



Гидравлика

1

Расчетно-графическая работа

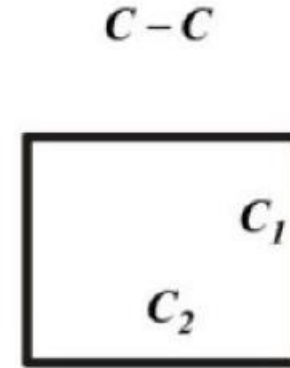
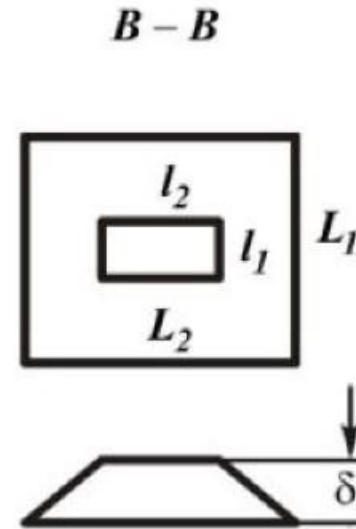
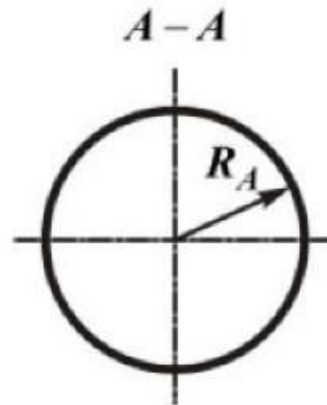
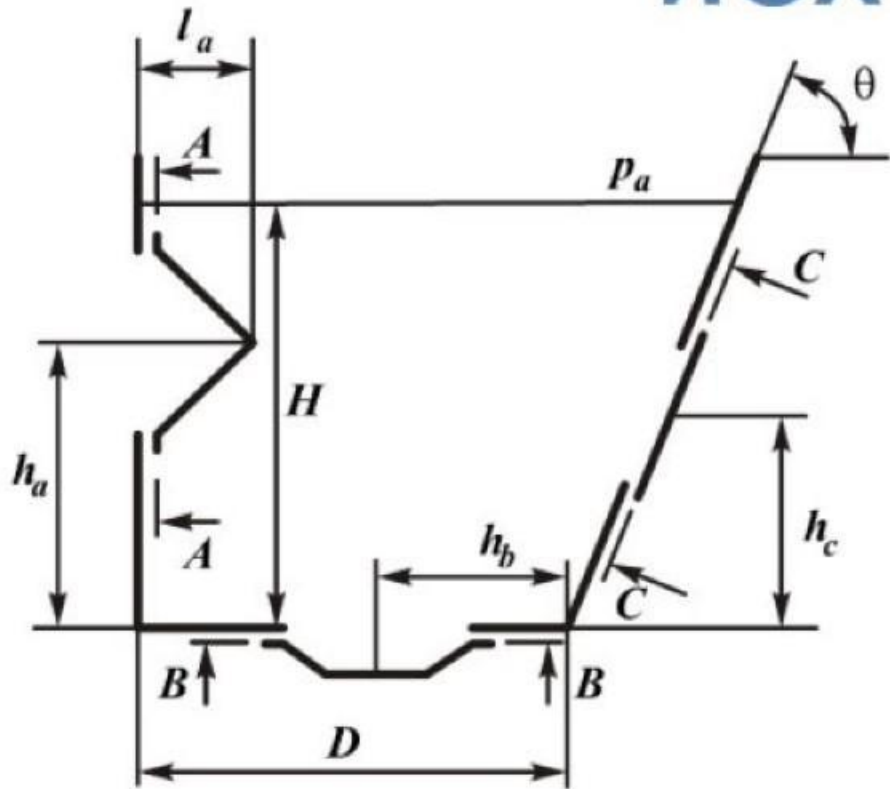
Расчет гидростатических
параметров бака



Гидростатика

2

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ



H	D	θ	h_a	l_a	h_b	h_c	R_A	C_1	C_2	L_1	L_2	l_1	l_2	δ_L
6 м	H	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

3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Определяем избыточное гидростатическое давление в точках $1 \dots 10$

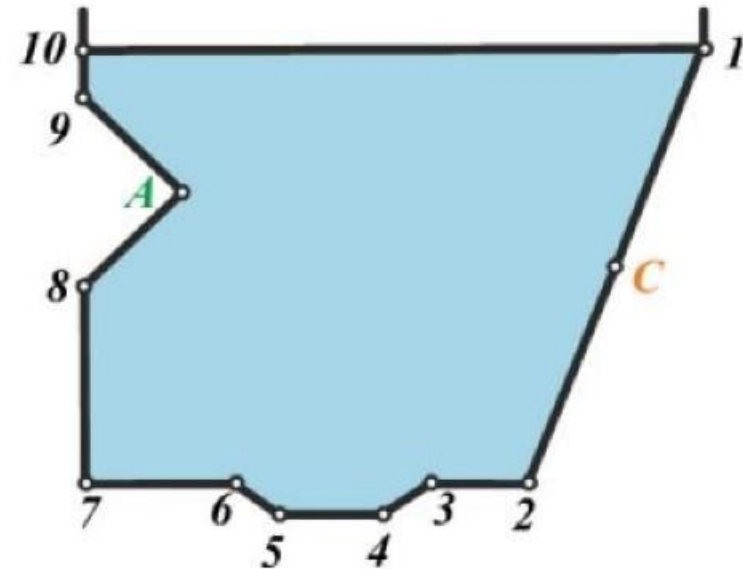
$$p_i = \rho g h_i .$$

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:

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





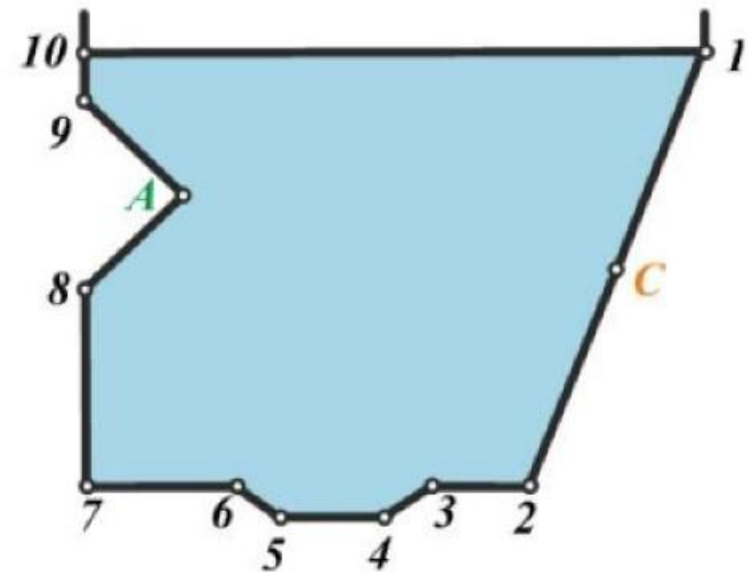
Гидростатика

4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

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

$$p_4 = p_5 = \rho g (H + \delta_L) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 + 1,5) = 73\,575 \text{ Па}.$$





Гидростатика

5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ

Избыточное давление

в центре тяжести элемента A

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

в точке 8

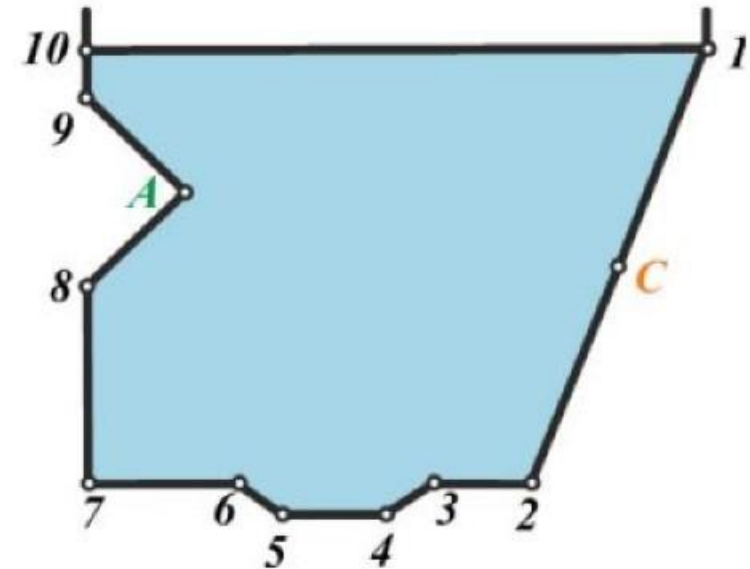
$$p_8 = \rho g (H - h_a + R_A) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 - 3 + 2) = 49050 \text{ Па},$$

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

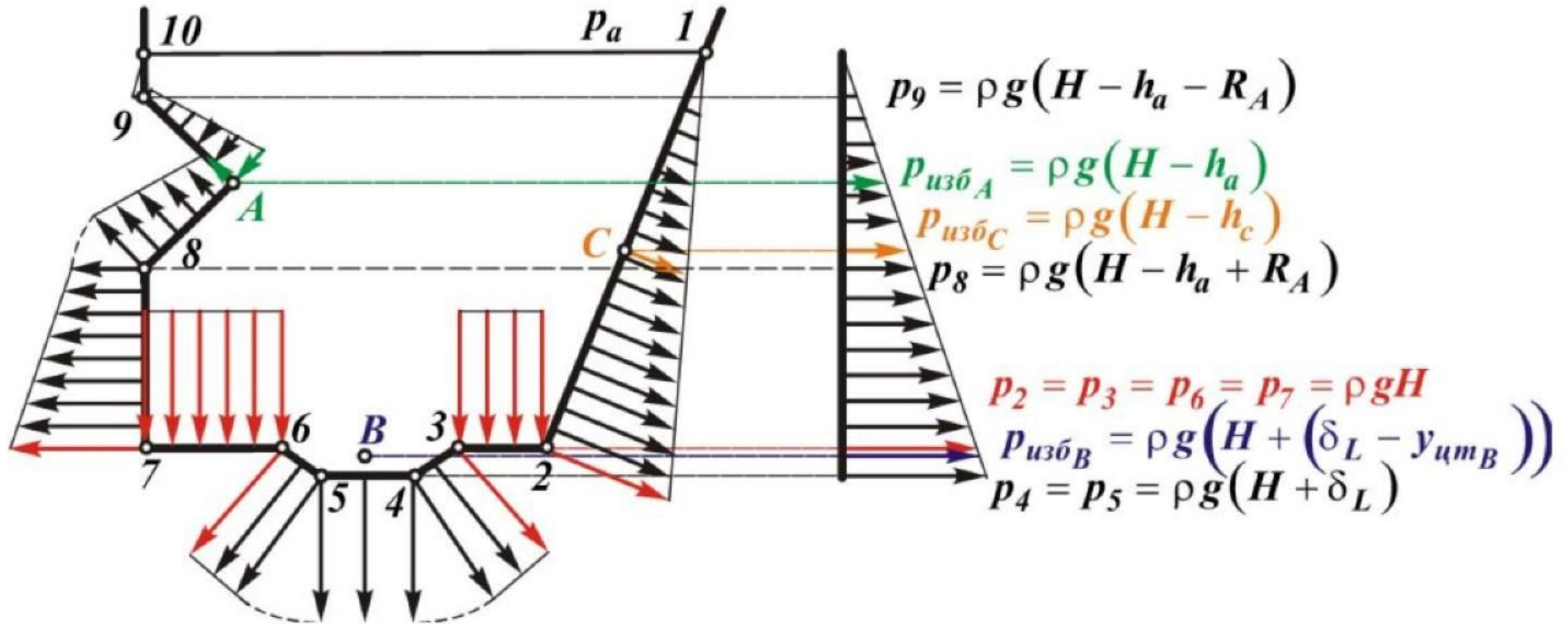
$$p_{изб_C} = \rho g (H - h_c) = 1000 \cdot 9,81 \cdot (6 - 2) = 39240 \text{ Па},$$





Гидростатика

ПОСТРОЕНИЕ ЭПЮР ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ПО СТЕНКАМ РЕЗЕРВУАРА

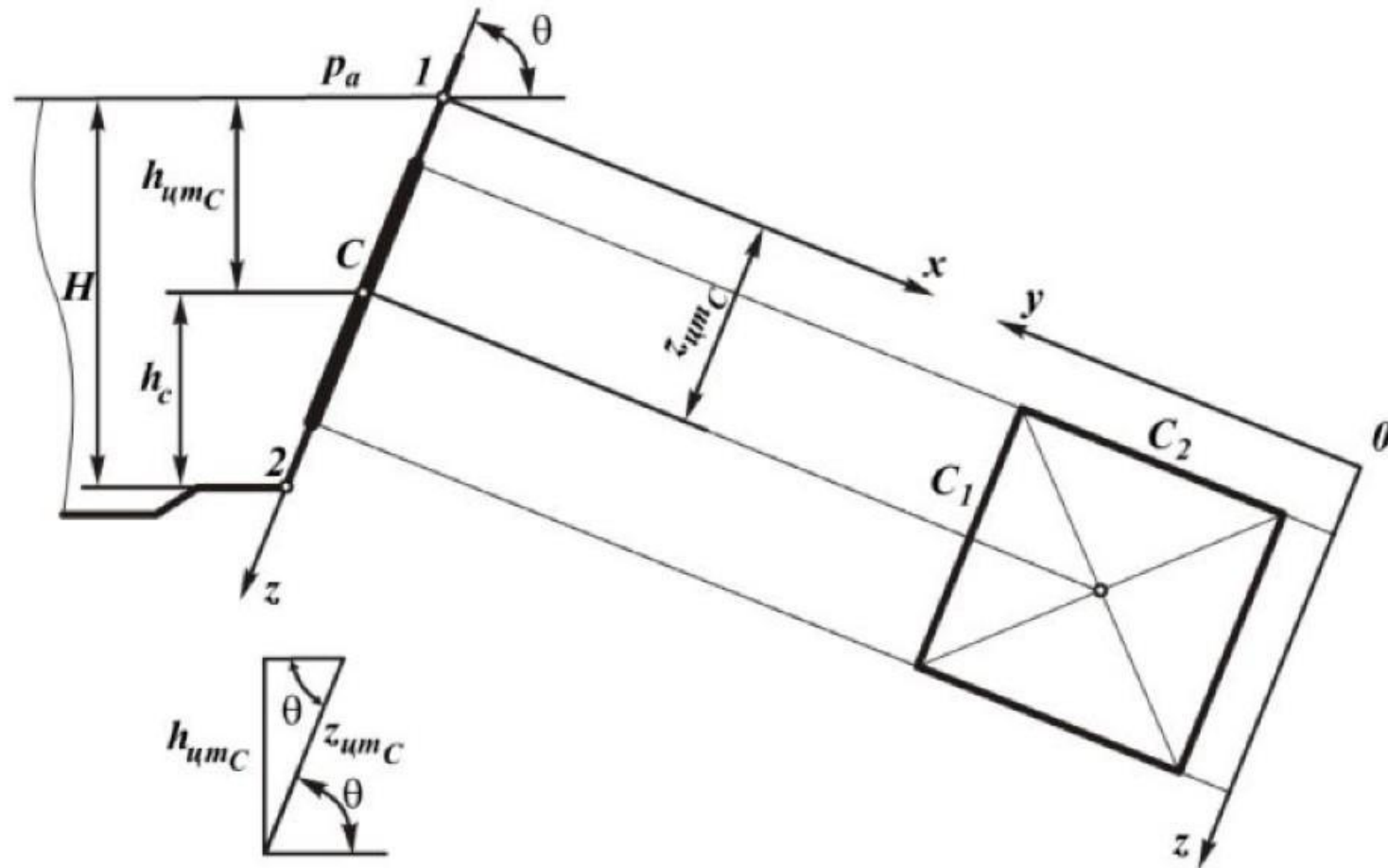




Гидростатика

7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С





Гидростатика

8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С

Сила избыточного давления

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

приложена в центре давления, имеющем координату

$$z_{D\ C} = z_{цм\ C} + \frac{J_{y\theta}}{z_{цм\ C} S_C},$$

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

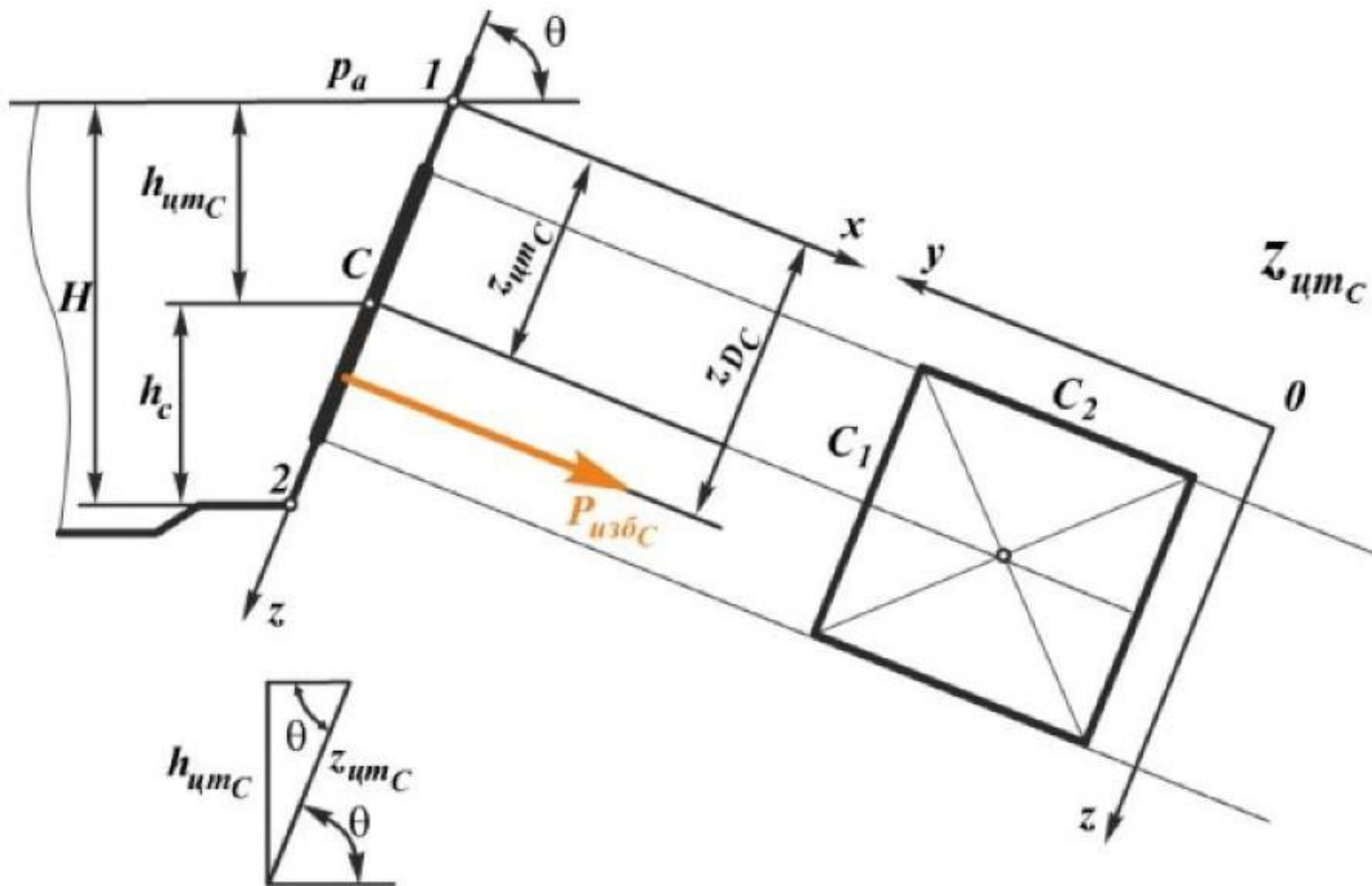
$$J_{y\theta} = \frac{C_2 C_1^3}{12}.$$



Гидростатика

9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С



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

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



Гидростатика

10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ С

$$P_{изб\delta_C} = p_{изб\delta_C} S_C = 39\,240 \cdot 1,5 \cdot 2 = 117\,720 \text{ Н}$$

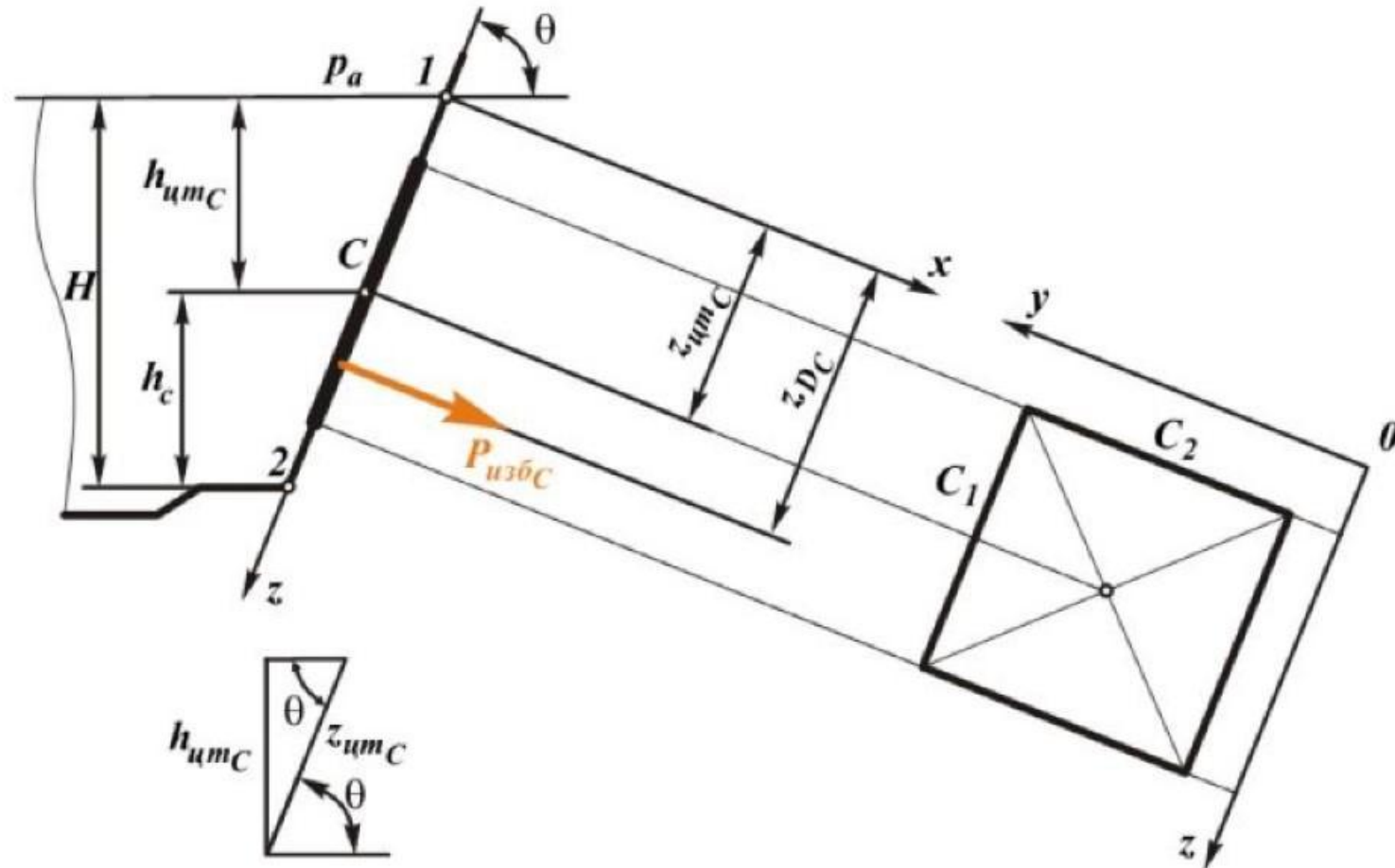
$$\begin{aligned} z_{D_C} &= z_{цм_C} + \frac{J_{y0}}{z_{цм_C} S_C} = z_{цм_C} + \frac{C_2 C_1^3}{12 z_{цм_C} C_2 C_1} = z_{цм_C} + \frac{C_1^2}{12 z_{цм_C}} = \\ &= 5,66 + \frac{(1,5)^2}{12 \cdot 2,828} = 5,66 + 0,066 = 5,726 \text{ м} \end{aligned}$$



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

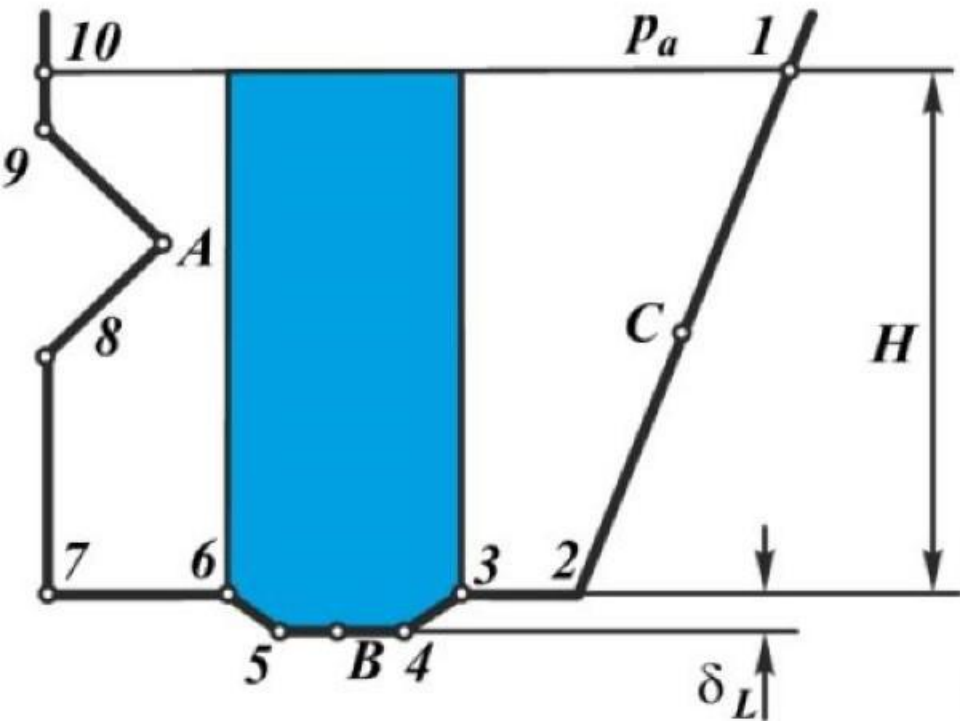
вертикальной P_z составляющих:
$$P = \sqrt{P_y^2 + P_z^2} .$$



Гидростатика

13

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

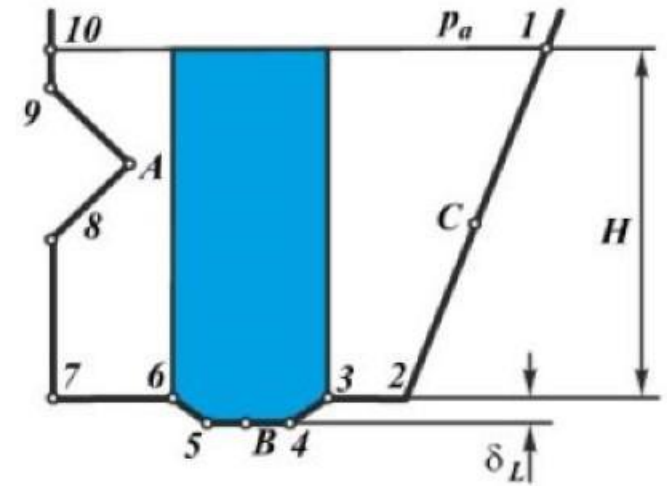
14

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

15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

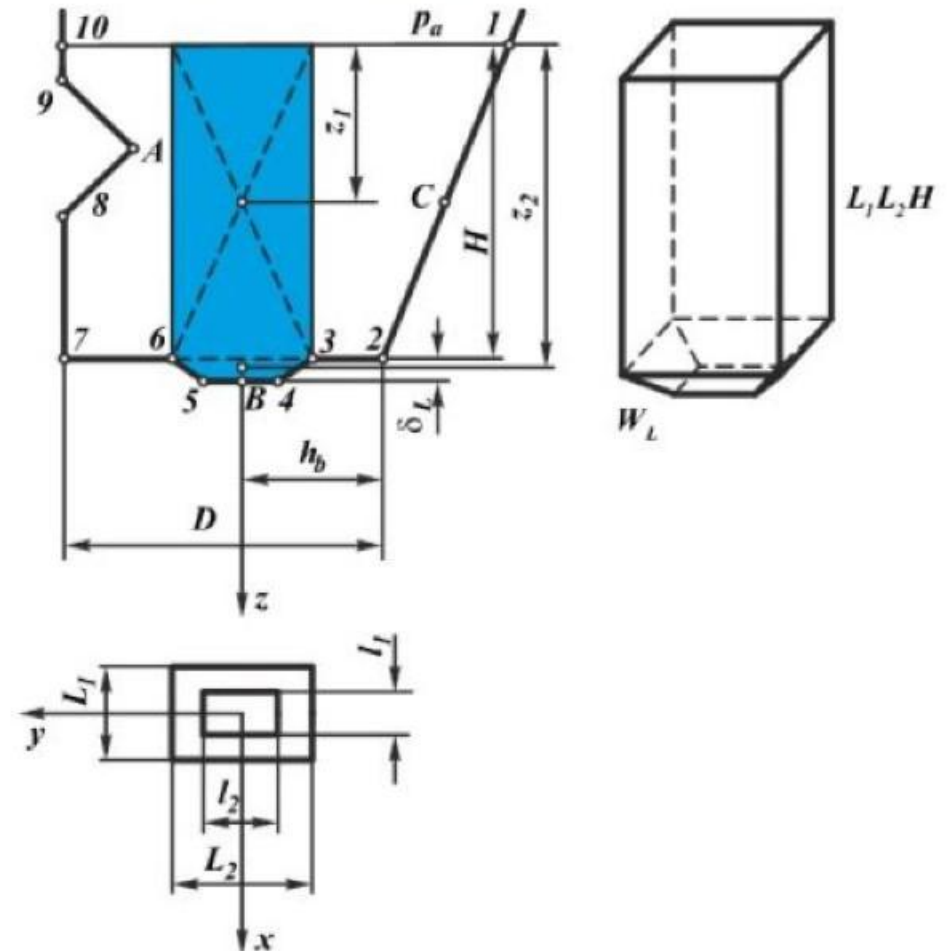
Вертикальная составляющая

$$P_z = \rho g W ,$$

где тело давления состоит из усеченной пирамиды и параллелепипеда.

Объем тела давления:

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





Гидростатика

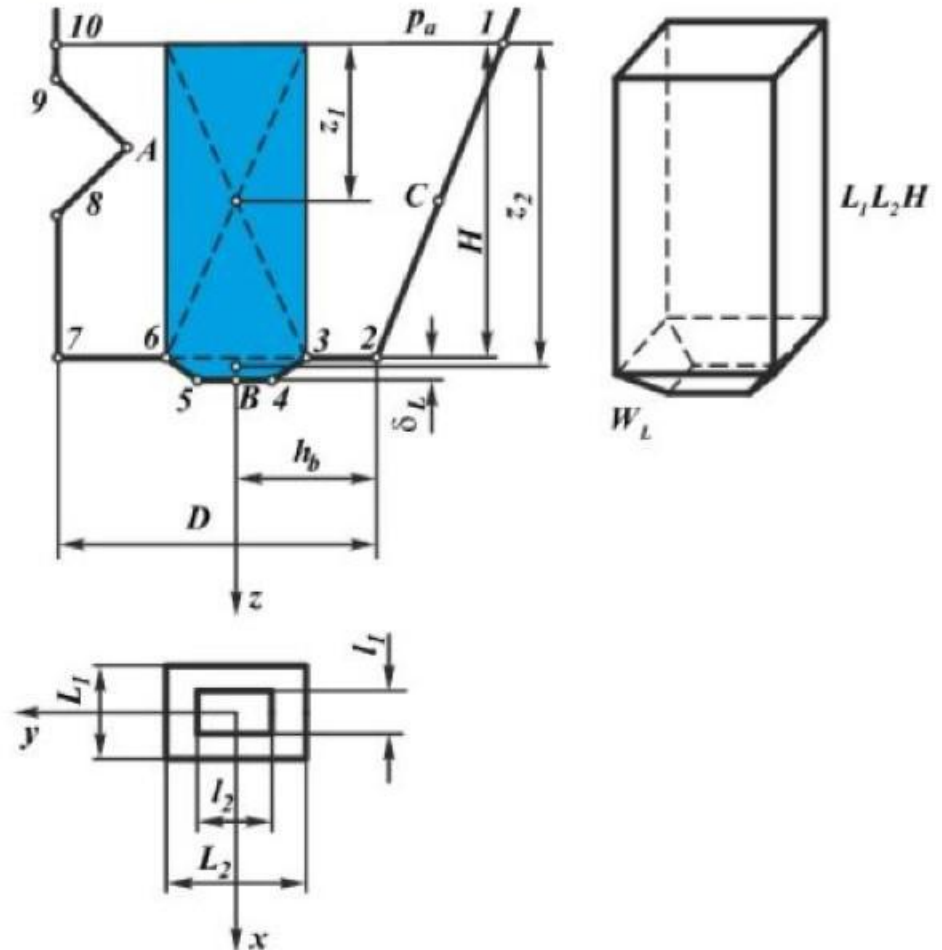
16

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:

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

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





Гидростатика

17

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

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

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



Гидростатика

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ В

Точка приложения силы – центр тяжести тела давления:

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

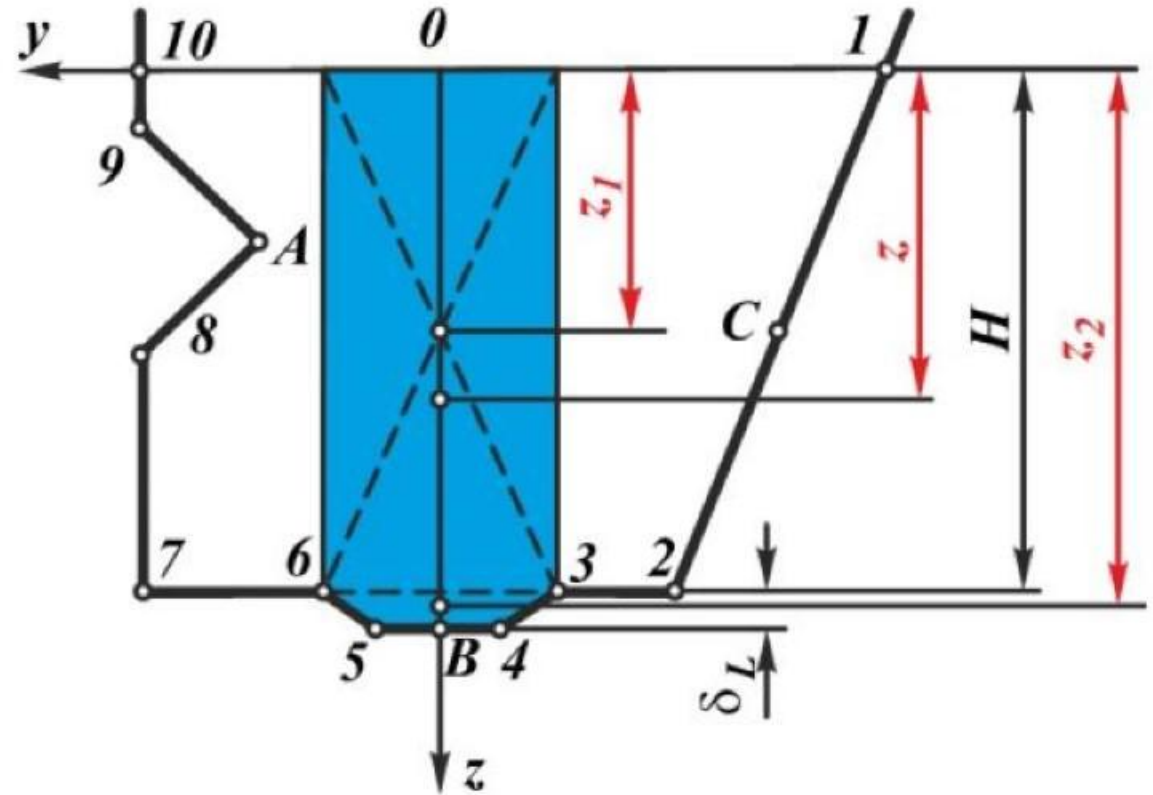
где $S_1 = L_2 H = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м}^2$;

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

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

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

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

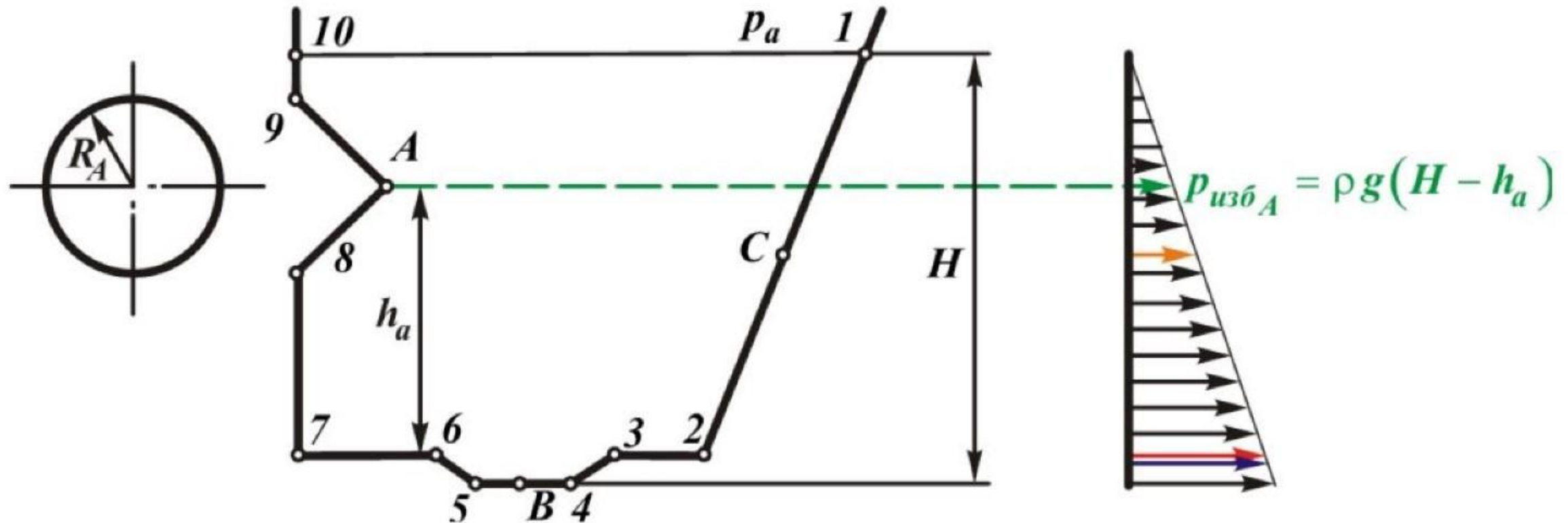




Гидростатика

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

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

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

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

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



Гидростатика

21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А

Сила избыточного давления приложена в центре давления, имеющем координату

$$z_{D_A} = z_{цм_A} + \frac{J_{y0}}{z_{цм_A} S_A},$$

где J_{y0} – осевой момент инерции относительно центральной оси. Для круга

$$J_{y0} = \frac{\pi R_A^4}{4} = \frac{3,14 \cdot (3)^4}{4} = 63,617 \text{ м}^4,$$

тогда

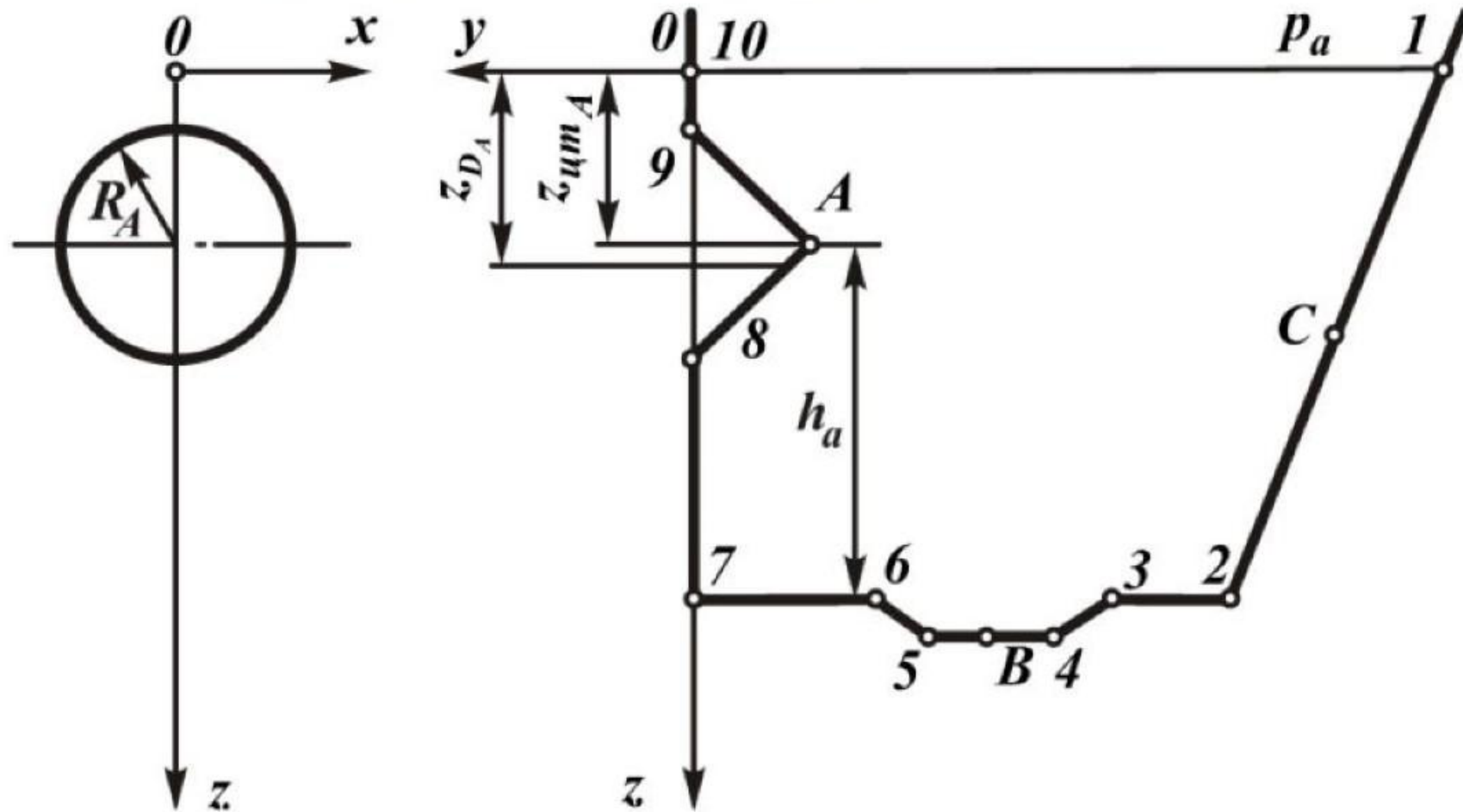
$$z_{D_A} = 3 + \frac{63,617}{3 \cdot 28,274} = 3 + 0,75 = 3,75 \text{ м}.$$



Гидростатика

22

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ A





Гидростатика

23

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ДАВЛЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТ А

Вертикальная сила равна силе тяжести жидкости в объеме тела давления.

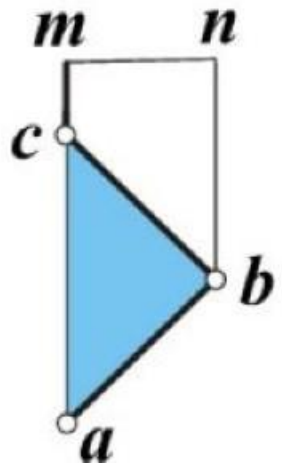
$$P_z = \rho g W .$$

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 $bnmc$.

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

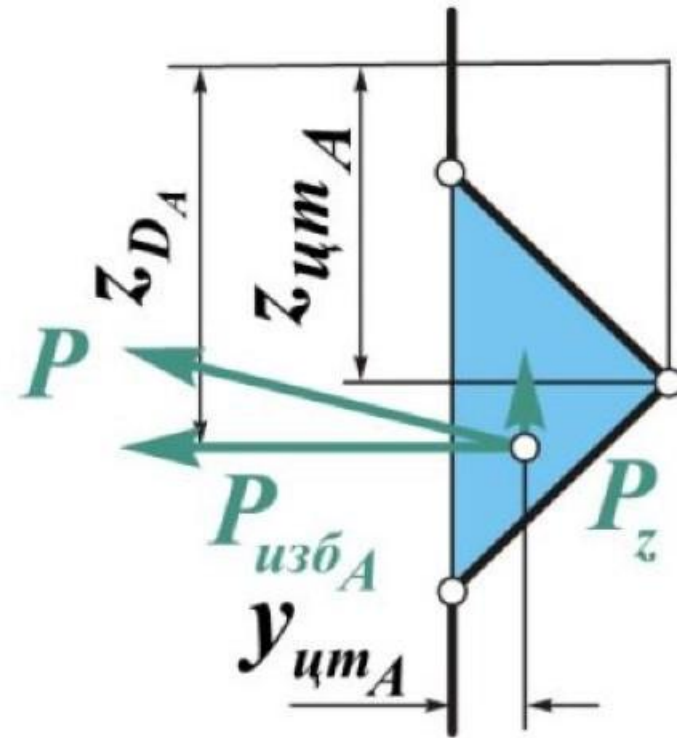
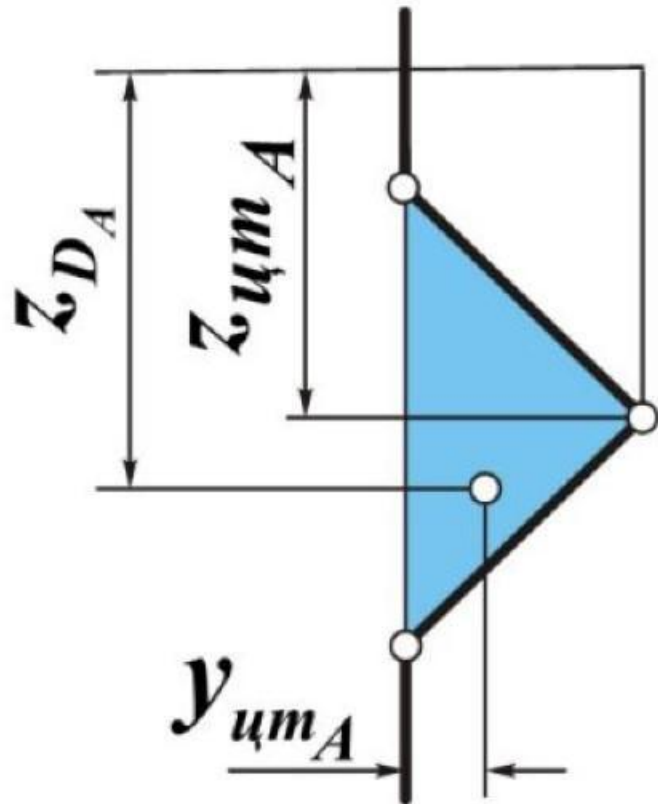




Гидростатика

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 $y_{цт_A} = \frac{l_a}{3} = 1 \text{ м.}$

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

проходит через точку пересечения линий действия горизонтальной и вертикальной составляющих.