масса поршня и связанных с ним подвижных частей равна m .

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	12	4	20	15	6	18	10	3	16	5
m , г	200	80	500	300	80	400	160	50	800	100
P , Н	180	15	500	200	25	400	100	10	200	200

Примечание. Эту задачу решить двояко: 1) без учета волновых процессов в соединительной трубке; 2) с учетом волновых процессов. Сопоставить результаты.

9-35. Определить и проиллюстрировать графиком изменение давления в пневмоцилиндре и скорости поршня с течением времени, вызванное открытием крана. Открытие происходит в течение времени $\Delta t_p = 0,5$ с и сопровождается линейным изменением площади проходного сечения крана ($\omega = \omega_0 t / \Delta t_p$). Абсолютное давление воздуха в ресивере $P_0 = 240$ кПа, температура $T_0 = 300$ К; диаметр поршня $D = 2d$, ход $S = 2D$. Остальные данные взять из таблицы к предыдущей задаче.



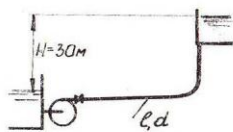
9-36. Гидросистема содержит гидродвигатель одностороннего действия ГД, насос Н с подачей $Q_H = 1,8$ л/мин и дроссель Д, позволяющий регулировать скорость гидродвигателя. Плунжер ГД имеет диаметр $d_n = 2,5d$, массу m_n и находится под нагрузкой $P = 1$ кН. Гидросистема заполнена маслом АМГ-10 ($t = 30^\circ\text{C}$). Соединительные трубки дюралюминиевые ($l = 1000d$). Выяснить и проиллюстрировать графиками изменение со временем давления в цилиндре и скорости плунжера, вызванное закрытием дросселя. При закрытии в течение времени $\Delta t_p = 0,1$ с

коэффициент сопротивления ветви с дросселем, отнесенный к скоростному напору в трубе, увеличивается по закону $\zeta = \zeta_0 (1 - t/\Delta t_p)$, где $\zeta_0 = 3$ – коэффициент сопротивления при полном открытии.

Найти время полного перемещения плунжера, если его ход S

$$= d_n.$$

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d_n , мм	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
m_n , кг	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4

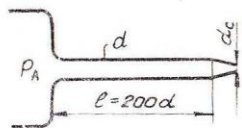


9-37. Центробежный насос питает напорный бак по трубопроводу длиной $l = 4000d$, собранному из стальных труб с толщиной стенки $\delta = 0,04d$. Построить графики изменения подачи и напора насоса при открытии (или закрытии) задвижки в течение времени Δt_p , если площадь проходного сечения задвижки изменяется со временем по линейному закону,

описанному в условии задачи 9-35.

Выяснить и проиллюстрировать графиками изменение напора и расхода в среднем сечении трубопровода.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	90	70	80	60	50	100	80	110	90	70
Δt_p , с	1,2	0,8	1	0,6	0,5	1,4	0,8	1,2	1	1
Тип насоса	2К-6					3К-9				
Регулирование	Закрытие					Открытие				

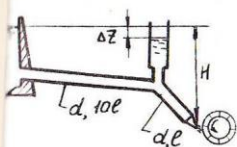


9-38. Из большого резервуара с пульсирующим давлением $p_A = p_0 (1 + 0,5 \sin \pi t a / \ell)$, где $p_0 = 0,2$ МПа (избыточное давление), a – скорость звука, вода вытекает в атмосферу через длинную трубу с соплом на конце ($d_c = 0,8d$). Выяснить закон

изменения скорости струи с течением времени. Подсчитать среднен-

и расход и сравнить его с расходом стационарного течения при одном давлении $P_A = P_0$.

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	12	30	4	15	10	2	5	20	25	3
κ	8	8	4	4	6	6	12	12	9	9



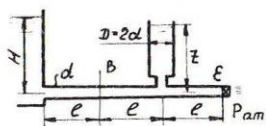
9-39. Вода подводится к свободноструйной турбине по стальному толстостенному трубопроводу с открытым уравнивающим резервуаром. Регулирование расхода осуществляется игольчатым затвором, обеспечивающим равномерное изменение площади выходного сечения сопла ($d_e = 0,4d$).

1. Определить расход, скорость струи и уровень воды в уравнивающем резервуаре при полностью открытом затворе и стационарном течении в трубопроводе.

2. Выяснить изменение со временем расхода воды через сопло в начальной стадии переходного процесса ($t < 20\ell/a$, a – скорость звука), вызванного полным закрытием (или полным открытием) затвора в течение времени $\Delta t_p = 0,4$ с.

3. Определить изменение уровня в уравнивающем резервуаре с течением времени, полагая течение медленно изменяющимся и не учитывая волнового процесса. Построить график $z(t)$ и выяснить продолжительность переходного процесса.

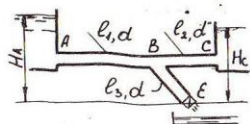
вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
H , м	70	150	40	80	50	100	60	75	120	30
d , мм	350	550	600	400	800	500	750	300	700	450
Регулирование	Полное закрытие					Полное открытие				



9-40. Определить изменение расходов воды в сечениях В и Е стального трубопровода и уровня воды в промежуточном резервуаре после открытия (или закрытия) затвора в течение времени $\Delta t_p = 5\ell/a$

(a - скорость звука), вызывающего изменение площади проходного сечения по закону $\frac{\omega_0}{\omega_T} = \left(\frac{c}{\Delta t_0}\right)^3$ - при открытии; $\frac{\omega_0}{\omega_T} = \left(1 - \frac{c}{\Delta t_0}\right)^3$ при закрытии, где ω_T - площадь поперечного сечения трубы.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	12	18	33	26	30	36	40	45	50	60
l , м	2	4	5	8	10	12	15	20	25	30
Регулирование	Полное открытие					Полное закрытие				



9-41. Построить графики изменения расходов воды в узлах А, С и Е сети при регулировании задвижкой, установленной в узле Е. Напор в узле А $H_A = 6$ м; длина третьего участка $l_3 = 5000d$; трубы - стальные, толщина стенки у них $\delta =$

$= 0,05d$. Продолжительность открытия (или закрытия) задвижки Δt_0 , при этом проходное сечение у нее изменяется по линейному закону.

Вариант	I	2	3	4	5	6	7	8	9	0
d , мм	20	30	10	80	64	36	50	15	24	32
l_1/l_3	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1
l_2/l_3	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1
H_C , м	4	10	6	8	2	3	5	4	6	7
Δt_0 , с	0,2	0,3	0,1	1,0	1,0	0,8	1	0,1	0,2	0,4
Регулирование	Полное закрытие					Полное открытие				

20. $\frac{m \cdot d}{c} = 20 \cdot 10^{-5}$

СПРАВочНЫЕ ДАННЫЕ

А. Физические характеристики жидкостей
и твердых материалов [9,13]

1. Плотности, модули упругости и коэффициенты растворимости
воздуха у жидкостей (осредненные значения)

Жидкость	Вода	Бензин	Керосин	Спирт	Глицерин	Ртуть	Нефть	Масло					
								АМТ-10	И-12	И-20	И-50	МС-20	Турб -22
ρ , кг/м ³	1000	720	825	790	1260	13600	900	850	900	900	900	895	900
E , ГПа	2,1	1,33	1,3	0,9	4,5	33,0	1,35	1,35	1,35	1,4	1,5	-	1,75
C	0,16	2,20	1,27	-	-	-	-	0,94	0,76	0,75	-	-	-

Примечание. Коэффициент растворимости

$$C = \frac{\text{объем воздуха}}{\text{объем жидкости}} \frac{\rho_0}{\rho} \quad , \text{ дан при } t_0 = 20^\circ\text{C и } \rho_0 = 0,1 \text{ МПа.}$$

2. Плотности и модули упругости твердых материалов (осредненно)

Материал	Сталь	Чугун	Латунь	Дюралюминий	Бетон
ρ , кг/м ³	7800	7100	8400	2700	2000
E , ГПа	210	100	95	71	19

3. Температурный коэффициент объемного расширения жидкости
($10^4 \beta_t$, 1/град) при нормальном атмосферном давлении

t , °C	10	30	50	70	100
Вода	0,15	2,20	4,60	6,0	-
Масло МС-20	-	6,38	-	6,55	6,96

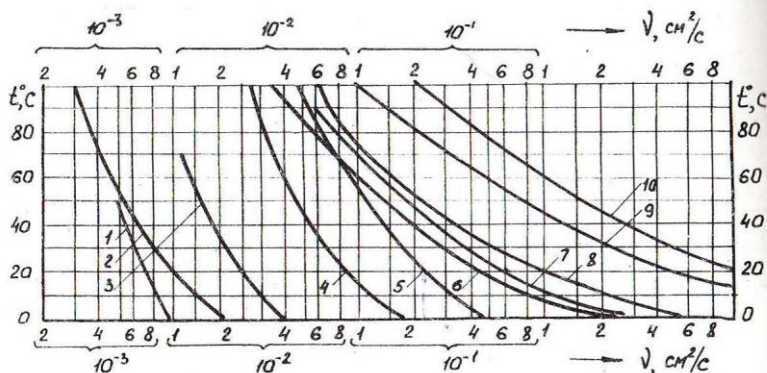
4. Коэффициент поверхностного натяжения σ воды и керосина на границе с воздухом, мН/м

$t, ^\circ\text{C}$	0	25	50	75
Вода	75,6	72,0	67,9	63,5
Керосин	28,9	26,4	24,2	-

5. Давление насыщенных паров $\rho_{н.п.}$, кПа

Жидкость $t, ^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100
Вода	2,4	7,5	20,2	48,2	103,3
Бензин	16,3	33,2	55,3	103,3	-
Керосин Т-I	3,9	5,7	7,5	12,1	20,3
Масло АМТ-10	-	0,2	0,4	0,8	1,8
И-20	-	-	0,1	0,3	0,4

6. Кинематический коэффициент вязкости



1 - бензин, 2 - вода, 3 - керосин, 4 - нефть ($\rho = 860 \text{ кг/м}^3$);
 масла: 5 - АМТ-10, 6 - И-12, 7 - И-20, 8 - турбинное 22, 9 -
 И-50, 10 - МС-20.

Г. Гидравлические сопротивления

Г. Шахлы шероховатости трубопроводов и каналов [14, 15, 17]

Г. Коэффициенты групповой шероховатости каналов

Характеристика стенки и дна канала	λ
Г. Бетонировка:	
хорошего качества	0,0120
среднего качества	0,0140
плохого качества	0,0170
Г. Земля:	
в хорошем состоянии	0,0225
в среднем состоянии	0,0250
в плохом состоянии	0,0300
Г. Скалы:	
чисто обработанная	0,0225
средне обработанная	0,0300
грубо обработанная	0,0400

Г. Эквивалентная шероховатость труб

Характер поверхности трубы	Δ , мм
1. Целлюлозные трубы из меди, латуни, стекла	0,0015-0,01
2. Алюминиевые трубы, резиновые шланги	0,01-0,06
3. Стальные трубы:	
а) новые бесшовные	0,02-0,10
б) в средних условиях эксплуатации	0,20
в) оцинкованные	0,07-0,15
4. Чугунные трубы:	
а) новые	0,25-1,00
б) асфальтированные	0,12-0,30
5. Асбестоцементные трубы	0,1-0,6
6. Бетонные:	
а) с хорошей поверхностью	0,30-0,80
б) в средних условиях	2,50

2. Коэффициент гидравлического трения

Коэффициент гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса $Re = \sqrt{d}/\nu$ и относительной шероховатости стенок $K = \Delta/\alpha$ где α - абсолютная эквивалентная шероховатость.

По числу Рейнольдса вся область сопротивления может быть разбита на пять зон.

I зона ($Re \leq 2000$) - зона ламинарного режима течения. Если труба круглая, то

$$\lambda_I = 64/Re \quad (\text{формула Пуазейля}).$$

II зона ($2000 < Re < 4000$) - зона перемежаемости ламинарного и турбулентного режимов течения, причем с увеличением числа Re относительная продолжительность существования турбулентного режима растет. В этой зоне $\lambda_{II} = (1-\alpha)\lambda_I + \alpha\lambda_{III}$, где α - коэффициент перемежаемости по П.М.Слисскому [19];

$$\alpha = \sin^2 \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{Re}{2000} - 1 \right) \right].$$

III зона ($4000 \leq Re \leq 15/K$) - зона "гладкостенного" сопротивления, в которой при $Re < 10^5$

$$\lambda_{III} = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (\text{формула Блазиуса}),$$

а при $Re > 10^5$

$$1/\lambda_{III} = 1,8 \lg Re - 1,64 \quad (\text{формула Филоненко и Альтшуля}).$$

IV зона ($15/K < Re < 560/K$) - переходная зона. В ней при естественной шероховатости стенок труб

$$\sqrt{\lambda_{IV}} = -2 \lg \left(\frac{K}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda_{IV}}} \right) \quad (\text{формула Кольбрука}).$$

V зона ($Re \geq 560/K$) - зона "квадратичного" сопротивления, в которой

$$1/\sqrt{\lambda_V} = -2 \lg (K/3,7) \quad (\text{формула Никурадзе и Прандтля}).$$

По формулам последних трех зон построена номограмма (см. с. 105).

Для определения коэффициента гидравлического трения в турбулентной области с помощью ЭВМ или логарифмической линейки удобна формула Альтшуля $\lambda = 0,11 (K + 68/Re)^{1/4}$.

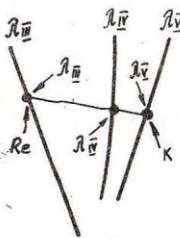
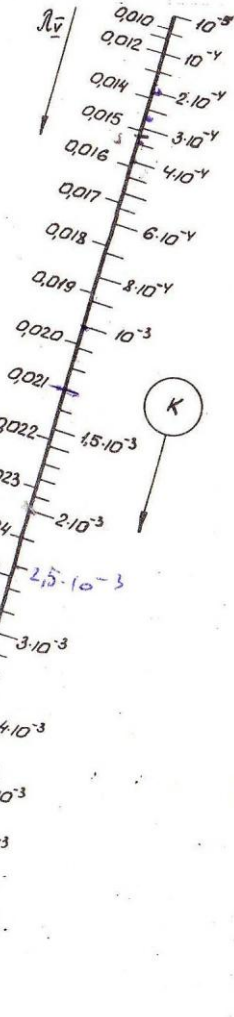
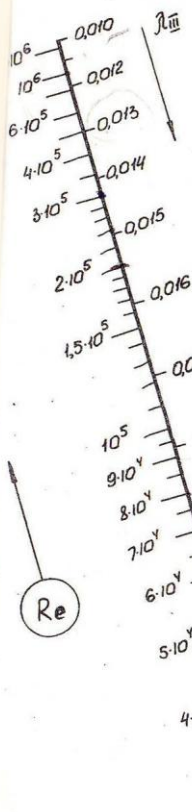


Схема пользования

Коэффициент λ
в турбулентной области
сопротивления (III, IV, V зона)

3. Значения коэффициента Шези C ($m^{0,5}/c$)
в зависимости от групповой шероховатости λ
и гидравлического радиуса R [Г7]

R (м) \ λ	0,012	0,014	0,017	0,0225	0,025	0,030	0,040
0,10	60,3	49,4	38,0	26,1	22,4	17,5	11,4
0,12	61,9	50,8	39,2	27,2	23,5	18,4	12,1
0,14	63,2	52,1	40,4	28,2	24,4	19,2	12,6
0,16	64,5	53,2	41,5	29,1	25,2	19,9	13,4
0,18	65,5	54,2	42,4	29,9	26,0	20,6	13,9
0,20	66,5	55,2	43,3	30,7	26,7	21,2	14,4
0,22	67,4	56,0	44,1	31,3	27,4	21,8	14,9
0,24	68,2	56,8	44,8	32,0	28,0	22,3	15,4
0,26	69,0	57,5	45,5	32,6	28,5	22,8	15,8
0,28	69,7	58,2	46,1	33,1	29,0	23,3	16,3
0,30	70,4	58,9	46,8	33,6	29,6	23,8	16,6
0,35	72,0	60,3	48,2	34,9	30,8	24,8	17,6
0,40	73,3	61,7	49,4	36,0	31,8	25,8	18,3
0,45	74,5	62,8	50,5	36,9	32,7	26,6	19,0
0,50	75,6	63,3	51,5	37,9	33,6	27,4	19,7
0,60	77,5	65,8	53,4	39,5	35,2	28,9	21,0
0,70	79,2	67,5	59,9	40,9	36,6	30,1	22,1
0,80	80,7	68,9	56,3	42,2	37,8	31,3	23,1
0,90	82,1	70,2	57,6	43,3	38,9	32,3	24,1
1,00	83,3	71,4	58,8	44,4	40,0	33,3	25,0
1,20	85,3	73,2	60,4	45,8	41,4	34,6	26,1
1,40	87,0	74,8	61,8	47,0	42,6	35,7	27,2
1,60	88,5	76,2	63,1	48,1	43,7	36,8	28,1
1,80	89,9	77,5	64,2	49,1	44,7	37,7	28,9
2,00	91,1	78,7	65,2	50,0	45,6	38,5	29,7
2,50	93,9	81,2	67,4	51,9	47,6	40,4	31,4
3,00	96,0	83,2	69,3	53,5	49,2	42,0	32,8
4,00	99,7	86,7	72,4	56,2	51,3	43,7	33,9
5,00	102,7	89,5	74,8	58,4	52,5	44,9	34,6

Вход
 δ

$\varphi_{вх}$



Рез

$\varphi_c = \Delta$

При λ

При λ

в. Р

v

$\varphi_p =$

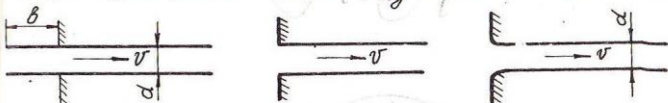
при

пр

г.

4. Коэффициенты местных сопротивлений [15]

Вход в трубопровод - $\epsilon_{bx} = \frac{\Delta h}{v^2/2g}$ (Δh - потери напора).



$\epsilon_{bx} = 1$ при $b \geq 0,5$

$\epsilon_{bx} = 0,5$

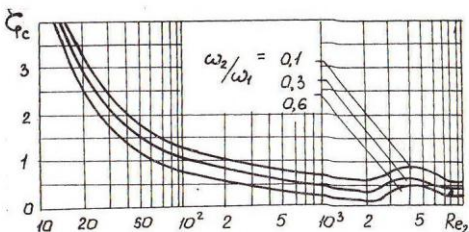
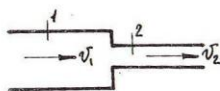
$\epsilon_{bx} = 0,009-0,05$



d , мм	40	70	100	150	200	300
ϵ_p вх	12	8,5	7	6	5,2	3,7

б. Резкое сужение -

$\epsilon_c = \frac{\Delta h}{v_2^2/2g}$; $Re_2 = \frac{v_2 d_2}{\nu}$



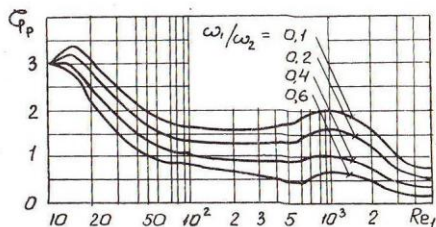
При $Re_2 < 10^4$ $\epsilon_c \approx 48/Re_2$.

При $Re_2 > 10^4$ $\epsilon_c = 0,5(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1})$.

в. Резкое расширение -



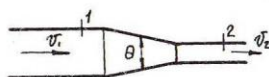
$\epsilon_p = \frac{\Delta h}{v_1^2/2g}$; $Re_1 = \frac{v_1 d_1}{\nu}$



при $Re_1 < 10$; $\epsilon_p = 30/Re_1$

при $Re_1 > 5 \cdot 10^4$; $\epsilon_p = (1 - \frac{\omega_2}{\omega_1})^2$.

г. Плавное сужение -



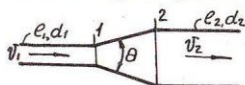
$\epsilon_c = \frac{\Delta h}{v_2^2/2g}$; $Re_2 = \frac{v_2 d_2}{\nu}$;

при $\theta < 11^\circ$ $\epsilon_c = 0,05 [1 + 8 \sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_2}} \lg(\frac{11}{\theta})]$;

при $Re_2 < 50$ $\epsilon_c = \frac{19}{Re_2} \sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_2}} \sqrt{\text{ctg}^3 \theta}$;

при $Re_2 < 10^5$, $\theta > 11^\circ$ $\epsilon_c = 0,05$.

д. Плавное расширение - $\epsilon_D = \Delta h / \frac{v_1^2}{2g}$;



$$Re_1 = \frac{v_1 d_1}{\nu}$$

Коэффициент сопротивления ϵ_D при $l_1 \geq 20d_1$ и $l_2 \geq 20d_2$

$(\frac{d_2}{d_1})^2$	θ°	$10^{-3} Re_1$					
		3	4	6	8	10	12
2	50	0,244	0,219	0,212	0,205	0,199	0,196
	100	0,196	0,194	0,180	0,175	0,176	0,193
	200	0,147	0,143	0,143	0,143	0,161	0,167
	400	0,121	0,116	0,106	0,103	0,122	0,139
	600	0,091	0,090	0,090	0,091	0,099	0,101
4	50	0,256	0,257	0,272	0,279	0,311	0,303
	100	0,231	0,230	0,243	0,256	0,312	0,327
	200	0,185	0,194	0,214	0,233	0,307	0,321
	400	0,153	0,157	0,181	0,197	0,268	0,282
	600	0,136	0,148	0,178	0,216	0,244	0,289
6	50	0,236	0,243	0,277	0,311	0,354	0,348
	100	0,230	0,235	0,235	0,271	0,343	0,397
	200	0,199	0,204	0,231	0,245	0,323	0,354
	400	0,161	0,164	0,192	0,210	0,284	0,325
	600	0,124	0,147	0,168	0,192	0,244	0,265

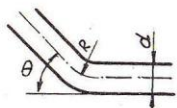
При $Re_1 \leq 50$ и $\theta < 40^\circ$ $\epsilon_D = \frac{20}{Re_1} \sqrt[3]{(\frac{d_2}{d_1})^2} \sqrt[4]{\text{ctg}^3 \theta}$.

е. Резкий поворот



θ°	15	20	25	32	42	50
ϵ_n	0,08	0,16	0,32	0,55	0,81	1,20

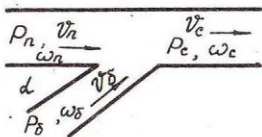
ж. Плавный поворот - при $Re = \frac{v d}{\nu} \geq 3000$, $\theta \leq 180$, $1 \leq \frac{R}{d} \leq 5$



$$\epsilon_n = \frac{2000}{Re} + 0,3 \sqrt{\frac{d}{R}} (1 + 10^3 \kappa) \sin \frac{\theta}{2}$$

где $\kappa = \Delta/d$ - относительная шероховатость.

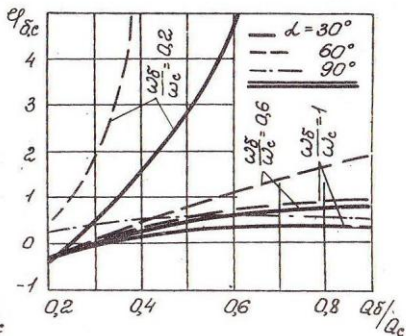
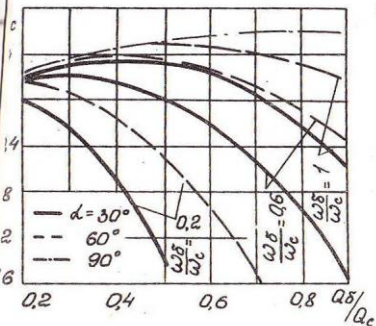
Тройник вытяжной



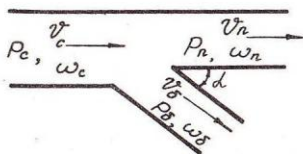
Коэффициенты сопротивления

$$\xi_{nc} = (P_n - P_c) / \frac{\rho v_c^2}{2}$$

$$\xi_{\delta c} = (P_\delta - P_c) / \frac{\rho v_c^2}{2}$$



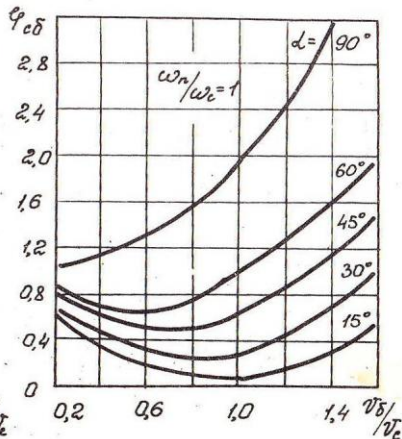
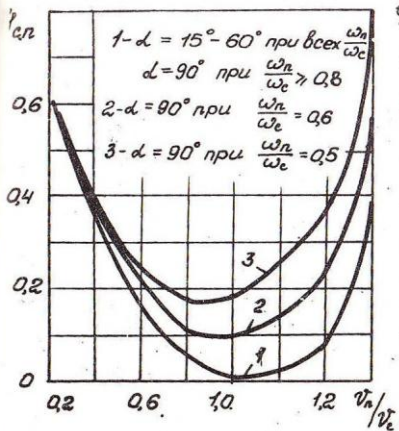
Тройник приточный



Коэффициенты сопротивления

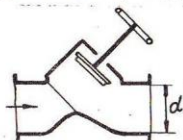
$$\xi_{cn} = (P_c - P_n) / \frac{\rho v_c^2}{2}$$

$$\xi_{c\delta} = (P_c - P_\delta) / \frac{\rho v_c^2}{2}$$



к. Вентили, задвижки и затворы.

Вентиль "Косва" (при полном открытии)



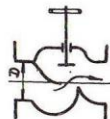
$d, \text{мм}$	15	20	25	32	42	50
ζ	3	3	3	2,5	2,5	2

1. ОТ

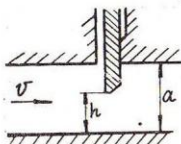
Задвижка* - $\zeta = 0,15$
(при полном открытии)



Вентиль "Рей" - $\zeta = 3$,
(при полном открытии)

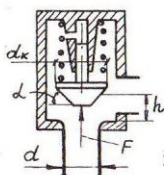


Затвор глубинных водосборов -



$$\zeta = 0,3 + 1,9 \left(\frac{a}{h} - \frac{h}{a} \right)^2$$

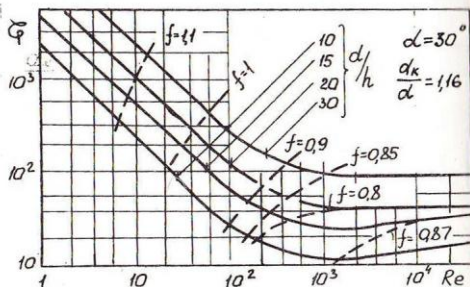
л. Клапан [8] - $\zeta = \frac{2 \Delta P}{\rho v^2}$



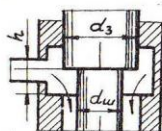
$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

$$Re = \frac{4Q}{\pi d \nu}$$

$$f = \frac{4F}{\rho \pi a^2}$$



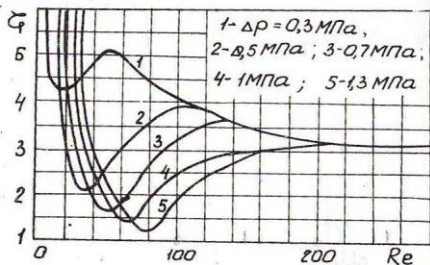
м. Золотник [18] -



$$\zeta = \Delta P / \frac{\rho v^2}{2}$$

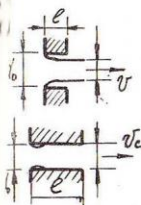
$$Re = \frac{v 2h}{\nu}$$

$$v = \frac{Q}{\pi d_3 h}$$

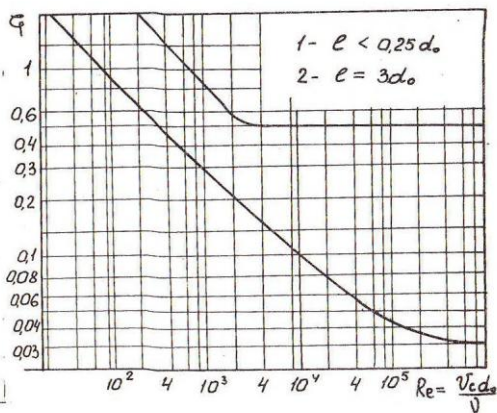


1. Отверстие, цилиндрический насадок [16] -

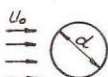
$$\xi = \Delta h / \frac{v_c^2}{2a}, \quad Re = v_c d_0 / \nu$$



10	1
10 ⁻²	0,88
10 ³	0,73
10 ⁴	0,65
10 ⁵	0,61



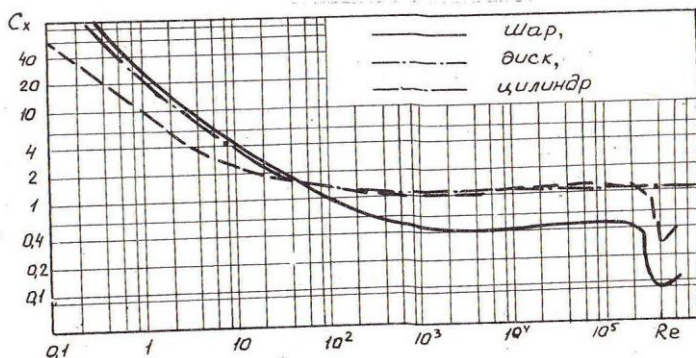
5. Коэффициент сопротивления тел [5] -



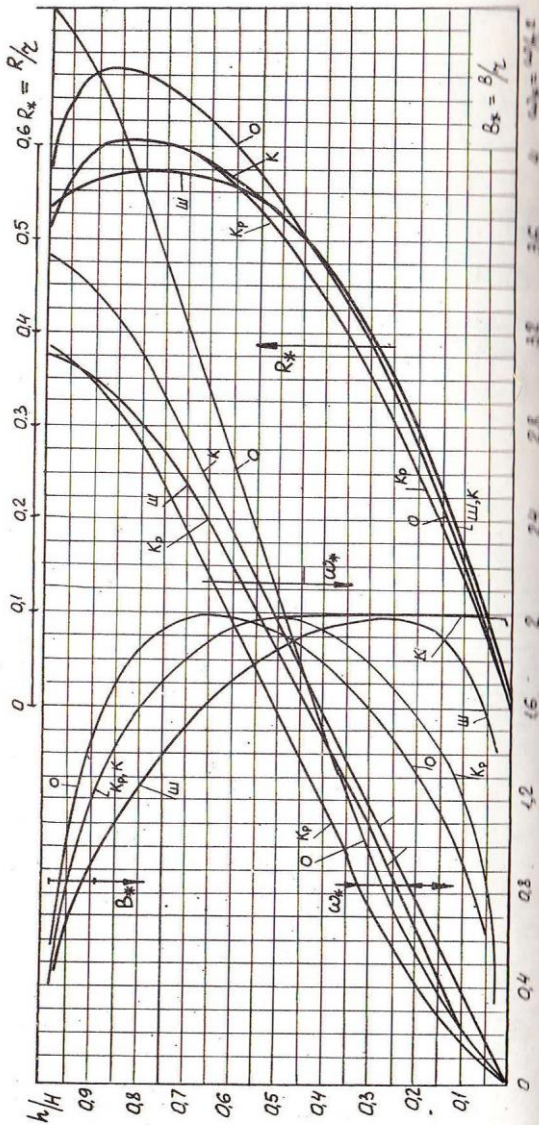
$$C_x = \frac{2F_x}{\rho U_0^2 S} \quad (S - \text{площадь миделевого сечения}).$$

При $Re = U_0 d / \nu < 0,5$ $C_x = 24/Re$ (шар);

$C_x = 20,4/Re$ (диск); $C_x = 8\sqrt{Re} \ln(7,4/Re)$ (цилиндр).



В. Геометрические характеристики коллекторов
 (К_р - круглое сечение; о - овальное; Ш - шатровое; К - корытообразное)



Г. Пропускная способность водослива
и сопряжение бьефов

Г. Коэффициент расхода $m \equiv Q/B \sqrt{2g} H_0^{3/2} = m_0 \cdot b_{сж} \cdot b_l \cdot b_n$.

Здесь m_0 — нормальный коэффициент расхода незатопленного водослива без бокового сжатия при профилирующем напоре; $b_{сж}$, b_l , b_n — поправки соответственно на боковое сжатие потока, на подтопление водослива со стороны нижнего бьефа и на "полноту" напора.

а. Нормальный коэффициент расхода у водослива практического профиля с вертикальной верховой гранью $m_0 = 0,49$, а с наклонной — $m = 0,48$.

У водослива с широким порогом по данным А.Р.Березинского [14]

$$m_0 = 0,32 + 0,01 \frac{3 - C_b/H}{0,46 + 0,75 C_b/H}$$

• если входное ребро прямоугольное;

$$m_0 = 0,36 + 0,01 \frac{3 - C_b/H}{1,2 + 1,5 C_b/H}$$

• если входное ребро скругленное.

Здесь C_b — высота порога.

б. Поправка на боковое сжатие потока $b_{сж}$ (по А.Р.Березинскому)

b/B	C_b/H Входные кромки не скруглены				C_b/H Входные кромки скруглены			
	0	0,5	I	3	0	0,5	I	3
0,2	0,836	0,887	0,904	0,931	0,913	0,939	0,950	0,964
0,4	0,845	0,898	0,915	0,938	0,918	0,946	0,955	0,968
0,6	0,886	0,925	0,937	0,955	0,940	0,961	0,967	0,976
0,8	0,940	0,958	0,965	0,977	0,968	0,979	0,983	0,988
0,9	0,970	0,978	0,983	0,988	0,984	0,990	0,992	0,994

в. Поправка на подтопление водослива b_l . Водослив практического профиля (по ТУИИ МЭС СССР, 1951 г.)

h_2/H_0	0	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75	0,8	0,85	0,90	0,95
b_l	I	0,983	0,972	0,957	0,983	0,91-0,80	0,76	0,70	0,59	0,41

Водослив с широким порогом (по А.Р.Березинскому)

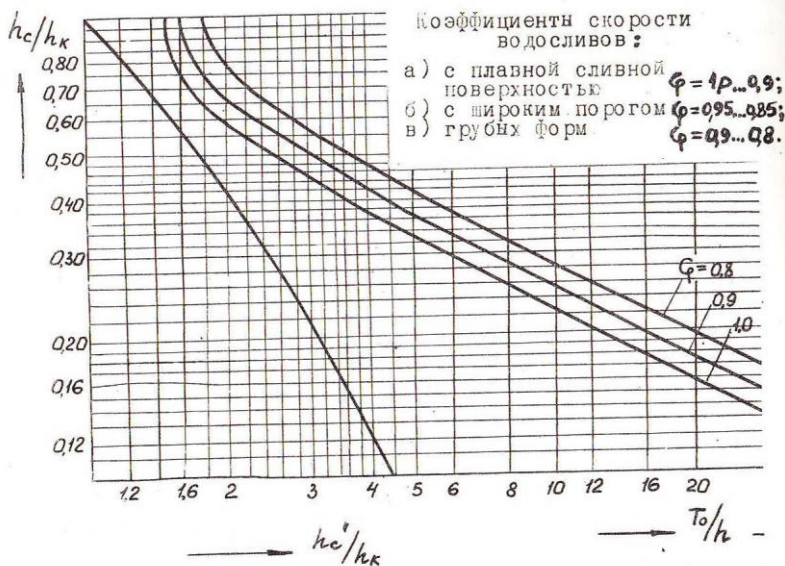
h_n	H_0	0,80	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98
$\bar{\sigma}_n$	I	0,97	0,95	0,90	0,84	0,72	0,70	0,70	0,59	0,40

г. Поправка на "полноту" напора (только для водосливов с профилированной сливной поверхностью) по Н.П.Розанову [14]

$$\bar{\sigma}_H = a + (1-a) \sqrt[3]{\frac{H}{H_{прф}}} \quad , \quad \text{где } \alpha = 0,778 - 0,00175 \alpha \quad ,$$

α - угол наклона верховой грани к горизонту в градусах (при $\alpha = 90^\circ$ $\alpha = 0,62$), $H_{прф}$ - профилирующий напор.

2. График для определения глубины в "сжатом" сечении потока за водосливом и глубины, сопряженной с ней в прямоугольном русле [7]



0,90) разделу I

0,40 I-I, I-3. Модуль упругости можно считать линейной функцией
авления

$$E(\rho) = E(\rho_0) + \alpha(\rho - \rho_0),$$

де $\alpha = 6,5$ - у воды и $\alpha \approx 12$ - у масла.

ю разделу II

2-22, 2-23. См. Башта Т.М. и др. "Гидравлика, гидромашини и гидравлические приводы". М., "Машиностроение", 1970, гл. X, § 3.5.

ю разделу III

3-6. Составив уравнение Бернулли для линий тока, выбранных у противоположных сторон трубы, сравнить изменение скорости и давления вдоль них.

3-7, 3-9. В качестве одного из расчетных сечений при использовании уравнения Бернулли следует выбрать концевое сечение трубы перед резервуаром. Избыточное давление в центре этого сечения определяется весовым давлением жидкости в резервуаре (γz или $\gamma H/2$).

3-12. См. [3, гл. 7, §§ 4, 5].

3-13. См. [3, гл. 7, § 3, п. 4].

3-14. Если линию тока, проходящую через начало координат, принять за границу потока, то комплексный потенциал описывает обтекание углов с вершиной в начале координат: при $0,5 \leq n \leq 1$ углы $\pi \leq \theta \leq 2\pi$, при $n > 1$ углы $0 < \theta < \pi$.

3-17. Представить щелевой сток как непрерывную цепочку элементарных стоков, вытянутых вдоль оси x , и, выделив элемент этой цепочки, составить выражение функции тока в произвольной точке (x, y) от этого элемента. Интегрированием (суммированием) по всей длине цепочки стоков можно найти функцию тока в выбранной точке (x, y) от щелевого стока.

3-19. Доказательство можно построить на основе теоремы Томсона [4] о неизменности циркуляции скорости по замкнутому "жидкому" контуру в баротропной среде при потенциальности сил. Другое доказательство см. в [I, гл. II, § 23].

3-24, 3-25. Выделив элементарную часть вихревого слоя, определить от нее потенциал скорости (или функцию тока) в произвольной точке (x, y) , а затем, суммируя (интегрируя) в этой точке потен-

циалы скорости (или функции тока) от всех элементов слоя, получим искомую функцию.

3-26. см. [3, гл. 7, § 8].

К разделу IV

4-9, 4-10. См. [3, гл. 8, § 2].

4-10, 4-12. См. [3, гл. 8, § 3].

4-13, 4-14. См. [3, гл. 8, § 8].

4-15, 4-16. См. [3, гл. 8, § 4].

4-17. Решение для внешней области можно получить на основе [3, гл. 8, § 4] путем предельного перехода $\alpha \rightarrow \infty$ (или $r_2 \rightarrow \infty$). Внутри трубки жидкость находится в покое относительно вращающейся трубки, поэтому следует воспользоваться уравнением равновесия (см. [3, гл. 3, § 3]).

4-18, 4-19. Вычислить среднюю скорость V потока по заданному распределению скоростей в сечении и перестроить полученное выражение так, чтобы явно определился коэффициент трения λ , имея в виду, что $\lambda \equiv 8\tau_0/\rho V^2 \equiv 8U_0^2/V^2$. См. также [1, гл. X, § 118 и 3, гл. 6, § 8].

4-23. См. [6, гл. 5, § 5-10].

4-31. Принять во внимание вихревой характер течения в пограничном слое, а также поле давления внутри и вокруг единичных вихрей. Или, допустив случайное небольшое местное искривление свободной поверхности жидкости, рассмотреть обтекание воздушным потоком этой неровности, выявить изменение давления около нее и сделать прогноз относительно дальнейшего развития этой неровности.

4-32, 4-33. См. [1, гл. X, § 121; 3, гл. 8, § 17 и гл. 9, § 4; 4, гл. XII, п. 5 и гл. XIII, п. 2].

4-34. См. [3, гл. 8, § 17].

К разделу VI

6-14. См. [5, гл. III, § 19].

6-15. Составить уравнение количества движения для отсека воздушного потока, ограниченного поверхностью тела и четырьмя плоскостями, перпендикулярными плоскости чертежа (две из них параллельны плоскости симметрии тела и отдалены от нее на расстоянии две другие — перпендикулярны плоскости симметрии, причем одна проводится сразу же за хвостом тела, вторая — вдали от него).

6-16. Принять во внимание силу давления на цилиндр, обусловленную циркуляционным обтеканием цилиндра.

6-24. В колесе вектор абсолютной скорости потока не изменяет своего направления (нет нагрузки!), а изменяет только величину (за счет стеснения канала лопатками). Этот вектор определяется суммой векторов относительной скорости, направленной вдоль лопатки, и переносной скорости вращательного движения колеса. Осредняя переносную скорость по высоте лопатки, можно построить треугольник скоростей для потока в колесе, а по нему установить зависимость частоты вращения от абсолютной скорости, связанной с расходом жидкости.

К разделу VI

7-12 - 7-15. Уравнение энергии в данном случае

$$T_{01} = T_{02} + \frac{\kappa-1}{R} A_{\text{техн}} ,$$

где T_0 - температура торможения, $A_{\text{техн}}$ - удельная техническая работа ($A_{\text{техн}} > 0$ у турбин, $A_{\text{техн}} < 0$ у компрессора), индексы 1 и 2 относятся к сечениям перед машиной и за ней соответственно.

7-16 - 7-18. См. [1, гл. IV, § 29]; Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. М., "Машиностроение", 1969, гл. IV, §§ 1, 2.

7-28. См. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика, гл. IX, § 3.

К разделу VII

8-13. См. [14, гл. IX, § 9-2].

8-21. Составить уравнения движения песчинки в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси и проинтегрировать их.

К разделу IX

9-10. Составить уравнение энергии медленно изменяющегося движения для жидкости в резервуаре и пьезометре, а также уравнение движения для поплавка и решить их совместно.

9-11, 9-12. На основе уравнений неразрывности и энергии медленно изменяющегося движения составить дифференциальное уравнение второго порядка, описывающее изменение уровня в пьезометре. В первом приближении скоростным напором можно пренебречь. Решить уравнение можно аналитически и на ЭВМ.

9-25. Прежде всего необходимо установить связь скорости в конечном сечении трубы с изменением объема жидкости в цилиндре. Затем следует перейти в полученном уравнении от скорости и давления

к волновой характеристике $f(x=l)$, используя волновые уравнения, записанные для концевой узла, и, наконец, решить полученное уравнение. Общее выражение волновой характеристики находится из условия $f(x,t) = f(x=l, t - \frac{l-x}{a})$ (a - скорость распространения волны), которое оправдано для идеальной жидкости.

9-27. В первом приближении можно считать жидкость идеальной. В этом случае физическими условиями, определяющими отражение и преломление волны, будут: 1) одинаковость давления в узле ветвления для всех линий, 2) баланс расходов. На этом основании и с помощью волновых уравнений, записанных для данного узла, можно связать локальные значения волновых характеристик и определить искомые характеристики.

9-34 - 9-38. Эти задачи решить графо-аналитически.

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М., "Наука", 1973.
2. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. М., "Энергия", 1974.
3. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика. М., "Машиностроение", 1978.
4. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. Л., "Машиностроение", 1969.
5. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. М., Издательство иностранной литературы, 1951.
6. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л., "Энергия", 1970.
7. Чертоусов М.Д. Гидравлика. Специальный курс. Л.-М., ГЭИ, 1962.
8. Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах. М., "Машиностроение", 1967.
9. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М., "Машиностроение", 1971.
10. Бутаев Д.А. и др. Сборник задач по машиностроительной гидравлике. М., "Машиностроение", 1972.
11. Соколов Ю.А. Гидродинамика и газодинамика в примерах и задачах. Л., ЛПИ им. М.И.Калинина, 1973.
12. Степчиков А.А. Задачник по прикладной гидрогазовой динамике. Л., МАИ им. С.Орджоникидзе, 1974.
13. Справочник физических величин. Под ред. Кикоина И.К. М., томиздат, 1976.
14. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М.-Л., ЭИ, 1957.
15. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Л., "Машиностроение", 1975.
16. Альшуль А.Д. Местные гидравлические сопротивления при движении вязких жидкостей. М., Гостоптехиздат, 1962.
17. Мостков М.А. Гидравлический справочник. М., Стройиздат, 1954.
18. Хохлов В.А. и др. Электрогидравлические следящие системы. М., "Машиностроение", 1971.
19. Слисский П.М. Коэффициент гидравлического трения при переходе от ламинарного к турбулентному режиму движения жидкости. Труды МЭИ. Вып. 331. М., 1977, с. 101-106.