



# Гидравлика

---

1

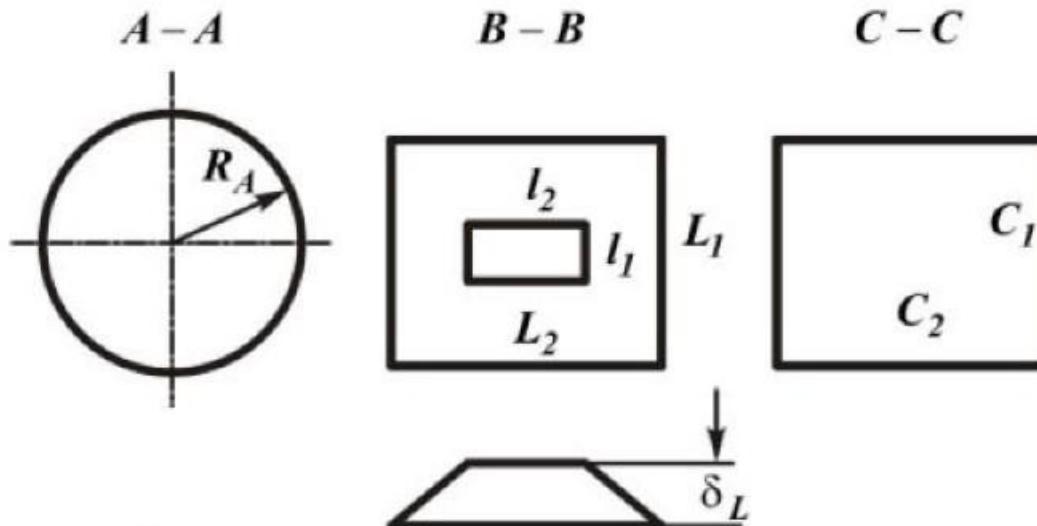
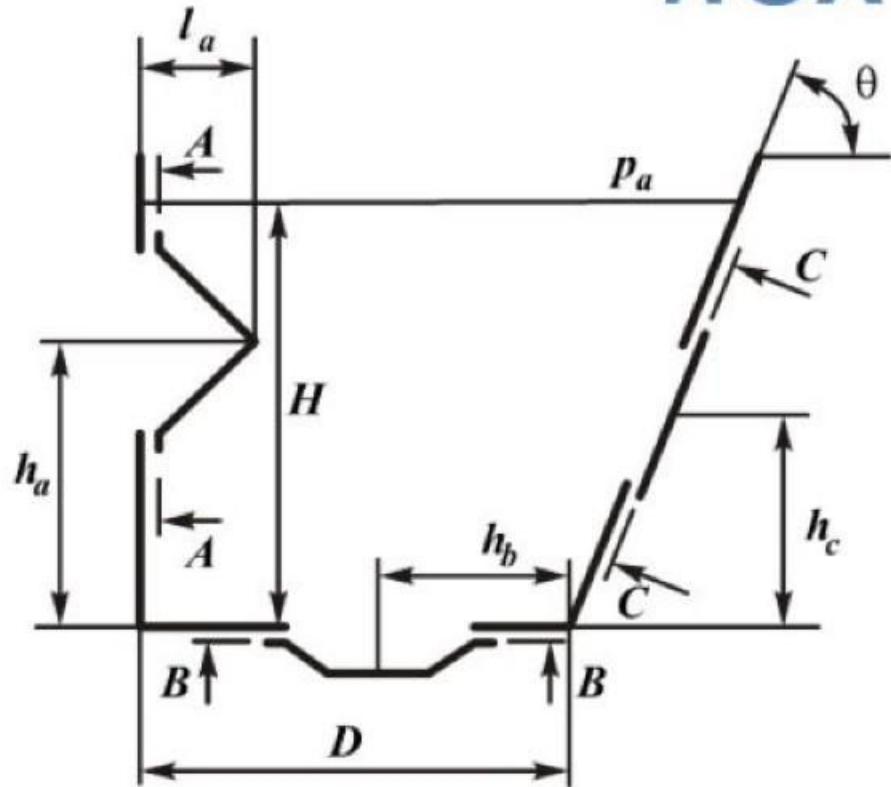
## Расчетно-графическая работа

Расчет гидростатических  
параметров бака



# Гидростатика

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



$H$	$D$	$\theta$	$h_a$	$l_a$	$h_b$	$h_c$	$R_A$	$C_1$	$C_2$	$L_1$	$L_2$	$l_1$	$l_2$	$\delta_L$
6 м	6	45°	$H/2$	$H/2$	$H/3$	$H/3$	$H/2$	$H/4$	$H/3$	$H/4$	$H/3$	$H/6$	$H/4$	$H/4$
6	6	45°	3	3	2	2	3	1,5	2	1,5	2	1	1,5	1,5



# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Определяем избыточное гидростатическое давление в точках 1...10

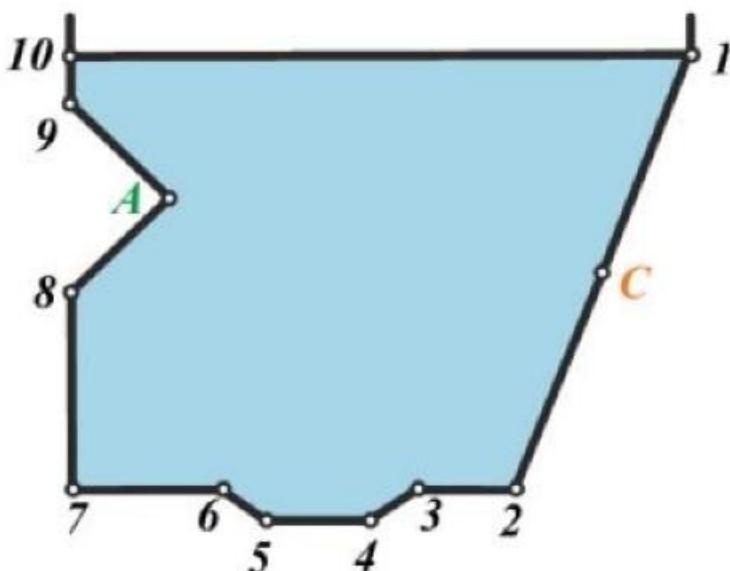
$$p_i = \rho g h_i .$$

Избыточное давление в точках 1 и 10 равно нулю.

$$p_1 = p_{10} = \rho g h = 1000 \cdot 9,81 \cdot 0 = 0 \text{ Па} .$$

Поскольку точки 2, 3, 6 и 7 имеют одинаковую глубину погружения равную  $H$ , то и избыточное давление в них одинаково:

$$p_2 = p_3 = p_6 = p_7 = \rho g H = 1000 \cdot 9,81 \cdot 6 = 58\,860 \text{ Па} .$$



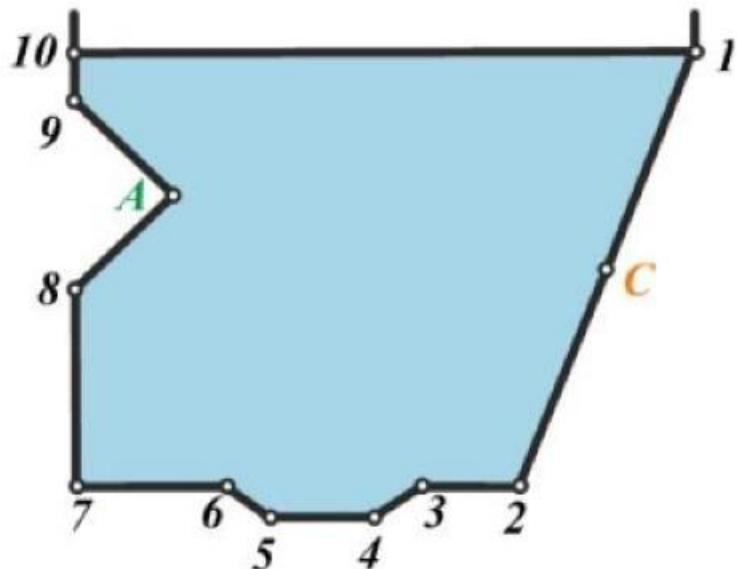


# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Однаковую глубину погружения имеют точки 5 и 4 , равную  $H + \delta_L$  , поэтому

$$p_4 = p_5 = \rho g (H + \delta_L) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 + 1,5) = 73575 \text{ Па} .$$





# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Избыточное давление  
в центре тяжести элемента *A*

$$p_{\text{изб}_A} = \rho g (H - h_a) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 - 3) = 29430 \text{ Па.}$$

в точке *8*

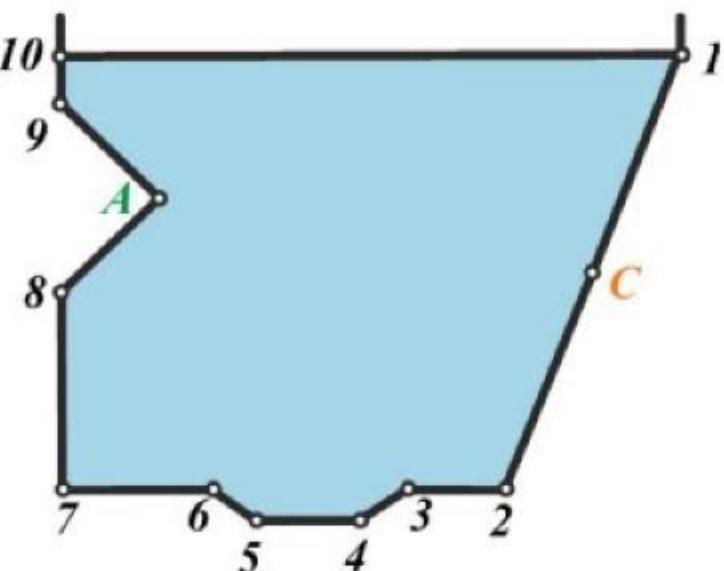
$$p_8 = \rho g (H - h_a + R_A) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 - 3 + 2) = 49050 \text{ Па.}$$

в точке *9*

$$p_9 = \rho g (H - h_a - R_A) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 - 3 - 2) = 9810 \text{ Па.}$$

в центре тяжести элемента *C*

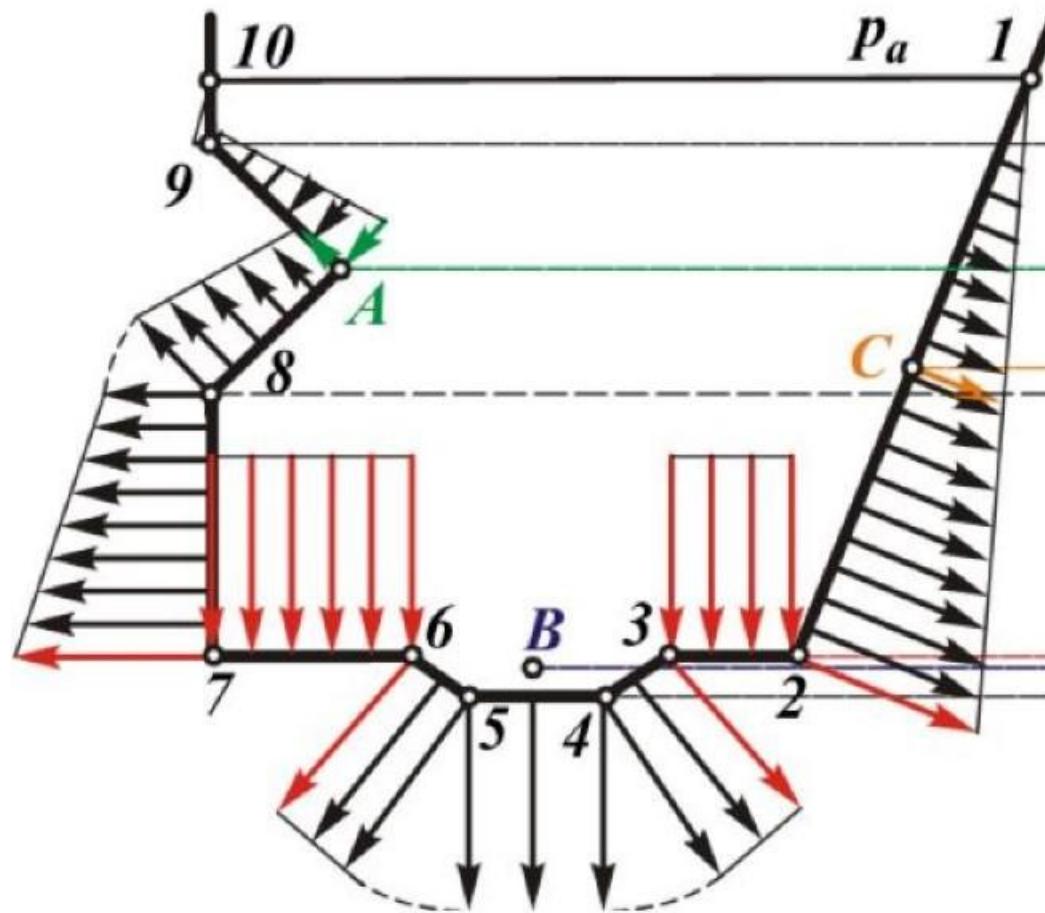
$$p_{\text{изб}_C} = \rho g (H - h_c) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 - 2) = 39240 \text{ Па.}$$





# Гидростатика

## ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО СТЕНКАМ РЕЗЕРВУАРА



$$p_9 = \rho g(H - h_a - R_A)$$

$$p_{избA} = \rho g(H - h_a)$$

$$p_{избC} = \rho g(H - h_c)$$

$$p_8 = \rho g(H - h_a + R_A)$$

$$p_2 = p_3 = p_6 = p_7 = \rho gH$$

$$p_{избB} = \rho g\left(H + (\delta_L - y_{имB})\right)$$

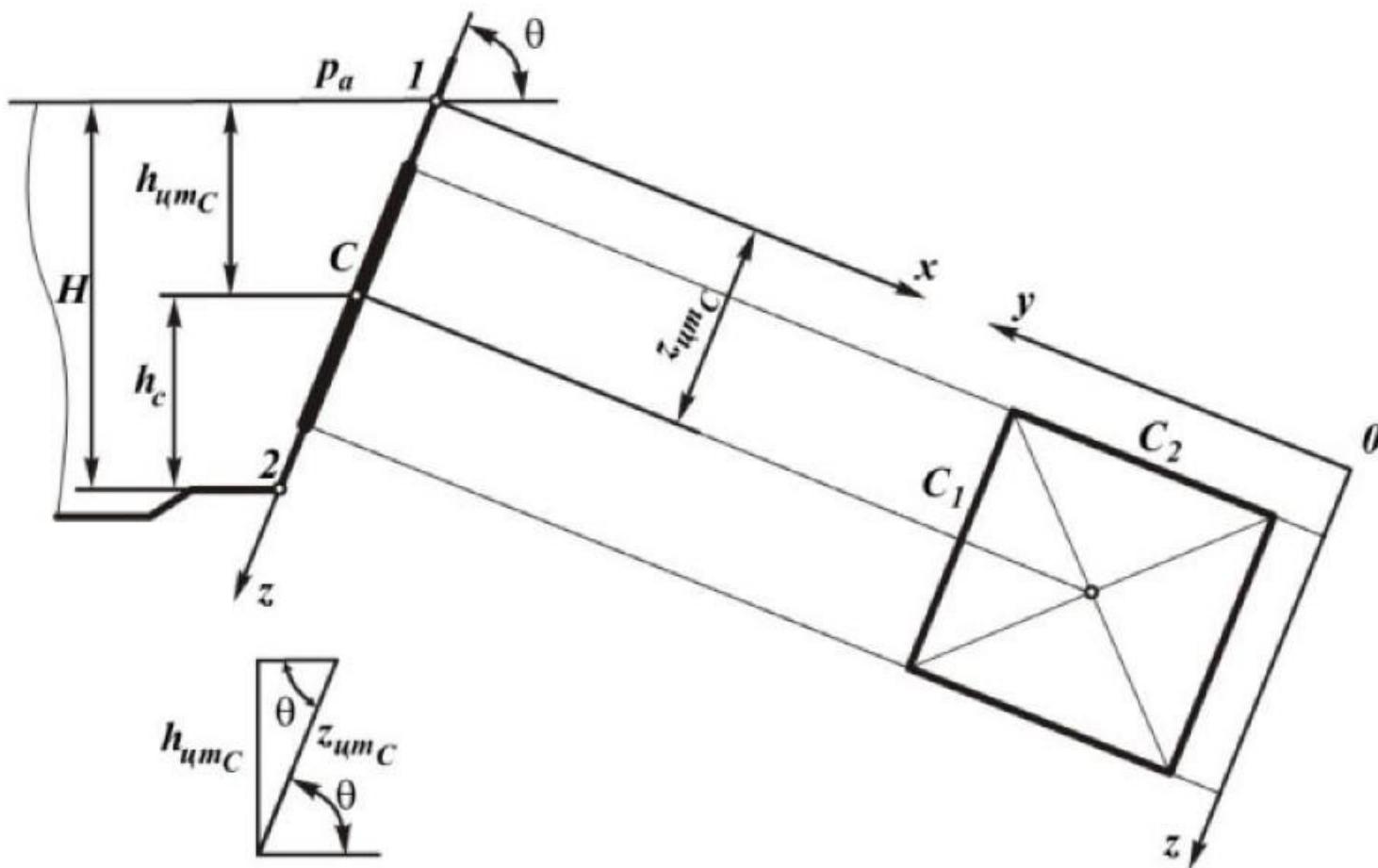
$$p_4 = p_5 = \rho g(H + \delta_L)$$



# Гидростатика

7

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С





# Гидростатика

8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С

Сила избыточного давления

$$P_{\text{изб}_C} = p_{\text{изб}_C} S_C = \rho g h_{\text{цм}_C} S_C$$

приложена в центре давления, имеющем координату

$$z_{D_C} = z_{\text{цм}_C} + \frac{J_{y\theta}}{z_{\text{цм}_C} S_C},$$

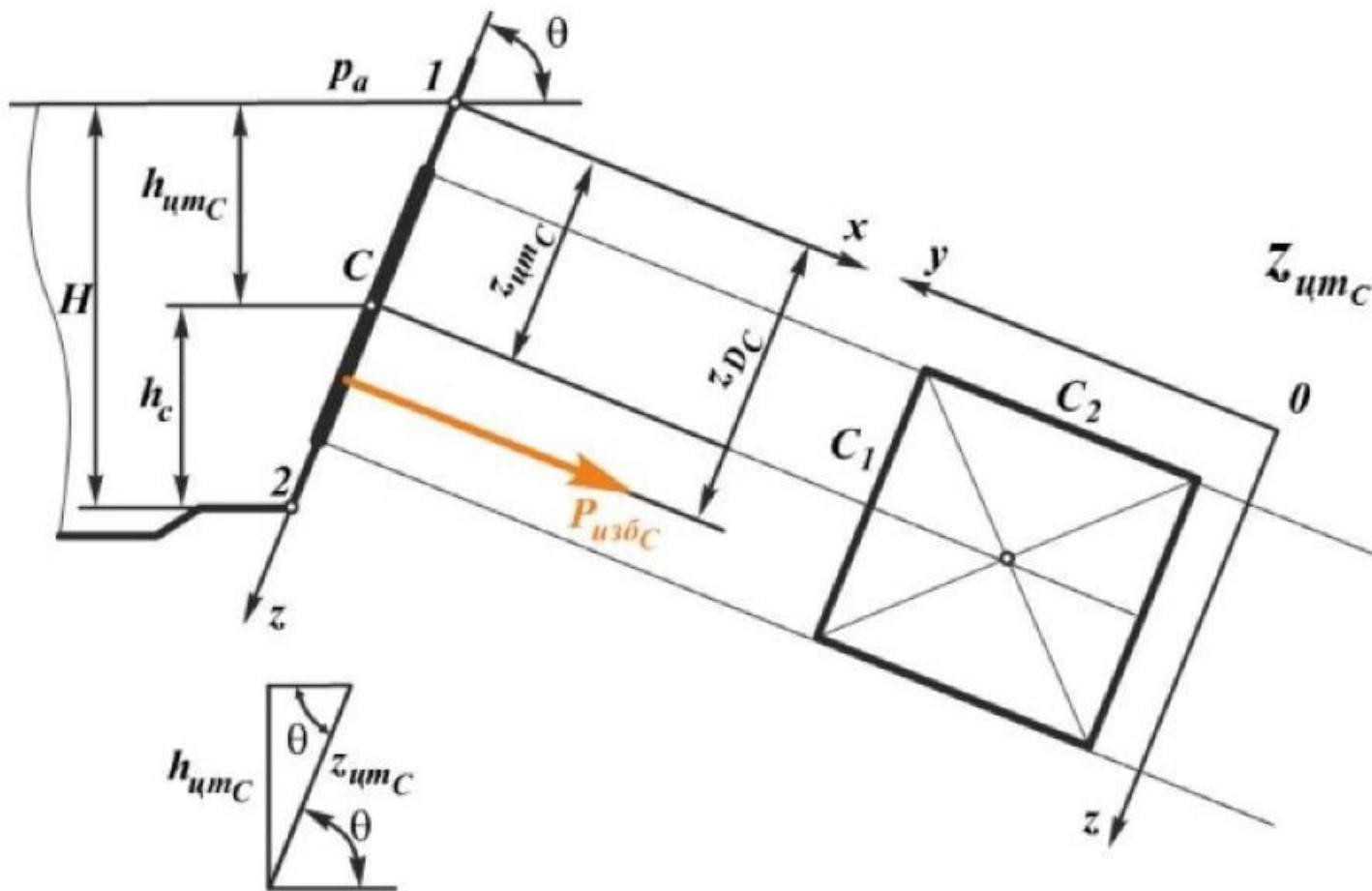
где  $J_{y\theta}$  – осевой момент инерции относительно центральной оси. Для прямоугольника

$$J_{y\theta} = \frac{C_2 C_1^3}{12}.$$



# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С



$$h_{cm} = (H - h_c) = 6 - 2 = 4 \text{ м}$$

$$z_{cm} = \frac{h_{cm}}{\sin \theta} = \frac{4}{\sin 45^\circ} = 4 \cdot \sqrt{2} = 5,66 \text{ м}$$



# Гидростатика

10

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С

$$P_{изб_C} = p_{изб_C} S_C = 39\ 240 \cdot 1,5 \cdot 2 = 117\ 720 \text{ H}$$

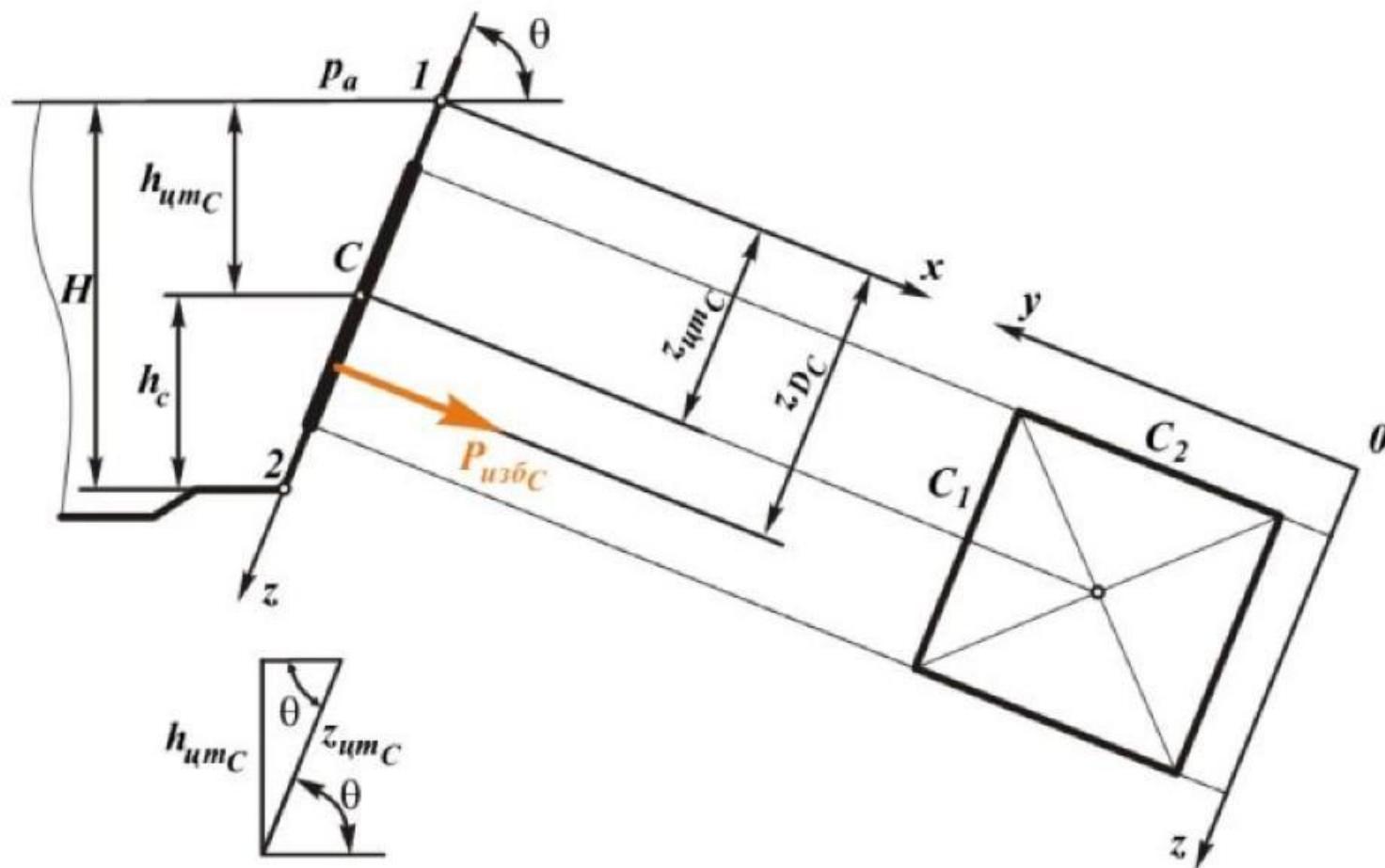
$$\begin{aligned} z_{D_C} &= z_{um_C} + \frac{J_{y\theta}}{z_{um_C} S_C} = z_{um_C} + \frac{C_2 C_1^3}{12 z_{um_C} C_2 C_1} = z_{um_C} + \frac{C_1^2}{12 z_{um_C}} = \\ &= 5,66 + \frac{(1,5)^2}{12 \cdot 2,828} = 5,66 + 0,066 = 5,726 \text{ м} \end{aligned}$$



# Гидростатика

11

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С





# Гидростатика

---

12

## ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

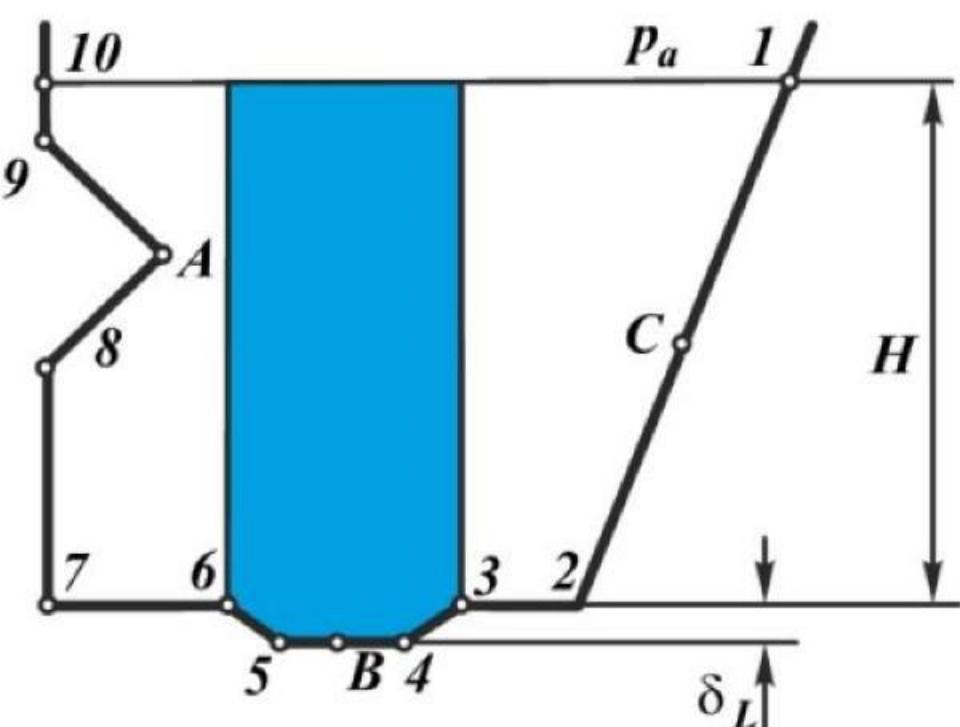
Сила суммарного давления жидкости на цилиндрическую поверхность может быть выражена геометрической суммой горизонтальной  $P_y$  и

вертикальной  $P_z$  составляющих:  $P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2}$ .



# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В



Горизонтальная сила  $P_y$  определяется также как и для плоской стенки.

Поверхность «6543» состоит из двух частей:

- «65B», на которую жидкость действует справа и
- «B43», на которую жидкость действует слева.

Координаты центров тяжести обеих вертикальных проекций поверхностей и их площади равны.

Суммарная горизонтальная составляющая силы давления жидкости на поверхность «6543» равна нулю, т.е.  $P_y = 0$ .



# Гидростатика

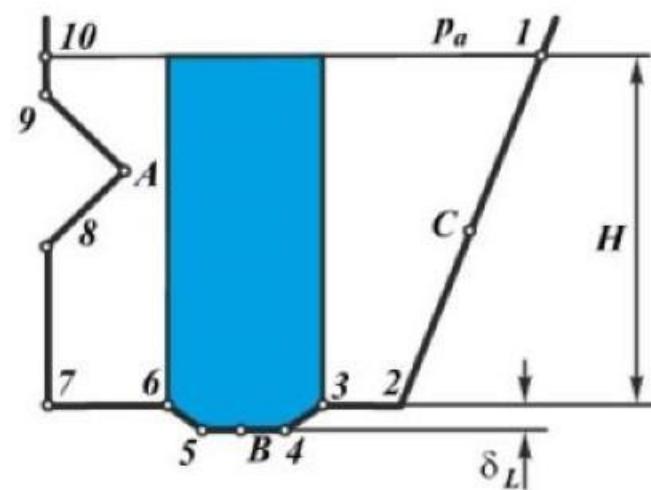
14

## ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ НА КРИВОЛИНЕЙНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Вертикальная составляющая равна весу жидкости в объеме тела давления:

$$P_z = \rho g W.$$

Этот объем называется **объемом тела давления**, а жидкость, заключенная в нем, называется телом давления.





# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

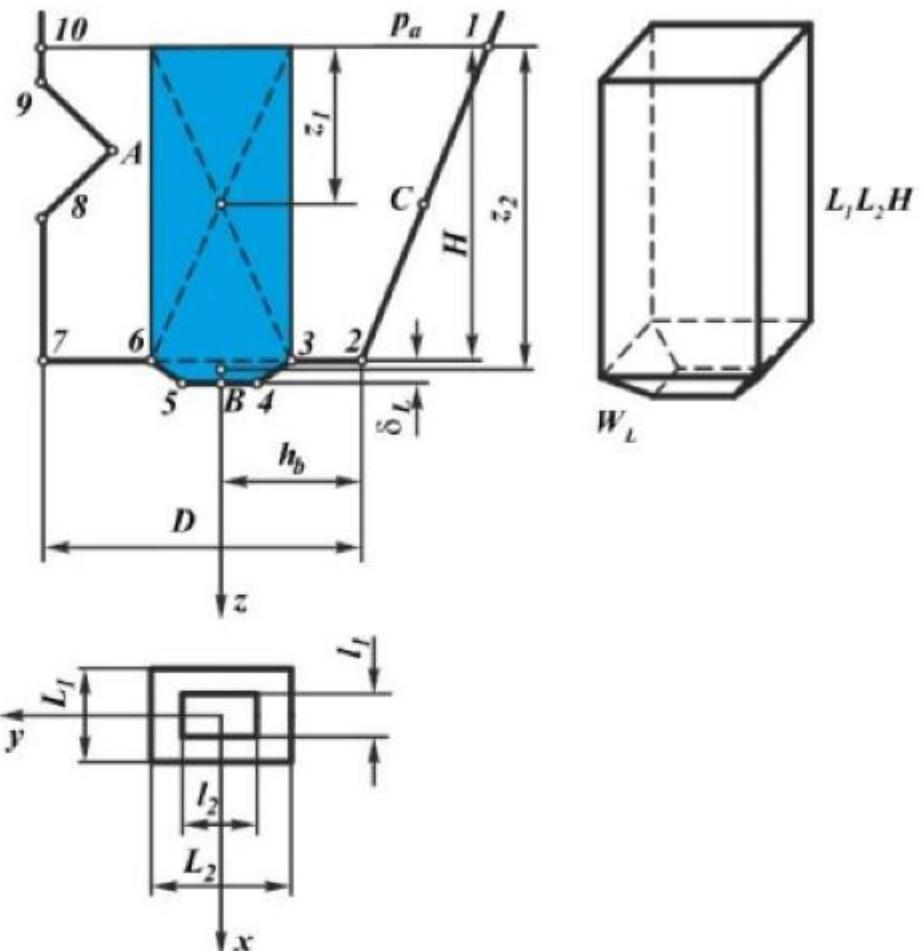
Вертикальная составляющая

$$P_z = \rho g W,$$

где тело давления состоит из усеченной пирамиды и параллелепипеда.

Объем тела давления:

$$W = L_1 L_2 H + W_L.$$





# Гидростатика

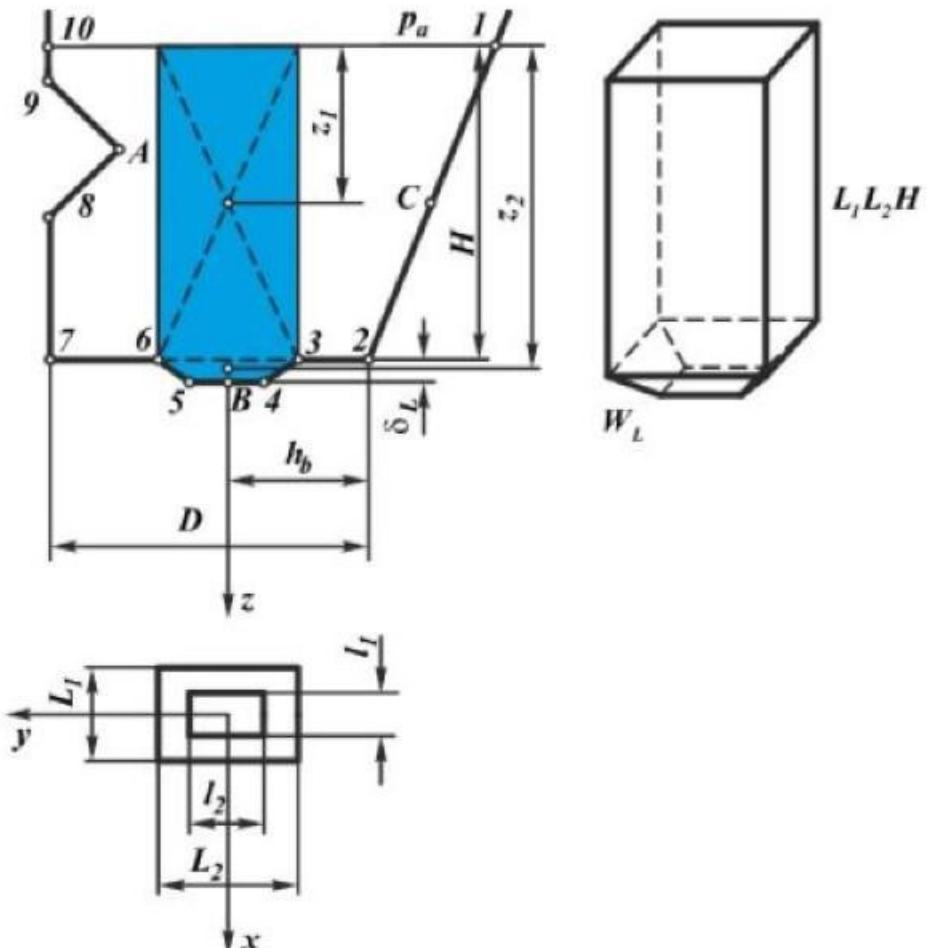
16

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

Объем усеченной пирамиды равен трети произведения высоты пирамиды на сумму площадей верхнего основания, нижнего основания и на корень из их произведения:

$$W_L = \frac{1}{3} \delta_L (l_1 l_2 + L_1 L_2 + \sqrt{l_1 l_2 L_1 L_2}).$$

$$W = L_1 L_2 H + \frac{1}{3} \delta_L (l_1 l_2 + L_1 L_2 + \sqrt{l_1 l_2 L_1 L_2}).$$





# Гидростатика

17

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

$$W = 1,5 \cdot 2 \cdot 6 + \frac{1}{3} \cdot 1,5 \cdot (1 \cdot 1,5 + 1,5 \cdot 2 + \sqrt{1 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 2}) = \\ = 18 + 0,5 \cdot (1,5 + 3 + 2,121) = 21,311 \text{ м}^3$$

$$P_z = 1000 \cdot 9,81 \cdot 21,311 = 209\,060 \text{ Н.}$$



# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

*Точка приложения силы – центр тяжести тела давления:*

$$z = \frac{z_1 S_1 + z_2 S_2}{S_1 + S_2},$$

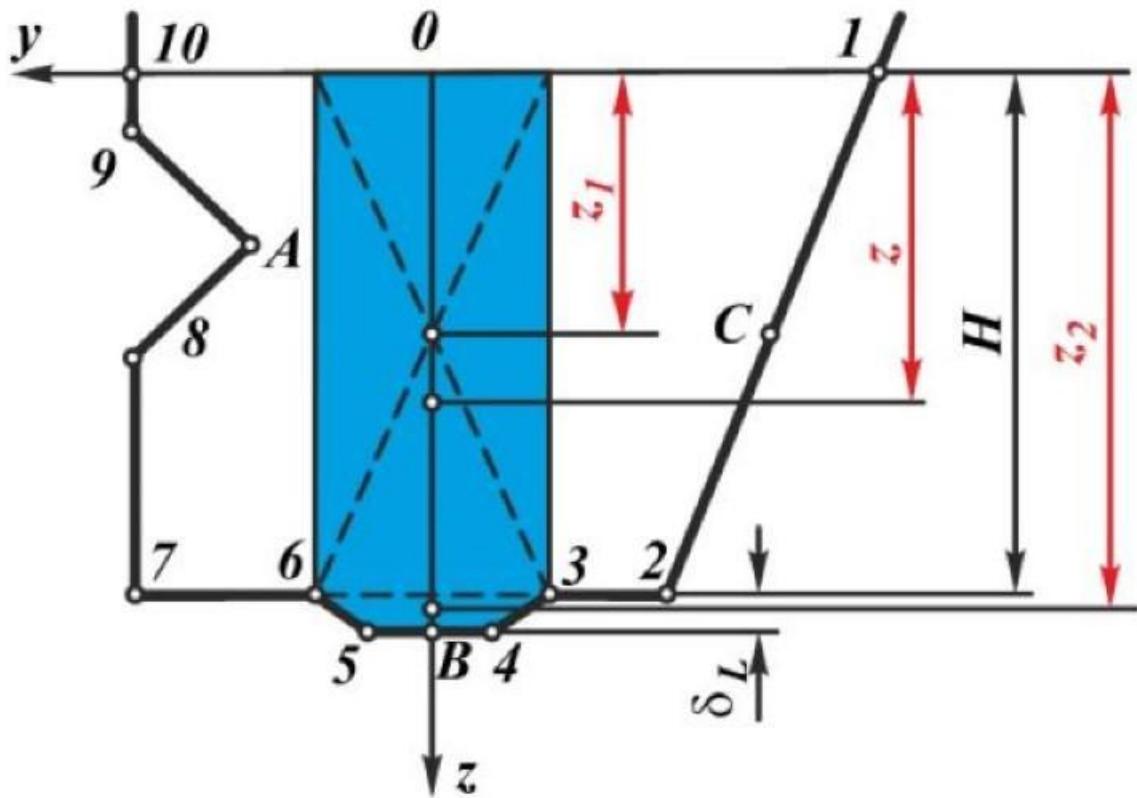
где  $S_1 = L_2 H = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м}^2$ ;

$$S_2 = \frac{L_2 + l_2}{2} \delta_L = \frac{2 + 1,5}{2} 1,5 = 2,625 \text{ м}^2;$$

$$z_1 = \frac{H}{2} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м};$$

$$z_2 = H + \frac{\delta_L}{3} \frac{2L_2 + l_2}{L_2 + l_2} = 6 + \frac{1,5}{3} \cdot \frac{2 \cdot 2 + 1,5}{2 + 1,5} = 6 + 0,5 \frac{5,5}{3,5} = 6,786 \text{ м}.$$

$$z = \frac{3 \cdot 12 + 6,786 \cdot 2,625}{12 + 2,625} = \frac{36 + 17,81}{14,625} = 3,68 \text{ м}.$$

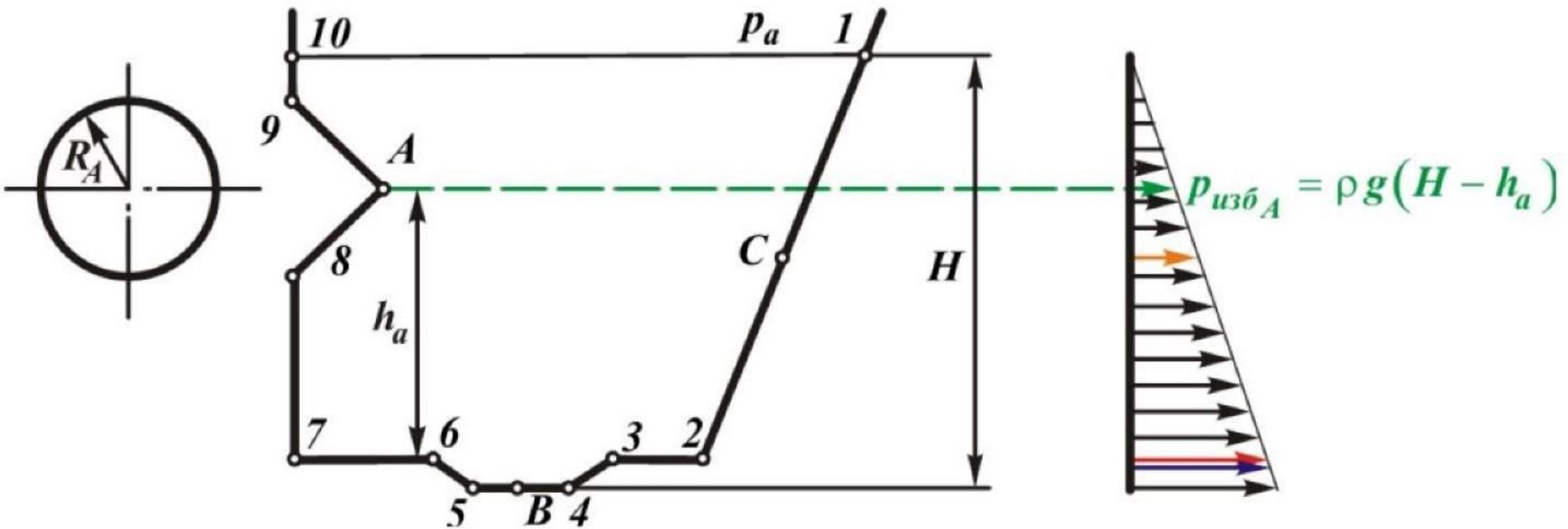




# Гидростатика

19

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А





# Гидростатика

20

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А

Горизонтальная составляющая силы определяется аналогично случаю плоской стенки.

Сила избыточного давления

$$P_{изб_A} = p_{изб_A} S_A = \rho g h_{um_A} S_A .$$

Здесь  $S_A = \pi R_A^2 = 3,14 \cdot (3)^2 = 28,274 \text{ м}^2$ ;

$$h_{um_A} = z_{um_A} = (H - h_a) = 6 - 3 = 3 \text{ м} .$$

$$P_{изб_A} = \rho g h_{um_A} S_A = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot 28,274 = 832114 \text{ Н} .$$



# Гидростатика

21

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А

Сила избыточного давления приложена в центре давления, имеющем координату

$$z_{D_A} = z_{\text{цм}_A} + \frac{J_{y\theta}}{z_{\text{цм}_A} S_A},$$

где  $J_{y\theta}$  – осевой момент инерции относительно центральной оси. Для круга

$$J_{y\theta} = \frac{\pi R_A^4}{4} = \frac{3,14 \cdot (3)^4}{4} = 63,617 \text{ м}^4,$$

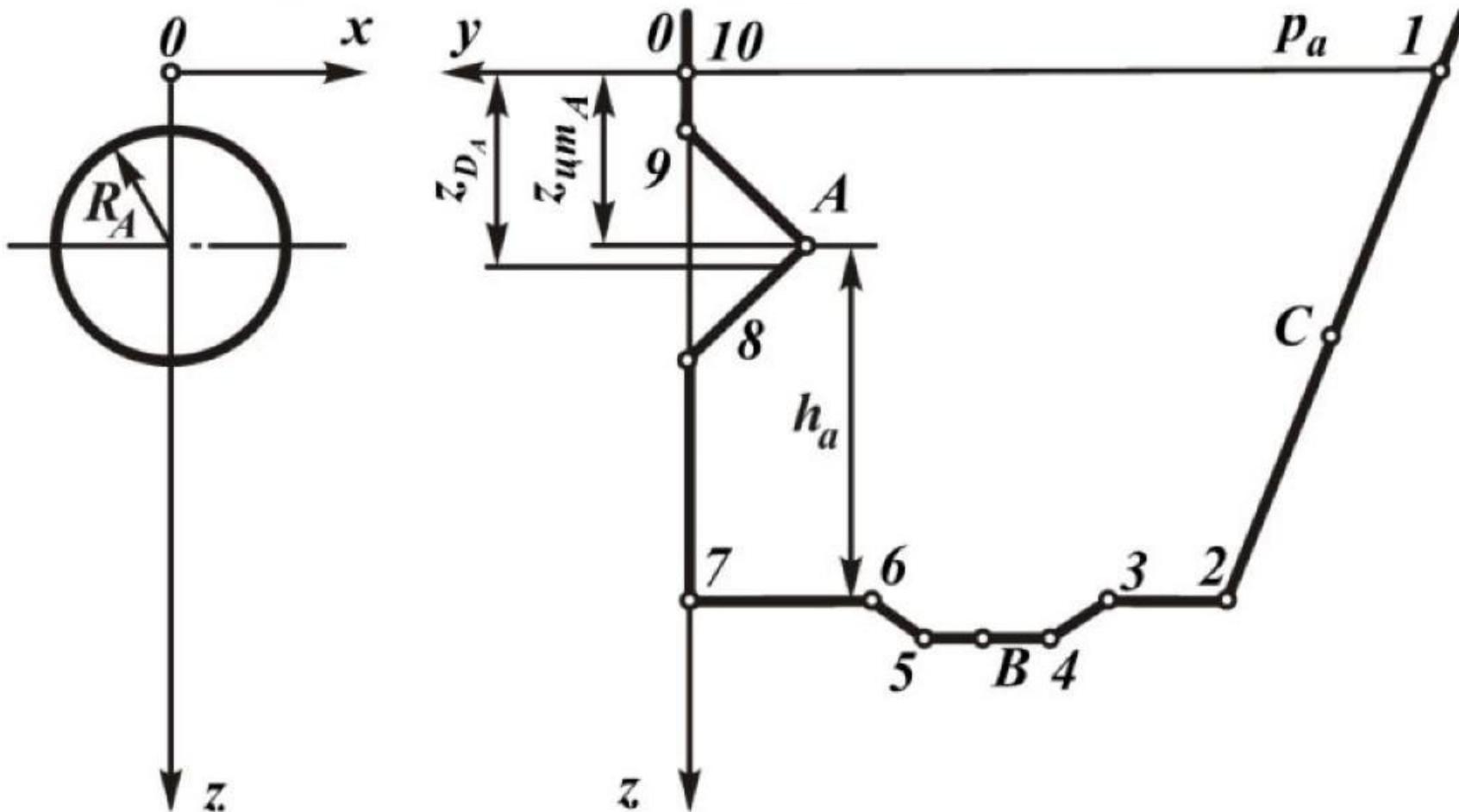
тогда

$$z_{D_A} = 3 + \frac{63,617}{3 \cdot 28,274} = 3 + 0,75 = 3,75 \text{ м}.$$



# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А





# Гидростатика

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А

Вертикальная сила равна силе тяжести жидкости в объеме тела давления.

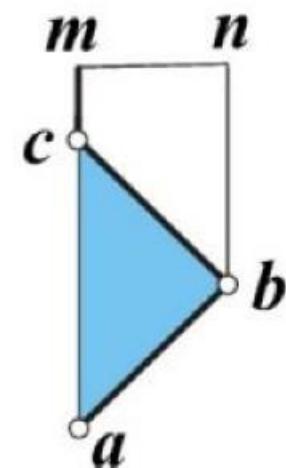
$$P_z = \rho g W .$$

Для определения вертикальной составляющей силы давления на коническую стенку  $abc$  разделим поверхность горизонтальной плоскостью на верхнюю  $bc$  и нижнюю  $ab$ .

Найдем вертикальные составляющие силы давления на каждую из них.

Для стенки  $bc$  она равна весу жидкости в объеме  $bntc$ .

Для стенки  $ab$  она равна весу жидкости в объеме  $avtm$ .

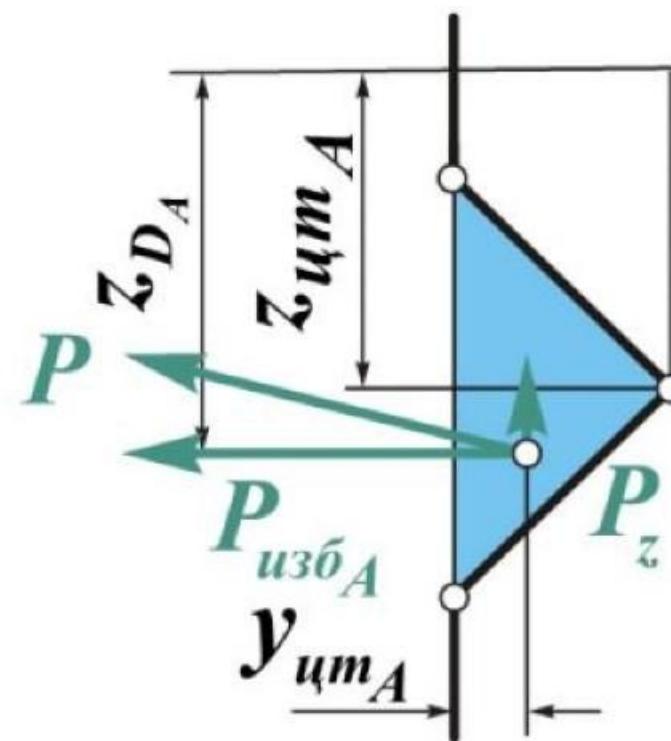
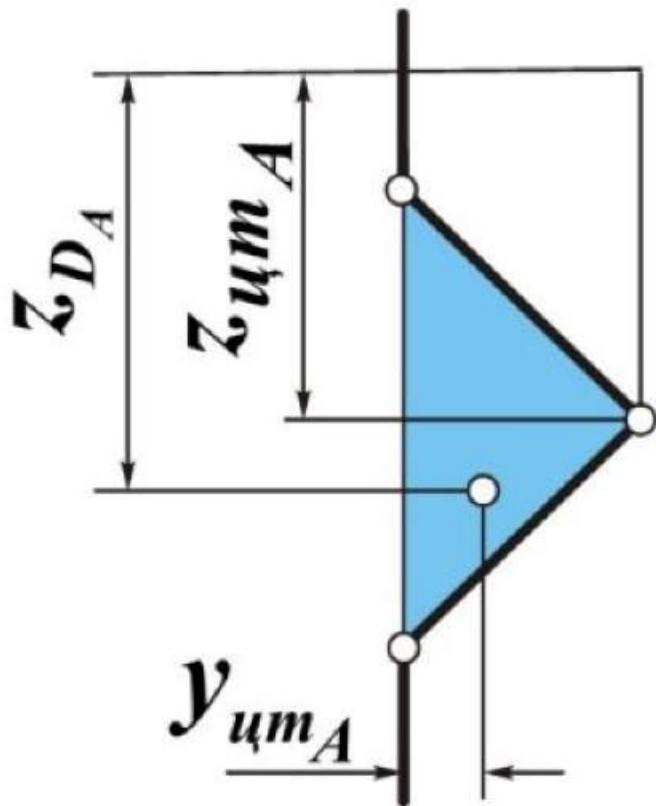




# Гидростатика

24

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А





# Гидростатика

25

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А

Таким образом, вертикальная составляющая силы давления на конус  $abc$  равен весу жидкости в объеме конуса и направлена вверх (фиктивное тело давления)).

$$P_z = -\rho g W = -\frac{1}{3} \rho g \pi R_A^2 l_a = -\frac{1}{3} \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,14 \cdot 3^2 \cdot 3 = -277\,231 \text{ Н.}$$

Составляющая  $P_z$  пройдет через центр тяжести тела давления, который в данном случае равен  $y_{цмA} = \frac{l_a}{3} = 1 \text{ м.}$

Результирующая сила  $P = \sqrt{P_{избA}^2 + P_z^2} = \sqrt{(832\,114)^2 + (277\,231)^2} = 877\,080 \text{ Н.}$

проходит через точку пересечения линий действия горизонтальной и вертикальной составляющих.