

Министерство общего и профессионального
образования Российской Федерации

Челябинский государственный технический университет

Кафедра гидравлики и гидропневмосистем

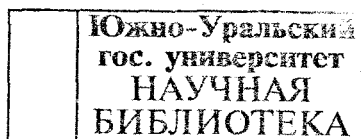
532 (07)

Т 325

В.К. Темнов

**СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ
ГИДРОАЭРОМЕХАНИКЕ**

(4-е издание, дополн. и перераб.)



3384

Челябинск

Издательство ЧГТУ

1997

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

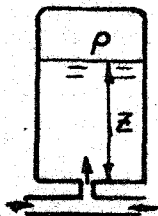
1-1. Выяснить, как изменяется плотность воды на большой глубине, при постоянной температуре.

1-2. Жидкость (масло – 1 вариант; вода – 2 вариант), полностью заполняющая жесткий герметичный сосуд, подогревается с $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до $t_2 = 65^\circ\text{C}$. Как при этом изменится давление, если первоначально оно было атмосферным?

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

1-3. В масло АМГ-10 ($E=1350$ МПа при $p=0,1$ МПа) попало $n\%$ (по объему) нерастворенного воздуха ($n=0,5$ – 1 вариант; $n=1$ – 2 вариант). Как изменится модуль упругости при давлениях $p_1 = 0,1$ МПа и $p = 10$ МПа?

1-4. Полагая тропосферу политропной ($n=1,2$), а ее высоту около 14 км, выяснить, как изменяется скорость звука a по высоте, если $a = \sqrt{dp/d\rho}$.



1-5. Построить характеристику пневматического аккумулятора ($D=80$ мм, $H=400$ мм), выражающую зависимость давления воздуха от объема поступающей жидкости при медленном (изотермическом) и быстром (адиабатном) наполнениях. Абсолютное давление воздуха в аккумуляторе при $Z=0$ и $t = 15^\circ\text{C}$ равно $p_0 = 0,2$ МПа (1 вариант); $p_0 = 1$ МПа (2 вариант); $p_{\text{max}} = 10 p_0$.

1-6. 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 $t_2 = 70^\circ\text{C}$. Первоначальный объем масла $W_0 = 0,2$ м³.

1-7. Плотность и кинематический коэффициент вязкости воздуха при температуре $t_1 = 15^\circ\text{C}$ и абсолютном давлении $p = 100$ КПа соответственно $\rho_1 = 1,2$ кг/м³, $\nu_1 = 0,15$ см²/с. Определить плотность и динамический коэффициент вязкости воздуха при температуре $t_2 = -50^\circ\text{C}$ и давлении $p_2 = 60$ КПа (1 вариант); $t_2 = +40^\circ\text{C}$ и $p_2 = 600$ КПа (2 вариант).

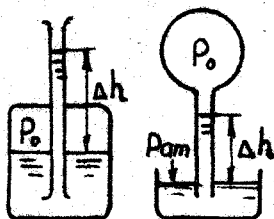
1-8. На одном из участков гидросистемы абсолютное давление падает от $p_1 = 100$ КПа до $p_2 = 0,2 p_1$. Выяснить, какое максимальное количество растворенного воздуха может выделиться в расчете на единицу объема воды.

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 $t=60^\circ\text{C}$. Жидкость: керосин (1 вариант) или АМГ (2 вариант).

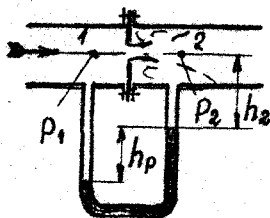
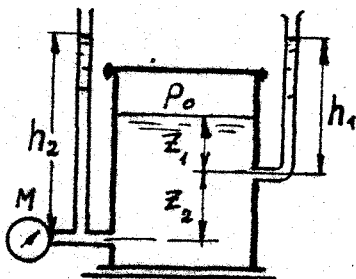
2. РАВНОВЕСИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

2-1. Определить абсолютное и избыточное давление p_0 в сосудах при заданной высоте столбиков жидкости $\Delta h = 1$ м. Как изменятся высоты Δh , если вдвое снизить давление p_0 ? Жидкость: вода (1 вариант), ртуть (2 вариант).



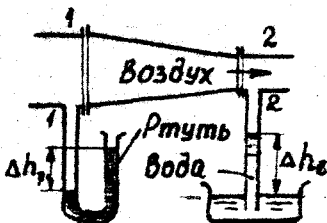
2-2. Вычислить давление на поверхности батискафа, погруженного в море на глубину $h = 10$ км. Задачу решить без учета и с учетом изменения плотности воды с глубиной. Сравнить результаты.

2-3. Бак заполнен водой ($\rho = 1000$ кг/м³). Известны показание правого пьезометра $h_1 = 1,2$ м и уровень жидкости в баке $Z_1 = Z_2 = 0,4$ м. Определить давление p_0 в баке; силу давления на крышку, площадь которой $S = 1$ м²; показание пружинного манометра М (он измеряет избыточное давление) и высоту столбика жидкости в левом пьезометре.

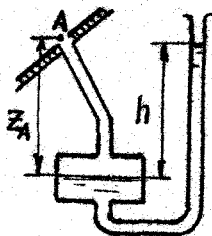


2-4. По показанию U-образного ртутного манометра вычислить падение давления за диафрагмой. Перепад уровней ртути $h_p = 50$ см. Жидкость – бензин.

2-5. По показаниям приборов вычислить разность давлений в сечениях трубопровода 1 и 2, приняв $\Delta h_p = 20$ мм, $\Delta h_a = 60$ мм.

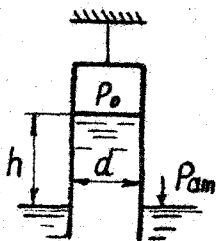


2-6. Давление в резервуаре с маслом измеряется ртутным чашечным манометром. Зная показание прибора $h = 20$ см (1 вариант), $h = 40$ см (2 вариант), определить давление в точке А, если $Z_A = 5h$.



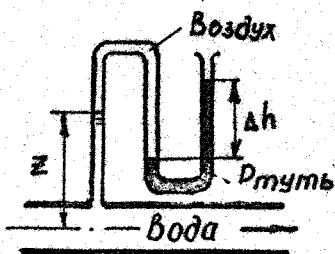
При пользовании таким манометром, как правило, пренебрегают изменением уровня ртути в чашке, считая его таким же, как и при $h=0$. Это вносит погрешность в измерения.

Каким должно быть соотношение диаметров трубки и чашки, чтобы погрешность измерения, вызванная изменением уровня ртути в чашке, не превышала 0,1%?



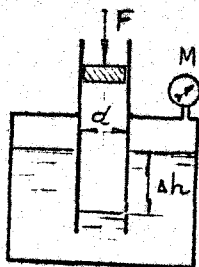
2-7. В стакане, опрокинутом вверх дном и подвешенном на тросике, создано абсолютное давление $p_0=95$ кПа. Определить высоту подъема воды в стакане и силу натяжения тросика, если масса стакана $m=15$ кг, его диаметр $d=100$ мм, а давление атмосферы $p_{atm} = 100$ кПа.

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



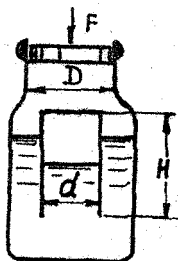
2-8. По показаниям ртутного манометра $Z=0,5$ м, $\Delta h=0,4$ м вычислить давление в напорном водоводе. Как изменятся уровни Z и Δh , если давление в водоводе увеличится в 1,5 раза?

Сжатие воздуха в верхнем колене прибора считать изотермическим, а первоначальный осевой размер воздушного пузыря принять $l = 0,72$ м.



2-9. Определить перепад уровней масла Δh в цилиндре и в сосуде при заданных показаниях манометра $p_m=10$ кПа (избыточное давление) и нагрузке на поршень цилиндра $F=30$ Н. Масса поршня $m = 1$ кг.

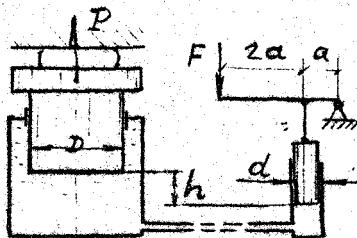
Какую силу надо приложить к поршню, чтобы уровни выровнялись?



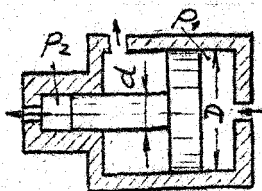
2.10. (Вариация задачи из сборника [8]).

Малый сосуд ($H=3d$; $d = 20$ мм) наполовину заполнен водой и вместе с воздухом, объем которого при атмосферном давлении составляет половину сосуда, погружен вверх дном в большой сосуд ($D = 2a$) с водой. Определить минимальное усилие F , при котором малый сосуд массой $m = 20$ г целиком погрузится в воду.

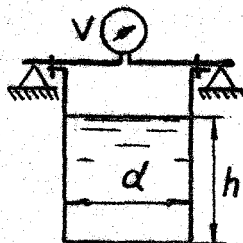
2.11. Вычислить силу опрессовки детали p при усилии $F=100$ Н на конце рычага. Известны: масса малого поршня $m = 0,3$ кг, масса большого - $M = 8$ кг, $a = 0,2$ м, $h=0,5$ м, $D = 10$ d. Рабочая жидкость - масло.



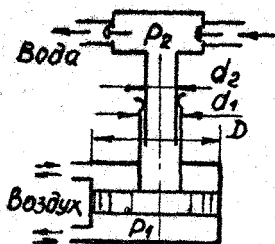
2.12. Какое давление p_1 необходимо подвести к цилиндру гидравлического мультипликатора, чтобы получить на выходе давление $p_2 = 100$ МПа? Соотношение диаметров $D : d = 10$. Вычислить силу давления на плунжер.



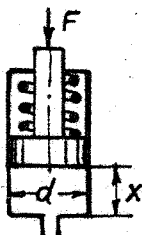
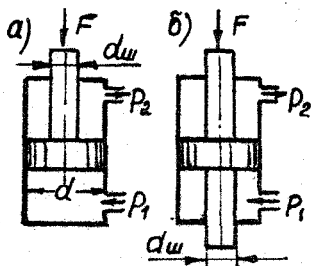
2.13. Определить силу, отрывающую цилиндрическую емкость от плиты и силу реакции опор, на которых покоится плита, если известны показание вакуумметра $p_v = 3,0$ кПа, диаметр емкости $d = 400$ мм, ее наполнение водой $h = 0,5$ м, масса плиты $m_1 = 50$ кг и емкости без воды $m_2 = 20$ кг.



2.14. На чертеже представлена принципиальная схема пневмоводяного насоса. Какое наибольшее давление в камере 2 следует ожидать при нагнетании, если к камере 1 подвести давление $p_1 = 200$ кПа? Известны: $D = 50$ мм, $d_1 = 1,1 d_2$, $d_2 = 8$ мм.

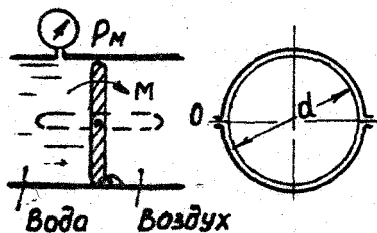
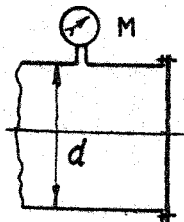


2-15. Поршень с односторонним штоком (схема а, $d=40$ мм, $d_w=16$ мм) равномерно движется в цилиндре, преодолевая нагрузку $F=2$ Н. Определить необходимое для этого давление p_1 , если $p_2=100$ кПа. Какое давление p_1 потребуется при той же нагрузке в случае поршня с двухсторонним штоком (схема б)? Трением штока и поршня пренебречь.

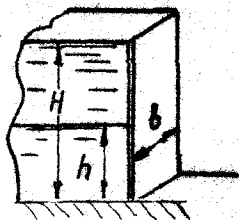


2-16. Гидроцилиндр имеет поршень с односторонним штоком ($d=20$ мм, $x_{\text{max}}=60$ мм) и пружину с жесткостью $c=6$ Н/мм, имеющую нулевое сжатие при крайнем нижнем положении поршня. Построить график зависимости положения поршня от давления поступающей в цилиндр жидкости $X(p)$ при заданном усилии 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.

2-17. Цилиндрический бак ($d=2$ м) заполнен нефтью. Определить силу давления на торцевую стенку бака и найти центр давления (точку приложения силы давления) при заданном показании манометра $p_m=10$ кПа.

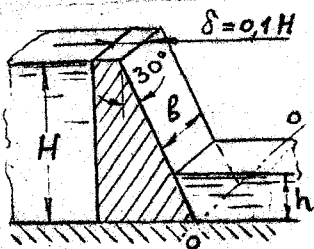


2-18. Определить момент, необходимый для открытия дискового затвора диаметром $d=1$ м и выяснить, как влияет на искомый момент избыточное давление, измеряемое манометром. Моментом трения в опорных узлах пренебречь. Как изменится искомый момент, если вода будет и с другой стороны затвора?

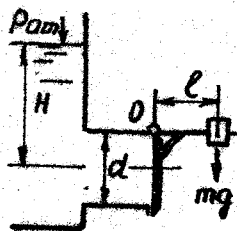


2-19. Построить эпюру давления двух разнородных жидкостей на вертикальную стенку, определить суммарную силу давления и найти центр давления. Высота стенки $H=1,2$ м, ширина $b=1$ м. Жидкость: вода и нефть; $h=0,6$ м.

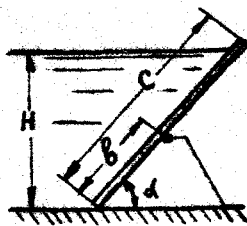
2-20. Плотина находится под двусторонним давлением воды. При заданной минимальной глубине в нижнем бьефе определить силу давления, стремящуюся сдвинуть плотину вдоль основания, и момент, опрокидывающий плотину вокруг 0-0. Ширина плотины $b=25$ м, максимальная глубина воды в верхнем бьефе $H=15$ м, а в нижнем - $h=3$ м.



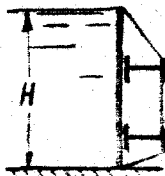
2-21. Закрытие цилиндрического выпуска ($d=200$ мм) с плоским клапаном обеспечивается грузом, укрепленным на рычаге. Клапан и рычаг с грузом представляют собой жесткую конструкцию, поворачивающуюся вокруг шарнира 0. При заданном плече рычага $l=0,4$ м подобрать массу груза с таким расчетом, чтобы открытие клапана происходило при напоре $H=2$ м.



2-22. 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 $b=0,6$ м от нижнего края. Выяснить, при каких напорах H затвор опрокинется и откроет отверстие для слива воды.

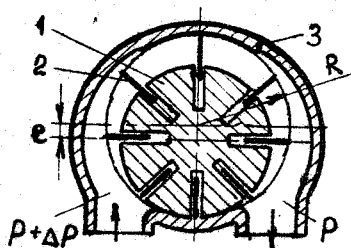


2-23. Определить высотное положение двух горизонтальных балок плоского затвора с таким расчетом, чтобы сила давления на затвор распределялась между ними поровну и максимальный изгибающий обшивку момент имел минимально возможную величину. $H=24$ м.



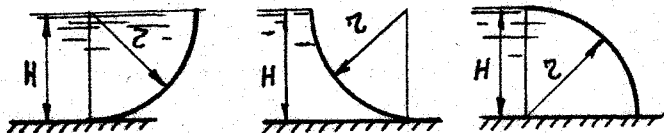
2-24. Пластинчатый гидромотор состоит из цилиндрического ротора 1 с радиальными пазми, в которые свободно входят пластины 2, и неподвижного корпуса 3 с патрубками для подвода и слива рабочей жидкости (масла). Ротор установлен эксцентрично относительно корпуса.

Зная размеры ротора ($K=40$ мм, $b=20$ мм), его эксцентриситет $e=4$ мм и перепад давления $\Delta p=10$ МПа, определить крутящий момент и радиальную силу давления жидкости на ротор.



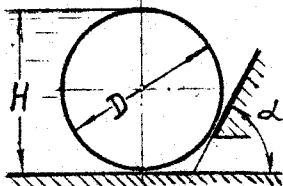
Как можно существенно уменьшить радиальную силу, не изменяя крутящего момента?

2-25. Определить величину и направление силы давления воды на четверть цилиндрической поверхности при $H=Z=1$ м. Длина образующей цилиндра $\ell=1$ м.

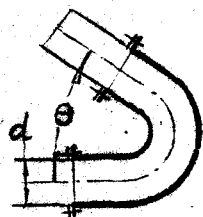


2-26. Сколько цилиндрических понтонов необходимо для переброски груза массой $m=9$ т при осадке $h \approx 0,5d$, если собственный вес одного понтона $G=0,6$ т, его длина $\ell=2,5$ м, а диаметр $d=800$ м?

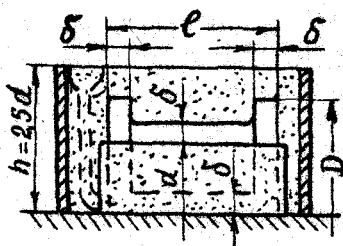
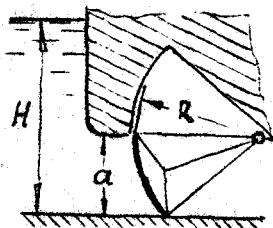
2-27. Цилиндрический затвор ($\ell=5D$, $D=2$ м) опирается своими краями на наклонные опорные поверхности ($\alpha=60^\circ$), между которыми имеется отверстие для слива воды. Определить силу давления воды на затвор и подобрать его массу с таким расчетом, чтобы автоматическое вскрывание затворе по наклонной опоре началось при напоре $H=D$.



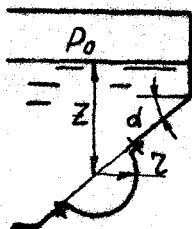
2-28. Подсчитать силу гидростатического давления на колена трубопровода ($d = 200$ мм $\theta = 60^\circ$), расположенное в горизонтальной плоскости. Избыточное давление в трубе $p = 1$ МПа.



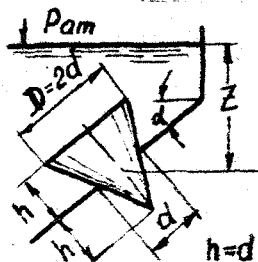
2-29. Донное водосбросное отверстие размером $a \times b = 2$ м \times 4 м перекрыто секторным затвором, радиус которого $R = 2$ а. Определить величину и линию действия силы давления воды на обшивку затвора при напоре $H = 10$ м.



2-30. Из латуни отливается полцилиндрическая деталь с фланцем. Зная размеры детали ($D=1,5d$; $l=2,5d$; $\delta=d/12$, $d=120$ мм), определить наибольшее давление в форме и вертикальную силу давления на землю.

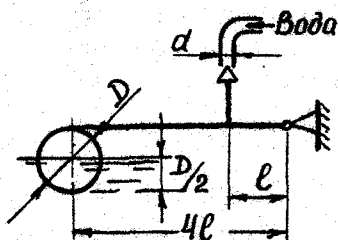


2-31. Круглое отверстие радиусом $r = 80$ мм в наклонной стенке резервуара, наполненного нефтью, закрыто сферической заглушкой. Определить силы, разрывающие и срезающие болты, которыми заглушка прикреплена к стенке резервуара. Погружение центра отверстия $Z = 1$ м; давление $p_0 = 20$ кПа.



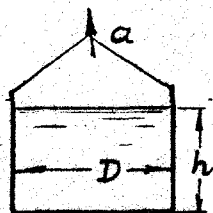
2-32 (Вариация задачи из сборника [8]).

Коническая пробка закрывает круглое отверстие диаметром $d = 100$ мм в наклонной стенке резервуара с водой. Вычислить силу, прижимающую пробку к стенке, при $Z = 1,2$ м и $\alpha = 60^\circ$.



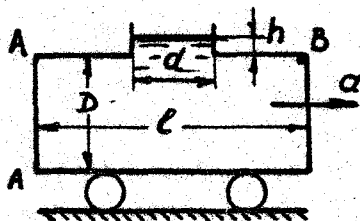
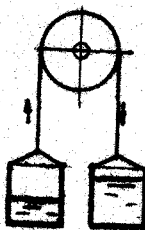
2-33. Наполнение бака контролируется поплавковым устройством. Определить диаметр шара-поплавка, при котором будет обеспечено закрытие подводящей трубы $d=5$ мм с избыточным давлением воды $p = 500$ кПа. Шар изготавливается из листовой латуни толщиной $\delta = 0,5$ мм. Масса рычага $m_p = 60$ г, масса запорной иглы $m_n = 30$ г.

2-34. Выяснить объем и плотность металла, если при его взвешивании на рычажных весах в воздухе зафиксирована масса $m_1 = 150$ г, а в воде - $m_2 = 135$ г.

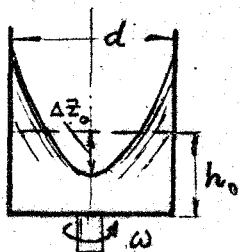


2-35. Определить силу давления расплавленной стали на дно цилиндрической бадьи ($D = 500$ мм, $h = 400$ мм) при ее вертикальном подъеме с ускорением $a = 6$ м/с².

2-36. Два одинаковых сосуда (массой M , 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.



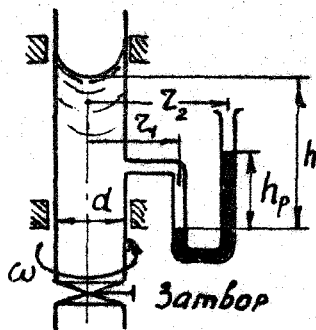
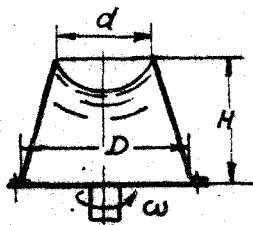
2-37. Цистерна ($D = 2$ м, $d = 0,5$ м, $l = 6$ м) заполнена нефтью до уровня $h = 0,5d$. Найти силу давления на торцовую стенку А-А неподвижной цистерны. Как изменится искомая сила при движении цистерны с ускорением $a = 5$ м/с² по горизонтальному пути?



2-38. 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.

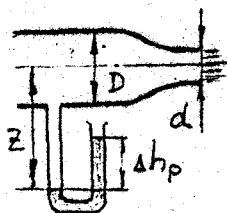
2-39. Конический сосуд ($D=H=100$ мм, $d = 50$ мм) полностью заполнен водой. Определить силу, отрывающую корпус от основания, при отсутствии вращения. Как изменится искомая сила, если бак привести во вращение с частотой $\omega = 20$ рад/с?



2-40. Цилиндрическая труба ($d = 100$ мм) с затвором может вращаться вокруг своей вертикальной оси. Зная показания U-образного ртутного манометра при неподвижной трубе ($\omega = 0$, $\Delta h_0 = 138$ см, $h_p = 10$ см), определить их при вращении трубы с частотой $\omega = 15$ рад/с. Затвор закрыт.

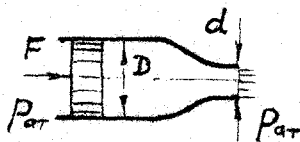
2-41. Жидкость плотностью ρ наполовину заполняет цилиндрический сосуд и равномерно вращается вместе с ним вокруг его горизонтальной оси, образуя сплошной кольцевой слой у стенки. Выяснить форму свободной поверхности и сравнить толщины слоя жидкости по вертикальной оси.

3. СТАЦИОНАРНОЕ ОДНОМЕРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ (ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ)

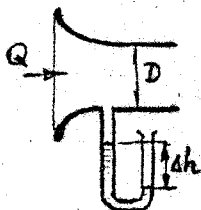
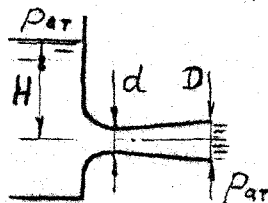


3-1. Определить расход воды через сопло ($D = 2d$, $d = 10$ мм) при заданном показании ртутного манометра $\Delta h_p = 150$ мм, полагая жидкость идеальной, $Z = 0,6$ м.

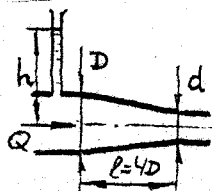
3-2. При какой силе F скорость истечения идеальной воды из сопла ($d = 10$ мм, $D = 50$ мм) в атмосферу станет равной $V = 25$ м/с? Каким будет при этом расход жидкости?



3-3. Пренебрегая гидравлическими сопротивлениями, определить расход воды через насадок Вентури ($D = 1,25d$, $d = 10$ мм), давление в узком сечении насадки и построить пьезометрическую линию вдоль всего потока.

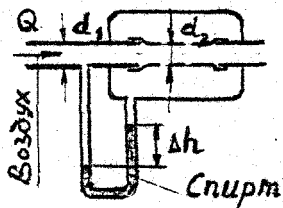
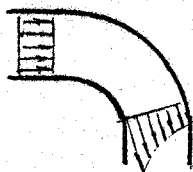


3-4. Воздух поступает в трубопровод из атмосферы. Падение давления во входном раструбе ($D = 400$ мм) измеряется спиртовым манометром. Пренебрегая сопротивлением входа, определить расход воздуха при заданном показании прибора $\Delta h = 100$ мм.



3-5. Полагая течение воды на конфузормом участке трубопровода ($D = 1,5d$, $d = 16$ мм) без потерь напора, построить пьезометрическую и напорную линии при заданном расходе $Q = 1,0$ дм³/с и уровне жидкости в пьезометре $h = 0,6$ м.

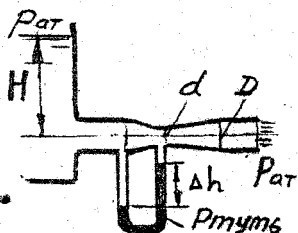
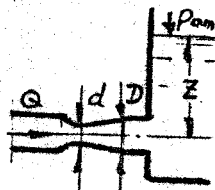
3-6. Объяснить падение скорости в потоке идеальной жидкости от выпуклой стенки колена трубопровода к вогнутой. Перед коленом распределение скоростей было равномерным.



3-7. (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 $Q = 1,2$ л/с и $\Delta h = 120$ мм.

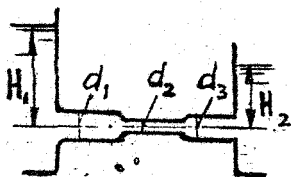
3-8. (Вариация задачи из сборника [8]).

Определить максимальный расход жидкости через трубопровод с местным сужением ($D = 1,6d$, $d = 15$ мм) при условии, что давление в его узком сечении должно быть не ниже давления парообразования. Температура воды $t = 30^\circ\text{C}$, подтопление выходного отверстия $Z = 1$ м, сопротивление не учитывать.



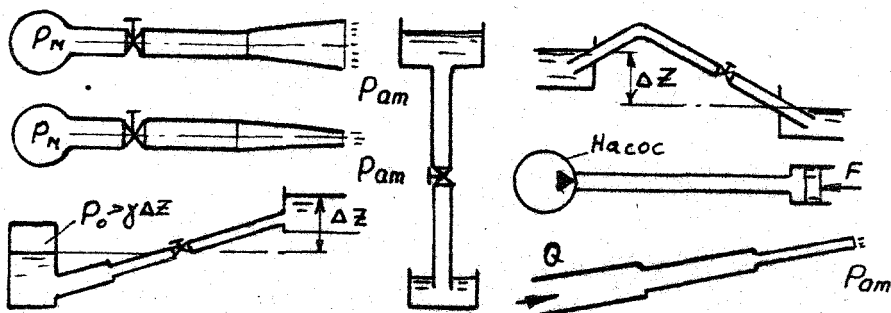
3-9. Через короткую трубку, имеющую форму водомера Вентури, вода вытекает в атмосферу. Зная размеры трубки ($d=0,8D$; $D=40$ мм) и показание ртутного манометра $\Delta h = 350$ мм, найти расход Q и напор H ; построить пьезотермическую и напорную линии. Гидравлическими сопротивлениями пренебречь.

3-10. Пренебрегая потерями напора, определить скорости течения на всех участках составной трубки и построить пьезометрическую линию. Напоры в резервуарах: $H_1 = 2$ м, $H_2 = 1$ м; диаметр трубок $d_1 = 36$ мм, $d_2 = 18$ мм, $d_3 = 30$ мм.



Выяснить, как изменятся скорости и давление потока на всех участках, если снизить напор H_2 до нуля. Температура воды $t = 20^\circ\text{C}$. Будьте внимательны! Во втором случае возможен кавитационный разрыв потока. Учтите это!

3-11. Проиллюстрировать изменение потенциальной, кинетической и полной механической энергии потока вязкой жидкости, построив напорную и пьезометрическую линии, в следующих случаях.

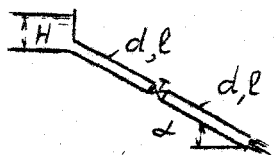


3-12. Выяснить режим течения масла И-20 в стальной трубе круглого сечения ($d=20$ мм) и воздуха в канале прямоугольного сечения ($a \times b = 20 \times 10$ мм²) при расходе $Q = 10$ дм³/с, температуре $t = 30^\circ\text{C}$ и давлении воздуха $p = 0,15$ МПа.

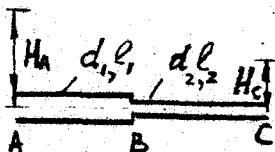
Определить коэффициент гидравлического трения и вычислить потери напора на участке длиной $\ell = 3$ м.

3-13. Рассчитать и построить характеристику прямого участка стального трубопровода ($d = 16$ мм, $\ell = 1000d$), выражающую зависимость потерь напора от расхода $\Delta h_2(Q)$, в диапазоне расходов $0 \leq Q \leq 1,2$ дм³/с при течении масла Турб-22 (1 случай) и воды (2 случай). Температура жидкости 20°C .

3-14. Вода ($t = 10^\circ\text{C}$) вытекает в атмосферу по дюралюминиевой трубке ($\ell = 75d$, $d=20$ мм), установленной под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту. Рассчитать и построить напорную и пьезометрическую линии при $H = 0,6$ м и коэффициенте сопротивления крана $\zeta = 2$.

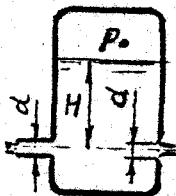


3-15. Две новые чугунные трубы разного диаметра ($d_1 = 100$ мм, $l_1 = 200d_1$, $d_2 = 50$ мм, $l_2 = 250$ м) соединены между собой последовательно. Зная концевые напоры ($H_c = 4$ м, $H_A = 20$ м), определить напор потока воды ($t = 20^\circ\text{C}$) в месте соединения (узел В) и построить напорную и пьезометрическую линии.



3-16. Сравнить скорости и расходы при истечении воды в атмосферу через отверстие и внешний цилиндрический насадок одинаковых диаметров $d = 10$ мм при $p_0 = 10$ кПа; $H = 1$ м.

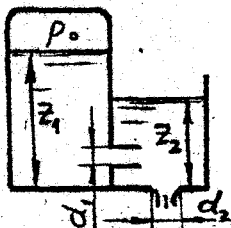
Быстрее ли будет вытекать из сосуда ртуть при том же наполнении и давлении $p_0 = \pm 5$ кПа?



3-17. Катер получил пробоину площадью $S = 100$ см² на глубине $H = 0,2$ м. В момент аварии он был недогружен до своего предельного веса на $G = 2$ МН. Определить время затопления катера, полагая напор H постоянным, а коэффициент расхода пробоины $\mu = 0,5$.

3-18. (Вариация задачи из сборника [8]).

Из закрытого бака через цилиндрический насадок вода вытекает в промежуточную емкость, а из нее через отверстие с острыми кромками - в атмосферу. Найти уровень воды в открытом резервуаре при заданном избыточном давлении $p_0 = 5$ кПа, $Z = 1$ м и $d_1 = d_2 = 10$ мм. Температура воды 20°C .

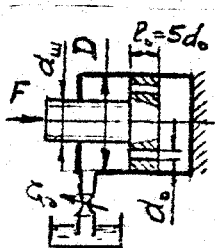


После предварительных расчетов не забудьте проверить, как работает цилиндрический насадок - не отрывается ли поток от его стенок, что может привести к резкому снижению коэффициента расхода.

3-19. С какой скоростью будет перемещаться поршень ($D=36$ мм) в цилиндре при полностью открытом дросселе ($\zeta_d=0$), если к нему приложить усилие $F=1$ кН?

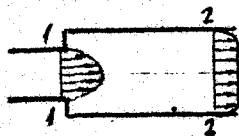
Диаметры 4 отверстий в поршне $d=2$ мм, диаметр штока $d_w=12$ мм; температура масла АМГ-10 $t=20^\circ\text{C}$.

При каком коэффициенте сопротивления дросселя ζ_d скорость поршня уменьшится в два раза?



3-20. Вычислить силу трения, действующую на стенки прямого участка стальной трубы ($\epsilon=300d$, $d=50$ мм) 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 теми же скоростью и температурой потечет вода?

3-21. Поток жидкости перед резким расширением трубы имеет существенно неравномерный профиль скоростей ($\alpha'_1 = (\alpha_1+2)/3$). Определить потери напора и коэффициент сопротивления при полном выравнивании профиля скоростей за расширением ($\alpha_2 \approx \alpha'_2 \approx 1$) и сопоставить их с величинами, вычисленными по формулам Борда.



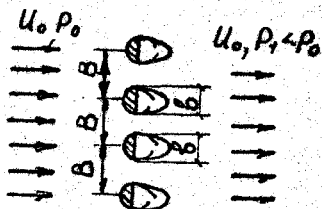
Принять распределение давления по торцевой кольцевой стенке гидростатическим, а значения коэффициентов кинетической энергии и количества движения перед расширением соответственно $\alpha_1=1,33$, $\alpha'_1 = 1,12$ (турбулентный режим).

3-22. 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 $d_2 = 40$ мм. При каком варианте гидравлическое сопротивление участка будет наименьшим и насколько?



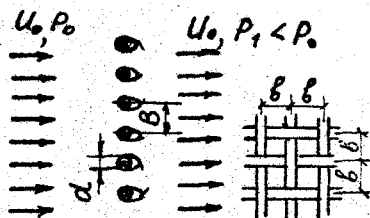
3-23. Поперек потока установлена решетка из полуполициндрических стержней. Требуется вывести формулу для определения коэффициента сопротивления решетки в зависимости от ее густоты $\zeta=f(b/B)$ и построить график этой зависимости.

Примечание. В первом приближении следует учитывать лишь потери энергии, связанные с расширением потока за решеткой.

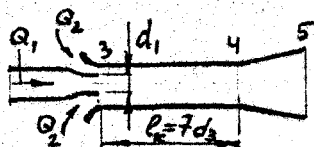


3-24. На пути воздушного потока установлена сетка ($d=1$ мм, $b=3$ мм). Определить коэффициент сопротивления сетки, падение давления в ней и силу давления на 1 дм^2 ее площади.

Скорость потока $U_0=20$ м/с, сжимаемость воздуха не учитывать.

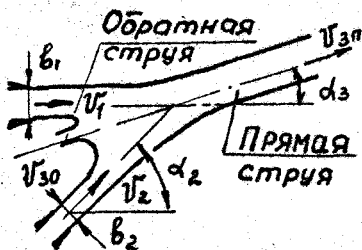


3-25. Определить повышение давления в смесительной камере эжектора и диффузоре $\Delta p_{5,3} = p_5 - p_3$ при заданных расходах активного $Q_1 = 4$ л/с и пассивного $Q_2 = 4$ л/с потоков, полагая, что к сечению 4 полностью выравниваются скорости. Диаметры выходных сечений сопла $d_1 = 16$ мм, диффузора $d_5 = 60$ мм; диаметры смесительной камеры $d_3 = d_4 = 32$ мм; осредненный коэффициент гидравлического трения смесительной камеры $\lambda = 0,01$, ее длина $\ell_k = 7d_3$.



При каком диаметре смесительной камеры перепад давления в ней будет наибольшим?

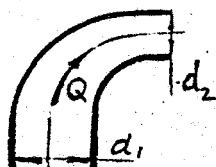
3-26. Две плоские струи, вытекающие из сопел под углом $\alpha_2=60^\circ$ друг к другу, встречаясь, образуют две новые струи - прямую и обратную. Пренебрегая сопротивлением окружающей среды и полагая направление обратной струи противоположным направлению прямой, определить средние скорости, толщины и направления новых струй. Известно: $V_1 = 5$ м/с, $V_2 = 10$ м/с, $b_2 = 10$ мм, $b_1 = 15$ мм, $S = 40$ мм.



3-27. Составить формулу для определения силы давления потока масла на колено трубопровода с углом поворота β и вычислить силу при расходе $Q=1,5$ л/с, избыточном статическом давлении в трубе $p_0 = 1$ МПа, диаметре $d=20$ мм и угле поворота $\beta=90^\circ$.

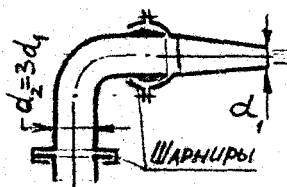
Показать направление вектора силы.



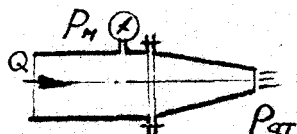


3-28. Определить силу давления потока воды на колено трубопровода ($d_1 = 400$, $d_2 = 250$ мм), поворачивающего поток в горизонтальной плоскости на угол 90° . Избыточное давление в начальном сечении колена $p_1 = 300$ кПа, а расход $Q = 150$ $\text{дм}^3/\text{с}$. Показать направление вектора силы.

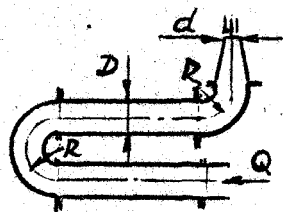
3-29. Определить силы давления воды на колено и сопло гидромонитора, если скорость струи на выходе из сопла $u_1 = 50$ м/с, а диаметр сопла $d_1 = 20$ мм.



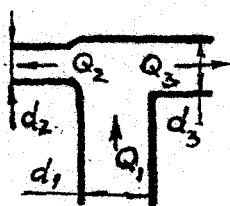
3-30. С какой силой поток воды отрывает сопло от трубопровода ($d_1 = 32$ мм, $d_2 = 12$ мм), если показание манометра $p_m = 250$ кПа?



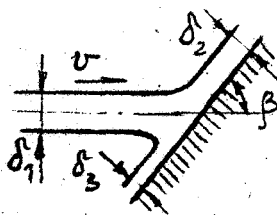
3-31. Найти силы давления воды на поворотные участки трубопровода ($D = 100$ мм) и на сопло ($d = 40$ мм) при $Q = 10$ $\text{дм}^3/\text{с}$.

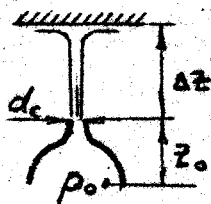


3-32. Определить величину и направление силы давления потока масла на тройник при $Q_1 = 10$ $\text{дм}^3/\text{с}$, $Q_2 = Q_3$, если $d_1 = 40$ мм, $d_2 = 20$ мм, $d_3 = 32$ мм, а избыточное давление $p_1 = 300$ кПа.



3-33. Плоская водяная струя ($\delta_1 = 10$ мм) со скоростью $V = 1$ м/с набегает на наклонную пластину $\beta = 60^\circ$. 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.

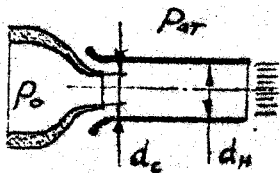
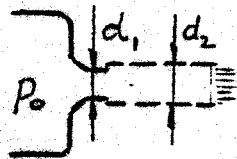




3-34. Как будет изменяться сила давления P водяной струи на плоский экран по мере отдаления его от среза сопла? Построить график зависимости $P(\Delta z)$ в широком диапазоне изменения аргумента $0 \leq \Delta z \leq \Delta z_{\max}$ при избыточном давлении $p_0 = 80$ кПа. Сопротивление воздуха не учитывать и принять: $Z_0 = 0,5$ м, $d_c = 10$ мм.

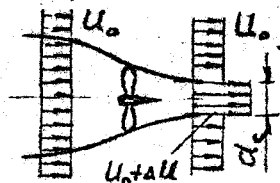
Полезно обратить внимание на сильное изменение силы P при очень малых Δz , вычислив эту силу при $\Delta z = 0$, когда экран полностью закрывает сопло.

3-35. Выяснить влияние цилиндрического насадка на силу реактивного давления водяной струи, вытекающей из конoidalного сопла. Как изменится эта сила после присоединения насадка с диаметром $d_2 = 1,2d_1$, если оставить прежними d_1 и давление p_0 ?



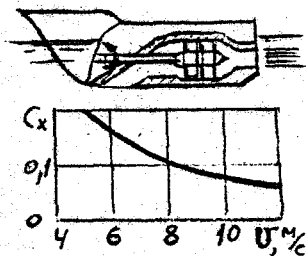
3-36. Тягу реактивного двигателя можно увеличить с помощью эжекторного цилиндрического насадка. Сравнить силы реактивного двигателя с таким насадком и без него при $d_n : d_c = 2$, полагая жидкость идеальной и несжимаемой, а распределение давлений в начальном сечении цилиндрического участка насадка равномерным.

3-37. Винт увеличивает скорость воздушной струи ($d_c = 1$ м) за собой на величину $\Delta u = 40$ м/с. 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).



3-38. Катер оборудован водометным двигателем, сопло которого имеет диаметр $d = 100$ мм. Водозаборный канал двигателя расположен перпендикулярно оси сопла. Определить скорость катера при заданном расходе двигателя $Q = 100$ дм³/с. Площадь миделевого сечения катера $S = 0,3$ м², а коэффициенты сопротивления приведены на рисунке к задаче 3-39.

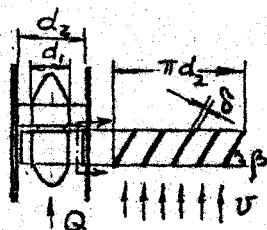
3-39. Водометный движитель катера состоит из осевого насоса и двух коротких каналов, по которым вода подводится к насосу и выбрасывает наружу через сопло диаметром $d=400$ мм. Ось водозаборного канала направлена перпендикулярно оси сопла. Для движения катера со скоростью $V=36$ км/ч необходима тяга $R=5$ кН. Какими при этом должны быть подача (расход) и напор осевого насоса, если коэффициенты сопротивления обоих каналов, приведенные к скоростному напору струи, $\zeta = 0,4$?



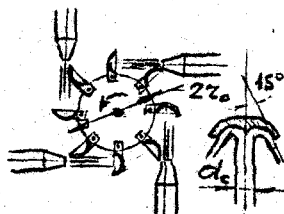
Как изменятся подача и напор насоса, если ось водозаборного канала повернуть на 30° в сторону носа?

Диаметр водозаборного канала на 10% больше диаметра сопла.

3-40. Турбинный расходомер имеет колесо с прямыми плоскими лопатками, равномерно закрепленными на цилиндрической втулке. Плоскость лопасти составляет угол $\beta = 30^\circ$ 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.



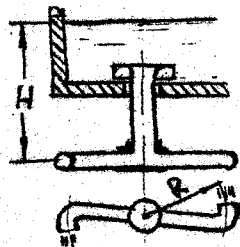
3-41. Рабочее колесо свободнотруйной турбины имеет профилированные, чашеобразные лопатки и приводится во вращение водяными струями, вытекающими из четырех сопел ($d_c = 40$ мм) с одинаковыми скоростями $V = 60$ м/с. Определить крутящий момент на валу турбины и ее мощность при частоте вращения $\omega = 150$ 1/с, приняв эффективный радиус колеса $r_e = 0,2$ м.



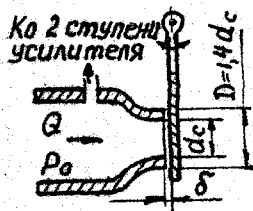
Построить качественный (без расчетов) график зависимости мощности турбины от скорости вращения. Определить оптимальную скорость вращения колеса, при которой мощность максимальна, и вычислить эту мощность.

3-42. Пренебрегая трением в опорах и каналах определить частоту вращения колеса при напоре $H = 0,8$ м, если $d = 12$ мм, $R = 7d$.

Выяснить, как изменится частота вращения, если R уменьшить вдвое.



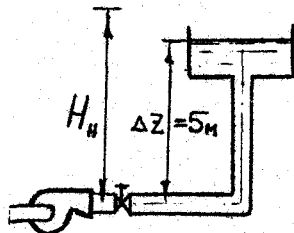
3-43. В системах гидроавтоматики широко используется усилитель типа "сопло-заслонка", с помощью которого при очень малых изменениях зазора δ можно получить значительные изменения давления p_a перед соплом. Построить характеристику усилителя $p_a(\delta)$ в диапазоне $0,02 \leq \delta/d_c \leq 0,1$ ($d_c = 2$ мм) при неизменном расходе $Q = 80$ см³/с, полагая, что масло АМГ-10 ($t = 20^\circ\text{C}$) безотрывно вытекает через зазор между торцом сопла и заслонкой.



4. ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

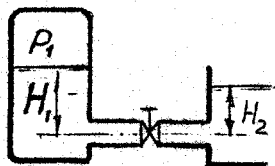
4-1. Какой напор H_n должен создавать насос, чтобы наполнить водой бак емкостью $W=3 \text{ м}^3$ за 10 минут?

Труба стальная диаметром $d=40 \text{ мм}$ и длиной $\ell=20 \text{ м}$; температура воды 12°C .

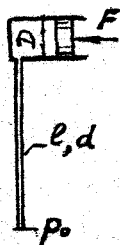


4-2. Определить напор H_2 в нижнем баке при избыточном давлении в верхнем баке $p_1 = 20 \text{ кПа}$, $H_1 = 1 \text{ м}$ и расходе керосина $Q = 2 \text{ дм}^3/\text{с}$.

Трубы стальные ($d=40 \text{ мм}$, $\ell=20 \text{ м}$), температура керосина 10°C .

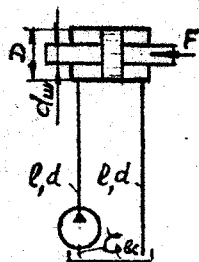


4-3. Какое давление необходимо создать в начале маслопровода (резиновый шланг, $\ell = 500d$, $d=3 \text{ мм}$), чтобы обеспечить перемещение поршня в гидроцилиндре со скоростью $V=10 \text{ мм/с}$? Диаметр цилиндра $D=40 \text{ мм}$, внешнее усилие $F=2 \text{ кН}$, температура масла И-20 равна 40°C .

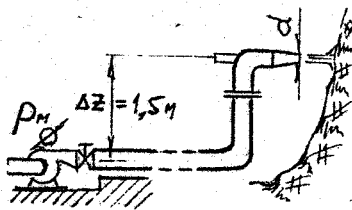


4-4. Определить подачу насоса и давление в его выходном сечении при заданной силовой нагрузке гидродвигателя $F=15 \text{ кН}$ и скорости штока $V_w=0,15 \text{ м/с}$.

Какую мощность насос передает маслу, если коэффициент сопротивления всасывающего патрубку $\zeta = 1,2$? Температура масла АМГ-10 40°C , диаметр соединительных трубок $d=14 \text{ мм}$, их длина $\ell=10 \text{ м}$, диаметр поршня $D=60 \text{ мм}$, диаметр штока $d_w=0,3D$.

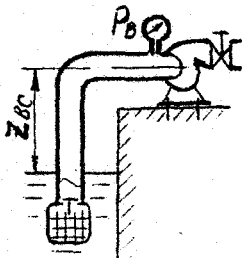


4-5. Для размыва грунта необходимо сообщить струе, вылетающей из сопла гидромонитора, скорость $V=30 \text{ м/с}$. Какое давление на выходе насоса требуется для этого? Диаметр сопла $d=25 \text{ мм}$; диаметр напорного трубопровода $D=4d$, его длина $\ell = 1000D$, трубы

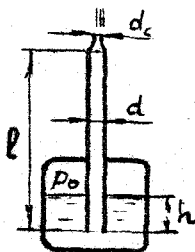


стальные, коэффициент сопротивления гидромонитора, отнесенный к скоростному напору струи, $\zeta_m = 0,2$, температура воды 15°C .

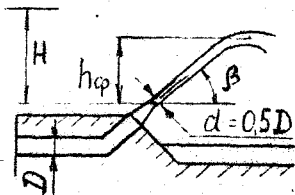
4-6. Определить максимально возможную высоту установки насоса $Z_{\text{ас}}$, если его наибольшая подача $Q_m = 20 \text{ л/с}$, предельно допустимое разрежение на входе из-за кавитации $p_c = 70 \text{ кПа}$. Всасывающая линия, собранная из оцинкованных труб диаметром $d = 100 \text{ мм}$, имеет длину $\ell = 50d$ и радиус закругления $R = 1,2d$. Температура керосина 20°C .



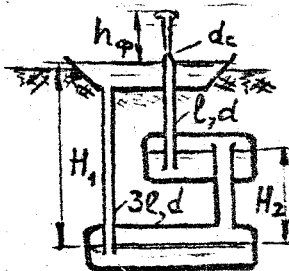
4-7. Из закрытого сосуда по вертикальной латунной трубе ($\ell = 50d$, $d = 10 \text{ мм}$), заканчивающейся конoidalным соплом ($d_c = 0,6d$), вода выбрасывается в атмосферу. Какое давление нужно создать в сосуде, чтобы фонтан достигал высоты $h_\phi = 2 \text{ м}$? Сопротивление воздуха не учитывать, а погружение h принять равным $10d$.



4-8. Определить начальный напор H , при котором высота фонтанной струи будет равна $h_\phi = 2 \text{ м}$. Относительная длина стального трубопровода $\ell/D = 400$, $D = 36 \text{ мм}$, угол установки оси сопла к горизонту $\beta = 45^\circ$, угол конусности сопла 30° . Сопротивление воздуха не учитывать. Какова дальность полета струи?

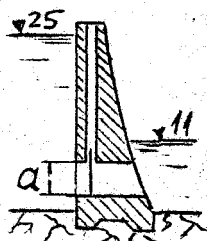
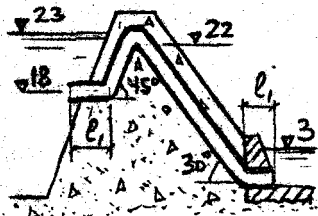


4-9. На чертеже представлена схема фонтана Герона. Зная размеры всех труб ($\ell = 60d$, $d = 25 \text{ мм}$, трубы оцинкованные) и уровни воды в резервуарах ($H_1 = 3\ell$, $H_2 = 1,5\ell$), вычислить высоту фонтанной струи. Угол конусности сопла 30° , а диаметр его выходного сечения $d_c = 0,6d$.



4-10. Определить расход воды, если известны потери напора на прямолинейном участке асбестоцементного водовода $\Delta h_{\text{об}} = 10 \text{ м}$ и размеры этого участка. $d = 100 \text{ мм}$, $\ell = 500d$. Температура воды 10°C .

4-11. При заданных уровнях верхнего и нижнего бьефов (указаны на схеме в метрах) определить расход через сифонный водосброс прямоугольного сечения ($a \times b = 1 \text{ м} \times 3 \text{ м}$, $\ell_1 = 2 \text{ м}$), устроенный в теле бетонной плотины, и вакуум в верхнем сечении сифона.

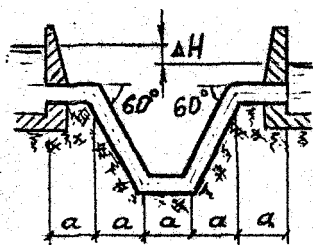


4-12. Выявить пропускную способность глубинного водосброса прямоугольного сечения, устроенного в теле бетонной плотины, при заданных уровнях верхнего и нижнего бьефов. Размеры поперечного сечения $a \times b = 1 \times 2 \text{ м}^2$, длина $\ell = 5 \text{ м}$.

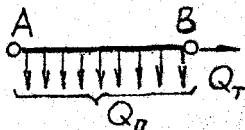
4-13. Определить диаметр стальной трубы ($\ell = 1 \text{ км}$), способной обеспечить расход нефти $Q = 60 \text{ л/с}$ при разности давления на ее концах $\Delta p = 0,6 \text{ МПа}$. Температура нефти 20°C .

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

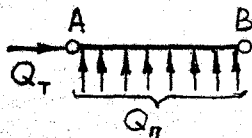
4-14. Переход канала через овраг осуществляется с помощью дюкера круглого сечения. Вычислить диаметр железобетонных труб, если расход канала $Q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$, перепад уровней воды в канале по обеим сторонам оврага $\Delta H = 0,6 \text{ м}$, характерный продольный размер дюкера $a = 20 \text{ м}$.



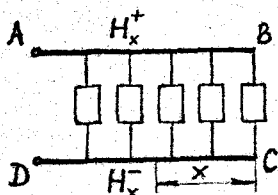
4-15. Из коллектора (стальная труба, $d = 60 \text{ мм}$, $\ell = 2,2 \text{ м}$) осуществляется равномерная раздача воды при транзитном расходе $Q_m = 8 \text{ дм}^3/\text{с}$. Выяснить, как изменяется давление вдоль коллектора, и построить пьезометрические линии при двух значениях путевого расхода: $Q_n = 2 \text{ дм}^3/\text{с}$ и $Q_n = 8 \text{ дм}^3/\text{с}$.



4-16. В коллектор поступает вода равномерно по всей длине в общем объеме Q_n и, кроме того, сосредоточенно в начальном узле в объеме Q_m . Выяснить и проиллюстрировать на графике изменение полного напора вдоль стального коллектора ($l=100$ м, $d=50$ мм) при расходах $Q_m = Q_n = 3$ л/с.

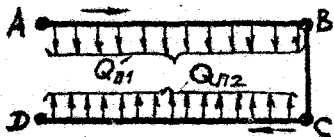


4-17. Питание приборов осуществляется водой, поступающей из коллектора АВ и сливающейся в коллектор CD. На всех участках течение напорное. Оба коллектора изготовлены из одинаковых стальных труб длиной $l = 250$ м и диаметром $d = 32$ мм. Полагая раздачу воды непрерывной и равномерной, выяснить закономерность 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 $\Delta H_x = H_x^+ - H_x^-$, $\Delta p_x = p_x^+ - p_x^-$ (знак плюс относится к напорному коллектору, а знак минус - к сливному). Минимальный перепад напоров $\Delta H_{bc} = 2$ м.

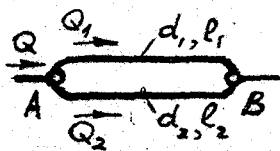


Определить общий расход всех приборов при начальном перепаде давления $\Delta p_{AD} = 250$ кПа.

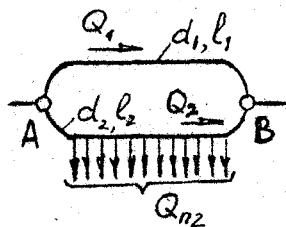
4-18. Определить падение напора вдоль трубопровода, имеющего два участка с непрерывной раздачей воды $Q_{n1} = 10$ л/с, $Q_{n2} = 8$ л/с, и вычислить давление в узле В, если полный напор в конце трубопровода $H_D = 15$ м, а геометрический напор в узле В $Z_B = 6$ м. Трубы на всех участках стальные, имеют одинаковые диаметры $d = 125$ мм и длину $l = 1$ км.



4-19. Как распределится расход масла МС-20 $Q = 0,8$ л/с между параллельными ветвями и как изменится статическое давление у потока на участке разветвления трубопровода? Известно: $d_1 = 14$ мм, $d_2 = 12$ мм, $l_1 = l_2 = 1$ м, температура масла 60°C .

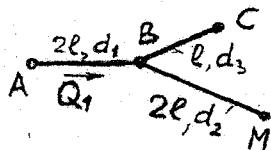


4-20. Выяснить, как распределится расход воды $Q = 100$ л/с между параллельными ветвями трубопровода и как изменится напор у потока на участке разветвления при отсутствии путевого расхода ($Q_{n2} = 0$). Известно: $d_1 = 250$ мм, $\ell_1 = 1$ км, $\ell_2 = 0,8$ км, трубы стальные.

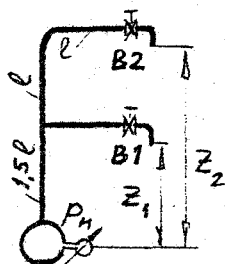
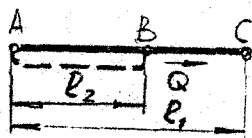


Определить наибольший путь расход, при котором не происходит перетока воды с первого участка на второй в узле В. Какими будут при этом расход в I линии и потери напора на участке разветвления?

4-21. Определить потери напора на всех участках трубопровода при расходе воды $Q_1 = 25$ л/с. Напоры в узлах М и С одинаковые, $d_1 = 150$ мм, $d_2 = 75$ мм, $d_3 = 100$ мм, $\ell = 100$ м, трубы асбестоцементные.

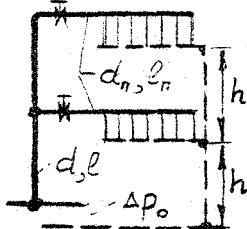


4-22. Как изменится пропускная способность трубопровода AC ($\ell_1 = 20000d$, $d = 150$ мм) после подключения к нему на участке АВ параллельной ветви длиной $\ell_2 = 0,4 \ell_1$, собранной из труб того же диаметра, при условии, что разность напоров в узлах А и С ($\Delta H_{AC} = 45$ м) останется прежней? Трубы стальные.



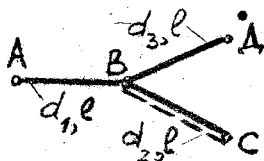
4-23. Из магистрального трубопровода под избыточным давлением $p_n = 150$ кПа подается вода на высоту Z_1 и Z_2 . Определить расход в верхней линии при закрытом вентиле B_1 . Как изменится этот расход, если открыть вентиль B_1 ? Трубы стальные новые; $Z_1 = 1,5\ell$; $Z_2 = 2,5\ell$; $\ell = 3$ м; $d = 20$ мм.

4-24. Определить расходы теплоносителя (воды) через радиаторы ($\zeta_p = 2$), присоединенные к стоякам по двухтрубной схеме, при заданном перепаде давлений $\Delta p_0 = 50$ кПа в теплосети. Диаметры стояков $d = 25$ мм, диаметры присоединительных патрубков $d_n = 14$ мм, их длина $\ell_n = 2,5$ м; высота этажа $h = 3$ м; температура горячей воды 70°C , а охлажденной 40°C . Как изменятся расходы, если отключить верхний радиатор?



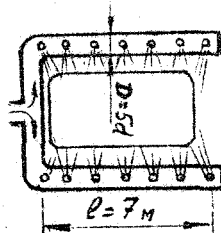
4-25. Для увеличения подачи Q в пункт С намечается проложить вторую линию из труб того же диаметра $d_2 = 250$ мм, что и прежняя. Трубы стальные $d_1 = 400$ мм, $d_3 = 300$ мм; $\ell = 2$ км; $H_A = 32$ м. Концевые напоры $H_C = H_D = 10$ м. Выяснить:

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



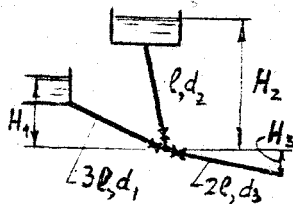
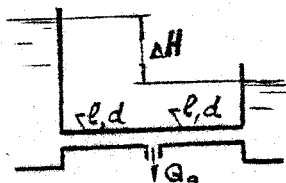
4-26. Установка для мойки транспорта содержит U-образный горизонтальный коллектор и 16 стояков диаметром $d = 20$ мм и высотой $h = 4$ м. Каждый стояк имеет отверстия, просверленные с одной стороны по всей высоте, причем суммарная площадь всех отверстий стояка равна площади его поперечного сечения.

Полагая расходы всех стояков одинаковыми, а изменение расхода по их высоте равномерным определить давление воды на входе в коллектор, при котором наименьшая скорость струи у крайних стояков будет не ниже 4 м/с.



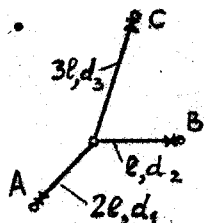
4-27. Из трубопровода ($d = 100$ мм, $\ell = 800$ м, трубы стальные), забирается вода в количестве $Q_0 = 8$ дм³/с. Определить расходы на обоих участках при $\Delta H = 20$ м.

Какими станут эти расходы при $Q_0 = 16$ дм³/с?



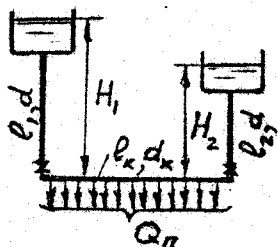
4-28. Найти расходы во всех линиях разветвленной сети с двумя резервуарами и со свободным сливом воды в бассейн из третьей линии, если задвижки полностью открыты. Известно: $H_1 = 10$ м, $H_2 = 20$ м, $H_3 = 3$ м, $\ell = 1$ км, $d_1 = d_2 = 150$ мм, $d_3 = 125$ мм, трубы стальные.

Выяснить, как изменятся расходы после отключения второй линии.



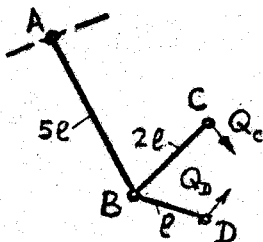
4-29. Размеры стальных труб на всех участках разветвленного трубопровода и концевые напоры известны: $l = 100$ м, $d_1 = 50$ мм, $d_2 = d_3 = 32$ мм, $H_A = 20$ м, $H_B = 10$ м, $H_C = 6$ м. Определить расходы воды всех линий при полностью открытых вентилях. Как изменятся расходы, если закрыть вентиль первой линии?

4-30. Коллектор с непрерывной раздачей воды ($l_x = 100$ м, $d_x = 100$ 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 сечения с минимальным напором, которое разделяет потоки от того и другого резервуаров.



Известно: $H_1 = 30$ м, $H_2 = 20$ м, $d = 80$ мм, $l_1 = 75$ м, $l_2 = 40$ м, трубы стальные.

4-31. В узле А сеть присоединяется к магистрали с напором $H_A = 30$ м. Зная распределение расходов в сети ($Q_c = 25$ дм³/с, $Q_d = 15$ дм³/с) и длины отдельных участков ($l = 1$ км), составить варианты для экономического выбора диаметров труб по участкам. Напоры в концевых точках сети С и Д должны быть не меньше 15 м.



4-32. Два гидроцилиндра ($D_1 = 30$ мм, $D_2 = 24$ мм) питаются от одного источника с расходом $Q = 100$ см³/с.

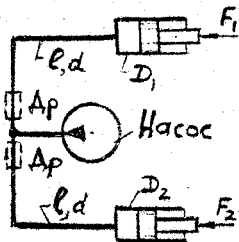
Выяснить направление потоков масла И-20 ($t = 20^\circ\text{C}$) в соединительных линиях (дюралюминиевые трубки, $d_1 = 10$ мм, $l_1 = 2$ м, $d_2 = 8$ мм, $l_2 = 2,4$ м) и определить скорость движения поршней

в обоих гидроцилиндрах, а также давление в узле ветвления при внешней нагрузке: $F_1 = 0,9$ кН, $F_2 = 0,5$ кН. Трение поршней не учитывать.

При каком расходе Q_0 один из поршней остановится? Какими будут при этом давление в узле ветвления и скорость движения другого поршня?

4-33. Один насос ($Q = 20 \text{ дм}^3/\text{с}$) питает два гидродвигателя с разной силовой нагрузкой: $F_1 = 4 \text{ кН}$, $F_2 = 1,5 \text{ кН}$. Для синхронизации работы гидродвигателей используется дроссель. В какой линии надо установить его и какой коэффициент сопротивления он должен иметь, чтобы движение обоих поршней происходило с одинаковой скоростью?

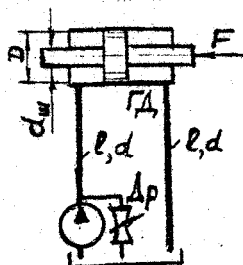
Гидросистема заполнена маслом АМГ-10 с температурой 20°C ; диаметр и длина соединительных линий: $d = 14 \text{ мм}$, $\ell = 12 \text{ м}$.



4-34. Регулирование скорости движения штока у гидродвигателя ГД осуществляется с помощью дросселя Др. Выяснить, при каком гидравлическом сопротивлении дросселя и его присоединительных патрубков происходит страгивание нагруженного поршня.

Рассчитать и построить график зависимости скорости штока от коэффициента сопротивления дросселя при $Q_n = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$ и $F = 10 \text{ кН}$. Трение штока и поршня не учитывать.

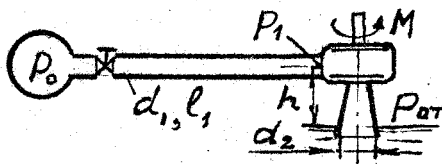
Как при этом будет изменяться давление на выходе насоса? Известны: $\ell = 300d$; $d = 12 \text{ мм}$; диаметр поршня $D = 60 \text{ мм}$, штока $d_{ш} = 30 \text{ мм}$, температура масла И-20 равна 30°C .



4-35. Питание турбинки осуществляется по стальной трубе ($\ell = 500d$, $d = 50 \text{ мм}$) из магистральной линии с избыточным давлением $p_0 = 600 \text{ кПа}$. Отводится вода от турбины через диффузор ($d_1 = d$, $d_2 = 1,2d_1$, $\ell_{д} = 1,5h$, $h = 0,4 \text{ м}$).

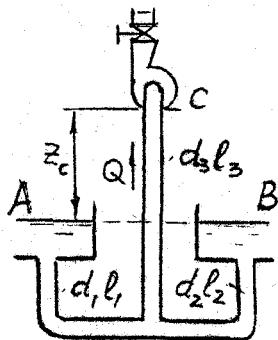
Определить мощность турбинки при давлении перед ней $p_M = 500 \text{ кПа}$.

При каком расходе ее мощность будет наибольшей? Найти максимальную мощность, не учитывая гидравлическое сопротивление проточной части турбинки.



4-36. Насос откачивает воду из баков А и В с одинаковыми уровнями. Известны длины всех линий ($\ell_1 = 10$ м, $\ell_2 = 1$ м, $\ell_3 = 2$ м), диаметры труб двух из них ($d_1 = 32$ мм, $d_3 = 40$ мм). Шероховатость стенок $\Delta = 0,2$ мм и температура воды $t = 20^\circ\text{C}$.

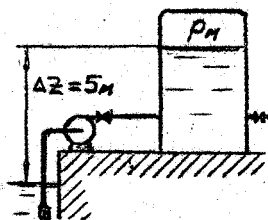
Определить: 1) диаметр трубы на втором участке d_2 , при котором $Q_1 = Q_2$; 2) максимальный расход линии всасывания при $Z_c = 1,5$ м.



4-37. Подача воды в напорный бак осуществляется насосом ЗК-6. Определить расход воды при заданном избыточном давлении в баке $p_n = 30$ кПа. Общая длина всасывающей и напорной линий $\ell = 6$ м, диаметр стальных труб этих линий $d = 80$ мм.

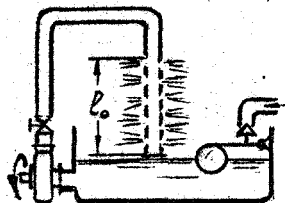
Характеристика насоса ЗК-6 при $n = 2900$ об/мин:

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

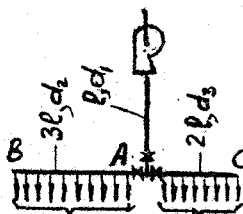


4-38. Определить подачу (расход) центробежного насоса на установке для увлажнения атмосферного воздуха. Напорный трубопровод ($d = 16$ мм, $\ell = 100$ м) этой установки заканчивается разбрызгивателем с множеством малых отверстий, суммарная площадь которых составляет 20% от площади внутреннего сечения трубы. Коэффициент расхода разбрызгивателя $\mu = 0,65$. Характеристика насоса:

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



4-39. Насос питает два коллектора с непрерывной подачей воды. Полагая раздачу равномерной, найти путевые расходы обоих участков при заданных концевых избыточных давлениях $p_a = p_c' = 100$ кПа, если $d_1 = 100$ мм, $d_2 = 80$ мм, $d_3 = 70$ мм, $\ell = 20$ м.



Характеристика насоса:

$Q, \text{ л/с}$	4	8	12	16	16	20	22
$H, \text{ м}$	64	63	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?

4-40. Нефть ($\rho = 860 \text{ кг/м}^3$) перекачивается из одного нефтехранилища в другое тремя одинаковыми насосами, соединенными параллельно. Трубопровод длиной $\ell = 2 \text{ км}$ собран из стальных труб диаметром $d = 800 \text{ мм}$.

Определить расходы нефти при одном, двух и трех работающих насосах.

Характеристика насоса 18НДС при 960 об/м:

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

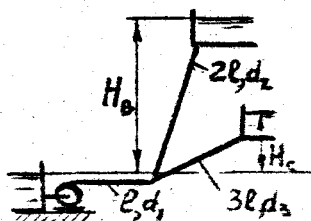
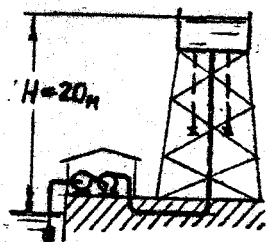
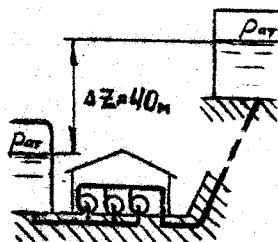
4-41. Два одинаковых последовательно соединенных насоса 8 НДВ подают воду в напорную башню по стальному трубопроводу диаметром $d = 200 \text{ мм}$, общая длина которого $\ell = 2 \text{ км}$.

Определить расход воды и суммарный напор насосов при этом расходе.

Характеристика насоса 8 НДВ при 960 об/м:

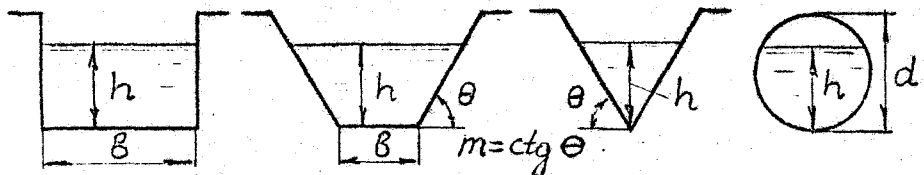
$Q, \text{ л/с}$	0	40	80	120	160	200
$H, \text{ м}$	36	38	37,5	35	30	22

4-42. Вычислить расходы во второй и третьей линиях и определить мощность насоса при заданном расходе первой линии $Q_1 = 50 \text{ л/с}$. Трубы стальные, $H_e = 15 \text{ м}$, $H_c = 10 \text{ м}$, $d_1 = 200 \text{ мм}$, $d_2 = d_3 = 125 \text{ мм}$, $\ell = 200 \text{ м}$.



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

5-1. Выяснить пропускную способность трапецидального земляного канала при наполнении $h_0 = 2$ м. Течение воды равномерное, коэффициент откосов $m = 2$, ширина канала по низу $b = 6$ м, уклон дна $l = 0,0003$.



5-2. Определить размеры гидравлически наивыгоднейшего сечения канала, который проложен в земле и должен пропустить расход $Q = 30$ м³/с при уклоне дна $l = 0,0001$. Коэффициент откосов $m = 2,5$. Не будет ли размыва стенок канала, если допустимая скорость для данного грунта $V \leq 0,6$ м/с.

5-3. Определить нормальное и критическое наполнения канала ($b = 10$ м, $m = 0,5$), проложенного в скале и имеющего уклон дна $l = 0,0005$, при расходе $Q = 40$ м³/с. Выяснить состояние равномерного потока.

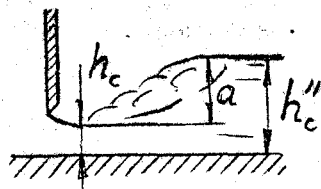
5-4. Найти уклон дна прямоугольного бетонированного канала ($b = 4$ м), пропускающего в условиях равномерного течения расход $Q = 18$ м³/с при глубине $h_0 = 2$ м. Вычислить критическое значение уклона дна (рис. к задаче 5-1).

5-5. Определить расход и среднюю скорость потока воды в бетонированном канале круглого профиля ($d = 2$ м) при наполнении $h_0 = 0,6$ м и уклоне дна $l = 0,001$. Выяснить состояние равномерного потока.

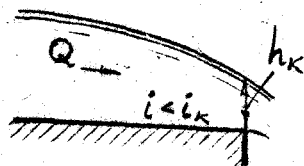
5-6. Найти нормальное и критическое наполнения круглого канала ($d = 2,4$ м) при расходе $Q = 1$ м³/с и уклоне дна $l = 0,002$. Выяснить состояние равномерного потока в канале.

5-7. Равномерный поток в круглом канале с бетонированными стенками должен обеспечить расход воды $Q = 5$ м³/с при относительном наполнении $h_0/d = 0,6$ и уклоне дна $l = 0,005$. Определить размеры поперечного сечения канала – его диаметр d , а также среднюю скорость и состояние потока в нем.

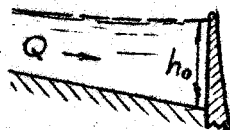
5-8. Сопряжение струи воды, вытекающей из-под щита, с потоком в нижнем бьефе происходит в форме гидравлического прыжка в сжатом сечении. Определить высоту прыжка в канале прямоугольного сечения при $h_c = 1$ м и средней скорости $V_c = 5$ м/с. Какой будет высота прыжка в канале трапециевидального сечения ($b = 1$ м, $m = 1$)?



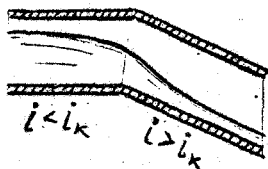
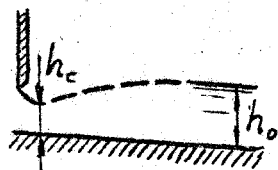
5-9. Прорытый в земле канал, имеющий трапециевидальный профиль ($b = 10$ м, $m = 2$), длину $\ell = 10$ м и уклон дна $i = 0,008$, оканчивается уступом. Принимая глубину в конечном сечении критической, построить кривую свободной поверхности потока при расходе $Q = 30$ м³/с.



5-10. Построить кривую подпора в верхнем бьефе при $h_n = 15$ м и расходе $Q = 100$ м³/с. Канал имеет прямоугольное сечение ($b = 8$ м), уклон дна $i = 0,02$ и проложен в скальном грунте.

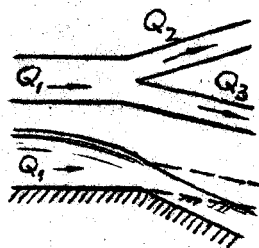


5-11. Построить кривую свободной поверхности потока, вытекающего из-под щита ($h_c = 8$ м), при заданных расходе $Q = 120$ м³/с и уклоне дна $i = 0,001$. Канал имеет прямоугольную форму сечения ($b = 4$ м) и бетонированные стенки и дно.

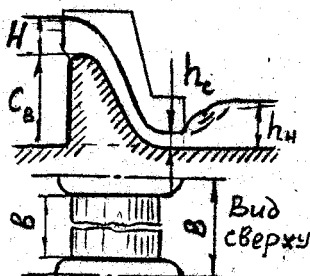


5-12. Построить кривую свободной поверхности потока на участке сопряжения двух бетонных коллекторов ($d_1 = d_2 = 1,6$ м), уложенных с различными уклонами: $i_1 = 0,0008$, $i_2 = 0,06$. Наполнение коллекторов в переходном сечении принять равным критическому.

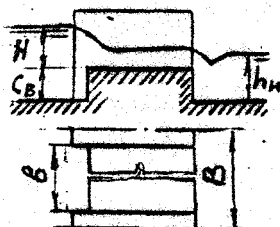
5-13. Канал прямоугольного сечения ($b=6$ м) с уклоном дна $i_1 = 0,0008$ разветвляется на два канала с одинаковой шириной $b_2 = b_3 = 3$ м, но с разными уклонами дна: $i_2 = 0,0002$, $i_3 = 0,005$. Выяснить, как распределится расход $Q=15$ м³/с между двумя каналами, и определить глубины потоков во всех каналах вдали от места сопряжения. Нарисовать (без расчета) кривые свободной поверхности на участке сопряжения. Все каналы имеют бетонированные стенки и дно.



5-14. Выяснить пропускную способность одного пролета водосливной плотины практического профиля ($C_s = 10$ м, $b = 14$ м, $B = 16$ м) при напоре $H = 1,5$ м. Профилирующий напор $H_{прф} = 2,4$ м, а глубина в нижнем бьефе $h_n = 4,8$ м.



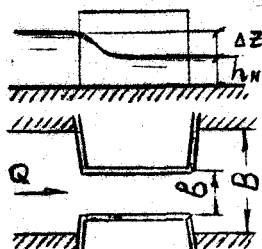
Как сопрягается переливающаяся струя с нижним бьефом?

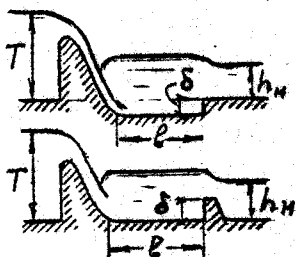


5-15. Определить расход одного пролета водослива с широким порогом ($C_s = 3$ м, $b = 10$ м, $B = 12$ м) при напоре $H = 3,4$ м и глубине в нижнем бьефе $h_n = 3$ м.

Выяснить характер сопряжения переливающегося потока с нижним бьефом.

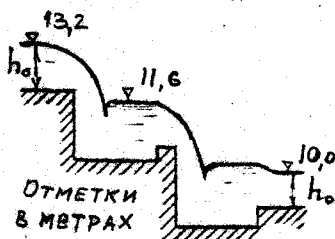
5-16. Русло реки в месте строительства гидроузла стеснено перемычками. Определить подпор ΔZ при расходе $Q = 500$ м³/с и степени стеснения $b/B = 0,6$, если ширина русла $B = 200$ м, глубина в нижнем бьефе $h_n = 2,5$ м.



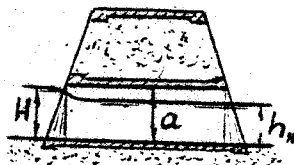


5-17. Определить размеры (d и h_n) водобойного колодца (1 вариант) или стенки (2 вариант) за водосливом практического очертания при заданном удельном расходе $q=(Q/b) = 8 \text{ м}^3/\text{с}$, если $T = \pm 40 \text{ м}$, а глубина в нижнем бьефе $h_n = 3 \text{ м}$.

5-18. 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: $h_0 = 2 \text{ м}$, $V_0 = 1 \text{ м/с}$. Построить в определенном масштабе схему перепада и нанести на нее все характерные размеры и отметки.



5-19. Какой расход пропустит железобетонная труба с квадратным сечением $a \times b = 1,6 \times 1,6 \text{ м}^2$, уложенная в насыпи, при напоре перед ней $H = \pm 1,6 \text{ м}$, если глубина за ней $h_n = 0,5 \text{ м}$, а коэффициент бокового сжатия $\varepsilon = 0,3$?



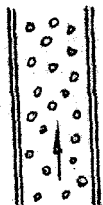
5-20. Вычислить скорость равномерного падения стального шарика диаметром $d=4 \text{ мм}$ в турбинном масле. С какой скоростью будет падать тот же шарик в воде? Температура жидкостей 30°C .



5-21. Определить скорость витания шарообразных частиц диаметром $d_1 = 0,4 \text{ мм}$ и $d_2 = 10 \text{ мм}$ в воде ($t = 25^\circ\text{C}$). Каковыми будут скорости витания этих частиц в масле ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,6 \text{ см}^2/\text{с}$) и в воздухе ($\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$)?

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



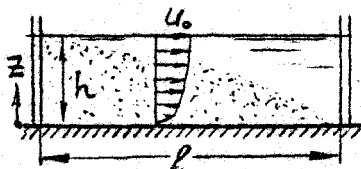


5-22. Поток воды транспортирует твердые частицы по вертикальной трубе вверх. Плотность частиц $\rho_m = 2600 \text{ кг/м}^3$, их характерный размер $W/S = 10 \text{ мм}$; (W - объем частицы, S - площадь ее миделевого сечения); а осредненный коэффициент сопротивления частиц с учетом их взаимного влияния $\xi_m = 0,5$.

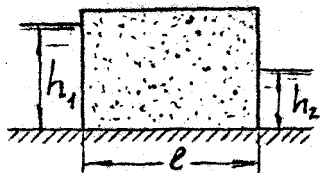
Определить скорость потока воды, при которой твердые частицы будут перемещаться со скоростью $V_m = 1 \text{ м/с}$.

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

5-23. Мелкий песок, содержащийся в потоке воды ($t = 20^\circ\text{C}$), оседает на дно гравитационной песколовки. Продольные скорости распределяются поперек потока по степенному закону $U = U_0(Z/h)^{1/7}$. Пренебрегая влиянием турбулентных пульсаций, определить скорость U_0 , при которой осядут на дно все песчинки ($\rho_p = 2600 \text{ кг/м}^3$) крупнее $d_{min} = 0,15 \text{ мм}$, если длина песколовки $l = 20 \text{ м}$, а глубина потока $h = 1,5 \text{ м}$.



5-24. Вычислить потери напора в песчаном фильтре ($d = 300 \text{ мм}$, $l = 1 \text{ м}$) при расходе воды $Q = 300 \text{ дм}^3/\text{час}$. Коэффициент ламинарной фильтрации $K = 0,02 \text{ см/с}$.



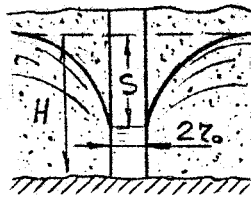
5-25. Определить удельный расход воды через перемычку прямоугольной формы ($l = 5 \text{ м}$, $K = 0,005 \text{ см/с}$) при заданных уровнях воды до и после перемычки: $h_1 = 2,5 \text{ м}$, $h_2 = 1 \text{ м}$.

Построить кривую депрессии, вычислив глубину h в среднем сечении ($l/2$).

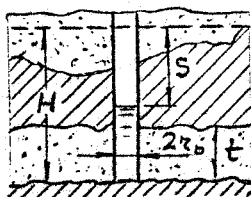
5-26. Каков дебит (расход Q) простого грунтового колодца при заданной глубине откачки $S = 4 \text{ м}$? Радиус колодца $r_0 = 0,5 \text{ м}$, напор водоносного пласта

$H = 10$ м, а коэффициент фильтрации $K = 0,005$ см/с.

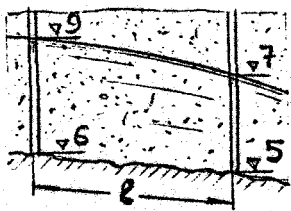
Радиус действия колодца в первом приближении можно найти по эмпирической формуле $R = 3000 S \sqrt{K}$ (м), где S измеряется в м, K – в м/с.



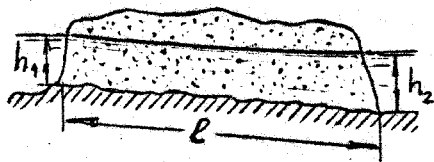
5-27. Определить дебит (расход Q) артезианской скважины радиусом $r_0 = 0,2$ м при глубине откачки $S = 12$ м, если напор в водоносном пласте $H = 30$ м, толщина этого пласта $t = 3$ м, коэффициент фильтрации $K = 0,003$ см/с. При определении радиуса действия скважины воспользоваться эмпирической формулой, приведенной в предыдущей задаче.



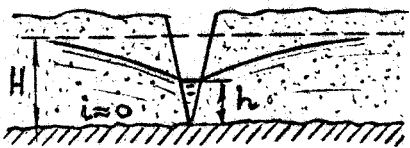
5-28. С помощью буровых скважин, расстояние между которыми $\ell = 400$ м, определены отметки залегания водоупорного пласта и поверхности грунтовых вод (указаны в метрах). Зная коэффициент фильтрации $K = 0,01$ см/с и полагая течение плоским, вычислить удельный расход.



5-29. 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 $i = 0,01$. Расстояние между каналом и озером $\ell = 300$ м, коэффициент фильтрации грунта $K = 0,05$ см/с.



5-30. Уровень грунтовых вод понижается с помощью осушительного канала. Выяснить, на каком расстоянии от канала уровень понизится на величину $\Delta z = 0,4$ м, если глубина в канале $h = 1$ м, а вдали от него $H = 3$ м. Коэффициент фильтрации грунта $K = 0,005$ см/с.

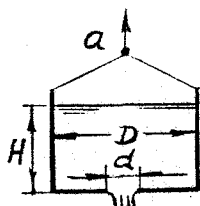
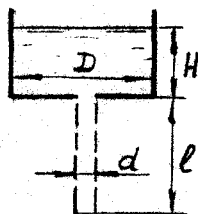


6. НЕСТАЦИОНАРНОЕ ОДНОМЕРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ

6.1. Медленно изменяющиеся течения

6-1. Сравнить время опорожнения резервуара ($D = 200$ мм, $H = 1$ м) при истечении воды через отверстие и через стальную трубу ($d = 25$ мм, $\ell = 2$ м).

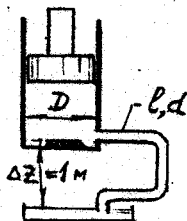
Построить графики изменения расхода с течением времени в том и другом случае.



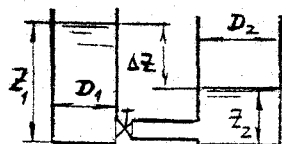
6-2. Определить время полного опорожнения сосуда, движущегося с ускорением $a = 10$ м/с². Начальное наполнение $H_0 = D = 0,2$ м; диаметр отверстия $d = 50$ мм; жидкость – вода.

Построить графики изменения скорости и уровня с течением времени.

6-3. 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 $m = 20$ кг, диаметр $D = 3d$, ход $S = 5D$; диаметр и длина сливной линии $d = 24$ мм, $\ell = 2,4$ м; рабочая жидкость – масло И-30 ($t = 30^\circ\text{C}$). Трением поршня пренебречь.



6-4. После мгновенного открытия затвора происходит свободное выравнивание уровней жидкости в двух емкостях ($D_1 = 40$ мм, $D_2 = 25$ мм), соединенных трубкой диаметром $d = 5$ мм и длиной $\ell = 0,2$ м.

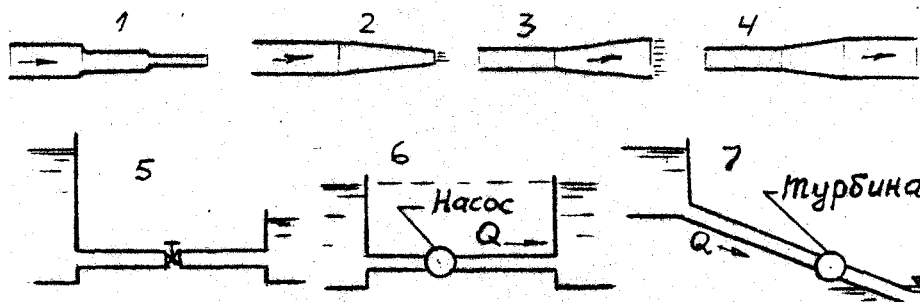


Проиллюстрировать изменение со временем перепада уровней $\Delta Z(t)$, построив графики этой зависимости в двух случаях: 1 – система заполнена керосином ($t = 35^\circ\text{C}$), 2 – система заполнена смесью АМГ-10 ($t = 25^\circ\text{C}$).

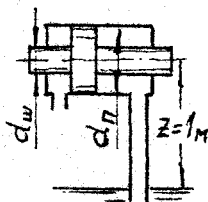
Начальный перепад уровней $\Delta Z_0 = 20$ см. Местные сопротивления не учитывать.

6-5. Построить напорную и пьезометрическую линии в фиксированный момент времени при разгоне и торможении потока в схемах, приведенных на рисунке. Пока-

зять все напоры (геометрический, пьезометрический, скоростной) в нормальных сечениях потока, выбранных на разных участках гидролиний, а также показать инерционный напор и потери напора перед этими сечениями.



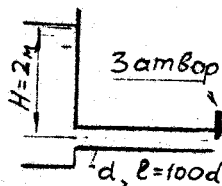
6.6. Какой диаметр должна иметь латунная сливная труба длиной $\ell = 1$ м у гидроцилиндра, чтобы перепад давления на ее концах не превышал 10 кПа? Наибольшие скорость и ускорение поршня соответственно $V_n = 10$ см/с, $a_n = 5g$ (g - ускорение свободного падения); температура масла И-20 равна 40°C , диаметр поршня и штока $d_p = 100$ мм, $d_w = 30$ мм.



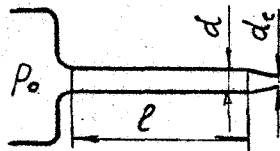
6.7. (Вариация задачи из сборника [8]).

Выяснить закон изменения скорости истечения масла И-20 через стальную трубу ($d = 14$ мм, $\ell = 1,4$ м) после мгновенного открытия затвора.

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



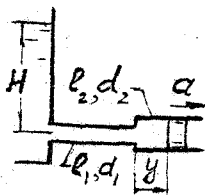
6.8. Из бака с пульсирующим давлением вода вытекает в атмосферу через стальную трубу ($d = 12$ мм, $\ell = 2$ м) с коническим соплом ($d_c = 8$ мм) в конце. Скорость пульсирующей струи изменяется по закону $V_c = \bar{V}_c(1 + \sin(2\pi t/T))$, где $\bar{V}_c = 10$ м/с – осредненное (за период колебаний T) значение скорости.



Определить осредненное (за период T) значение давления \bar{p}_0 и амплитуду его колебаний, полагая жидкость несжимаемой и пренебрегая инерционным напором потока внутри сопла.

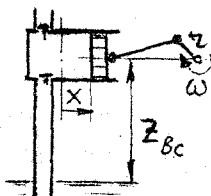
Какое давление \bar{p}_0 установится в баке при стационарном ($\omega=0$) истечении воды из сопла со скоростью $\bar{V}_c = 10$ м/с? Сравните его с давлением \bar{p}_0 .

6-9. В цилиндре ($d_2 = 2d_1$, $\ell_2 = 10d_2$), соединенном трубой ($d_1 = 12$ мм, $\ell_1 = 1$ м) с напорным баком перемещается поршень. Проиллюстрировать (без расчета) изменение полного и пьезометрического напоров потока в любой момент времени при равноускоренном движении поршня.



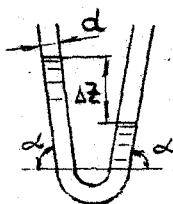
Определить предельное ускорение, при котором поток оторвется от поршня, если $H = 1$ м, а температура воды $t = 20^\circ\text{C}$.

6-10. Определить предельную частоту вращения кривошипного механизма ($r = 20$ мм), при которой не происходит отрыва воды ($t = 20^\circ\text{C}$) от поршня ($d_p = 32$ мм). Перемещения поршня подчиняются закону $x = r(1 - \cos \omega t)$, где ω — угловая скорость вращения.

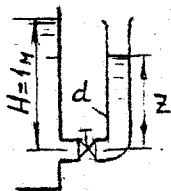


Начальный перепад давления, необходимый для открытия всасывающего клапана, $\Delta p_{кл} = 2$ кПа; всасывающая линия собрана из стальных труб ($\ell = 100d$, $d = 20$ мм); высота всасывания $Z_{вс} = 1,5$ м.

6-11. Определить частоту колебаний воды ($t = 10^\circ\text{C}$) в V-образной трубке ($d = 12$ мм, $\alpha = 60^\circ$) при свободном выравнивании уровней. Полная длина жидкого шнура $\ell = 60$ д.



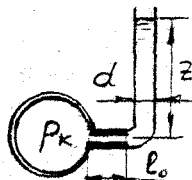
При каком диаметре трубки не будет колебаний?



6-12. Составить дифференциальное уравнение, описывающее изменение со временем уровня жидкости в пьезометре $h(t)$ после его мгновенного включения. До включения уровень был $h_0 < H$; диаметр пьезометрической трубки d , движение жидкости в ней ламинарное.

Анализируя уравнение, выяснить, при каком соотношении параметров вязкой жидкости и пьезометра в нем не будет колебаний уровня.

6-13. Пульсирующее давление в коллекторе $p_k = p_0(1 + \sin \omega t)$ измеряется пьезометром, подключенным через дроссель с малым цилиндрическим каналом диаметром d_0 и длиной ℓ_0 . Полагая, что решающее влияние на показание



прибора оказывают инертность и вязкость жидкости в дроссельном канале, составить дифференциальное уравнение, описывающее изменение уровня жидкости в пьезометре с течением времени $h(t)$.

Составить программу численного решения этого уравнения на любом алгоритмическом языке.

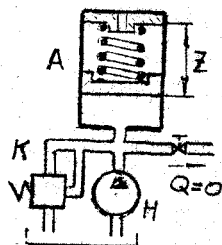
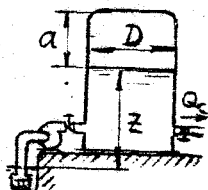
6-14. Центробежный насос наполняет бак водой при одновременном отводе части ее ($Q_c = 30 \text{ дм}^3/\text{с}$) в систему. Выяснить и проиллюстрировать графиком изменение со временем уровня воды в баке $Z(t)$. Начальные условия $Z_0 = 3 \text{ м}$, $\alpha_0 = 1 \text{ м}$, давление воздуха в баке $p_0 = p_{\text{атм}} = 100 \text{ кПа}$.

Линии всасывания и нагнетания собраны из труб диаметром $d = 50 \text{ мм}$ и имеют общий коэффициент сопротивления $\xi = 10$, диаметр бака $D = 800 \text{ мм}$.

Характеристика насоса:

$Q_n, \text{ дм}^3/\text{с}$	0	2	4	6	8	10
$\Delta H_n, \text{ м}$	21	22	20	17	12	5

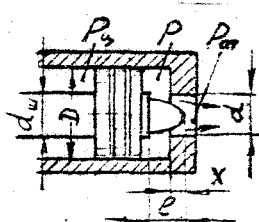
Как долго будет устанавливаться уровень и какими будут его величина и давление воздуха в конце переходного периода?



6-15. Определить время полной зарядки аккумулятора при подаче насоса $Q_n = 6,3 \text{ дм}^3/\text{с}$ и при заданном давлении настройки клапана $p_k = 2 \text{ МПа}$. Характеристика клапана: $p = p_k [1 + 0,1 (Q/Q_n)^2]$, где p — давление перед клапаном.

Построить графики увеличения со временем давления в аккумуляторе. Соединительные трубки ($d = 20 \text{ мм}$) короткие и их сопротивлением можно пренебречь. Жесткость пружины в аккумуляторе $C = 300 \text{ Н/мм}$, ее начальное поджатие $\Delta Z_0 = 20 \text{ мм}$, диаметр поршня $D = 100 \text{ мм}$.

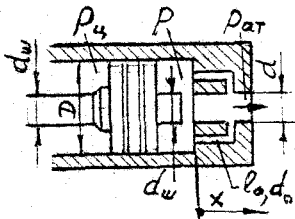
6-16. Торможение поршня ($D = 48 \text{ мм}$, $\alpha_w = 24 \text{ мм}$), осуществляется путем дросселирования сливного отверстия ($d = 12 \text{ мм}$) шипом ($l = d$), который изменяет площадь проходного сечения канала между кромками отверстия и поверхностью шипа по линейному закону: $S = 0,25 \pi d^2 (1 - x/l)$. Полагая в первом приближении 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 $V_0 = 0,2$ м/с, масса поршня и связанных с ним деталей $M = 5$ кг, давление в цилиндре $p_ц = 800$ кПа, а в сливной полости – атмосферное ($p_{ат} = 100$ кПа), жидкость – масло АМГ-10 ($t = 50^\circ\text{C}$).

Указание: описать процесс торможения уравнениями количества движения поршня и неразрывности жидкости, вытесняемой поршнем.

6-17. Демпфирующее устройство, которое используется для торможения поршня, состоит из цилиндрического шипа ($d_w = d - \delta$, $d = 10$ мм, $\delta = 0,05$ мм) и двух каналов ($d_0 = 2$ мм, $l_0 = 20$ мм). 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).

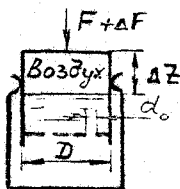
Начальная скорость поршня $V_0 = 0,25$ м/с, масса поршня и связанных с ним деталей $M = 1$ кг, давление в цилиндре $p_ц = 2$ МПа, а в сливном патрубке – атмосферное.

Примечание. Воспользоваться указанием к предыдущей задаче.

6.18. (Вариация задачи из сборника [8]).

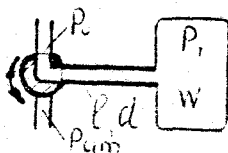
Резкое изменение внешней нагрузки сглаживается пневмогидравлическим амортизатором за счет постепенного перетока глицерина ($t = 20^\circ\text{C}$) в полость внутреннего цилиндра ($D = 160$ мм) через три отверстия диаметром $d_0 = 10$ мм.

Выявить и проиллюстрировать графиком изменение во времени осадки цилиндра $\Delta Z(t)$ после резкого увеличения нагрузки на величину $\Delta F = 10$ кН. Начальные (при нагрузке F) осадка $\Delta Z_0 = 20$ мм и давление воздуха $p_0 = 2$ МПа.



Вычислить величину и продолжительность полной осадки цилиндра.

6-19. Полость элемента гидросистемы объемом W , целиком заполненная маслом И-20, соединяется переключателем либо с напорной магистралью с высоким давлением p_0 , либо со сливом, где давление атмосферное.

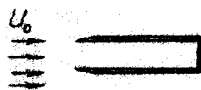


Исследовать процесс изменения давления в полости $p_n(t)$ в том и другом случаях. Начальное давление в камере (перед переключением) в первом случае — атмосферное, а во втором — p_0 .

В первом приближении сопротивление соединительной линии можно не учитывать. Тем же студентам, которые желают более полно исследовать процесс, советуем учесть трение в этой линии, полагая режим течения ламинарным.

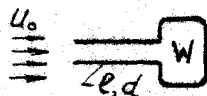
6-20. Наполнение глухой пневмокамеры объемом $W = 30 \text{ см}^3$ происходит через дроссель (диафрагма с отверстием $d = 1 \text{ мм}$) при постоянном избыточном давлении перед ним $p_1 = 500 \text{ Па}$. Составить уравнение, описывающее изменение давления в камере с течением времени, и, решив его, построить график $p(t)$. Начальное давление в камере $p = p_{атм} = 100 \text{ кПа}$, температура воздуха 30°C . Как быстро наполнится камера?

6-21. Акустический осциллятор (свисток) 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 частоту колебаний $\nu = 10 \text{ кГц}$.



6-22. 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.



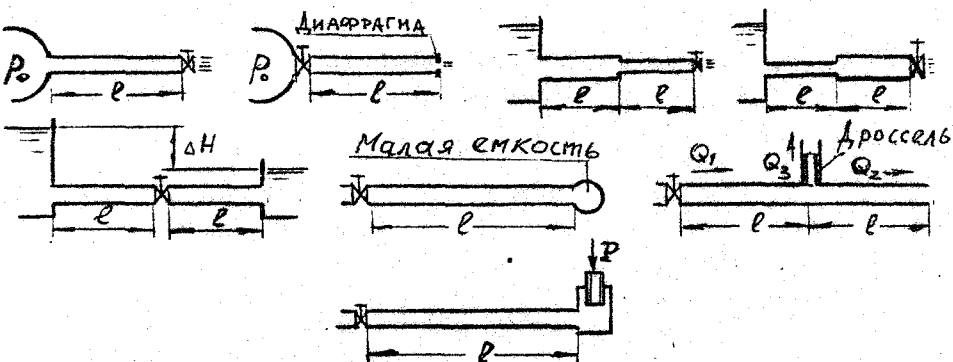
Как повлияет на частоту трение в трубке?

6.2. Упругие волны в жидкости

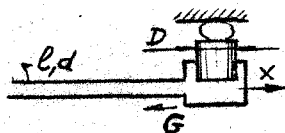
6-23. Построить график зависимости скорости звука в масле АМГ-10, содержащем небольшое количество нерастворенного воздуха, от объемного газосодержания ($\beta = W_{газ} / W_{смеси}$) в диапазоне $\beta = 0 \dots 0,05$ при атмосферном давлении.

6-24. Построить эпюры давлений и скоростей на всех участках трубопровода в момент $t = 1,5 \text{ л/а}$ после 1) резкого (мгновенного) открытия и 2) резкого

закрытия затвора. Скорости распространения волн на обоих участках принять одинаковыми, а гидравлические сопротивления не учитывать.



6-25. Плунжер $D = 50$ мм гидравлического пресса, двигавшийся со скоростью $V_0 = 10$ см/с, резко остановился. Это возмущение потока передается волной вдоль стального толстостенного трубопровода ($l = 2$ мм, $d = 8$ мм).

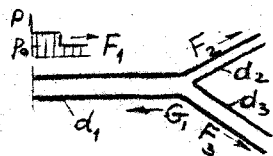


Требуется: 1. Установить связь между скоростями движения плунжера и течения жидкости через концевое сечение трубы (узел В) с учетом сжатия жидкости в полости гидроцилиндра объемом W .

2. Составить локальное (в узле В), а затем и общее выражение волновой функции $G(t + x/a)$ и написать формулы для определения скоростей и давлений в трубопроводе после прохождения этой волны (начальное давление p_0).

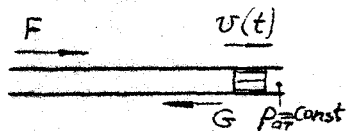
3. Построить эпюры давления и скорости потока вдоль трубопровода в момент времени $t = (3/4) \times (l/a)$ (a – скорость волны).

6-26. Волна скачкообразного повышения давления $F_1 = \Delta p$ проходит узел с ветвлением трубопровода и отражается от него. Как изменится давление в узле сразу же после прохождения этой волны, если первоначальное давление в узле $p_0 = 400$ кПа, а $\Delta p = 200$ кПа? Материал труб и относительные толщины стенок труб на всех участках одинаковые, $d_1 = d_2 = d_3$. Сопротивлением узла ветвления и скоростными напорами потоков пренебречь.

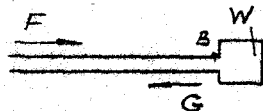


46

6-27. Волна со скачкообразным повышением давления F ($\Delta p = \text{const}$), бегущая со скоростью a , встречается с поршнем, масса которого m , и отражается волной $G(t+x/a)$, приводя его в движение. Какой формулой можно описать изменение скорости поршня с течением времени $V(t)$, если не учитывать трение поршня и принять начальную скорость равной нулю, а скорость распространения упругих волн $-a$?

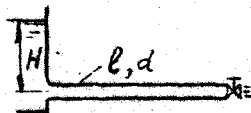


6-28. Трубопровод оканчивается небольшой емкостью с объемом W (узел В), целиком заполненной жидкостью.



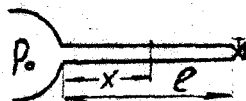
В сторону емкости бежит волна $F(t-x/a)$ со скачкообразным повышением давления ($\Delta p = \text{const}$), которая отразившись от емкости, изменит давление в ней. Как будет изменяться давление в емкости с течением времени $p_B(t)$? Выяснить эту зависимость, полагая стенки емкости жесткими, а скорость распространения волны равной a .

6-29. Определить максимальное повышение давления в трубопроводе ($\ell = 100$ 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 диаметром $d = 50$ мм и толщиной стенки $\delta = 2,5$ мм; сопротивление затвора при полном открытии пренебрежимо мало.



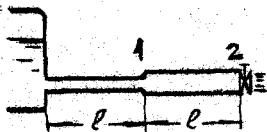
Построить эпюры распределения давления и скоростей вдоль трубопровода в момент времени $t = 1,5 \ell/a$ (a – скорость звука) при $\Delta t_p = 0,1$ с.

6-30. Закрытие затвора происходит в течение времени $\Delta t_p = 2 \ell/a$, (a – скорость звука) и вызывает линейное изменение расхода воды от $Q = 4$ дм³/с до нуля при $p_0 = 0,2$ МПа. Не учитывая сопротивлений трубопровода ($d = 100$ мм, $\ell = 100$ м, толщина стенки $\delta = 4$ мм), построить графики изменения скорости и давления в сечении x в течение времени $0 \leq t \leq 8 \ell/a$. Указать наибольшее и наименьшее давления в этом сечении.



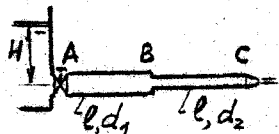
6-31. Одинаковой ли будет частота колебаний давления в сечении $x = \ell/2$ (схема предыдущей задачи) после закрытия и открытия затвора?

6-32. При открытом затворе скорость течения воды на втором участке трубопровода составляет 1 м/с, а давление $p_{20} = 100$ 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 ($0 < t < 8\ell/v_a$). Трубы стальные толстостенные $d_1 = 50$ мм, $d_2 = 100$ мм, $\ell = 50$ м.



Трубы стальные толстостенные

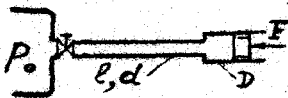
6-33. Выяснить и проиллюстрировать графиками изменения расхода воды и давления в узле С (перед соплом) после резкого (мгновенного) открытия затвора, установленного в начале трубопровода ($d_1 = 30$ мм, $d_2 = 25$ мм, $\ell_1 = \ell_2 = \ell = 25$ м, толщина стенок труб $\delta = 0,08 d_1$, трубы стальные).



В конце трубопровода – сопло диаметром $d_c = 18$ мм с коэффициентом сопротивления, отнесенным к скоростному напору в его выходном сечении, $\zeta_c = 0,1$.

П р и м е ч а н и е. Задачу решить двояко: а) без учета сжимаемости жидкости; б) с учетом сжимаемости жидкости.

6-34. После резкого открытия пробкового крана поршень силового цилиндра ($D = 30$ мм) приходит в движение. Построить график изменения скорости поршня и давления в цилиндре с течением времени. Определить время разгона, принимая за конец разгона момент, когда скорость отличается от стационарной на 2%. Какой путь проходит поршень при разгоне? Трением поршня и утечками масла МС ($t = 30^\circ\text{C}$) из цилиндра пренебречь; масса поршня и связанных с ним подвижных частей $m = 500$ г, сила $F = 180$ Н, диаметр стальной трубки $d = 12$ мм, а ее длина $\ell = 2,4$ м.

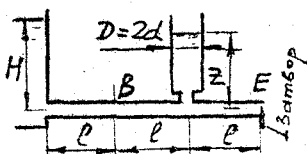


П р и м е ч а н и е. Задачу решить двояко: 1) без учета волновых процессов в соединительной трубке; 2) с учетом волновых процессов. Сопоставить результаты.

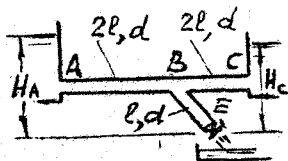
6-35. Определить и проиллюстрировать графиком изменение давления в пневмоцилиндре и скорости поршня с течением времени, вызванное практически мгновенным открытием крана (схема в предыдущей задаче).

Абсолютное давление воздуха в ресивере $p_0 = 240$ кПа, температура $T_0 = 300$ К; диаметр поршня $D = 24$ мм, ход $S = 50$ мм, его масса $m = 500$ г, сила внешнего сопротивления $F = 180$ Н; диаметр соединительной трубки $d = 12$ мм.

6-36. Рассчитать начальную стадию переходного процесса в гидросистеме, вызванного закрытием затвора в течение времени $\Delta t_p = 5 \ell/a$, если площадь проходного сечения затвора изменяется по закону $(S_0/S_m) = (1 - (t/\Delta t_p))^3$, где S_m - площадь поперечного сечения трубы ($d = 12$ мм, $\ell = 2$ м). Напор в головном баке $H = 2$ м. Проиллюстрировать графиками изменение во времени расходов в узлах В и Е, а также уровня воды в промежуточном резервуаре.



6-37. Исследовать начальную стадию переходного процесса в гидросистеме с тремя резервуарами, вызванного полным открытием затвора (узел Е) в течение $\Delta t_0 = 4 \ell/a$ - рассчитать и проиллюстрировать графиками изменение со временем расходов воды в узлах А, С и Е.

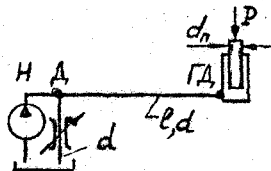


Первоначально затвор был закрыт. Его открытие сопровождается равномерным увеличением относительной площади окна $(S_0/S_m, S_m$ - площадь сечения трубы) и соответствующим изменением коэффициента сопротивления, выраженного в долях скоростного напора потока в трубе:

$$\zeta_0 = (1,15 / [S_0/S_m (0,62 + 0,38 S_0/S_m)]^2) - 1.$$

Известны: напоры $H_A = 6$ м, $H_C = 3$ м; размеры участков стального трубопровода: $d=80$ мм, $\ell = 75$ м; температура воды $t = 15^\circ\text{C}$.

6-38. Гидросистема содержит гидродвигатель одностороннего действия ГД, насос Н с подачей $Q_n = 1,8$ л/мин и дроссель Д, позволяющий регулировать скорость гидродвигателя. Плунжер ГД имеет диаметр $d_n = 50$ мм, массу $m_n = 600$ г и находится под нагрузкой $P = 1$ кН. Гидросистема заполнена маслом АМГ-10 ($t = 30^\circ\text{C}$). Соединительные трубки дюралюминиевые ($d = 20$ мм, $\ell = 10$ м). Выяснить и проиллюстрировать графиками изменение со временем давления в цилиндре и скорости плунжера, вызванное закрытием дросселя. При закрытии в течение времени $\Delta t_p = 3 \ell/a$ (a - скорость распространения волн) коэффициент сопротивления ветви с дросселем, отнесенный к скоростному напору в трубе, увеличивается по закону $\zeta = \zeta_0 (1 - (t/\Delta t_p))^4$, где $\zeta_0 = 3$ - коэффициент сопротивления при полном открытии.



Найти время полного перемещения плунжера, если его ход $S = 2 d_n$.

7. СТАЦИОНАРНОЕ ОДНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ГАЗА

7-1. Тело с тупой передней частью летит в воздухе с относительной скоростью $M=0,9$. Определить давление, плотность и температуру в критической точке, где относительная скорость $U=0$, если вдали перед телом давление $p_0=100$ кПа, а температура $t=0^\circ\text{C}$.

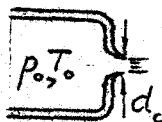
7-2. На высоте $Z=5$ км пролетает сверхзвуковой самолет, фронт ударной волны которого составляет с горизонтом угол $\alpha=30^\circ$.

Какова скорость полета и каково запаздывание звука от самолета, если осредненная температура нижних слоев атмосферы $t=-30^\circ\text{C}$.

7-3. В одном из нормальных сечений воздушного потока скорость $V=250$ м/с, статическое давление $p=150$ кПа и температура $t=20^\circ\text{C}$.

Определить параметры торможения T_{0*} , p_{0*} , ρ_{0*} и критические параметры V_{*} , T_{*} , p_{*} , ρ_{*} в этом сечении.

7-4. Воздух вытекает через коноидальный насадок в атмосферу ($p_{\text{атм}}=0,1$ МПа). При каком минимальном давлении p_0 скорость струи станет звуковой? До какой температуры надо подогреть воздух в ресивере, чтобы получить температуру струи равную 15°C ?

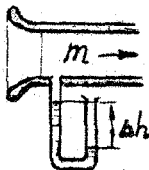


7-5. Воздух вытекает из ресивера в атмосферу через коноидальное сопло (см. рисунок к предыдущей задаче). Построить графики изменения параметров струи на срезе сопла при изменении давления p_0 в ресивере от 0,1 МПа до 0,5 МПа. Температура $T_0=300$ К.

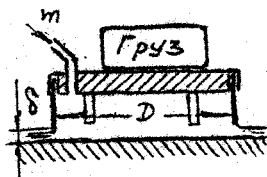
7-6. Определить скорость, давление и температуру струи при истечении воздуха в атмосферу через отверстие с острыми кромками. Вычислить расход воздуха. Диаметр отверстия $d_0=12$ мм, $T_0=360$ К, $p_0=200$ кПа.



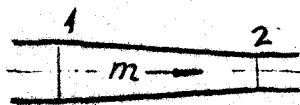
7-7. Входной растроб воздуховода используется в качестве расходомера. Определить массовый расход воздуха при показании ртутного манометра $\Delta h=250$ мм, если давление атмосферы $p_{\text{атм}}=100$ кПа, ее температура $t=15^\circ\text{C}$, а диаметр воздуховода $d=200$ мм. Какое наибольшее количество воздуха может поступить в воздуховод и каким при этом будет показание манометра?



7-8. 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 $M = 50 \text{ Мг}$ при зазоре между эластичной шторой и полом $\delta \leq 1 \text{ мм}$. Собственная масса платформы $M = 100 \text{ кг}$, ее диаметр $D = 2 \text{ м}$.

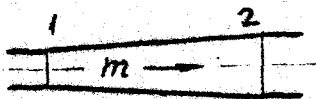


7-9. Известны параметры воздушного изэнтропного потока в конце конфузора ($t_2 = -10^\circ\text{C}$, $T_{02} = 290 \text{ К}$ и $p_2 = 0,5 \text{ МПа}$). Определить скорость, давление, температуру и плотность потока в сечении 1, если $S_1 = 1,5 S_2$, $S_2 = 3 \text{ см}^2$.

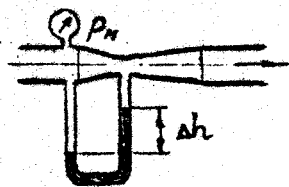


Вычислить осевую силу давления на стенки конфузора.

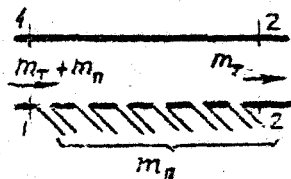
7-10. При заданных давлениях воздуха ($p_1 = 100 \text{ кПа}$, $p_{01} = 25 \text{ кПа}$) и температуре $T_{01} = 400 \text{ К}$ в начальном сечении диффузора определить скорости изэнтропного потока в сечениях 1 и 2, если $S_1 = 2 \text{ см}^2$, $S_2 = 2 S_1$. Вычислить массовый расход воздуха и найти силу давления на стенки диффузора.



7-11. Определить массовый расход воздуха через трубку Вентури ($d_1 = 20 \text{ мм}$, $d_2 = 40 \text{ мм}$) по показаниям манометров – пружинного $p_n = 100 \text{ кПа}$ (избыточное давление) и жидкостного, заполненного ртутью, $\Delta h = 400 \text{ мм}$. Теплообменом с окружающей средой на расчетном участке пренебречь, приняв температуру торможения $T_0 = 290 \text{ К}$.

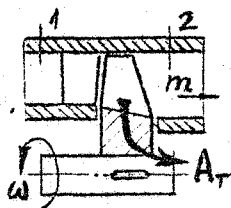


7-12. Из коллектора постоянного сечения ($S_1 = S_2 = 20 \text{ см}^2$) равномерно забирается расход $m_n = 1,6 \text{ кг/с}$ при транзитном расходе $m_m = 2,0 \text{ кг/с}$. Определить параметры потока в сечении 2-2, если известны $p_1 = 500 \text{ кПа}$, $t_1 = 17^\circ\text{C}$.



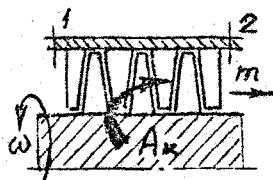
Проиллюстрировать изменение давления вдоль коллектора.

7-13. Определить мощность идеальной* турбины ($\eta = 1$) по заданным параметрам воздушного потока перед ней: $V_1 = 50$ м/с, $t = 1000^\circ\text{C}$ и за ней: $V_2 = 250$ м/с, $p_2 = 50$ кПа, $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Площадь поперечного сечения канала за турбиной $S_2 = 0,01$ м².



7-14. Найти полное давление и температуру торможения воздушного потока за идеальной* турбиной ($\eta = 1$, схема предыдущей задачи) по известным параметрам перед турбиной: $V_1 = 30$ м/с, $p_1 = 1$ МПа, $T_1 = 1200$ К, если удельная (на единицу массы) работа воздуха в турбине $A_T = 700$ кДж/кг, а соотношение площадей поперечных сечений канала $S_2 : S_1 = 1,5$.

7-15. Определить удельную работу A_k над единицей массы воздуха в идеальном* осевом компрессоре, который обеспечивает десятикратное повышение статического давления, при следующих параметрах потока перед и за компрессором: $V_1 = 200$ м/с, $T_1 = 250$ К, $p_1 = 60$ кПа, $\lambda_2 = 0,2$.



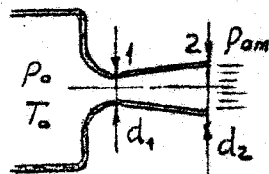
Вычислить скорость и температуру потока за компрессором.

7-16. Параметры воздушного потока перед компрессором (схема предыдущей задачи) $p_1 = 80$ кПа, $t_1 = 10^\circ\text{C}$, $\lambda_1 = 0,8$. Определить повышение температуры торможения полного и статического давлений в идеальном* компрессоре ($\eta = 1$) при его удельной работе над единицей массы воздуха $A_k = 320$ кДж/кг.

7-17. Построить эпюры давления, скорости и температуры по длине сопла Лавала при двух режимах течения воздуха:

- 1) расчетном, когда $p_2 = p_{атм}$; $V_2 > V_*$;
- 2) предельном, дозвуковом с критической скоростью в узком сечении.

Диаметр узкого сечения $d_1 = 5$ мм; давление в ресивере $p_0 = 0,5$ МПа, температура $T_0 = 300$ К. Истечение происходит в атмосферу ($p_{атм} = 0,1$ МПа).



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

7-18. Определить характерные поперечные размеры (d_1 , d_2) сверхзвукового сопла (схема предыдущей задачи) при заданных параметрах воздуха в ресивере: $p_0 = 1$ МПа, $T_0 = 400$ К и расходе $m = 2$ кг/с. Давление за соплом — атмосферное.

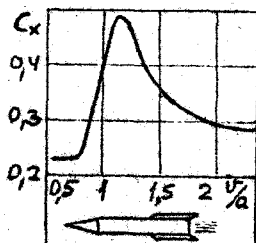
Найти число Маха, скорость и температуру струи в сечении 2.

7-19. С помощью сопла Лаваля необходимо получить сверхзвуковую струю с числом Маха $M_2 = 2$ ($p_2 = p_{атм} = 0,1$ 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 $m = 0,3$ кг/с?

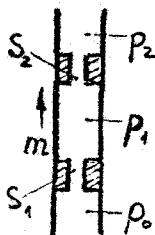
Выяснить, при каком давлении за соплом

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

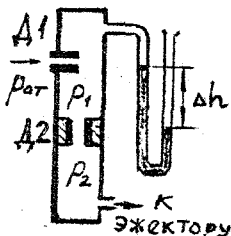
7-20. Определить скорость горизонтального полета ракеты, если скорость газовой струи в выходном сечении сопла $V_c = 1000$ м/с, давление в струе равно внешнему ($p_c = p_\infty = 100$ кПа), расход топлива и окислителя $m = 3,2$ кг/с, площадь миделевого сечения ракеты $S = 0,04$ м². Коэффициент лобового сопротивления приведен на рисунке (причем скорость звука $a = 340$ м/с).



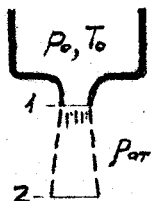
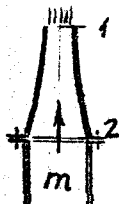
7-21. Пневмолиния содержит два дросселя с разными площадями поперечных сечений ($S_1 = 3$ мм², $S_2 = 6$ мм²) и промежуточную камеру. Выяснить, как будет изменяться относительное давление p_1/p_0 в промежуточной камере, если при неизменном давлении p_0 понижать давление за вторым дросселем до $p_2 = 0,1p_0$. Построить характеристику дросселей $(p_1/p_0) = f(p_2/p_0)$ при $p_0 = \text{const}$ и вычислить максимальный расход воздуха.



7-22. Аэродинамический барометр содержит две камеры, два дросселя с разными проходными сечениями (S_1 , S_2) и манометр, заполненный водой. Атмосферный воздух через дроссель Д1 поступает в камеру с давлением $p_1 < p_{атм}$, а затем через дроссель Д2 перетекает со звуковой скоростью в камеру с давлением p_2 ниже критического. Построить характеристику барометра, выражающую зависимость $p_{атм}(\Delta h)$ при $S_1/S_2 = 0,5$.



7-23. Определить осевую силу давления воздушного потока на стенки конического сопла при атмосферном давлении снаружи. Известно: $T_0 = 300 \text{ K}$, $p_0 = 300 \text{ кПа}$, $\lambda_2 = 1$, $d_2 = 15 \text{ мм}$, $d_1 = 3d_2$.



7-24. Определить силу реактивного давления струи на сосуд при истечении воздуха через коноидальный насадок.

Как изменится эта сила, если к коноидальному насадку присоединить диффузор, который обеспечивает плавное понижение давления до атмосферного?

Известно: $T_0 = 500 \text{ K}$, $p_0 = 500 \text{ кПа}$, $d_1 = 20 \text{ мм}$.

7-25. Определить параметры воздушного потока после резкого расширения канала (в сечении 2). Известно соотношение площадей сечений $S_2 : S_1 = 2$ и состояние потока в сечении 1: $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$, $t_1 = 12^\circ\text{C}$, $\lambda_1 = 0,95$.

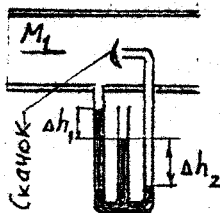
Сравнить давление торможения потока в сечениях 1 и 2.



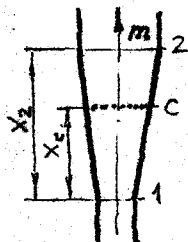
7-26. Воздушный поток практически без теплообмена проходит участок с резким расширением канала (схема предыдущей задачи). Выявить аналитическую зависимость соотношений статических p_2/p_1 и полных p_{02}/p_{01} давлений в сечениях 1 и 2 от начальной относительной скорости потока λ_1 . Построить графики этих зависимостей при $S_2 : S_1 = 2$.

7-27. Определить относительные скорости сверхзвукового воздушного потока M_1 и λ_1 по показаниям ртутного манометра, подключенного к трубкам полного и статического давлений: $\Delta h_1 = 0,2 \text{ м}$, $\Delta h_2 = 1,2 \text{ м}$, $p_{at} = 100 \text{ кПа}$.

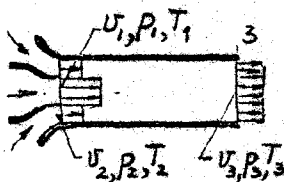
Вычислить абсолютную скорость V_1 при температуре $t_1 = 40^\circ\text{C}$.



7-28. Течение воздуха в диффузоре сопровождается появлением скачка в сечении С ($d_c = 1,5d_1$, $d_1 = 20$ мм). 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 изэнтропным, определить скорости и статические давления у потока перед и за скачком, а также в конечном сечении диффузора ($d_2 = 2d_1$, $x_2 = 100$ мм).

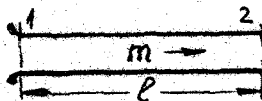


Построить графики изменения этих параметров вдоль диффузора.



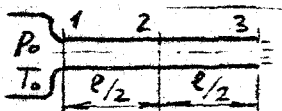
7-29. В цилиндрической камере эжектора смешиваются два воздушных потока с такими начальными параметрами: $p_1 = p_2 = 100$ кПа, $t_1 = 15^\circ\text{C}$, $t_2 = 0^\circ\text{C}$, $V_1 = 250$ м/с, $V_2 = 50$ м/с. Пренебрегая сопротивлением трения и полагая, что к концу камеры происходит полное выравнивание скоростей потоков, определить все параметры смеси в сечении 3. Относительная площадь сопла $S_1 : S_3 = 0,25$.

7-30. Параметры воздушного потока в начале теплоизолированного трубопровода диаметром $d = 16$ мм известны: $V_1 = 20$ м/с, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $p_1 = 1,5$ МПа. При какой длине трубопровода скорость потока в конце будет критической? Определить все параметры потока в конечном сечении трубопровода и вычислить расход воздуха при критическом режиме истечения.



7-31. Воздух по стальной трубе ($d = 48$ мм, $l = 1,2$ м) вытекает с критической скоростью в атмосферу ($p_{ам} = 100$ кПа), имея в начальном сечении 1 сверхзвуковую скорость $\lambda_1 > 1$. При каких значениях этой скорости течение в трубе будет без скачка или со скачком вблизи начального сечения 1?

7-32. Из ресивера ($T_0 = 290$ К, $p_0 = 600$ кПа) воздух вытекает в атмосферу ($p_{ам} = 100$ кПа) через стальную трубу диаметром $d = 20$ мм и длиной $l = 500$ д. Построить эюры скоростей и статических давлений вдоль трубы при адиабатном течении воздуха, вычислив эти параметры в сечениях 1, 2 и 3.



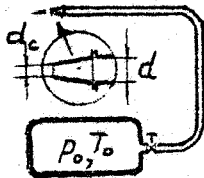
7-33. Питание пневмопривода осуществляется из большого ресивера ($p_0 = 0,6$ МПа, $T_0 = 350$ К) по шероховатой стальной трубе диаметром $d = 16$ мм и длиной $\ell = 5$ м. Пренебрегая теплообменом с внешней средой, определить параметры воздушного потока в конечном сечении трубопровода при расходе $m = 50$ г/с.

7-34. Воздуховод кислородной станции длиной $\ell = 5$ км собран из труб диаметром $d = 800$ мм. Воздух поступает в него из атмосферы ($p_0 = 0,1$ МПа, $t_0 = 17^\circ\text{C}$). Определить наибольший массовый расход воздуха и давление в конце трубопровода, при котором достигается этот расход.

7-35. Воздух поступает в стальной теплоизолированный трубопровод квадратного сечения ($\ell = 40$ м; $b \times b = 100 \times 100$ мм²) из атмосферы ($p_{\text{атм}} = 0,1$ МПа, $t_0 = 23^\circ\text{C}$). Определить скорость, массовый расход и температуру воздуха в конце данного участка, если давление здесь $p_x = 60$ кПа.

7-36. Определить параметры воздушной струи в выходном сечении сопла ($d_c = 0,5d$, $d = 20$ мм) при заданных давлении и температуре в ресивере: $p_0 = 320$ кПа, $t_0 = 30^\circ\text{C}$. Сопло закреплено на конце резинового шланга длиной $\ell = 100d$.

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



8. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ И ГАЗА

8.1. Потенциальный поток и одиночные вихри в нем

8-1. Выяснить потенциально ли течение, заданное функцией тока $\psi = a_0(x^4 + a_1 x^3 y - 6x^2 y^2 + xy^3 + y^4)$ при $a_1 = 1$. Если течение не потенциальное, то при каком значении a_1 оно будет потенциальным?

8-2. Проанализировать течение с комплексным потенциалом $W = az^n$ (построить линии тока, указать возможные границы потока, выявить направление течения) в трех случаях: 1) $n=2$, 2) $n=1/2$, 3) $n=3$, когда параметр a - положительное число.

Вычислить удельный расход жидкости между точками А ($x = 2, y = 0$) и В ($x = 2, y=2$), а также циркуляцию скорости по контуру, связывающему эти точки.

8-3. Область потенциального течения над непроницаемой стенкой $y = -x$. В точке С ($x = -a, y = a$) расположен сток с удельным расходом q .

Определить скорости и давления в точках О ($0, 0$) и А ($2a, 0$), считая давление на бесконечности атмосферным.

8-4. В точке И ($x = 0, y = b$) расположен источник с удельным объемным расходом q . Область потенциального течения ограничена непроницаемой стенкой $y = x$.

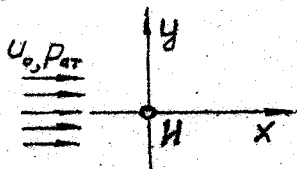
Определить скорости и давления в точках О ($0, 0$) и А ($2b, b$).

Рекомендация. Чтобы удовлетворить граничному условию течения у стенки, следует ввести еще один фиктивный источник той же интенсивности, расположив его симметрично относительно стенки.

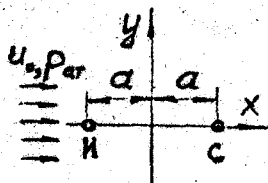
8-5. Плоский потенциальный поток со скоростью на бесконечности $U_0 = 10$ м/с и атмосферным давлением набегаёт на источник И с удельным расходом $q = 20$ м²/с, ось которого совпадает с координатной осью Z .

Выяснить положение критической точки потока, в которой скорость $u = 0$, и составить уравнение линий потока, проходящих через эту точку.

Рассчитать и построить эпюры скорости и избыточного давления вдоль оси x .



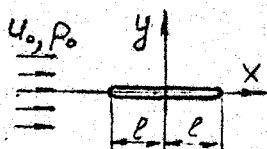
8-6. Плоский потенциальный поток с атмосферным давлением и скоростью $U_0=2$ м/с на бесконечности набегаёт на источник И и сток С одинаковой интенсивности $q = 4\pi a$ м²/с, расположенные на оси x ($a = 0,1$ м).



Определить функцию тока этого сложного течения и расположение критических точек, в которых скорость $U = 0$.

Построить линию тока, проходящую через критические точки, а также эпюры скорости и давления вдоль координатной оси x .

8-7. Найти функцию тока плоского потенциального течения вокруг узкой щели $\ell=0,2$ м, расположенной вдоль оси x симметрично оси y .



Скорость потока $U_0 = 5$ м/с, общий удельный расход жидкости, равномерно стекающей в щель, $q = 5$ м²/с.

Определить критическую точку в потоке, в которой $u = 0$ и провести (без расчета) линии тока через нее.

8-8. Выявить характер течения, заданного комплексным потенциалом

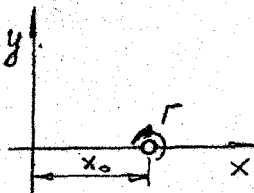
$$W = (a - ib) \ln z,$$

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 .

8-9. 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 $\Gamma = -q = 2\pi$ (м²/с), где q - удельный расход стока.

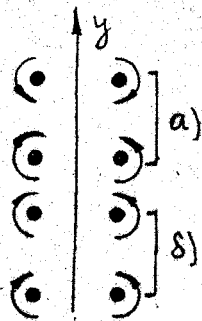


8-10. Две прямолинейные вихревые нити одинаковой интенсивности $\Gamma = 100 \text{ см}^2/\text{с}$, но с противоположным вращением окружены потенциальным потоком. С какой скоростью в бесконечности должен набегать на них поток, чтобы они остались на месте?

Определить комплексный потенциал течения и построить график изменения давления вдоль линии, пересекающей обе нити под прямым углом.

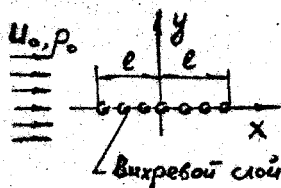


8-11. Дать обоснованное качественное описание характера деформации вихревой системы, состоящей из 4 параллельных прямолинейных вихревых нитей одинаковой интенсивности. Первоначально они располагаются по углам квадрата. Выяснить, как будет изменяться с течением времени взаимное расположение отдельных вихрей при противоположном (схема а) и одинаковом (схема б) направлении вращения каждой пары вихрей, если окружающая жидкость на большом расстоянии от них находится в покое.



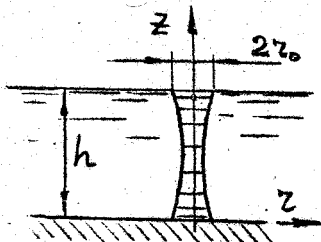
8-12. Вихревой слой с удельной интенсивностью $i = \Gamma/2l = 5 \text{ м/с}$ обтекается однородным потоком со скоростью $U_0 = 6 \text{ м/с}$ на бесконечности. Найти потенциал течения и построить графики изменения относительных величин скорости (U/U_0) и давления ($(p - p_0)/0,5 \rho U_0^2$) вдоль оси ординат.

Вычислить силу давления воды на вихревой слой.



8-13. Рассчитать траекторию движения прямолинейного вихря заданной интенсивности $I = 20 \text{ см}^2/\text{с}$ в однородном потенциальном потоке ($U_0 = 5 \text{ м/с}$). Ось вихря перпендикулярна вектору U_0 , диаметр вихря $d = 1 \text{ см}$, а его начальная скорость равна нулю.

8-14. 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 $\omega_0 = 40 \text{ рад/с}$.



Рассчитать и проиллюстрировать графически изменение угловой скорости и давления вдоль оси вихря, считая, что его радиус изменяется по закону

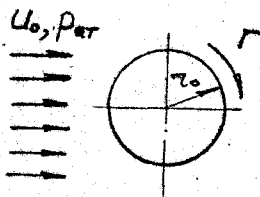
$$r_0 = r_0 [1 - 2(z/h) + 2(z/h)^2].$$

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

8-15. Плоский безвихревой поток воды, скорость которого на бесконечности $u_0 = 2$ м/с и давление - атмосферное, обтекает круглый цилиндр радиусом $r_0 = 0,4$ м с циркуляцией скорости $\Gamma = -2\pi r_0 u_0$.

Найти положение критических точек (в них $u=0$) и определить максимальное и минимальное давления на поверхности цилиндра.

При какой скорости набегающего потока u_0 падение давления вблизи цилиндра вызовет парообразование и отрыв потока жидкости от цилиндра, если давление насыщенных паров $p_{\text{нп}} = 7,5$ кПа ($t = 40^\circ\text{C}$)? Какова сила давления на цилиндр при этой скорости?



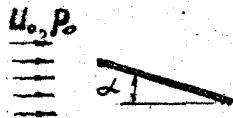
8-16. Течение задано потенциалом скорости

$$\varphi = u_0 r [1 + (r_0/r)^2] \sin \theta + (\Gamma/2\pi) \cdot \theta$$

где r, θ - цилиндрические координаты, Γ - циркуляция скорости. Построить линию тока с нулевым значением функции тока ($\psi = 0$) в области $r_0 < r < 4r_0$, а также графики изменения скорости и давления вдоль нее. Известно: $U_0 = 10$ м/с, $r_0 = 0,1$ м, $\Gamma = 3\pi r_0 u_0$.

8-17. Безотрывное обтекание потоком идеальной жидкости пластины, установленной под некоторым углом атаки α , сопровождается циркуляцией скорости $\Gamma = \pi u_0 \ell \sin \alpha$ по контуру, охватывающему пластину.

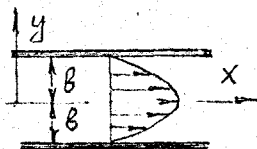
Определить силу давления жидкости (воды) на пластину при следующих данных: $u_0 = 20$ м/с, $\alpha = 8^\circ$, $\ell \times b = 0,5$ м \times 1,0 м (размеры пластины).



8.2. Течение вязкой жидкости

8-18. Течение вязкой жидкости между широкими параллельными пластинами задано полем скоростей:

$$u_x = u_m (1 - (y/b)^2), \quad u_y = u_z = 0.$$

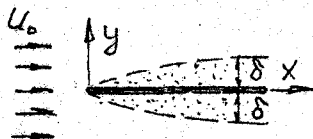


Выяснить:

- стационарно ли течение и равномерно ли движется жидкость (по локальным и конвективным ускорениям потока),
- характер деформации потока (по скоростям линейной и угловой деформации),
- вихревое поле (по скоростям вращения частиц),
- поле касательных напряжений $\tau(x, y, z)$ и составить формулу для определения силы трения, действующей на пластину площадью S .

Построить эпюры распределения всех параметров поперек потока.

8-19. На поверхности пластины, обтекаемой вязкой жидкостью, образуется пограничный слой – приторможенная часть потока. Распределение скоростей в нем:



$$u_x = u_0 (2(y/\delta) - (y/\delta)^2), \quad u_y \approx 0, \quad u_z = 0.$$

а изменение толщины вдоль пластины:

$$\delta = 5,2 (1x/u_0)^{0,5}, \quad \text{где } \nu - \text{кинематический коэффициент вязкости.}$$

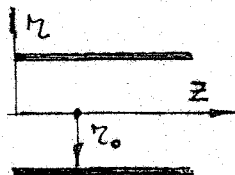
Проанализировать течение в пограничном слое, выяснив все то, что требовалось в предыдущей задаче.

8-20. Выяснить характер течения вязкой жидкости в цилиндрической трубе по полю скоростей у потока:

$$u_x = W r/r_0 (1-r/r_0) \sin \theta, \quad u_\theta = W r/r_0 (1-r/r_0) \cos \theta$$

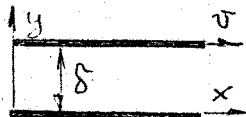
$$u_z = V(1-(r/r_0)^2),$$

представив (без вычислений) траектории движения частиц жидкости.



Определить расход жидкости при $V = 3 \text{ м/с}$, $r_0 = 20 \text{ мм}$.

8-21. Течение вязкой жидкости ($\mu = 2 \text{ Па}\cdot\text{с}$) в зазоре $\delta = 1 \text{ мм}$ между параллельными пластинами вызвано перемещением одной из них со скоростью $V = 50 \text{ см/с}$ (другая - неподвижна) - течение Куэтта.



Считая течение равномерным по всей длине потока, выяснить изменение скоростей и касательных напряжений по высоте щели.

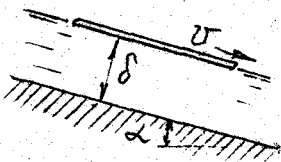
Какая сила приложена к подвижной пластине площадью $S = 10 \text{ см}^2$?

8-22. Ламинарное течение между двумя неподвижными параллельными стенками, расстояние между которыми δ , вызвано перепадом давления Δp в начале и конце щели (течение Пуазейля).

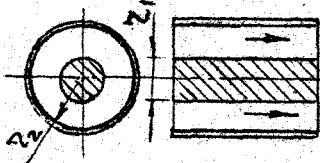
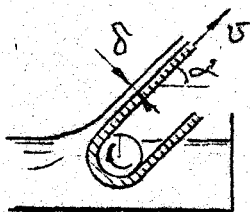
Полагая движение плоским и равномерным, выяснить распределение скоростей и касательных напряжений поперек потока.

Составить формулу для вычисления коэффициента гидравлического трения λ , выражая число Рейнольдса так: $Re = 2\delta V/\nu$, где V - средняя скорость потока, ν - кинематический коэффициент вязкости.

8-23. По наклонной стенке ($\alpha = 30^\circ$) стекает вязкая жидкость ($\mu = 0,1$ Па·с), на свободной поверхности которой тонкая пластина массой $m = 100$ г и площадью смоченной поверхности $S = 10$ см². Определить скорость движения пластины при $\delta = 2$ мм.



8-24. Ремень увлекает за собой слой масла и поднимает его на некоторую высоту. Определить толщину слоя δ и удельный расход (на единицу ширины ремня), если плотность масла ρ , а кинематический коэффициент вязкости ν .

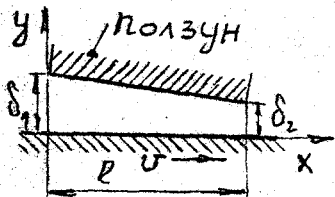


8-25. Выявить поле скоростей у равномерно ламинарного потока в канале кольцевого поперечного сечения, образованном двумя неподвижными соосными цилиндрическими поверхностями.

8-26. В клинообразном зазоре плоского подшипника скольжения распределение продольных скоростей u потока масла в системе координат, связанной с ползуном, следует закону

$$u/V = (1 - y/\delta) [1 - 3y/\delta (1 - 2\delta_2/\delta_1 + \delta_2/\delta_1)]$$

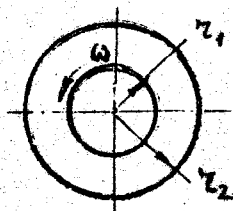
где V - скорость опорной поверхности; y - расстояние от опорной поверхности; δ - величина зазора, изменяющаяся от δ_1 в начале канала до δ_2 в конце.



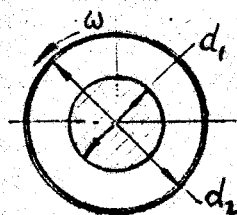
Выяснить изменение касательных напряжений вдоль опорной поверхности и вычислить силу трения, действующую на единицу ширины поверхности, при $V = 2$ м/с, $\delta_1 = 2\delta_2$, $\delta_2 = 0,05$ мм, $l = 100$ мм, $\mu = 0,05$ Па·с.

8-27. Сравнить эпюры скоростей (их аналитическое выражение дается 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?

8-28. Цилиндр ($r_1 = 30$ мм, $l = 300$ мм) равномерно вращается внутри другого неподвижного цилиндра радиусом $r_2 = 1,25 r_1$. Выяснить поле скоростей в равномерном радиальном зазоре, заполненном турбинным маслом с температурой 20°C и определить угловую скорость, с которой вращается малый цилиндр, если к нему приложен момент $M = 0,3$ Н·м.



8-29. Вязкая жидкость заполняет равномерный радиальный зазор между двумя цилиндрическими поверхностями ($d_1 = 30$ мм, $d_2 = 60$ мм), одна из которых – внутренняя – неподвижна, а внешняя – вращается с угловой скоростью $\omega = 20$ рад/с. Распределение скоростей в жидкости такое:

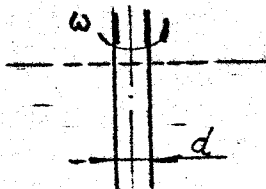


$$u_x = u_z = 0; \quad u_\varphi = C(r/r_1 - r_1/r), \quad \text{где } C = \omega r_1^2 / (1 - (r_1/r_2)^2).$$

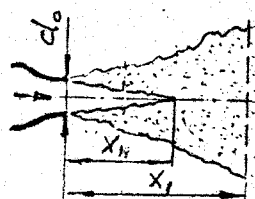
1. Выяснить изменение давления в зазоре, приняв давление у поверхности малого цилиндра атмосферным и построить эпюры распределения скоростей и давлений поперек зазора.

2. Определить момент силы трения, стремящийся повернуть неподвижный цилиндр, и сопоставить его с моментом, приложенным к вращающемуся цилиндру.

8-30. В большом открытом резервуаре с водой вращается длинная труба ($d = 100$ мм) вокруг своей вертикальной оси со скоростью $\omega = 40$ рад/с.

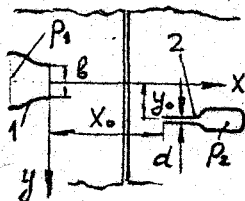


Рассчитать и построить профили свободной поверхности воды вне и внутри трубы, полагая стенку очень тонкой.



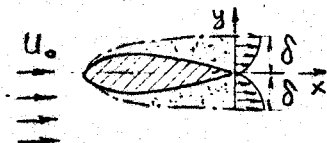
8-31. Воздух вытекает со скоростью $u_0 = 10$ м/с из круглого сопла диаметром $d_0 = 20$ мм. Построить эпюру скорости и вычислить расход в сечении турбулентной струи $x_1 = 2,5 X_0$, где X_0 – длина начального участка. Построить графики изменения осевой скорости и расхода вдоль струи на участке $0 \leq x \leq x_1$.

8-32. 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 ($p_2 - p_{2m}$) = $f(S)$. Известно: $b = 5$ мм; $d \ll b$; $x_0 = x_n$, где x_n – длина начального участка струи, $p_1 - p_{2m} = 1$ кПа.

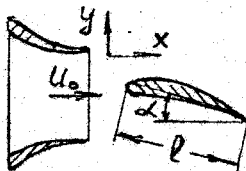


8-33. Твердое тело симметрично профилю обтекает воздушным потоком ($\rho = 1,25$ кг/м³) со скоростью $u_0 = 60$ м/с. Определить силу сопротивления тела (в расчете на единицу его ширины) по известным толщине $\delta_m = 30$ мм пограничного слоя и распределению скоростей в нем:

$$u = u_0 (y / \delta)^{1/7}$$



8-34. Продувка в аэродинамической трубе крылового профиля ($l = 0,25$ м) дала следующие значения коэффициентов подъемной силы C_y и лобового сопротивления C_x при $Re_l = 10^6$ и разных углах атаки α :



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

Выяснить, какие силы (в расчете на единицу ширины модели) измерялись при угле атаки $\alpha = 4$, а также при каком угле атаки качество профиля было наиболее высоким. Температура воздуха 20°C , давление вдали от модели $p_0 = 100$ кПа, коэффициент вязкости $\nu = 1,5$ см²/с.

Примечание: Качество профиля характеризуется соотношением C_y/C_x .

8-35. Для осевого насоса выбран профиль лопасти, характеристики которого при $Re_l = 10^6$ описаны в предыдущей задаче. Вычислить "подъемную" силу P_y и силу сопротивления P_x , действующие на единицу ширины профиля, при скорости набе-

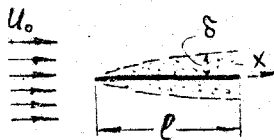
гающего потока воды $u_0 = 10$ м/с и угле атаки α , соответствующем наиболее высокому качеству профиля ($C_p, C_x = \max$). Длина хорды $\ell = 0,4$ м, температура воды 20°C .

8-36. Пластина длиной $\ell = 0,25$ м обтекается

потоком воды со скоростью $u_0 = 4$ м/с вдали от нее.

Рассчитать и построить график изменения касательных напряжений на пластине и толщины пограничного слоя вдоль нее, полагая течение плоским, а критическое число $Re_c = 4 \cdot 10^5$. Как изменится толщина по-

граничного слоя в конце пластины, если степень турбулентности потока возрастет так, что критическое значение числа Рейнольдса уменьшится вдвое?



8-37. 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.

Вычислить 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.

8-38. Формиро-

вание равномерного

потока происходит

на начальном

участке канала в

процессе развития

пограничных слоев

вплоть до их смы-

кания в сечении 2. Считая течение плоским ($a \gg 2b$), профиль скоростей в сечении 1

равномерным, а в ламинарном пограничном слое $u_x = \nu(y/\delta) (2-y/\delta)$, где y – расстояние от стенки, выяснить закономерность нарастания пограничного слоя у ламинарно-

го потока и вычислить длину начального участка при $Re = V2b/\nu = 2000$.

8-39. Доказать неустойчивость плоской формы свободной поверхности жидкости

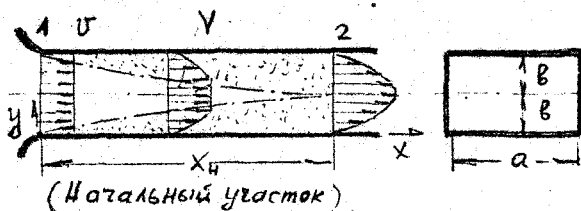
при ветре, т.е. объяснить появление ряби и волн на свободной поверхности воды в

ветренную погоду.

Подсказка. Допустив случайное локальное искривление свободной поверхности,

рассмотреть обтекание этой неровности воздушным потоком и выяснить характер ее

последующих изменений.



СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

1. Физические характеристики жидкостей и твердых материалов [12, 13]

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

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

Примечание. Коэффициент растворимости

$C = \frac{\text{объем воздуха}}{\text{объем жидкости}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho}$, дан при $t_0 = 20^\circ\text{C}$ и $p_0 = 0,1$ Мпа.

1.2. 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

1.3. Температурный коэффициент объемного расширения жидкости ($10^4 \beta$, 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

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

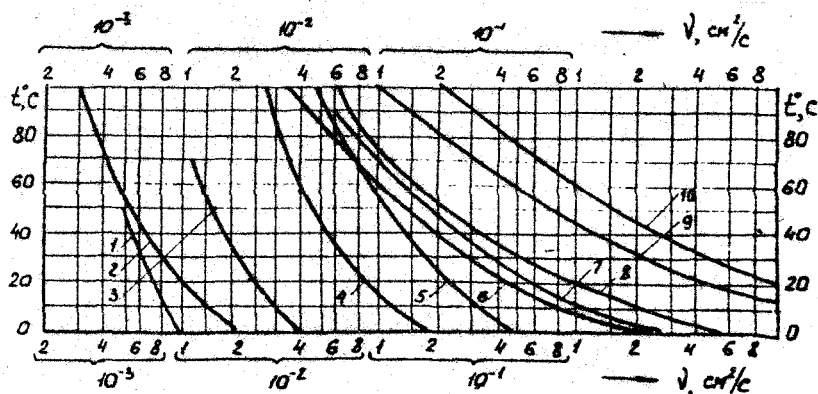
$t, ^\circ\text{C}$	0	25	50	75
Вода	75,6	72,0	67,9	63,5
Керосин	28,9	26,4	24,2	-

1.5. Давление насыщенных паров $p_{н.п.}$, кПа (абсолютное)

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	55,8	103,3	-
Керосин Т-1	3,9	5,7	7,5	12,1	20,3
Масло АМГ-10	-	0,2	0,4	0,8	1,8
И-20	-	-	0,1	0,3	0,4

1.6. Коэффициент вязкости жидкостей и воздуха

1.6.1. Кинематический коэффициент вязкости жидкостей



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

1.6.2. Коэффициенты вязкости воздуха при нормальном давлении ($p = 101 \text{ кПа}$)

$t, ^\circ\text{C}$	-20	0	+20	40	60	80	100
$\mu \cdot 10^3, \text{Па}\cdot\text{с}$	16,20	17,12	18,09	19,04	19,98	20,89	21,90
$\nu \cdot 10^3, \text{м}^2/\text{с}$	11,66	13,29	16,00	18,98	18,85	20,89	23,00

2. Гидравлические сопротивления

2.1. Шкалы шероховатости трубопроводов и каналов [5, 13]

а) Эквивалентная шероховатость труб

Характер поверхности трубы	Δ , мм
1. Цельнотянутые 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
г) водопроводные трубы, бывшие в эксплуатации	1,0...1,5
д) магистральные газопроводы	0,5
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

б) Коэффициенты групповой шероховатости каналов (средненные значения)

Характер стенки и дна канала	n
1. Бетонировка:	
хорошего качества	0,012
среднего качества	0,014
плохого качества	0,017
2. Земля:	
в хорошем состоянии	0,020
в среднем состоянии	0,025
в плохом состоянии	0,030
3. Скала:	
чисто обработанная	0,025
средне обработанная	0,035
грубо обработанная	0,040

2.2. Коэффициент гидравлического трения

Коэффициент гидравлического трения зависит от числа Рейнольдса $Re = Vd/\nu$ и относительной шероховатости стенок $k = \Delta/d$, где Δ - абсолютная эквивалентная шероховатость.

По числу Рейнольдса вся область сопротивления делится на пять зон.

I зона ($Re \leq 2000$) - зона ламинарного режима течения.

Если труба круглая, то $\lambda_l = 64/Re$ (формула Пуазейля).

Если канал прямоугольного сечения ($a \times b$), то $\lambda_l = A/Re$, где $Re = 4RV/\nu$, $R = a b/2(a + b)$.

a/b	1	0,5	0,25	0,1	$\rightarrow 0$
A	56,9	62,2	72,9	84,7	96

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

$$\lambda_m = (1-x) \lambda_l + x \lambda_m$$

где $x = \sin^2 [\pi/2(Re/2000-1)]$ - коэффициент перемежаемости (формула (П.Слисского)).

III зона ($4000 \leq Re \leq 15/k$) - зона "гладкостенного" сопротивления, в которой при

$$Re < 10^5 \quad \lambda_m = 0,3164 Re^{-0,25} \quad (\text{формула Блазиуса}),$$

$$\text{а при } Re > 10^5 \quad 1/\sqrt{\lambda_m} = 1,8 \lg Re - 1,64 \quad (\text{формула Филоненко и Альтшуля}).$$

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

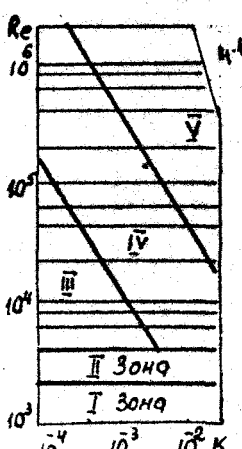
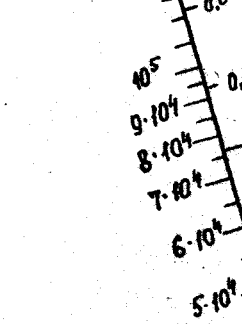
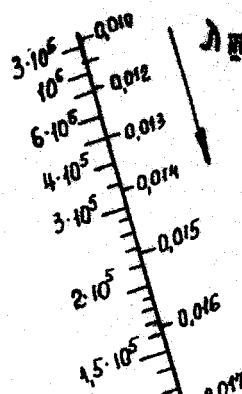
$$1/\sqrt{\lambda_{IV}} = -2 \lg (k/3,7 + 2,51/Re \sqrt{\lambda_{IV}}) \quad (\text{формула Кольбрука}).$$

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

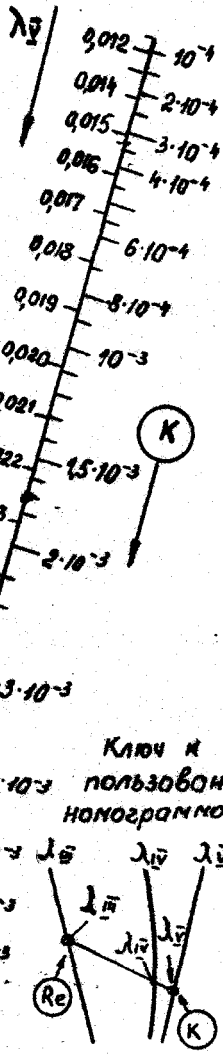
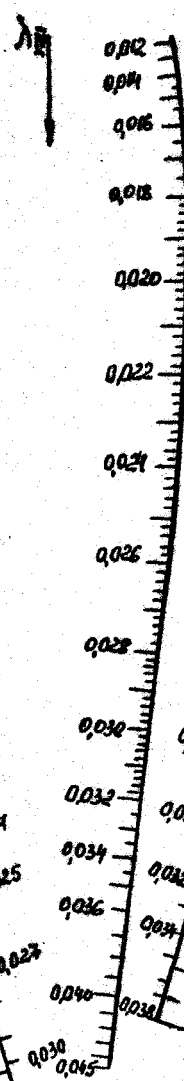
$$1/\sqrt{\lambda_V} = -2 \lg (k/3,7) \quad (\text{формула Никурадзе и Прандтля}).$$

По формулам последних трех зон построена на следующей странице номограмма, облегчающая расчет. Там же указаны границы зон сопротивления.

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



Re
 10^6
 10^5
 10^4
 10^3
 I зона
 II зона
 10^{-4} 10^{-3} 10^{-2} K
 Границы зон сопротивления



Ключ к
 пользование
 номограммой
 $\lambda_{\bar{v}}$ $\lambda_{\bar{v}}$ $\lambda_{\bar{v}}$
 $\lambda_{\bar{v}}$ $\lambda_{\bar{v}}$ $\lambda_{\bar{v}}$
 (Re) (K)

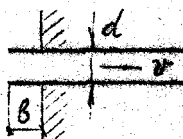
Коэффициент λ
 в турбулентной области
 (\bar{v} , \bar{v} , \bar{v} зоны сопротивления)

2.3. Значения коэффициента Шези $C(m^{0.5}/с)$, используемого при расчете каналов, в зависимости от групповой шероховатости n и гидравлического радиуса R (по Н.Н.Павловскому)

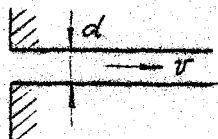
$R(m) \backslash n$	0,012	0,014	0,017	0,020	0,025	0,030	0,040
0,10	60,3	49,4	38,0	30,8	22,4	17,5	11,4
0,12	61,9	50,8	39,2	32,0	23,5	18,4	12,1
0,14	63,2	52,1	40,4	33,1	24,4	19,2	12,8
0,16	64,5	53,2	41,5	34,0	25,2	19,9	13,4
0,18	65,5	54,2	42,4	34,9	26,0	20,6	13,9
0,20	66,5	55,2	43,3	35,6	26,7	21,2	14,4
0,22	67,4	56,0	44,1	36,4	27,4	21,8	14,9
0,24	68,2	56,8	44,8	37,0	28,0	22,3	15,4
0,26	69,0	57,5	45,5	37,7	28,5	22,8	15,8
0,28	69,7	58,2	46,1	38,2	29,0	23,3	16,2
0,30	70,4	58,9	46,8	38,8	29,6	23,8	16,6
0,35	72,0	60,3	48,2	40,1	30,8	24,8	17,5
0,40	73,3	61,7	49,4	41,2	31,8	25,8	18,3
0,45	74,5	62,8	50,5	42,3	32,7	26,6	19,0
0,50	75,6	63,3	51,5	43,2	33,6	27,4	19,7
0,60	77,5	65,8	53,4	44,9	35,2	28,9	21,0
0,70	79,2	67,5	55,9	46,4	36,6	30,1	22,1
0,80	80,7	68,9	56,3	47,7	37,8	31,3	23,1
0,90	82,1	70,2	57,6	48,9	38,9	32,3	24,1
1,00	83,3	71,4	58,8	50,0	40,0	33,3	25,0
1,20	85,3	73,2	60,4	51,5	41,4	34,6	26,1
1,40	87,0	74,8	61,8	52,7	42,6	35,7	27,2
1,60	88,5	76,2	63,1	53,9	43,7	36,8	28,1
1,80	89,9	77,5	64,2	54,9	44,7	37,7	28,9
2,00	91,1	78,7	65,2	55,8	45,6	38,5	29,7
2,50	93,9	81,2	67,4	57,9	47,6	40,4	31,4
3,00	96,0	83,2	69,3	59,6	49,2	42,0	32,8
4,00	99,7	86,7	72,4	62,4	51,3	43,7	33,9
5,00	102,7	89,5	74,8	64,7	52,5	44,9	34,6

2.4. Коэффициенты местных сопротивлений [13, 6]

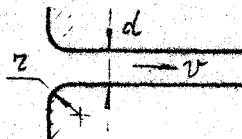
2.4.1. Вход в трубопровод: $\zeta = \Delta h_m / (V^2 / 2g)$ (Δh_m - потери напора).



$$\zeta = 1 \text{ при } b \geq 0,5d$$



$$\zeta \approx 0,45 \dots 0,55$$



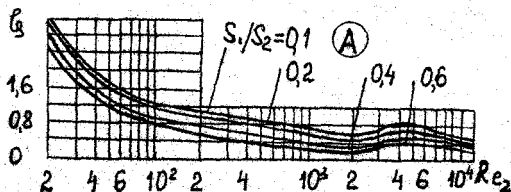
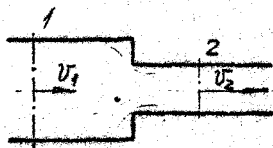
$$\zeta \approx 0,009 \dots 0,05$$



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

2.4.2. Сужение трубопровода: $\zeta = \Delta h_m / (V_2^2 / 2g)$; $Re_2 = V_2 d_2 / \nu$.

2.4.2.1. Резкое сужение



При $Re_2 < 10$ $\zeta = 48/Re_2$.

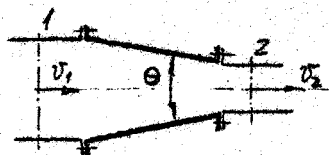
При $10 < Re < 10^4$ по графику А.

При $Re_2 > 10^4$ $\zeta = \zeta^0 = (1 - \epsilon) / \epsilon^4$,

где коэффициент сжатия

$\epsilon \approx 0,57 + 0,43 (S_2/S_1)^3$, а ζ^0 - на графике Б.

2.4.2.2. Плавное сужение (конфузор)



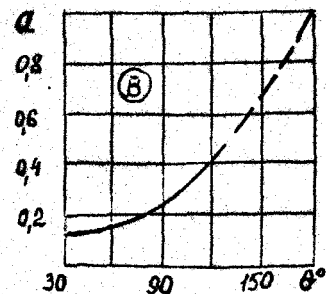
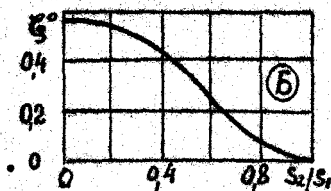
При $Re_2 < 50$

$$\zeta = (19/Re_2) \sqrt{S_1/S_2} \sqrt[4]{\text{ctg}^3 \theta}$$

При $Re_2 > 50$

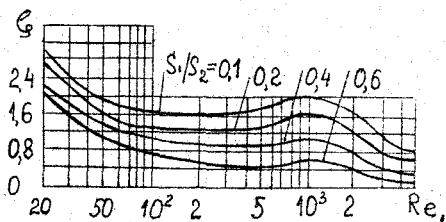
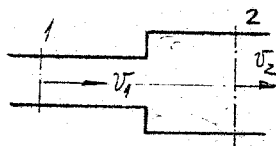
$$\zeta = (\sqrt{8} \sin(\theta/2)) (1 - S_2/S_1)^2 + a(\theta) \zeta^0$$

$a(\theta)$ и ζ^0 - по графикам В и Б.



2.4.3. Расширение трубопровода: $\zeta = \Delta h_r / (V_1^2 / 2g)$; $Re_1 = V_1 d_1 / \nu$

2.4.3.1. Резкое расширение

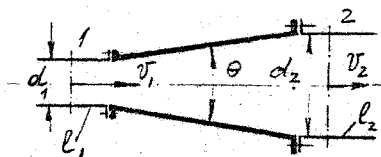


При $Re_1 < 10$ $\zeta = 30/Re_1$.

При $10 < Re_1 < 5000$ по графику.

При $Re_1 > 5000$ $\zeta \approx (1 - (S_1/S_2))^2$.

2.4.3.2. Плавное расширение (диффузор)



При $Re_1 \leq 50$ и $\theta < 40^\circ$

$\zeta = (20/Re_1) (d_2/d_1)^{2.3} (\text{ctg } \theta)^{3/4}$.

При $Re_1 \geq 50 \times 10^3$, $\theta \leq 12^\circ$,

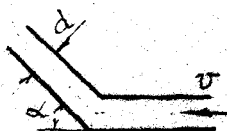
$l_1 \geq 20d_1$, $l_2 \geq 20d_2$,

ζ - по таблице.

S_2/S_1	θ°	$10^3 Re_1$					
		3	4	6	8	10	12
2	50	0,244	0,219	0,212	0,205	0,199	0,201
	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

2.4.4. Поворот трубопровода

2.4.4.1. Резкий поворот $\zeta = C_d C_v \zeta_0$,



ζ_0 - коэффициент сопротивления
гладкой трубы при больших числах Re ,

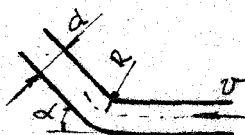
α°	30	45	60	90	120	150	180
ζ_0	0,16	0,32	0,56	1,20	2,22	3,20	3,60

C_d - поправка, учитывающая шероховатость
(у гладких труб $C_d = 1$),

C_v - поправка, учитывающая число Re .

$Re \times 10^4$	1	1,4	2	3	4	6	8	10	14	
C_v	1,40	1,33	1,26	1,19	1,14	1,09	1,06	1,04	1,0	
C_d	1,0					1,5				

2.4.4.2. Плавный поворот



При $Re > 3000$, $\alpha \leq 180^\circ$, $1 \leq (R/d) \leq 5$,

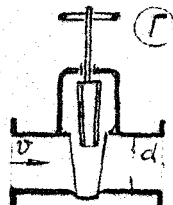
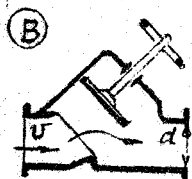
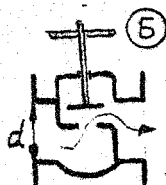
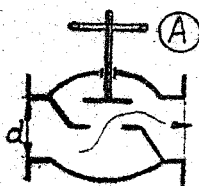
$$\zeta = 2000/Re + \pi \times (\alpha/180) \times (R/d) \times \lambda + 0,3 (d/R)^{1/2} (1 + 1000K) \sin(\alpha/2),$$

где $K = \Delta/d$ - относительная шероховатость,
 $\lambda = \lambda(Re, K)$ - коэффициент гидравлического
трения трубы.

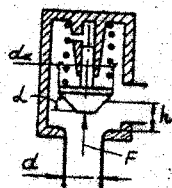
2.4.5. Вентили и задвижки

(при полном открытии)

$d, \text{мм}$	ζ_A	ζ_B	ζ_C	ζ
13	10,8	16	3	0,2
20	8,0	10,5	3	
25	6,8	9,3	3	
30	5,8	8,6	2,5	
40	4,9	7,6	2,5	
50	4,3	6,9	2	



2.4.6. Клапан

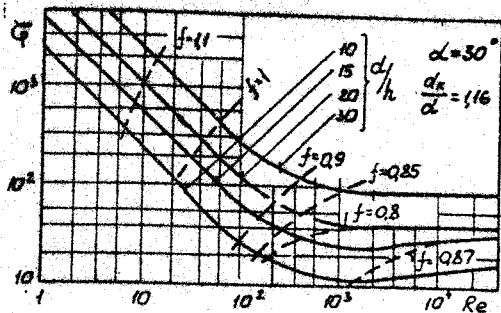


$$\zeta = 2\Delta p / \rho V^2,$$

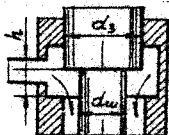
$$V = 4Q / \pi d^2,$$

$$Re = 4Q / \pi d \nu,$$

$$f = 4F / \Delta p \pi d^2.$$



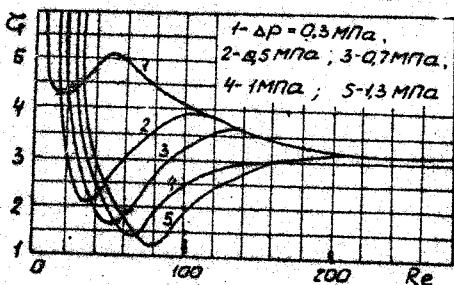
2.4.7. Золотник (по В.А.Хохлову)



$$\zeta = 2\Delta p / \rho V^2,$$

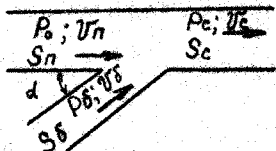
$$Re = V 2h / \nu,$$

$$V = Q / \pi d_s h.$$



2.4.8. Ветвление трубопровода (тройники)

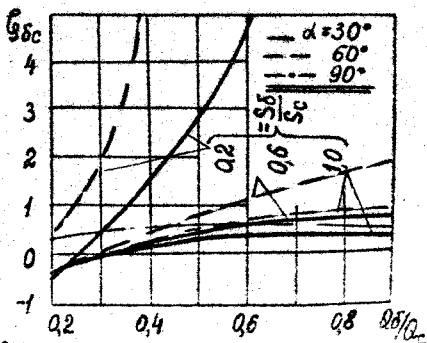
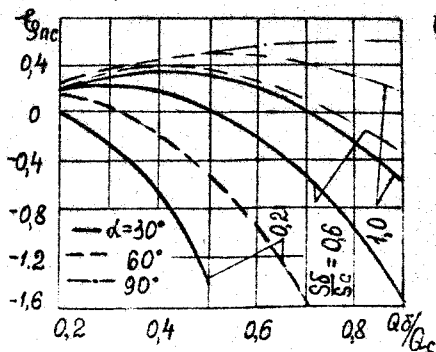
2.4.8.1. Тройник вытяжной



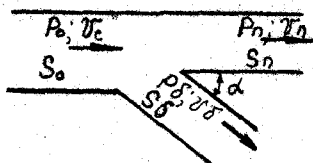
Коэффициенты сопротивления

$$\zeta_{bc} = 2(p_n - p_c) / \rho v_c^2;$$

$$\zeta_{cc} = 2(p_n - p_c) / \rho v_c^2.$$



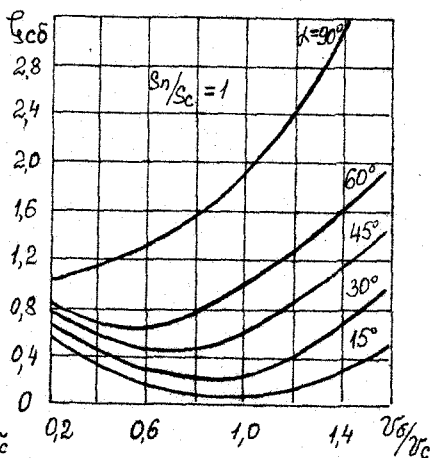
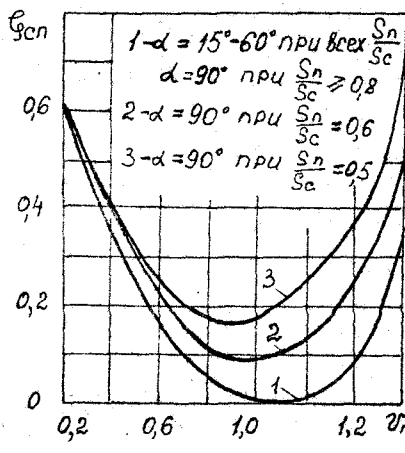
2.4.8.2. Тройник вытяжной



Коэффициенты сопротивления

$$\zeta_{c,n} = 2(\rho_c - \rho_n) / \rho v_c^2;$$

$$\zeta_{c,b} = 2(\rho_c - \rho_b) / \rho v_c^2.$$

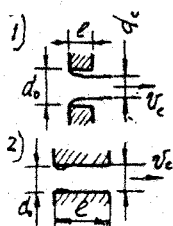


2.4.9. Отверстие, цилиндрический насадок (входная кромка - острая)

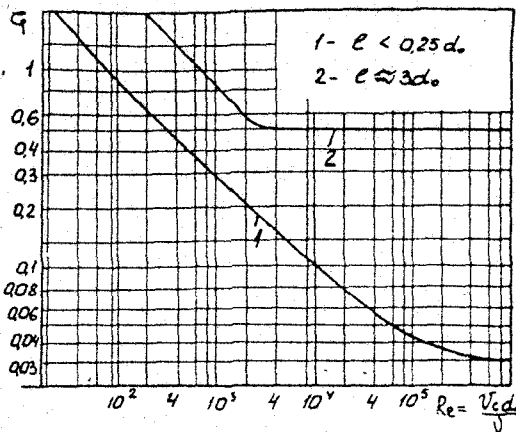
$$\zeta = \Delta h / v_c^2 / 2g;$$

$$Re = v_c d_0 / \nu;$$

$$\varepsilon_1 = (d_c / d_0)^2;$$



Re	\$\varepsilon_1\$
10	1
\$10^{-2}\$	0.88
\$10^3\$	0.73
\$10^4\$	0.65
\$10^5\$	0.61

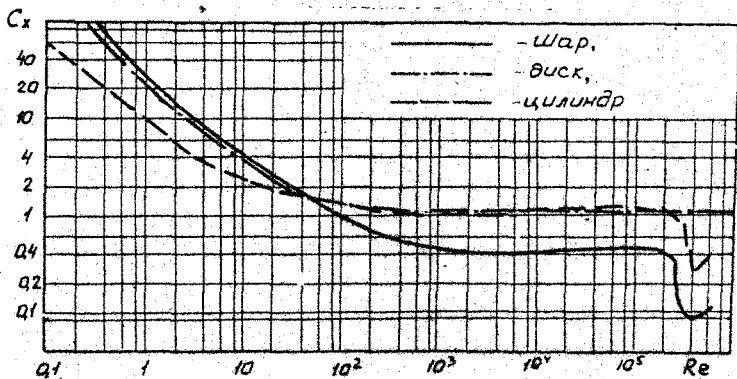


2.5. Коэффициент сопротивления тел [4]

$C_x = F_x/S(\rho u_0^2/2)$ (F_x - сила сопротивления, S - площадь миделевого сечения).

При $Re = u_0 d/\nu < 0,5$.

$C_x = 24/Re$ (шар); $C_x = 20,4/Re$ (диск); $C_x = 8\pi/Re \ln(7,4/Re)$ (цилиндр).



3. Геометрические характеристики коллектора круглого сечения

$$(d = 2r_0)$$

Относительные параметры:

Наполнение $h_* = h/h_{max} = h/d$.

Ширина потока по верху

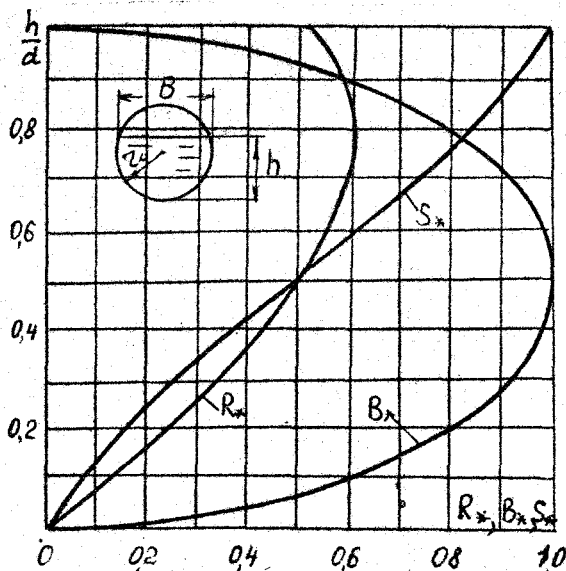
$$B_* = B/d.$$

Площадь сечения потока

$$S_* = S/\pi r_0^2.$$

Гидравлический радиус

$$R_* = R/r_0.$$

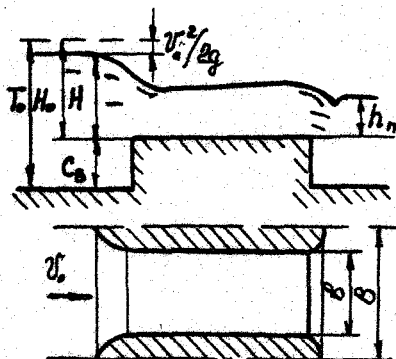


4. Пропускная способность водослива и сопряжение бьефов за ним (5)

4.1. Коэффициент расхода m в формуле расхода $Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2}$ выражается так:

$$m = m_0 \sigma_{сж} \sigma_n \sigma_H$$

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



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

У водослива с широким порогом по данным А.Р.Березинского:

$$m_0 = 0,32 + 0,01(3 - C_0/H) / (0,46 + 0,75C_0/H), \text{ если входное ребро прямоугольное;}$$

$$m_0 = 0,36 + 0,01(3 - C_0/H) / (0,46 + 0,75C_0/H), \text{ если входное ребро скругленное.}$$

4.1.2. Поправка на боковое сжатие потока $\sigma_{сж}$ (по А.Р.Березовскому)

C_0/H b/B	Выходные кромки не скруглены				Выходные кромки скруглены			
	0	0,5	1	3	0	0,5	1	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

4.1.3. Поправка σ_n на подтопление водослива

а. Водослив практического профиля

h_n/H_0	0,40	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
σ_n	0,98	0,97	0,96	0,98	0,91-0,80	0,76	0,70	0,59	0,41

6. Водослив с широким порогом

h_p/H_0	0,80	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98
σ_n	1	0,97	0,95	0,90	0,84	0,72	0,70	0,59	0,40

4.1.4. Поправка на "полноту" напора (только для водосливов с профилированной сливной поверхностью) по Н.П.Розанову

$\sigma_n = a + (1-a) \sqrt{H/H_{\text{проф}}}$, где $H_{\text{проф}}$ - профилирующий напор, $a = 0,778 - 0,316 \alpha / 180$, α - угол наклона верховой грани к горизонту в градусах.

4.2. График для определения глубины в "сжатом" сечении потока за водосливом и глубины, сопряженной с ней в прямоугольном русле (по М.Д.Чертоусову)



ЛИТЕРАТУРА

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа.-М.: Наука, 1973.
2. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика: Учебник для вузов. - М.: Машиностроение, 1987.
3. Дейч М.Е. Техническая газодинамика. - М.: Энергия, 1974.
4. Прандтль Л. Гидроаэромеханика.-М.: Издательство иностранной литературы, 1951.
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика.-Л.: Энергия, 1970.
6. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов А.П. Гидравлика и аэродинамика: Учебник для вузов. - М.: Стройиздат, 1987.
7. Темнов В.К. Нестационарное движение жидкости в напорных гидросистемах: Учебное пособие. - Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1994.
8. Сборник задач по машиностроительной гидравлике: Учебное пособие для машиностроительных вузов / Д.А.Бутаев, З.А.Калмыкова, Л.Г.Подвидз и др.; Под ред. И.И.Куколевского и Л.Г.Подвидза. - М.: Машиностроение, 1981.
9. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу: Учебное пособие / Б.Б.Некрасов, И.В.Фатеев, Ю.А.Беленков и др.; Под ред. Б.Б.Некрасова. - М.: Высшая школа, 1989.
10. Соковишин Ю.А. Гидродинамика и газодинамика в примерах и задачах.-Л.: Издательство ЛПИ, 1973.
11. Степчиков А.А. Задачник по прикладной гидрогазовой динамике.-М.: Издательство МАИ, 1974.
12. Справочник физических величин / Под ред. Н.И.Кикоина. - М.: Атомиздат, 1976.
13. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям.-М.: Машиностроение, 1992.
14. Темнов В.К., Гойдо М.Е., Спиридонов Е.К. Решение типовых задач технической гидромеханики: Учебное пособие. - Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1994.
15. Чертоусов М.Д. Гидравлика. Специальный курс.-Л.; М.:ГЭИ, 1962.

Вячеслав Константинович Темнов

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ
ГИДРОАЭРОМЕХАНИКЕ

(4-е издание, дополн. и перераб.)

Редактор Н.М.Лезина

Техн.редактор А.В.Миних

Издательство Челябинского
государственного технического университета

ИР № 020364 от 10.04.97. Подписано в печать 22.10.97. Формат
60x84 1/16. Печать офсетная. Усл.печ.л. 4,65. Уч.-изд.л.4,57.
Тираж 300 экз. Заказ 329/129. Цена 6000 р.

УОП Издательства. 454080, г.Челябинск, пр. им.В.И.Ленина, 76.