

Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

«Новгородский Государственный Университет имени Ярослава Мудрого»

Политехнический институт

Кафедра строительного производства

Основы гидравлики и теплотехники

Методические указания и задание к практическим занятиям для студентов
по направлению 270800.62 – «Строительство»

Великий Новгород
2012

Печатается по решению
РИС НовГУ

УДК 696.11 + 696,.12 (076)

Механика: гидравлика: Метод. Указ. / Сост. Л.Н. Романовская; НовГУ,
Новгород, 2011. - 23 с.

Методические указания предназначены для студентов специальностей:
270102.65 “Промышленное и гражданское строительство” и 270105.65
“Городское строительство и хозяйство” и содержат задания на контрольные
работы, ссылки на справочные данные и краткие пояснения, необходимые
для их выполнения.

Рецензент: В.П. Кудряшов, канд. техн. наук, доцент.

© Новгородский государственный
университет, 2011 г.
© Романовская Л.Н., составление, 2011 г.

ВВЕДЕНИЕ.

Гидравлика – наука, изучающая основные законы равновесия и движения жидкости (как капельных, так и газообразных) и их силовое взаимодействие с твердыми телами. Гидравлика является инженерной (прикладной) дисциплиной, так как ее выводы направлены на решение технических задач. Это – одна из наук, составляющих фундамент инженерных знаний.

Гидравлика исходит из основных принципов физики и классической механики, причем полученные выводы она согласует с экспериментальными исследованиями, которые в то же время дополняют и подтверждают эти выводы.

Знание гидравлики необходимо для решения многих технических вопросов в области санитарной техники, в частности водоснабжения и канализации, отопления и вентиляции, теплоснабжения и газоснабжения. Расчет разнообразных трубопроводов – воздухопроводов, газопроводов, паропроводов, проектирование и расчет котлов, теплообменников, печных и сушильных установок, воздухо – и газоочистных аппаратов и т.д. требует четкого понимания законов гидравлики.

Изучение курса «Гидравлика» включает в себя самостоятельную работу с книгой по усвоению теоретического материала, а также решение задач по основным разделам курса.

1. Основные понятия и законы гидростатики

1.1. Давление в покоящейся жидкости

Давлением в покоящейся жидкости называется напряжение сжатия (рис.1-1)

$$p_A = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F}, \quad (I-1)$$

где p_A - давление в точке A ; ΔF - элементарная площадка, содержащая точку A ; ΔP - сжимающая сила, действующая на площадку ΔF .

Давление направлено по нормали к площадке, его величина не зависит от ориентировки площадки в пространстве и является функцией координат точек жидкости:

$$p = f(x, y, z), \quad (I-2)$$

В международной системе единиц физических величин единицей измерения давления является 1 Н/м^2 - паскаль (Па). Более удобными для практического использования являются кратные единицы - килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа):

$$1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}; 1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}.$$

Давление, представляющее полное напряжение сжатия от действия всех внешних сил (поверхностных и массовых), приложенных к жидкости, называется абсолютным давлением.

В технике удобно отсчитывать давление от условного нуля, за который принимается давление атмосферного воздуха на поверхности земли, равное примерно 100кПа. Если величина давления показывает избыток абсолютного давления p над атмосферным p_a , то называется манометрическим (избыточным) давлением p :

$$p_u = p - p_{am}. \quad (I-3)$$

Избыточное давление отрицательно, если абсолютное давление меньше атмосферного. Недостаток давления до атмосферного называется вакуумом p_v :

$$p_v = p_{am} - p. \quad (I-4)$$

или

$$p_v = - p. \quad (I-5)$$

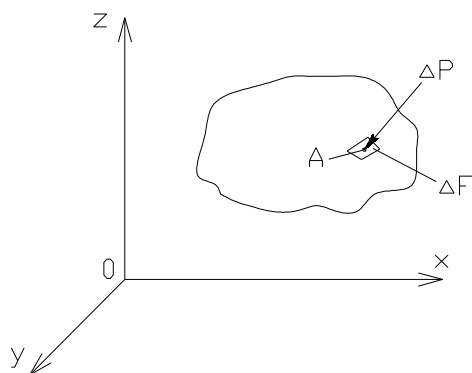


Рис. I - 1

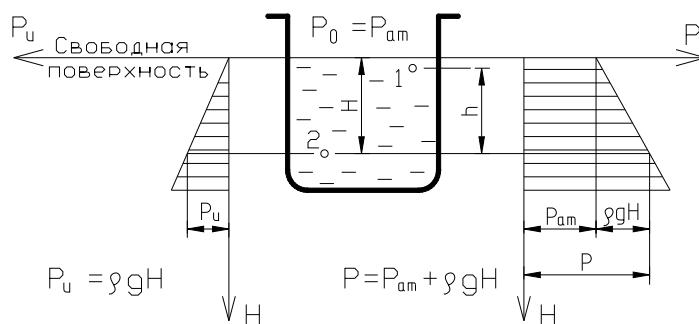


Рис. I - 2

В однородной несжимаемой жидкости, покоящейся под действием силы тяжести (рис. I - 2), давление нарастает с глубиной по закону

$$p_2 = p_1 + \rho g h, \quad (I-6)$$

Где p_1 - давление в произвольной точке 1 жидкости; p_2 - давление в точке 2 на глубине h , отсчитанной от уровня точки 1; ρ - плотность жидкости; g - ускорение свободного падения.

Эта зависимость представляет основной закон равновесия жидкости в однородном поле тяжести.

Поверхностями уровня (поверхностями равного давления) в рассматриваемом случае равновесия жидкости являются горизонтальные плоскости.

При определении давления в точках жидкости, заполняющей открытый в атмосферу сосуд, удобно в качестве исходной точки 1 брать точку на свободной поверхности, где известно действующее на жидкость внешнее давление, равное атмосферному. При этом абсолютное давление в произвольной точке жидкости

$$p = p_{am} + \rho g H, \quad (I-7)$$

где H - глубина расположения точки под уровнем жидкости.

Избыточное давление, создаваемое в данном случае только весом жидкости,

$$p_u = \rho g H. \quad (I-8)$$

Так, для воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) избыточное давление на глубине $H = 10 \text{ м}$ равно (при $g = 9,81 \text{ м/с}^2$) $p_u = 98,1 \text{ кПа}$.

Формула (I- 8) даёт возможность выражать избыточное давление в любой точке жидкости пьезометрической высотой, т.е. величиной H заглубления данной точки под пьезометрической плоскостью атмосферного давления, проходящей через уровень в пьезометре, присоединённом к сосуду (рис. 1-3).

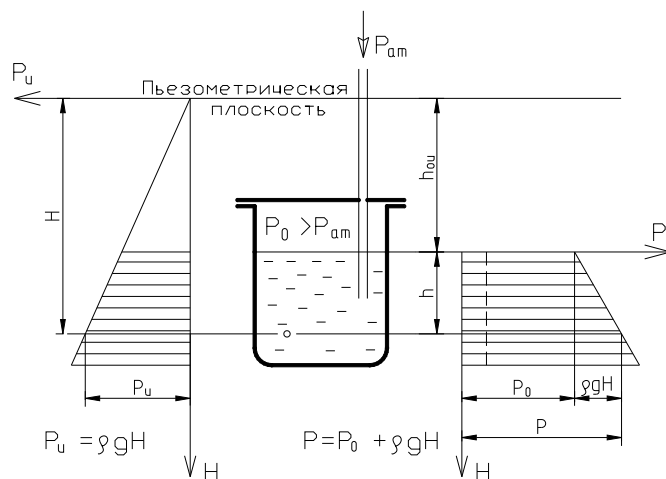


Рис. 1 - 3

Если сосуд закрыт и на поверхность жидкости действует избыточное давление (действующее на жидкость внешнее давление p_o больше окружающего атмосферного давления p_{am}), то пьезометрическая плоскость располагается над свободной поверхностью жидкости на высоте

$$h_{ou} = \frac{p_o - p_{am}}{\rho g} = \frac{p_{ou}}{\rho g}, \quad (I-9)$$

где p_{ou} - избыточное давление на поверхности жидкости.

Если на поверхность жидкости действует вакуум ($p_o < p_{am}$), то пьезометрическая плоскость находится под поверхностью жидкости на высоте

$$h_{ov} = \frac{p_{am} - p_o}{\rho g} = \frac{p_{ov}}{\rho g}, \quad (I-10)$$

где p_{ov} - вакуум на поверхности жидкости.

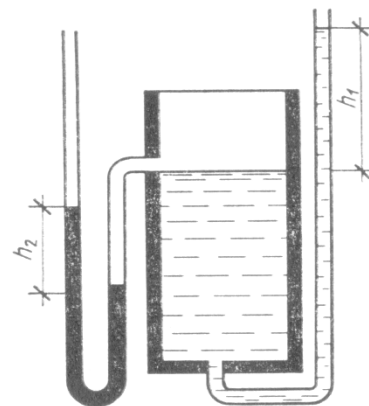
Помещенные в данной главе задачи на определение давления в несжимаемой жидкости могут быть решены с помощью уравнений, выражающих:

- 1) условие равновесия жидкости;
- 2) условие равновесия твердого тела, на которое действует сила давления со стороны жидкости.

Задачи:

№ 1.1

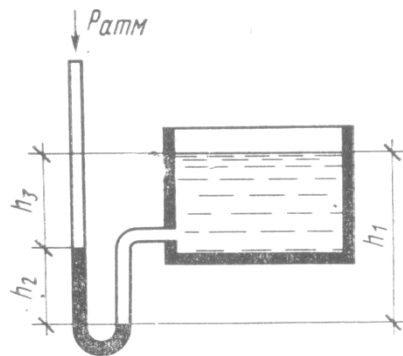
Определить давление p в котле и пьезометрическую высоту h_1 , если высота поднятия ртути в ртутном манометре h_2 .



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_2 , м	100	120	80	110	90	75	60	130	140	105

№ 1.2

Определить давление p в сосуде по показаниям жидкостного манометра, если слева над ртутью налито масло, а справа – вода.



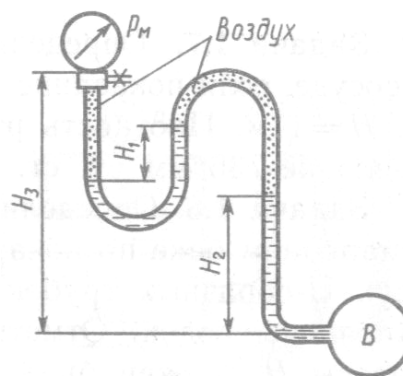
Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_1 , м	1,5	1,0	1,8	2,0	1,3	1,7	1,4	1,9	1,2	1,1
h_2 , м	0,8	0,3	0,4	0,6	0,2	0,5	0,3	0,7	0,4	0,2
h_3 , м	0,15	0,10	0,2	0,12	0,13	0,18	0,14	0,16	0,17	0,11

№ 1.3

Определить избыточное давление воды в

трубе В, если показание манометра .

Соединительная трубка заполнена водой и воздухом, как показано на схеме, причем известны H_1 , H_2 , H_3



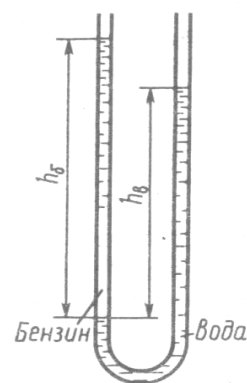
Как изменится показание манометра, если при том же давлении в трубе всю соединительную трубку заполнить водой (воздух выпустить через кран К)? Высота H_3 известна.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_1 , м	0,5	1,0	0,6	0,9	1,1	0,7	0,4	0,8	0,3	1,2
H_2 , м	3,0	4,0	3,2	3,8	4,2	3,4	2,8	3,6	2,5	4,3
H_3 , м	5,0	6,0	5,3	5,9	6,3	5,5	4,5	5,7	4,0	6,4
p_m , МПа	0,025	0,04	0,03	0,035	0,045	0,032	0,023	0,03	0,020	0,04

№ 1.4

В U-образную трубку налиты вода и бензин. Определить плотность бензина, если известны $h_б$, мм и $h_в$, мм.

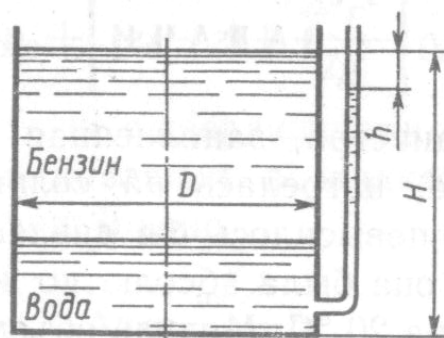
Капиллярный эффект не учитывать.



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h_б$, мм	500	285	143	214	250	536	428	357	321	393
$h_в$, мм	350	200	100	150	175	375	300	250	225	275

№ 1.5

В цилиндрический бак диаметром D , м до уровня H , м налиты вода и бензин. Уровень воды в пьезометре ниже уровня бензина на h , мм. Определить вес находящегося в баке бензина, если $\rho_б = 700 \text{ кг/м}^3$.



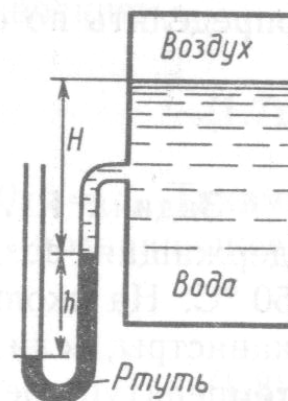
Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D , м	2,0	1,5	1,0	0,5	2,5	1,2	1,8	3,0	2,2	2,6
H , м	1,5	1,6	1,7	2,0	1,4	1,8	1,9	2,1	1,5	1,6
h , мм	300	100	200	400	150	250	350	500	450	150

№ 1.6

Определить абсолютное давление воздуха в сосуде, если показание ртутного прибора h , мм, высота H , м. Плотность ртути

$\rho = 13600 \text{ кг} / \text{м}^3$. Атмосферное давление

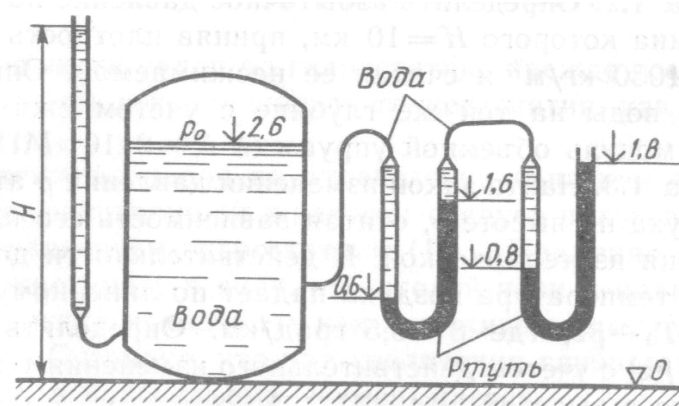
$P_{\text{ат}}$, мм рт.ст.



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рат, мм рт.ст.	736	760	750	740	775	735	745	756	770	764
H , м	1	1,4	1,36	1,3	1,55	0,95	1,35	1,45	1,6	1,65
h , мм	368	385	395	400	410	370	365	380	390	390

№ 1.7

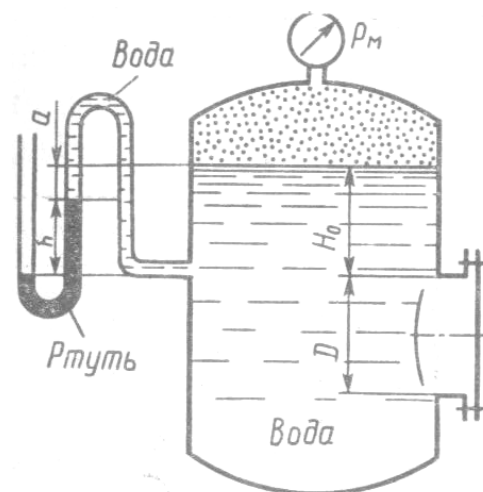
Определить избыточное давление p_0 воздуха в напорном баке по показанию манометра, составленного из двух U-образных трубок с ртутью. Соединительные трубки заполнены водой. Отметки уровней даны в метрах. Какой высоты H должен быть пьезометр для измерения того же давления p_0 ? Плотность ртути $\rho = 13600 \text{ кг} / \text{м}^3$.



№ 1.8

Определить силу давления жидкости (воды)
на крышку люка диаметром $D = 1\text{ м}$ в
следующих двух случаях, если известны:

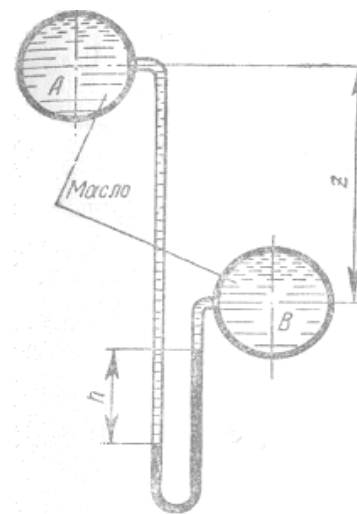
- 1) показания манометра P_M , МПа и H_0 , м;
- 2) показания ртутного вакуумметра при h ,
мм и a , м, $\rho_{рт} = 13600 \text{ кг/м}^3$



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_M , МПа	0,08	0,1	0,15	0,07	0,17	0,2	0,06	0,04	0,12	0,19
H_0 , м	1,5	1,0	1,2	2,0	0,9	1,4	1,9	1,1	1,3	0,5
h , мм	73,5	90	85	70	78	83,5	87,5	68,5	72,5	75
a , м	1,0	1,2	0,9	0,8	1,5	1,3	1,4	0,7	1,1	1,0

№ 1.9

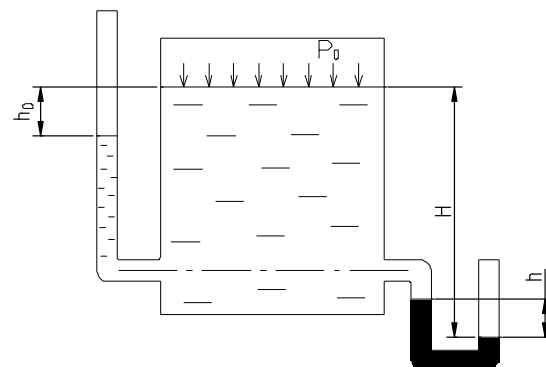
Найти разность гидростатического
давления в точках А и В, расположенных на
оси цилиндров. Цилиндры заполнены
минеральным маслом ($\gamma = 8920 \text{ н/м}^3$);
разность уровней в ртутном манометре
 $h = 200 \text{ мм}$; разность осей цилиндров
 $z = 2 \text{ м}$.



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h , мм	200	220	250	180	160	190	230	270	150	210
z , м	2	2,5	3,5	1,5	2,2	2,8	3,0	3,6	2,1	2,4

№ 1.10

В закрытом резервуаре на поверхности жидкости поддерживается постоянное давление P_0 . Показания пьезометра, присоединенного к резервуару - h_0 .



Определить абсолютное и избыточное давление на поверхности жидкости, а также показания дифференциального ртутного манометра h , если уровень ртути в открытой трубке манометра расположен ниже уровня жидкости в резервуаре на величину H . Барометрическое давление наружного воздуха - B . Данные для решения взять из табл.:

Последняя цифра шифра	Жидкость	h_0 , см	H , см	B , мм рт.ст.
1	Вода	80	160	720
2	Керосин	90	170	740
3	Нефть легкая	70	150	760
4	Спирт	85	180	750
5	Глицерин	75	165	730
6	Масло касторовое	95	175	725
7	Бензин	100	155	735
8	Масло трансформ.	90	160	745
9	Дизтопливо	85	180	755
0	Нефть тяжелая	75	170	765

1.2 Силы давления покоящейся жидкости на плоские стенки

Если плоская стенка подвергается одностороннему давлению жидкости (на не смоченной стороне стенки – атмосферное давление), то результирующая P сил давления, воспринимаемая стенкой и нормальная к ней (рис. I-4),

$$P = p_{cu}F = \rho g h_c F, \quad (1 - 11)$$

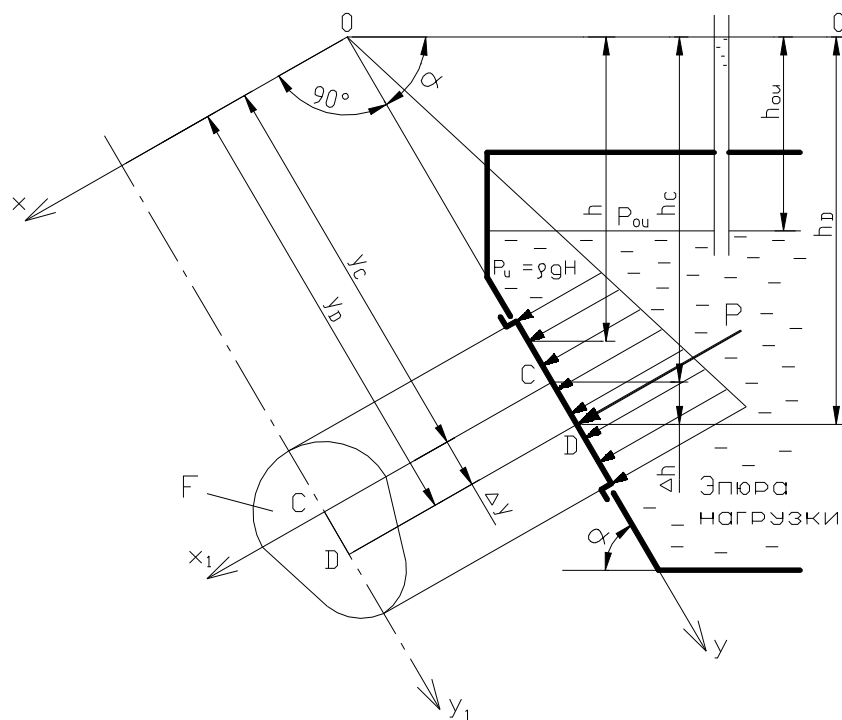


Рис. I – 4

где p_{Cu} - избыточное давление в центре тяжести площади F ; F - смоченная площадь стенки; h_c - расстояние по вертикали от центра тяжести площади F до пьезометрической плоскости $\theta - \theta$;

при избыточном давлении p_{0u} на свободной поверхности эта плоскость проходит над свободной поверхностью жидкости на расстоянии $h_{0u} = p_{0u}/(\rho g)$, при вакууме p_{0v} - под свободной поверхностью на расстоянии $h_{0v} = p_{0v}/(\rho g)$, при вакууме p_{0v} - под свободной поверхностью на расстоянии $h_{0v} = p_{0v}/(\rho g)$.

Если $p_{0u} = 0$, то пьезометрическая плоскость совпадает со свободной поверхностью, и нагрузка на стенку создаётся только давлением жидкости.

Центр давления – точка пересечения линии действия силы P с плоскостью стенки. Положение центра давления (точка D на рис. I – 4) в плоскости стенки определяется формулами

$$y_D = y_C + J_C / (F y_C); \quad (I-12)$$

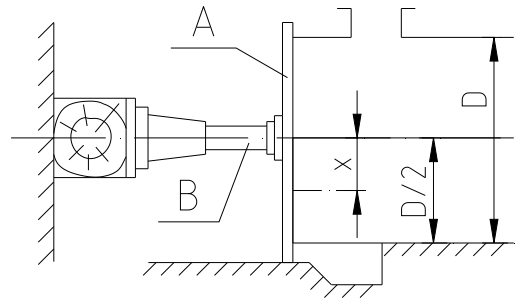
$$\Delta y = y_D - y_C = J_C / (F y_C), \quad (I-13)$$

где y_D и y_C – расстояние от центра давления D и центра тяжести C площадки стенки до линии пересечения плоскости стенки с пьезометрической плоскостью (ось x на рис. I – 4); Δy – смещение центра давления относительно центра тяжести вдоль оси y ; J_C – момент инерции площади стенки относительно горизонтальной оси x_1 , проходящей через центр тяжести площади стенки.

Задачи:

№ 2.1

Заглушка А прижата к торцу горизонтального цилиндрического резервуара диаметром D при помощи домкрата В, установленного в ее центре. Резервуар наполовину заполнен жидкостью.



Определить:

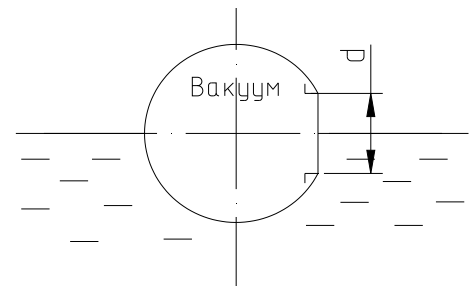
- 1) Определить наименьшую силу P нажатия домкрата, необходимую для удержания заглушки.
- 2) При каком вакууме V над водой в резервуаре заглушка могла бы удержаться без домкрата.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Жидкость	вода	керосин	нефть легкая	спирт	глицерин	масло касторовое	бензин	дизтопливо	нефть тяжелая	масло трансформ.
D , м	1,2	1,4	1,5	1,7	1,8	2,0	2,2	1,9	2,4	1,6

№ 2.2

Аппарат, плавающий на поверхности воды ($\rho = 1020 \text{ кг/м}^3$), имеет люк, закрытый изнутри плоской крышкой диаметром d .

Определить силу давления F на крышку, если внутри аппарата вакуум P_v .



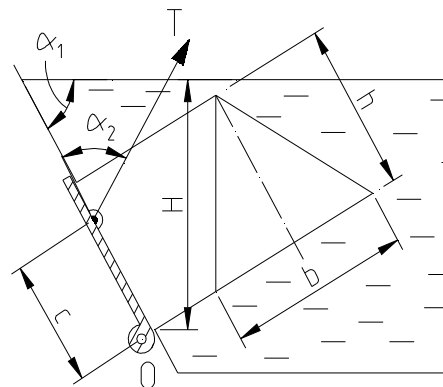
Найти расстояние Δl линии действия этой силы до оси люка.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , м	0,8	0,5	1,0	1,2	0,6	0,9	1,5	0,7	1,1	1,4
P_v , КПа	3,0	2,0	4,0	2,5	3,5	4,5	1,5	1,0	0,5	1,8

№ 2.3

Определить минимально необходимое натяжение T каната и реакцию R_0 на оси поворота O щита, закрывающего треугольное отверстие в плоской стенке, если заданы линейные размеры:

H, h, b, c и углы α_1 и α_2



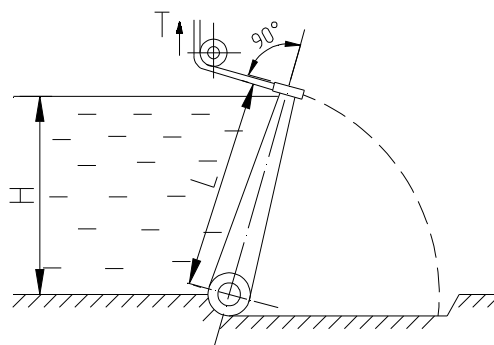
Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, \text{м}$	3.2	3.5	4.3	4.0	4.8	5.5	5.2	6.0	2.8	4.5
$h, \text{м}$	2.0	2.5	3.6	3.0	2.8	3.2	3.2	4.0	1.9	3.5
$b, \text{м}$	1.6	1.8	1.9	2.0	2.5	2.5	2.6	2.8	1.5	2.2
$c, \text{м}$	1.8	2.3	3.4	2.8	2.6	2.5	3.0	3.8	1.7	3.0
$\alpha_1, ^\circ$	60	60	60	45	60	60	60	45	60	60
$\alpha_2, ^\circ$	60	30	60	45	30	60	30	45	60	30

№ 2.4

Клапанный затвор, имеющий плоскую поверхность размером $L \times B$ м, создает подпор воды H .

Определить:

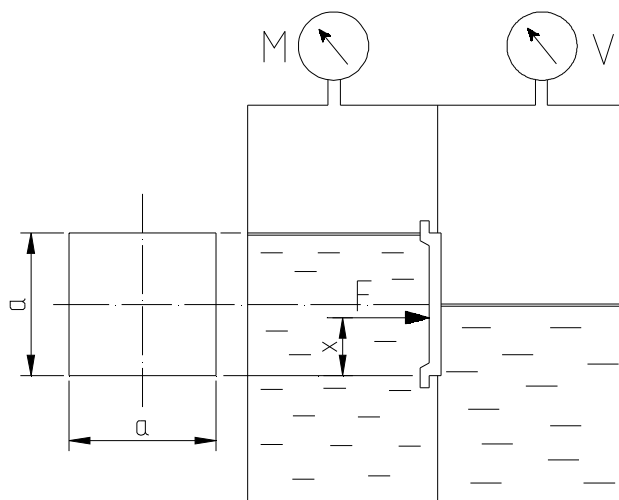
- 1) Суммарную силу натяжения тросов T , удерживающих затвор в заданном положении (без учета $M_{тр}$ в опоре).
- 2) Силу R , воспринимаемую цапфами опоры.



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$H, \text{м}$	2.3	2.7	3.0	3.4	3.8	4.3	4.6	4.9	5.2	5.5
$L, \text{м}$	2.5	3.0	3.5	3.9	4.6	5.0	5.5	5.8	6.0	6.1
$B, \text{м}$	10	15	12	20	22	12	14	18	16	11

№ 2.5

Замкнутый резервуар с нефтью ($\rho = 920 \text{ кг/см}^3$) разделен на две части плоской перегородкой, имеющей квадратное отверстие со стороной $a = 1 \text{ м}$. Давление над нефтью в левой части резервуара определяется показанием манометра М, а в правой – показанием вакуумметра V.



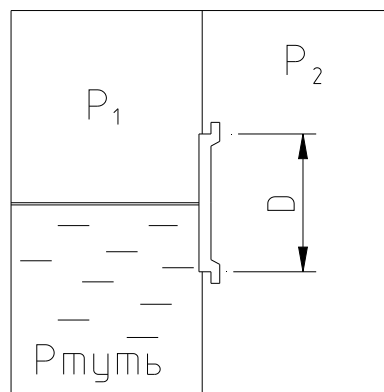
Уровни нефти указаны на рисунке. Найти значение и плечо x результирующей силы F давления на крышку, закрывающее отверстие в перегородке.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_M , КПа	15	20	22	28	33	36	25	27	30	40
P_V , КПа	10	13	15	20	25	29	19	21	24	29

№ 2.6

Отверстие в перегородке замкнутого сосуда закрыто круглой крышкой D.

Левая секция заполнена ртутью до центра крышки, над ртутью находится газ под абсолютным давлением P_1 . В правой секции находится газ под абсолютным давлением P_2 .



Определить:

- 1) Силу давления F на крышку при $P_2 = 0$;
- 2) При каком P_2 сила F будет равна нулю.

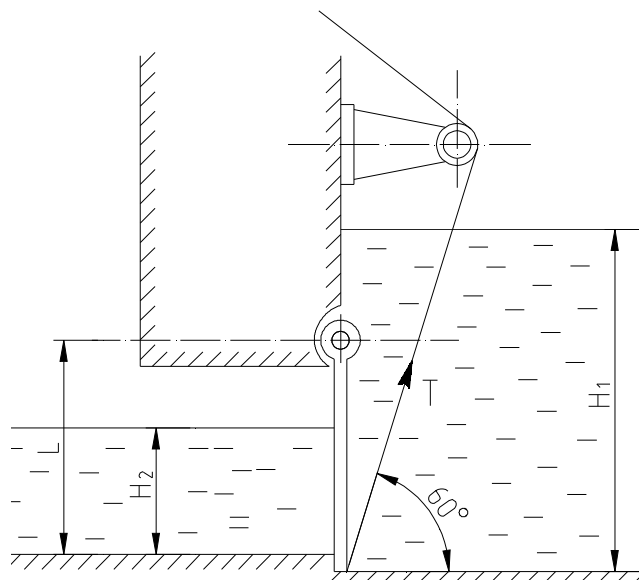
Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_1 , КПа	10	20	60	100	30	90	40	70	50	80
D , м	0,4	0,5	0,8	1,2	0,6	1,0	0,7	0,9	0,6	1,1

№ 2.7

Прямоугольный поворотный щит размером $L \times B$ закрывает выпускное отверстие плотины. Справа от щита уровень воды H_1 , слева H_2 .

Определить:

1) Начальную силу T натяжения тросов, необходимую для открытия щита, если пренебречь трением в цапфах.



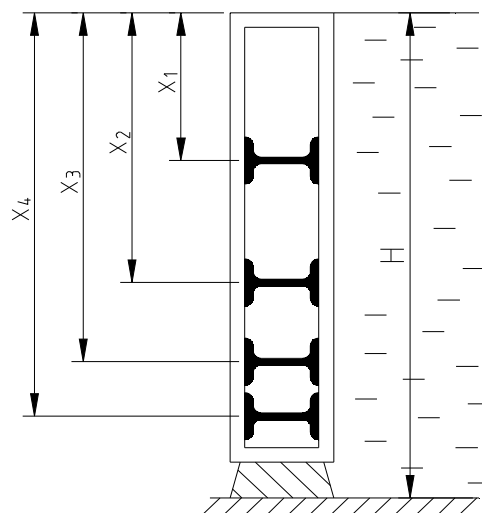
2) С какой силой F_A щит прижимается к порогу А в закрытом положении, если принять, что по боковым сторонам щита опоры отсутствуют.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_1 , м	5.0	5.5	6.0	8.0	7.0	6.5	10	9.5	7.5	9.0
H_2 , м	2.0	2.5	3.0	5.0	4.0	3.5	6.0	5.5	4.5	6.5
L , м	3.0	3.5	4.0	6.0	5.0	4.5	7.5	7.0	5.5	8.0
B , м	4.0	5.5	5.0	7.5	10	12,5	15	5.0	7.5	10

№ 2.8

Сила давления воды через обшивку прямоугольного щита высотой H и шириной B передается на четыре горизонтальные балки. На каких расстояниях x от свободной поверхности следует располагать, чтобы они были нагружены одинаково?

Найти силу давления F на весь щит.



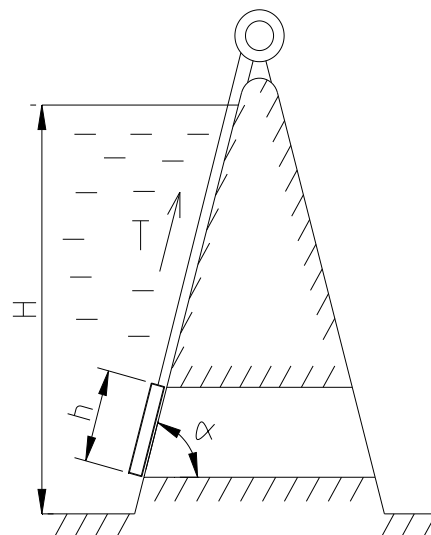
Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H , м	4.0	6.0	8.0	10	5.0	7.0	9.0	3.0	7.5	4.5
B , м	6.0	7.5	10.0	12	7.0	10.5	12.5	5.0	10.0	6.5

№ 2.9

Плоский затвор, закрывающий выпускное отверстие в плотине, может перемещаться по ее стене, наклоненной к горизонту под углом α , глубина воды H .

Размеры затвора: h , b , m – масса затвора.

Определить силу T , необходимую для начального смещения закрытого затвора вверх, если коэффициент трения скольжения затвора в направляющих $f=0.3$.

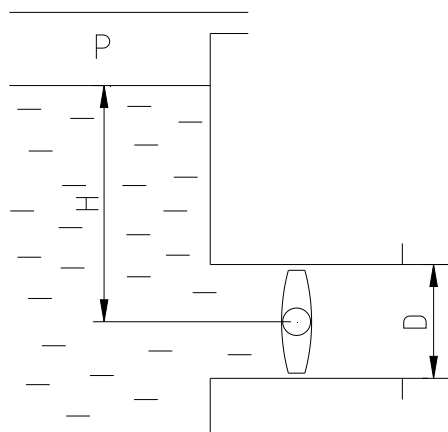


Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α , °	80	75	70	65	60	55	50	45	60	70
h , м	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	1,9	1,7	1,6	2,1	2,3
H , м	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	5,9	5,7
b , м	2,4	2,5	3,0	3,2	3,5	3,0	2,3	2,2	2,7	2,9
m , т	2,0	2,3	2,5	2,7	3,0	2,1	1,9	1,8	2,4	2,6

№ 2.10

Закрытый резервуар с жидкостью (плотность $\rho = 900 \text{ кг/м}^3$) имеет выпускную трубу диаметром D , перекрытую дисковым затвором. Избыточное давление в резервуаре p , глубина над центром дискового затвора H .

Найти силу давления F на клапан затвора и момент M этой силы относительно оси поворота затвора.



Каковы будут сила давления F' и момент M' , если $P=P_{\text{ат}}$.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p , КПа	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0
H , м	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
D , м	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,6	0,7	0,8	0,9

2. Основные законы гидродинамики

2.1 Уравнение Д. Бернулли с учетом потерь энергии

При установившемся, плавноизменяющемся движении потока реальной жидкости уравнение Бернулли для двух сечений будет иметь следующий вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + h_{w1-2}, \quad (\text{II} - 1)$$

где V_1 и V_2 – средние скорости движения в сечениях;

α – коэффициент кинетической энергии, принимаемой при турбулентном режиме движения равным 1,0 – 1,1, а при ламинарном $\alpha = 2$ (в круглой трубе);

h_{w1-2} – потери удельной энергии на преодоление сил сопротивления движению потока на участке между сечениями. Различают два вида потерь энергии: по длине и на преодоление местных сопротивлений. В общем случае

$$h_{w1-2} = h_l + \sum h_m, \quad (\text{II} - 2)$$

где h_l – потери энергии по длине;

$\sum h_m$ – сумма потерь энергии на преодоление местных сопротивлений.

Оба вида потерь энергии определяется по такой зависимости:

$$h_w = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (\text{II} - 3)$$

где ζ – коэффициент потерь

При учете потерь энергии по длине в трубопроводах, коэффициент потерь определяется так:

$$\zeta = \lambda \frac{l}{d}, \quad (\text{II} - 4)$$

где λ – гидравлический коэффициент трения (коэффициент Дарси);

l – длина участка трубопровода, на котором определяются потери энергии;

d – диаметр трубопровода.

При ламинарном режиме коэффициент трения зависит только от числа Рейнольдса и для труб круглого сечения определяется по формуле

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (\text{II} - 5)$$

При турбулентном режиме могут быть выделены три области гидравлических сопротивлений.

Область гладких русел для труб при числах Рейнольдса $2320 < \text{Re} < 10 \frac{d}{\Delta}$,

Где d – диаметр трубопровода;

Δ – эквивалентная шероховатость.

В этой области гидравлических сопротивлений коэффициент трения λ зависит только Рейнольдса и может быть определен по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}. \quad (\text{II} - 6)$$

Переходная область наблюдается при числах Рейнольдса

$$10 \frac{d}{\Delta} < Re < 560 \frac{d}{\Delta}.$$

В этом случае для определения коэффициента трения может быть рекомендована формула А.Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (\text{II- 7})$$

Как видно из зависимости (II – 7), в переходной области гидравлических сопротивлений коэффициент трения зависит и от числа Рейнольдса и от шероховатости трубы.

Квадратичная область гидравлических сопротивлений наступает при $Re > 560 \frac{d}{\Delta}$.

В этой области коэффициент трения не зависит от числа Рейнольдса и может быть определён по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}. \quad (\text{II- 13})$$

В этой же области гидравлических сопротивлений для стальных и чугунных труб, бывших в употреблении, может быть рекомендована формула Ф. А. Шевелёва

$$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,3}} \quad (\text{II- 14})$$

Величина эквивалентной шероховатости Δ зависит от материала, способа изготовления и соединения труб, от продолжительности эксплуатации.

Расход жидкости, протекающей по трубопроводу, вычисляется по формуле

$$Q = V_{расч} \Omega_{расч} \left[\frac{M^3}{сек} \right].$$

При расчёте гидравлически длинных трубопроводов, работающих в квадратичной области сопротивления, расход можно определить по формуле

$$Q = K \sqrt{J}, \quad (43)$$

где J – гидравлический уклон потока

$$J = \frac{hl}{l}; \quad (44)$$

K – модуль расхода

$$K = \Omega C \sqrt{R}, \quad (45)$$

R – гидравлический радиус ($R = \frac{d_e}{4}$).

Из формул (43) и (44) потеря напора h_l выражается зависимостью

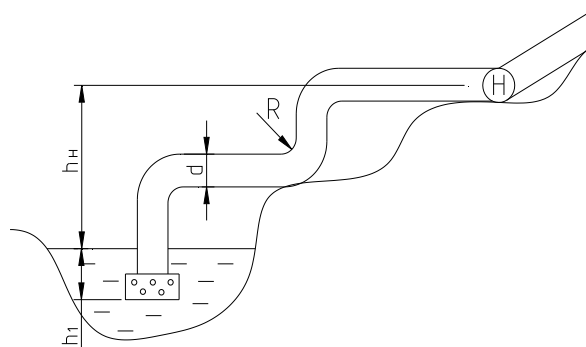
$$h_l = \frac{Q^2}{K^2} L. \quad (46)$$

Задачи:

№ 3.1

На берегу реки предполагается устроить насосную станцию для подачи воды из реки расходом Q . Высота оси насоса над уровнем воды в реке h_n .

Длина всасывающей трубы l ,



допустимая скорость v , трубы чугунные новые. Температура воды $t^\circ = 15^\circ\text{C}$,

$$r / R_{\text{зак}} = 0,45.$$

1. Определить диаметр всасывающей трубы.
2. Определить величину наибольшего вакуума.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h_n , м	4,0	5,0	3,0	2,0	4,5	3,5	2,5	5,5	6,0	6,5
h_1 , м	0,5	0,4	0,3	0,35	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,4
l , м	20	25	30	15	10	35	27	32	37	27
Q , м ³ /с	0,02	0,03	0,04	0,02	0,035	0,03	0,025	0,045	0,05	0,06
v , м/с	0,8	0,9	0,75	0,7	0,8	0,7	0,85	0,95	0,08	0,09

№ 3.2

Определить напор H , необходимый для пропуска расхода воды Q через систему труб.

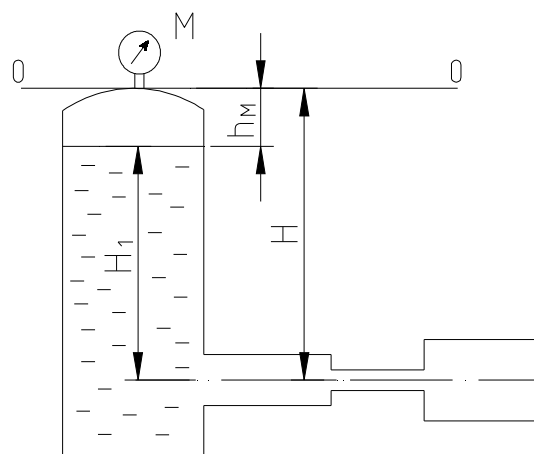
Диаметры труб d_1 , d_2 , d_3 . Длины участков

l_1 , l_2 , l_3 . Трубы чугунные бывшие в

эксплуатации. Температура воды $t^\circ = 10^\circ\text{C}$.

Манометрическое давление в закрытом

резервуаре $P_M = 30 \cdot 10^3 \text{ Па}$.



Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /с	0,05	0,1	0,15	0,06	0,12	0,08	0,14	0,09	0,07	0,04
d_1 , мм	40	80	125	50	90	75	100	75	50	32
d_2 , мм	32	50	90	40	75	40	75	50	25	25
d_3 , мм	50	100	175	75	125	80	125	90	75	40
l_1 , м	50	70	75	80	100	125	70	40	90	100
l_2 , м	40	80	45	60	90	100	80	70	80	50
l_3 , м	30	90	80	100	60	70	100	50	40	60

№ 3.3

Определит потери напора при подаче воды со скоростью v , при температуре $t^\circ = 10^\circ\text{C}$ по трубопроводу диаметром d , длиной l . Трубы стальные новые.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
v , м/с	0,13	0,18	0,10	0,22	0,15	0,2	0,25	0,3	0,28	0,26
d , мм	200	150	100	125	80	100	150	200	150	125
l , м	1500	1000	1200	1700	900	2000	2400	1800	1400	1600

№ 3.4

Определить потери давления при движении воды в стальном трубопроводе диаметром d , длиной L , который состоит из секций длиной $l=10\text{м}$, сваренных электродуговой сваркой с толщиной выступа стыка над внутренней поверхностью трубопровода $\delta=3\text{мм}$ и =

$$\left(\frac{14\delta}{d}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	100	150	125	175	90	80	100	75	50	125
L , м	200	250	180	300	160	150	220	130	100	180
Q , л/с	0,05	0,1	0,08	0,15	0,06	0,04	0,07	0,11	0,09	0,14
t , $^\circ\text{C}$	20	15	30	40	60	80	10	20	50	60

№ 3.5

По трубопроводу постоянного поперечного сечения перекачивается жидкость плотностью 950кг/м^3 . Избыточное давление в начале трубопровода равно P_M .

Пренебрегая потерями напора при движении жидкости, определить максимальный угол наклона трубопровода к горизонту, чтобы давление в конце трубопровода было равно атмосферному, если длина трубопровода l .

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_M , МПа	300	250	400	350	280	320	430	360	395	270
l , км	5	4,5	4	3	3,5	2,5	5,5	3,8	2,9	3,6

№ 3.6

Определить потери напора в водопроводе длиной l при подаче Q , если трубы чугунные, бывшие в эксплуатации с диаметром d . Температура воды $t^\circ = 10^\circ C$

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	500	700	550	450	600	400	650	750	800	600
Q ,	0,1	0,04	0,08	0,12	0,15	0,14	0,06	0,16	0,2	0,18
d , мм	250	200	175	150	125	200	100	250	225	200

№ 3.7

Определить расход воды Q в трубе диаметром d_1 , имеющей плавное сужение до диаметра d_2 , если показания пьезометров до сужения h_1 , в сужении h_2 .

Температура воды $t^\circ = 20^\circ C$.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_1 , мм	250	150	100	80	200	90	75	200	50	40
d_2 , мм	125	80	50	40	50	50	40	100	25	15
h_1 , см	50	120	150	90	105	100	65	110	60	55
h_2 , см	30	40	50	20	20	40	30	30	20	1

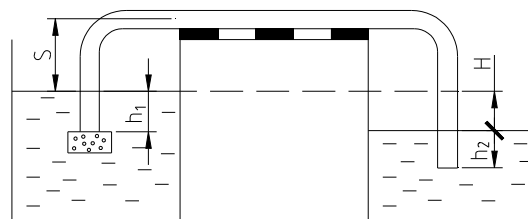
№ 3.8

Определить потерю напора в трубопроводе длиной l и диаметром D при перекачке нефти плотностью $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $\nu = 0,31 \text{ Ст}$. Расход нефти Q .

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	500	1000	750	930	600	800	640	870	900	550
D , мм	200	150	125	250	90	300	150	175	200	250
Q , л/с	25	20	15	30	14	40	25	30	50	60

№ 3.9

Определить какой расход можно перекачать сифоном из водоема А в водоем В, определить разность горизонтов в водоемах H , если длина сифона l , диаметр сифона d , скорость воды в сифоне v .



Температура воды $t^\circ = 15^\circ C$. Трубы чугунные, нормальные ($r/R_{зак} = 0,5$)

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l , м	75	90	100	120	60	40	50	80	130	140
d , мм	200	150	175	125	100	90	80	50	125	150
v , м/с	1,1	0,9	1,0	0,7	0,8	1,2	1,5	1,4	0,9	0,8

№ 3.10

Определить потери напора при подаче воды со скоростью v через трубку диаметром d и длиной l при температуре воды $t^\circ = 10^\circ C$.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V , м/с	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,35	0,45	0,5	0,7
d , мм	20	15	25	32	40	50	60	80	90	100
l , м	20	30	50	60	55	70	35	75	80	90

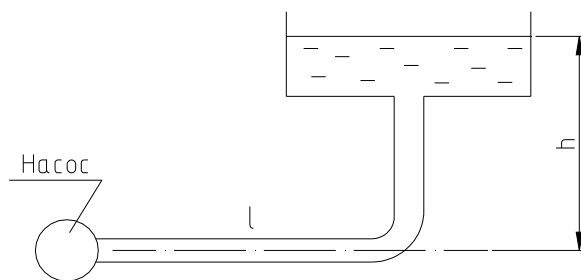
№ 3.11

По трубопроводу, соединяющему два резервуара, движется вода расходом Q . Трубы стальные новые. Длина трубы l , ее диаметр D . На трубе имеются местные сопротивления: вход в трубу, два поворота, открытая задвижка и выход из трубы. Приняв, что уровни в резервуарах неизменны, определить разность горизонтов воды в резервуарах.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , л/с	2,5	3,0	4,0	3,5	2,0	2,7	3,2	4,3	3,8	2,4
l , м	150	200	250	100	120	90	180	140	130	110
D , мм	50	75	80	60	40	32	60	50	200	40

№ 3.12

Определить манометрическое давление, которое должен создать насос, чтобы подать воду в количестве Q в водонапорный бак на высоту h по трубопроводу длиной l . Диаметр труб $d = 150 \text{ мм}$.



При расчете $\Delta_\rho = 1,35 \text{ мм}$. Температуру воды принять $t^\circ = 15^\circ \text{C}$, $\nu = 0,29$.

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0,015	0,02	0,01	0,025	0,03	0,18	0,022	0,033	0,035	0,04
$h, \text{ м}$	12	10	8	15	20	18	9	11	22	13
$l, \text{ м}$	50	75	40	70	85	65	35	55	90	60

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Лапшев Н.Н. Гидравлика: Учеб. для вузов.-М.: Академия, 2007.- 268 с.
2. Чугаев Р.Р. Гидравлика . Учеб.для вузов.- М.: БАСТЕТ, 2008. - 671 с.
3. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа. Учеб. для вузов.- СПб.: Издательство Политехн. ун-та, 2007. –544 с.

Дополнительная литература

4. Бутаев Д.А. и др. Сборник задач по машиностроительной гидравлике/Под ред. И.И.Куколевского и Л.Г.Подвиза. Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1981. - 484 с.
5. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. Под ред. Б.Б.Некрасова. Учебное пособие. -М.:Высш. шк., 1989. -245 с.

Список учебно-методических пособий, рекомендаций и указаний

Список учебных пособий

1. Калицун В.И. Гидравлика, водоснабжение канализация: Учеб. пособие для вузов.- 4-е изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 2004. –396 с.
2. Ухин Б.В. Гидравлика: Учебн. Пособие для вузов.- М.: Форум-Инфра-М, 2009.- 462с.

Контрольные задания

Шифр				Номера контрольных задач											
				первой				второй				третьей			
01	26	51	76	1.1.1	1.2.1	1.3.1	1.4.1	2.1.1	2.2.1	2.3.1	2.4.1	3.1.1	3.2.1	3.3.1	3.4.1.
02	27	52	77	1.5.1	1.6.1	1.7.1	1.8.1	2.5.1	2.6.1	2.7.1	2.8.1	3.5.1	3.6.1	3.7.1	3.8.1
03	28	53	78	1.9.1	1.10.1	1.1.2	1.2.2	2.9.1	2.10.1	2.1.2	2.2.2	3.9.1	3.10.1	3.11.1	3.12.1
04	29	54	79	1.3.2	1.4.2	1.5.2	1.6.2	2.3.2	2.4.2	2.5.2	2.6.2	3.1.2	3.2.2	3.3.2	3.4.2
05	30	55	80	1.7.2	1.8.2	1.9.2	1.10.2	2.7.2	2.8.2	2.9.2	2.10.2	3.5.2	3.6.2	3.7.2	3.8.2
06	31	56	81	1.1.3	1.2.3	1.3.3	1.4.3	2.1.3	2.2.3	2.3.3	2.4.3	3.9.2	3.10.2	3.11.2	3.12.2
07	32	57	82	1.5.3	1.6.3	1.7.3	1.8.3	2.5.3	2.6.3	2.7.3	2.8.3	3.1.3	3.2.3	3.3.3	3.4.3
08	33	58	83	1.9.3	1.10.3	1.1.4	1.2.4	2.9.3	2.10.3	2.1.4	2.2.4	3.5.3	3.6.3	3.7.3	3.8.3
09	34	59	84	1.3.4	1.4.4	1.5.4	1.6.4	2.3.4	2.4.4	2.5.4	2.6.4	3.9.3	3.10.3	3.11.3	3.12.3
10	35	60	85	1.7.4	1.8.4	1.9.4	1.10.4	2.7.4	2.8.4	2.9.4	2.10.4	3.1.4	3.2.4	3.3.4	3.4.4
11	36	61	86	1.1.5	1.2.5	1.3.5	1.4.5	2.1.5	2.2.5	2.3.5	2.4.5	3.5.4	3.6.4	3.7.4	3.8.4
12	37	62	87	1.5.5	1.6.5	1.7.5	1.8.5	2.5.5	2.6.5	2.7.5	2.8.5	3.9.4	3.10.4	3.11.4	3.12.4
13	38	63	88	1.9.5	1.10.5	1.1.6	1.2.6	2.9.5	2.10.5	2.1.6	2.2.6	3.1.5	3.2.5	3.3.5	3.4.5
14	39	64	89	1.3.6	1.4.6	1.5.6	1.6.6	2.3.6	2.4.6	2.5.6	2.6.6	3.5.5	3.6.5	3.7.5	3.8.5
15	40	65	90	1.7.6	1.8.6	1.9.6	1.10.6	2.7.6	2.8.6	2.9.6	2.10.6	3.9.5	3.10.5	3.11.5	3.12.5
16	41	66	91	1.1.7	1.2.7	1.3.7	1.4.7	2.1.7	2.2.7	2.3.7	2.4.7	3.1.6	3.2.6	3.3.6	3.4.6
17	42	67	92	1.5.7	1.6.7	1.7.7	1.8.7	2.5.7	2.6.7	2.7.7	2.8.7	3.5.6	3.6.6	3.7.6	3.8.6
18	43	68	93	1.9.7	1.10.7	1.1.8	1.2.8	2.9.7	2.10.7	2.1.8	2.2.8	3.9.6	3.10.6	3.11.6	3.12.6
19	44	69	94	1.3.8	1.4.8	1.5.8	1.6.8	2.3.8	2.4.8	2.5.8	2.6.8	3.1.7	3.2.7	3.3.7	3.4.7
20	45	70	95	1.7.8	1.8.8	1.9.8	1.10.8	2.7.8	2.8.8	2.9.8	2.10.8	3.5.7	3.6.7	3.7.7	3.8.7
21	46	71	96	1.1.9	1.2.9	1.3.9	1.4.9	2.1.9	2.2.9	2.3.9	2.4.9	3.9.7	3.10.7	3.11.7	3.12.7
22	47	72	97	1.5.9	1.6.9	1.7.9	1.8.9	2.5.9	2.6.9	2.7.9	2.8.9	3.1.8	3.2.8	3.3.8	3.4.8
23	48	73	98	1.9.9	1.10.9	1.1.10	1.2.10	2.9.9	2.10.9	2.1.10	2.2.10	3.5.8	3.6.8	3.7.8	3.8.8
24	49	74	99	1.3.10	1.4.10	1.5.10	1.6.10	2.3.10	2.4.10	2.5.10	2.6.10	3.9.8	3.10.8	3.11.8	3.12.8
25	50	75	00	1.7.10	1.8.10	1.9.10	1.10.10	2.7.10	2.8.10	2.9.10	2.10.10	3.1.9	3.2.9	3.3.9	3.4.9

Номера контрольных задач выбираются согласно полученному у преподавателя шифра, представленного в виде двухзначного числа. Контрольное задание состоит из 3-х задач. Варианты шифров и задач (первой, второй и третьей) представлены в четырех колонках. Номера контрольных заданий подбираются из колонок для первой, второй и третьей задач, соответствующих колонке заданного шифра (например: при расположении шифра в первой колонке, номера задач также берутся из первой колонки для первой, второй и третьей задач и т.д.).