

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**“ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I”  
(ФГБОУ ВО ПГУПС)**

Факультет «Промышленное и гражданское строительство»  
Кафедра «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика»

Направление 08.03.01 Строительство  
Профиль «Водоснабжение и водоотведение»  
Дисциплина «Гидравлика»  
Форма обучения - заочная

**КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1**

Выполнил(а) \_\_\_\_\_ (подпись, дата) \_\_\_\_\_ (ФИО)  
Группа ВВБ- \_\_\_\_\_  
Курс II  
Факультет: «Безотрывных форм обучения»

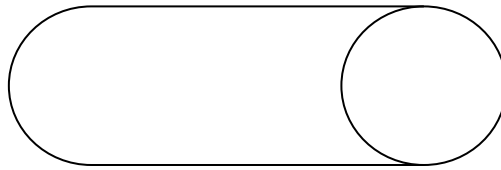
Преподаватель: \_\_\_\_\_ (подпись, дата) \_\_\_\_\_ (ФИО преподавателя)

Показатель оценивания	Критерии оценивания	Шкала оценивания	Итоговая оценка
Оформление в соответствии с требованиями	Оформление обязательно, дополнительные баллы за него не начисляются	0	
	Работа оформлена неряшливо, есть исправления	- 2	
Сроки защиты работы	Работа защищается в течение текущей сессии	0	
	Работа защищается вне сессии (при отсутствии уважительных причин)	- 2	
Защита контрольной работы	Задачи решены правильно, получены полные ответы на вопросы	20	
	Большая часть задач решена правильно, получены частично полные ответы на вопросы	12	
	Меньшая часть задач решена правильно, получены неполные ответы на большую часть вопросов	8	
	Задачи решены неправильно, получены неполные ответы на все вопросы или ответы не даны вовсе	0	
Итого баллов		Максимум 20	

Санкт-Петербург, 20 . . .

## Задача №1

**Дано:** Участок трубопровода заполнен водой при атмосферном давлении.



**Требуется:** определить повышение давления в трубопроводе при нагреве воды на  $\Delta t^\circ\text{C}$  и закрытых задвижках на концах участка.

### Варианты:

Исходные данные	номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$\Delta t^\circ\text{C}$	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11

### Указания к решению.

При решении задачи необходимо воспользоваться коэффициентами объёмного расширения и объёмного сжатия жидкости:

$$\beta_w = -\frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta p} \quad (1)$$

$$\beta_t = \frac{1}{W} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (2)$$

где  $\Delta W$  – изменение объёма  $W$ , соответствующее изменению давления  $\Delta p$  или температуры на величину  $\Delta t$ .

Изменение объёма при изменении давления:  $\Delta W = -\beta_w \cdot W \cdot \Delta p$  (3)

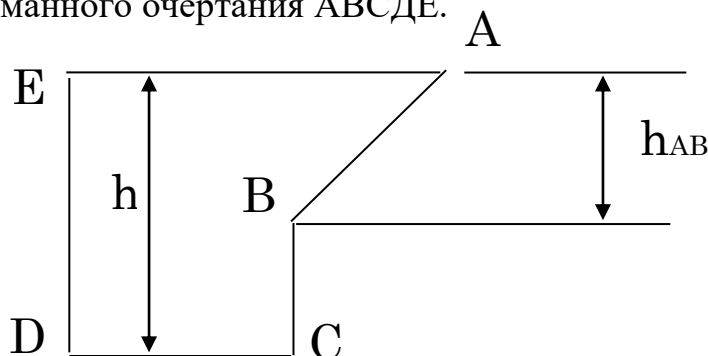
Изменение объёма при изменении температуры:  $\Delta W = \beta_t \cdot W \cdot \Delta t$  (4)

Приравнявая зависимости (3) и (4), находим искомую величину изменения давления  $\Delta p$  при изменении температуры на заданную величину  $\Delta t$ .

## Решение задачи №1

## Задача №2

**Дано:** Плотина ломанного очертания ABCDE.



**Требуется:** построить эпюру избыточного гидростатического давления на стенки плотины: АВ, ВС, СД, ДЕ.

### Варианты:

Исходные данные	номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h	2,25	3,5	4,1	0,5	1,75	4,5	2,8	0,9	3,1	1,5
h <sub>AB</sub>	0,75	2,5	3,6	0,25	0,75	1,5	1,8	0,4	0,8	1,1

### Указания к решению.

Эпюры гидростатического давления используются для графического изображения основного уравнения гидростатики и дают наглядное представление о распределении гидростатического давления по глубине.

Избыточное гидростатическое давление в точке покоящейся жидкости можно подсчитать по формуле:

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па}$$

Где  $p$  – избыточное давление в данной точке покоящейся жидкости, Па

$p_0$  – избыточное давление на свободной поверхности жидкости, Па

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,82 \text{ м/с}^2$

$h$  – заглубление (по вертикали) данной рассматриваемой точки под свободной поверхностью жидкости, м

Для определения избыточного гидростатического давления в открытом резервуаре уравнение выглядит следующим образом:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Таким образом, видно, что гидростатическое давление прямо пропорционально глубине в первой степени, то есть зависимость линейная.

Известно, что для графического построения прямой достаточно знать координаты двух ее точек, то есть для построения простейшей эпюры гидростатического давления достаточно знать величину давления в двух крайних точках.

Для построения эпюры избыточного гидростатического давление жидкости на вертикальную стенку АВ открытого резервуара необходимо найти давление в точке А и в точке В.

Так как заглубление точки А под свободной поверхностью равно  $h_A=0\text{м}$ , то избыточное давление в этой точке будет равно:

$$p_A = \rho \cdot g \cdot h_A = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0 = 0 \text{Па}$$

То есть, эпюра избыточного гидростатического давления начинается в этой точке.

Избыточное давление в точке В на глубине  $h_{AB}$  будет равно:

$$p_{B,u} = \rho \cdot g \cdot h_{AB}$$

Далее, необходимо выбрать масштаб для построения эпюры. Например, в 1 см 1000 Па (1 кПа) или в 1 см 10000 Па (10 кПа) или другой.

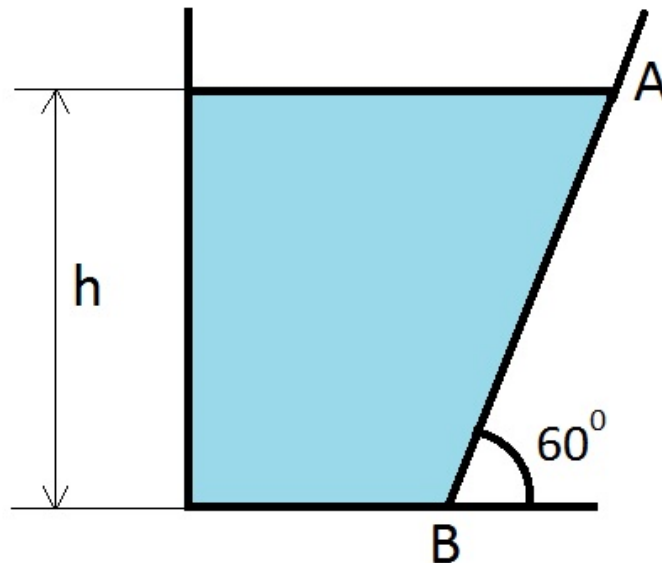
Для построения эпюры на стенку АВ, необходимо в точке А отложить величину гидростатического давления  $p_A$  и в точке В величину  $p_B$  в выбранном масштабе по нормали (перпендикулярно со стороны жидкости) к стенке АВ (так как гидростатическое давление всегда направлено по нормали к поверхности, на которую оно действует). Соединив концы векторов в точках А и В прямой линией, получим треугольную эпюру избыточного гидростатического давления, действующего на стенку АВ. Далее, наносится штриховка на эпюру в знак того, что гидростатическое давление во всех точках стенки направлено по нормали к ней.

Эпюры гидростатического давления на стенки ВС, СД и ДЕ строятся аналогично.

## Решение задачи №2

### Задача №3

**Дано:** Отстойник с наклонной стенкой АВ, находящейся под углом 60 градусов к горизонту. Глубина воды в отстойнике h, м.



**Требуется:** определить силу давления на стенку АВ шириной b, м и точку её приложения. Показать силу на рисунке.

#### Варианты:

Исходные данные	номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
h	2,2	1,8	2,4	4,0	2,5	0,8	1,4	2,0	3,4	2
b	1,5	1,0	0,5	0,25	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	0,4

#### Указания к решению.

Любая сила характеризуется следующими параметрами: величина, направление и точка приложения.

1) Величина силы гидростатического давления на плоскую фигуру произвольной формы, N, равна произведению давления в центре тяжести плоской фигуры на площадь плоской фигуры:

$$P = p_{цт} \cdot \omega$$

$p_{цт}$  – гидростатическое давление в центре тяжести плоской поверхности, Па, находится по формуле:

$$p_{цт} = \rho \cdot g \cdot h_c$$

$\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,82 \text{ м/с}^2$ .

$h_c$  – глубина расположения центра тяжести плоской фигуры, м. Для данной задачи видно, что

$$h_c = \frac{h}{2}$$

$\omega$  – площадь плоской поверхности, м<sup>2</sup>.

$$\omega_{\text{прямоуг}} = b \times h_{AB}$$

$b$  – ширина стенки, м.

$h_{AB}$  – высота стенки АВ, м. Для данной задачи

$$h_{AB} = \frac{h}{\sin 60^\circ}$$

2) Направление силы ГСД  $P$  на плоскую фигуру всегда находится по внутренней нормали к плоской фигуре в точке приложения силы, то есть в центре давления ц.д. (точка D)

3) Точка приложения силы  $P$  (ц.д.) в случае наклонной стенки находится ниже центра тяжести ц.т. на величину эксцентриситета.

$$e = \frac{I_0}{\omega \cdot y_c}$$

$I_0$  – центральный момент инерции плоской фигуры, м<sup>4</sup>.

Для прямоугольника

$$I_0 = \frac{b \cdot (h_{AB})^3}{12}$$

$z_c$  – расстояние от центра тяжести плоской фигуры до свободной поверхности жидкости, взятое в плоскости наклонной фигуры.

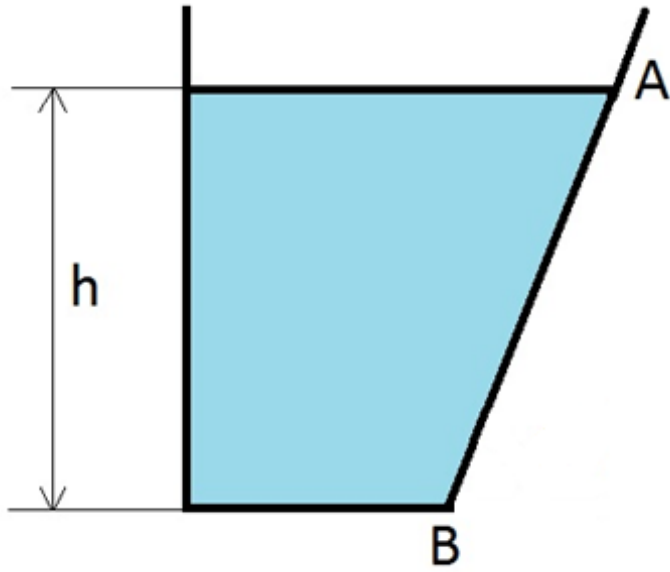
$$y_c = \frac{h_c}{\sin 60^\circ}$$

$\omega$  – площадь плоской поверхности, м<sup>2</sup>.

Координата центра давления  $y_{ц.д.}$ , м, находится по формуле:

$$y_{ц.д.} = y_{ц.т.} + e$$

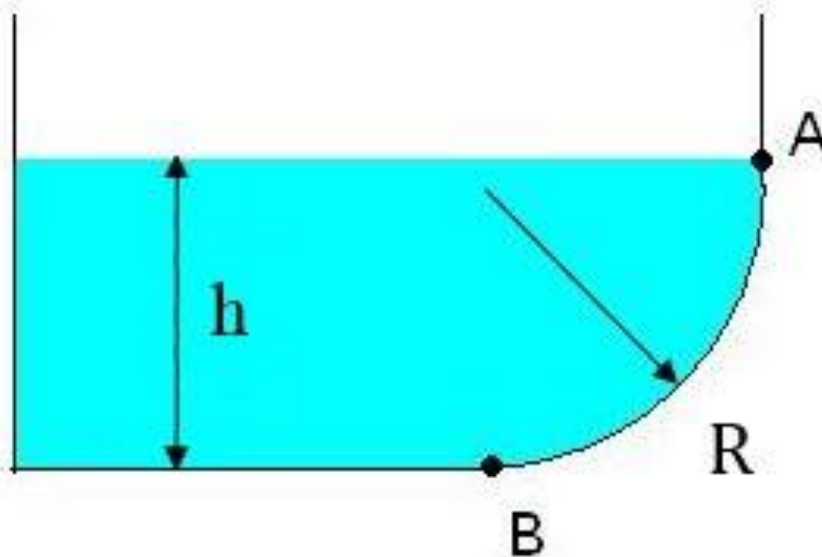
## Решение задачи №3





## Задача №4

**Дано:** Отстойник с лотком АВ, представляющем собой в поперечном сечении  $\frac{1}{4}$  круга радиусом R. Глубина воды в отстойнике  $h=R$ , м.



### **Требуется:**

**Определить** силу гидростатического давления воды, действующую на лоток АВ шириной  $b$ , м; точку её приложения; угол наклона к горизонту линии действия этой силы. **Показать** силу на рисунке, показать тело давления.

### **Варианты:**

Исходные данные	номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
R	0,5	1,0	1,5	2,2	2,5	2,7	3,0	3,5	4,4	5,0
b	2,0	1,5	0,6	0,8	2,0	1,0	0,5	2,6	10	1,0

### **Указания к решению.**

Сила, действующая на криволинейную цилиндрическую поверхность,  $H$ , будет определяться по формуле:

$$\vec{P} = \vec{P}_x + \vec{P}_z$$

Так как любая сила характеризуется следующими параметрами: величина, направление и точка приложения, то соответственно, величина, направление и точка приложения силы гидростатического давления будет определяться её составляющими: горизонтальной составляющей  $P_x$  и вертикальной составляющей  $P_z$ .

а) определение горизонтальной составляющей  $P_x$ :

Величина горизонтальной составляющей  $P_x$ , Н, определяется по формуле:

$$P_x = p_{ц.т.} \cdot \omega_{пр.},$$

где  $p_{ц.т.}$  – гидростатическое давление в центре тяжести проекции плоской поверхности на вертикальную плоскость, Па, находится по формуле:

$$p_{ц.т.} = \rho \cdot g \cdot h_c$$

$\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,82 \text{ м/с}^2$ ;  $h_c$  – глубина расположения центра тяжести плоской фигуры, м. Для данной задачи:  $h_c = \frac{h}{2}$

$\omega_{пр.}$  – площадь проекции криволинейной поверхности,  $\text{м}^2$ , для данной задачи:

$$\omega_{пр.} = b \times R,$$

$b$  – ширина стенки, м.

Сила  $P_x$  всегда направлена по горизонтали со стороны жидкости к поверхности. В данной задаче стенка расположена справа от воды, следовательно, сила  $P_x$  направлена слева направо.

Точка приложения  $P_x$  находится ниже центра тяжести на величину эксцентриситета, м:

$$e = \frac{I_0}{\omega_{пр.} \cdot y_c}$$

$\omega_{пр.}$  – площадь проекции криволинейной поверхности,  $\text{м}^2$ , для данной задачи:  $\omega_{пр.} = b \times R$

$I_0$  – центральный момент инерции плоской фигуры,  $\text{м}^4$

$$I_0 = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$z_c$  – расстояние от центра тяжести проекции до свободной поверхности жидкости, м:

$$y_c = \frac{h}{2}$$

Центр давления расположен на расстоянии  $y_{ц.д.}$  от поверхности жидкости, м:  $y_{ц.д.} = y_c + e$

б) определение вертикальной составляющей  $P_z$ :

Величина вертикальной составляющей  $P_z$ , Н, определяется по формуле:

$$P_z = \gamma \cdot W_{ТД}, \text{ где}$$

$\gamma$  - вес единицы объёма жидкости, Н/м<sup>3</sup>:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,82 \text{ м/с}^2$

Границами поперечного сечения тела давления на чертежах являются:

1. Криволинейная стенка АВ
2. Вертикальные плоскости, проведенные через крайние точки (А и В) криволинейной стенки.
3. Свободная поверхность жидкости

Таким образом, объём тела давления  $W_{ТД}$ , м<sup>3</sup>, можно подсчитать по формуле:

$$W_{ТД} = \frac{1}{4} \cdot \omega_{\text{круга}} \cdot b = \frac{1}{4} \cdot \pi R^2 \cdot b$$

Если тело давления располагается вне жидкости, удерживаемой стенкой, оно считается отрицательным. При этом вертикальная составляющая  $P_z$  силы гидростатического давления  $P$  на криволинейную стенку направлена вверх. Если тело давления располагается внутри жидкости, оно считается положительным. При этом  $P_z$  направлена вниз.

В данной задаче тело давления располагается внутри жидкости, следовательно, сила  $P_z$  направлена вертикально вниз.

в) определение результирующей силы  $P$ :

величина

Для цилиндрических криволинейных поверхностей величина силы гидростатического давления  $P$ ,  $H$ , равна:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$$

направление

Направление результирующей силы определяется сложением векторов вертикальной и горизонтальной составляющих. Всего возможно 4 варианта:

	↓ $P_z$	↑ $P_z$
→ $P_x$		
← $P_x$		

Направление действия силы ГСД на криволинейную стенку также определяется ее углом наклона к горизонту. Этот угол  $\alpha$  можно вычислить с помощью тригонометрической функции:

$$\frac{P_z}{P} = \sin \alpha \Rightarrow \alpha = \arcsin \frac{P_z}{P}$$

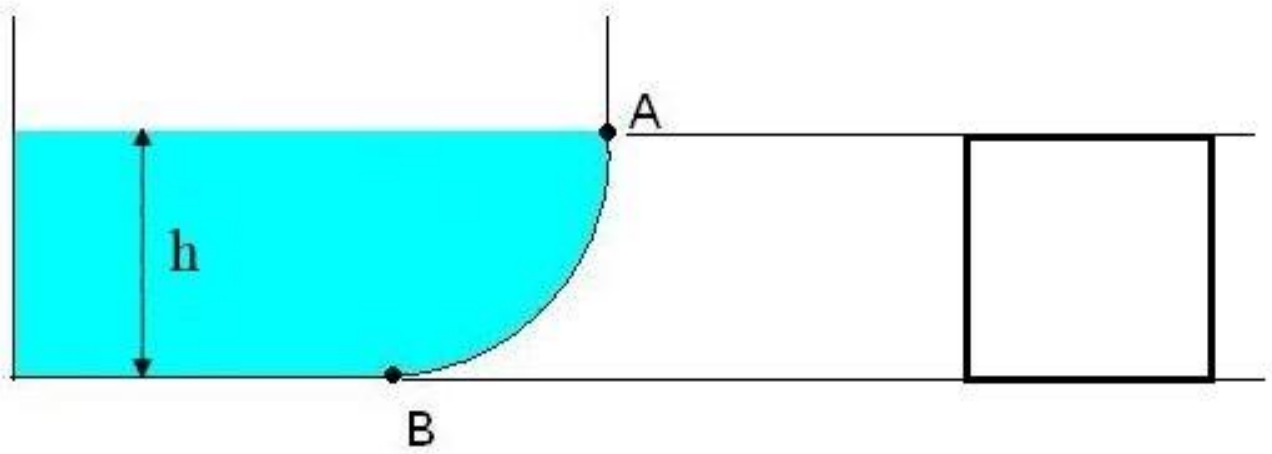
Необходимо помнить, что гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к поверхности, на которую оно действует.

точка приложения

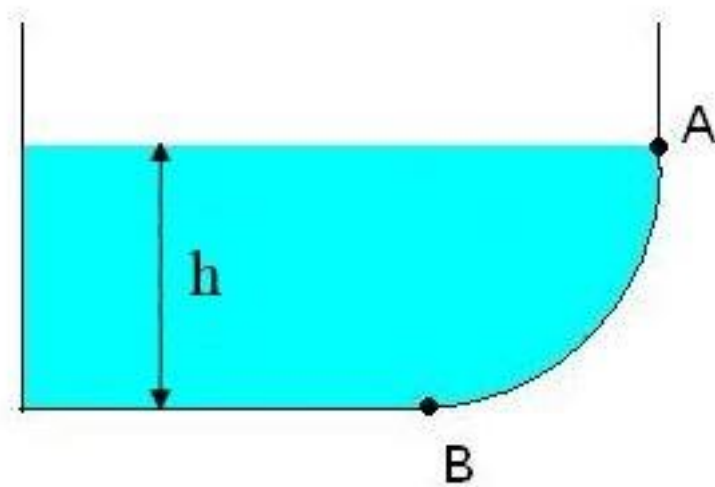
Определяется пересечением линии действия результирующей силы с криволинейной поверхностью и обозначается  $K$ .

## Решение задачи №4

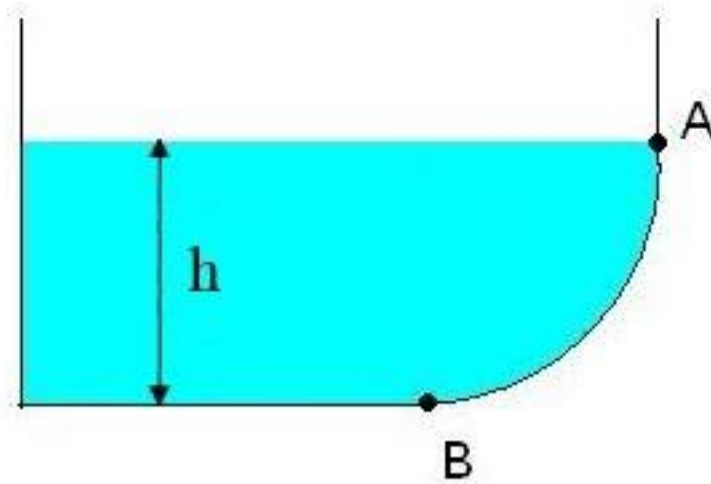
а) определение горизонтальной составляющей  $P_x$ :



б) определение вертикальной составляющей  $P_z$ :



**В)** определение силы гидростатического давления  $P$ , действующей на криволинейную цилиндрическую поверхность АВ:



## ЗАДАЧА №5

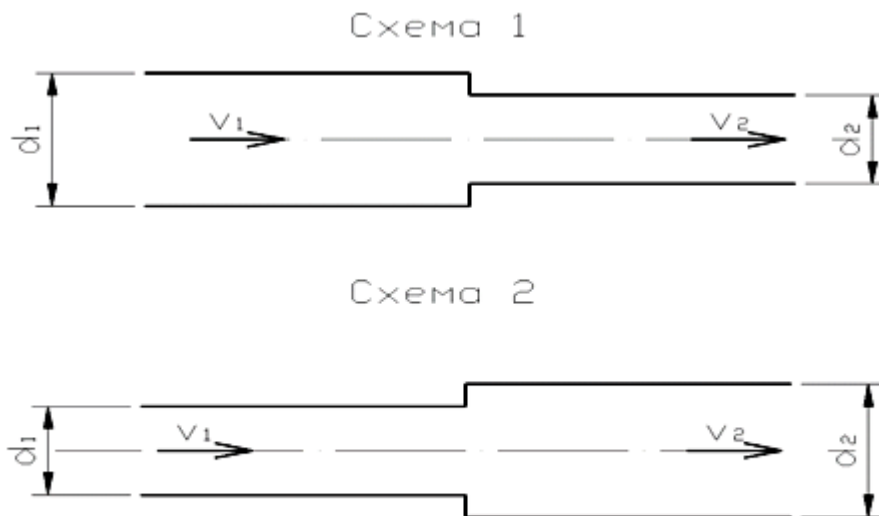
### Дано:

Изменение диаметров трубопровода: резкое сужение трубопровода (схема 1) и резкое расширение трубопровода (схема 2). Давление в подводящем трубопроводе составляет 100 кПа.

### Определить:

Для заданных схем определить неизвестную скорость  $V_2$ .

Для приведённых схем найти давление  $p_2$ .



Вар.	№ сх.	$v_1$ , м/с	$d_1$ , мм	$d_2$ , мм
1	1	1,0	300	250
	2	1,0	300	350
2	1	2,0	100	75
	2	2,0	100	125
3	1	1,5	400	300
	2	1,5	400	500
4	1	0,7	125	100
	2	0,7	125	150
5	1	0,5	500	450
	2	0,5	500	600
6	1	2,1	150	100
	2	2,1	150	200
7	1	0,9	50	40
	2	0,9	50	60
8	1	1,25	200	175
	2	1,25	200	225
9	1	1,8	175	150
	2	1,8	175	225
10	1	2,5	250	200
	2	2,5	250	275



**Указания к решению.**

Для определения скорости движения жидкости при изменении диаметра трубопровода применяется уравнение неразрывности потока:

$$V_1 \cdot \omega_1 = V_2 \cdot \omega_2 = \text{const}$$

Где  $\omega$  – площадь живого сечения трубы, для круглоцилиндрических труб

$$\omega = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2$$

Для определения давления на выходе из местного сопротивления применим уравнение Даниила Бернулли:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w$$

$z$  – высота расположения рассматриваемой точки в потоке жидкости над некоторой горизонтальной плоскостью, которая называется плоскостью сравнения, обозначается О-О.

Примем за плоскость сравнения ось трубопровода, тогда  $Z_1 = Z_2 = 0$

$p$  – гидродинамическое давление в рассматриваемой точке;

$p_1$  – задано;  $p_2$  – необходимо найти.

$\gamma$  – вес единицы объема жидкости;

для воды  $\gamma = \rho \cdot g = 1000 \text{ кг/м}^3 \times 9,82 \text{ м/с}^2 = 9820 \text{ Н/м}^3$

$\alpha$  – корректив кинетической энергии, учитывающий неравномерность распределения скоростей в рассматриваемом живом сечении потока; для данной задачи можно принять  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1,05$

$V$  – средняя скорость движения жидкости в рассматриваемом живом сечении;  $V_1$ , м/с – дано в задании;  $V_2$ , м/с – находится уз уравнения неразрывности потока.

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,82 \text{ м/с}^2$ .

Для определения потери напора при резком расширении применительно к круглым трубам применяется формула Борда:

$$h_{\text{р.р.}} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

## Решение задачи №5

Схема 1

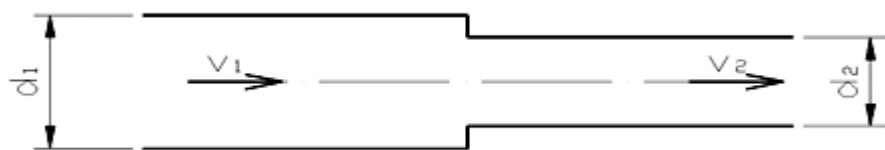


Схема 2

