

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Кафедра гидравлики

## **Расчет гидростатических нагрузок на элементы дока**

Учебно-методическое пособие  
к изучению студентами раздела гидростатики  
по дисциплине «Механика жидкости и газа»

Нижний Новгород

2016

ББК 30.123

УДК 532.1(072)

Битюрин, А. К. Расчет гидростатических нагрузок на элементы дока : учебн.-методич. пособ. / А. К. Битюрин, А. С. Золявин, В. В. Агеева – Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2016. – 32 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство, выполняющих соответствующие расчетно-графические работы по дисциплине «Механика жидкости и газа», а также может быть использовано при решении практических задач. Приведена методика расчета гидростатических нагрузок на конструктивные элементы дока.

Ил. 8; табл. 3; библиограф. назв. 4.

**Содержание**

Введение .....	4
1 Расчет нагрузок на рабочую секцию .....	6
1.1 Боковые стенки .....	6
1.2 Дно.....	7
2 Расчет нагрузок на переходную секцию .....	8
2.1 Боковые стенки .....	8
2.2 Дно.....	10
3 Расчет нагрузок на носовую часть .....	12
3.1 Боковые стенки .....	12
3.2 Лобовая поверхность.....	15
4 Определение расположения ригелей на торцевой стенке кормовой части.....	19
4.1 Аналитический способ .....	19
4.2 Графический способ.....	22
5 Определение грузоподъемности дока .....	24
Заключение .....	26
Список литературы .....	27
Приложение. Задание на расчетно-графическую работу.....	28

## **Введение**

В учебно-методическом пособии приводится методика расчета гидростатических нагрузок на элементы дока, определение расположения ригелей на торцевой стенке кормовой части и определение грузоподъемности дока на примере одного из заданий.

В качестве примера принята схема дока № 3 с параметрами по варианту № 38 (приложение). На рисунке 1 и в таблице 1 приведены исходные параметры рассматриваемого дока.

Рецензирование настоящего учебно-методического пособия выполнено доцентом, канд. техн. наук Жизняковым В. В.

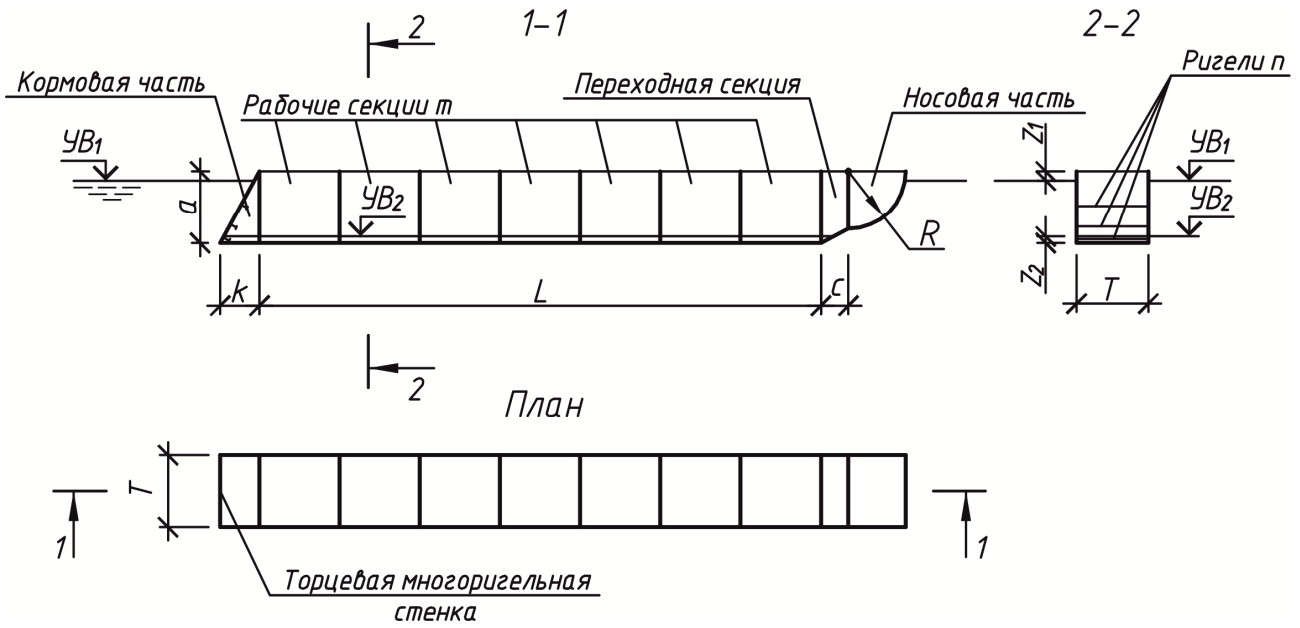


Рисунок 1 – Схема дока

Таблица 1 – Исходные параметры дока

Геометрические размеры, м								Количество		Масса дока, т
$a$	$c$	$L$	$R$	$T$	$z_1$	$z_2$	$k$	рабочих секций $m$	ригелей $n$	
5,50	2,10	43,0	4,40	5,50	0,70	0,50	3,0	7	3	1100,0

## 1 Расчет нагрузок на рабочую секцию

Рабочая секция состоит из двух боковых стенок и горизонтального дна (рисунок 2). На эти элементы рассчитываются гидростатические нагрузки.

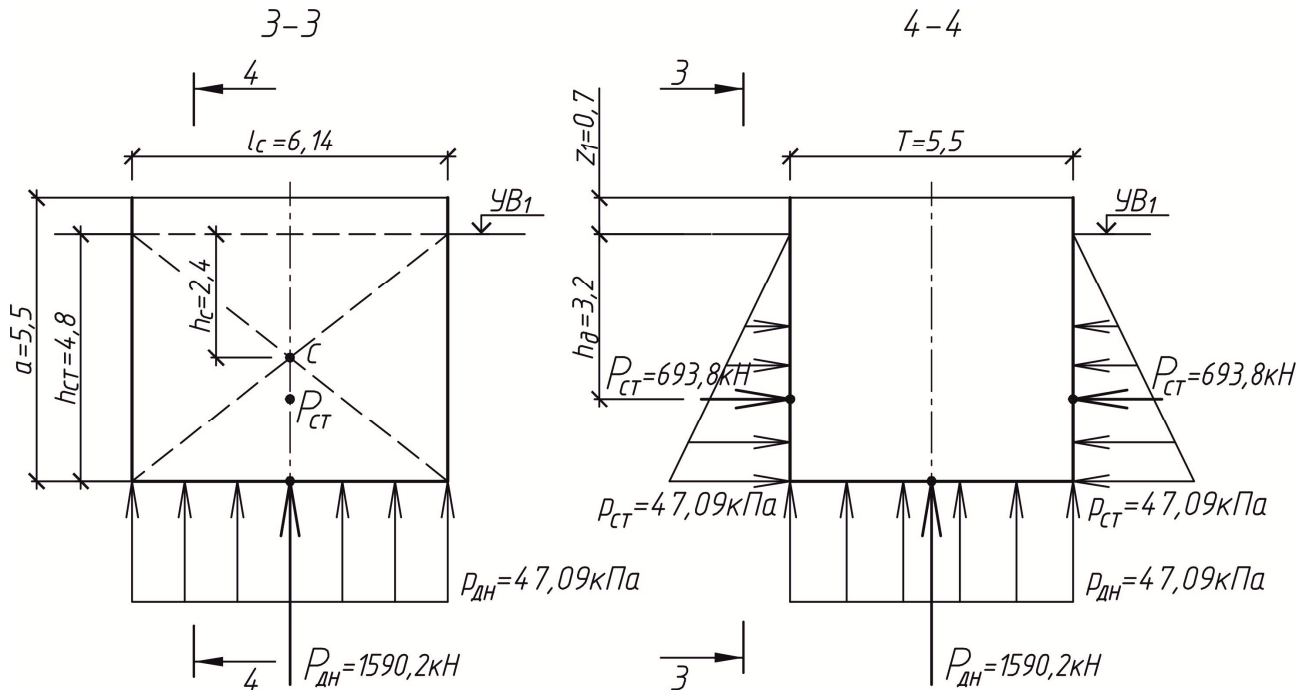


Рисунок 2 – Схема к расчету рабочей секции

Длина рабочей секции  $l_c$

$$l_c = \frac{L}{m}, \quad (1)$$

где  $L$  – общая длина рабочих секций,  $L = 43,0$  м;

$m$  – количество рабочих секций,  $m = 7$ .

$$l_c = \frac{43,0}{7} = 6,14 \text{ м.}$$

### 1.1 Боковые стенки

Гидростатическое давление на боковую стенку  $p_{ст}$  [1]

$$p_{ст} = \rho \cdot g \cdot h_{ст}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;

$h_{CT}$  – заглубление стенки под уровень воды, м.

$$h_{CT} = a - z_1, \quad (3)$$

$$h_{CT} = 5,5 - 0,7 = 4,8 \text{ м},$$

$$p_{CT} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,8 = 47,09 \cdot 10^3 \text{ Па} = 47,09 \text{ кПа}.$$

Сила гидростатического давления на боковую стенку [2]

$$P_{CT} = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_{CT}, \quad (4)$$

где  $h_c$  – заглубление центра тяжести боковой стенки под уровень воды, м;

$$h_c = \frac{h_{CT}}{2}, \quad (5)$$

$$h_c = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ м}.$$

$S_{CT}$  – площадь боковой стенки, находящейся под уровнем воды, м<sup>2</sup>;

$$S_{CT} = l_C \cdot h_{CT}, \quad (6)$$

$$S_{CT} = 6,14 \cdot 4,8 = 29,47 \text{ м}^2,$$

$$P_{CT} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,4 \cdot 29,47 = 693,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 693,8 \text{ кН}.$$

Точка приложения этой силы находится в середине секции и на глубине

$$h_\partial = \frac{2}{3} \cdot h_{CT}, \quad (7)$$

$$h_\partial = \frac{2}{3} \cdot 4,8 = 3,2 \text{ м}.$$

## 1.2 Дно

Гидростатическое давление на горизонтальное дно рабочей секции дока

$$p_{дн} = p_{CT} = 47,09 \text{ кПа}.$$

Сила гидростатического давления на горизонтальное дно рабочей секции

$$P_{дн} = p_{CT} \cdot S_{дн}, \quad (8)$$

где  $S_{дн}$  – площадь днища рабочей секции, м<sup>2</sup>.

$$S_{дн} = T \cdot l_C, \quad (9)$$

$$S_{дн} = 5,5 \cdot 6,14 = 33,77 \text{ м}^2,$$

$$P_{дн} = 47,09 \cdot 33,77 = 1590,2 \text{ кН}.$$

## 2 Расчет нагрузок на переходную секцию

Переходная секция состоит из двух боковых стенок и наклонного дна (рисунок 3).

### 2.1 Боковые стенки

Боковая стенка рассматривается в виде суммы прямоугольной стенки 1-2-3-4 и треугольной стенки 3-4-5.

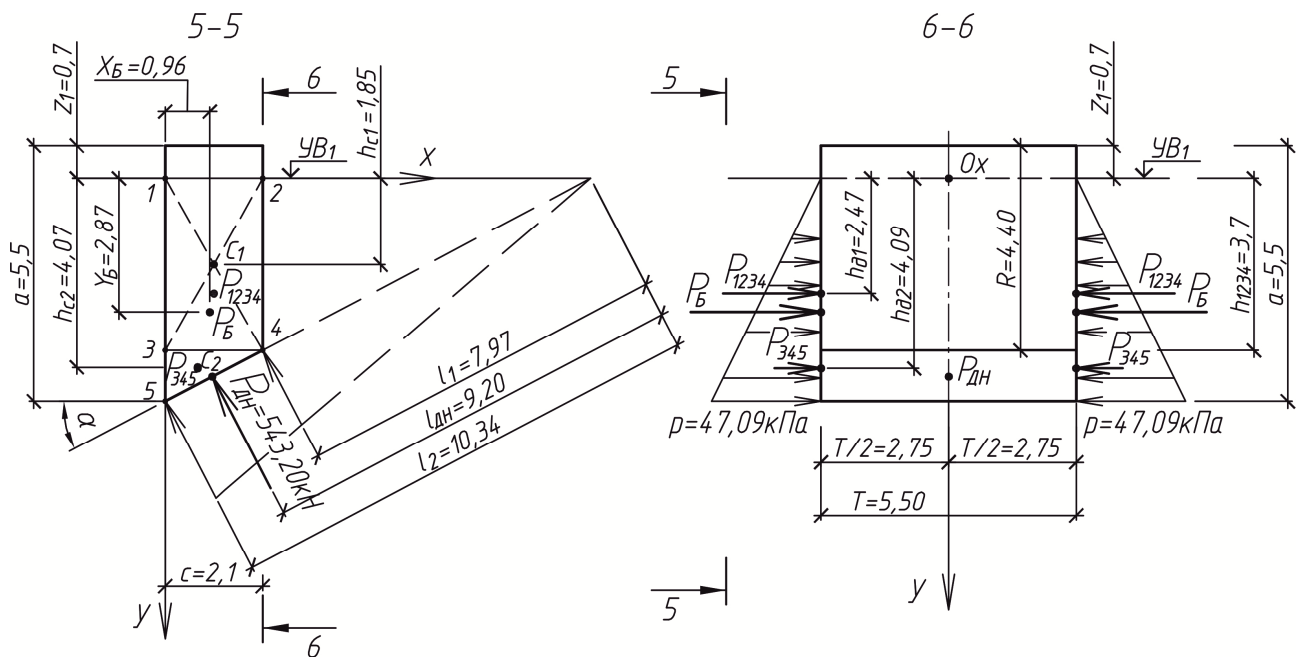


Рисунок 3 – Схема к расчету переходной секции

Сила гидростатического давления на прямоугольную стенку 1-2-3-4

$$P_{1234} = \rho \cdot g \cdot h_{c1} \cdot S_{1234}, \quad (10)$$

где  $h_{c1}$  – заглубление центра тяжести прямоугольной стенки под уровень воды, м;

$$h_{c1} = \frac{h_{1234}}{2}, \quad (11)$$

$h_{1234}$  – высота боковой плоскости прямоугольной стенки, м;

$$h_{1234} = R - z_1, \quad (12)$$

$$h_{1234} = 4,4 - 0,7 = 3,7 \text{ м,}$$



$$h_{c1} = \frac{3,7}{2} = 1,85 \text{ м},$$

$S_{1234}$  – площадь прямоугольной стенки,  $\text{м}^2$ ;

$$S_{1234} = c \cdot h_{1234}, \quad (13)$$

$$S_{1234} = 2,1 \cdot 3,7 = 7,77 \text{ м}^2,$$

$$P_{1234} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1,85 \cdot 7,77 = 141,0 \cdot 10^3 \text{ Н} = 141,0 \text{ кН}.$$

Поскольку эпюра гидростатического давления треугольная, то сила  $P_{1234}$  проходит через центр тяжести эпюры на глубине  $h_{o1}$

$$h_{o1} = \frac{2}{3} \cdot h_{1234}, \quad (14)$$

$$h_{o1} = \frac{2}{3} \cdot 3,7 = 2,47 \text{ м}.$$

Сила гидростатического давления на треугольную стенку 3-4-5

$$P_{345} = \rho \cdot g \cdot h_{c2} \cdot S_{345}, \quad (15)$$

где  $h_{c2}$  – заглубление центра тяжести треугольной стенки под уровень воды;

$$h_{c2} = h_{1234} + \frac{1}{3} \cdot (a - R), \quad (16)$$

$$h_{c2} = 3,7 + \frac{1}{3} \cdot (5,5 - 4,4) = 4,07 \text{ м}.$$

$S_{345}$  – площадь треугольной стенки 3-4-5;

$$S_{345} = 0,5 \cdot c \cdot (a - R), \quad (17)$$

$$S_{345} = 0,5 \cdot 2,1 \cdot (5,5 - 4,4) = 1,16 \text{ м}^2,$$

$$P_{345} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,07 \cdot 1,16 = 46,1 \cdot 10^3 \text{ Н} = 46,1 \text{ кН}.$$

Точка приложения силы на треугольную стенку [2]

$$h_{o2} = h_{c2} + \frac{J_c}{h_{c2} \cdot S_{345}}, \quad (18)$$

где  $J_c$  – момент инерции треугольной стенки относительно оси, проходящей через центр тяжести стенки,  $\text{м}^4$ .

$$J_c = \frac{c \cdot d^3}{36}, \quad (19)$$

$$J_c = \frac{2,1 \cdot 1,1^3}{36} = 0,08 \text{ м}^4,$$

$$h_{\partial 2} = 4,07 + \frac{0,08}{4,07 \cdot 1,16} = 4,09 \text{ м.}$$

Сила, действующая на боковую поверхность переходной секции, определяется суммой

$$P_B = P_{1234} + P_{345}, \quad (20)$$

$$P_B = 141,0 + 46,1 = 187,1 \text{ кН.}$$

Точка приложения этой силы определяется двумя координатами: вертикальной ( $Y_B$ ) и горизонтальной ( $X_B$ ), которые находятся из теоремы Вариньона

$$P_B \cdot Y_B = \sum P_i \cdot Y_i, \quad (21)$$

$$P_B \cdot Y_B = P_{1234} \cdot h_{\partial 1} + P_{345} \cdot h_{\partial 2}, \quad (22)$$

$$Y_B = \frac{P_{1234} \cdot h_{\partial 1} + P_{345} \cdot h_{\partial 2}}{P_B}, \quad (23)$$

$$Y_B = \frac{141,0 \cdot 2,47 + 46,1 \cdot 4,09}{187,1} = 2,87 \text{ м.}$$

$$P_B \cdot X_B = \sum P_i \cdot X_i, \quad (24)$$

$$P_B \cdot X_B = P_{1234} \cdot \frac{c}{2} + P_{345} \cdot \frac{c}{3}, \quad (25)$$

$$X_B = \frac{P_{1234} \cdot \frac{c}{2} + P_{345} \cdot \frac{c}{3}}{P_B}, \quad (26)$$

$$X_B = \frac{141,0 \cdot \frac{2,1}{2} + 46,1 \cdot \frac{2,1}{3}}{187,1} = 0,96 \text{ м.}$$

## 2.2 Дно

Сила гидростатического давления  $P_{\text{ДН}}$  на наклонное дно прямоугольной формы (рисунок 3) определяется по формуле

$$P_{\text{ДН}} = \rho \cdot g \cdot b \cdot \sin \alpha \cdot \frac{l_2^2 - l_1^2}{2}, \quad (27)$$

где  $b = T$  – ширина дна, м;

$\sin \alpha$  – синус угла наклона дна к горизонту;

$l_2$  – расстояние от уровня воды до нижней кромки дна, м;

$l_1$  – расстояние от уровня воды до верхней кромки дна, м.

$$\sin \alpha = \frac{a - R}{\sqrt{(a - R)^2 + c^2}}, \quad (28)$$

$$\sin \alpha = \frac{5,5 - 4,4}{\sqrt{(5,5 - 4,4)^2 + 2,1^2}} = 0,464.$$

Расстояние от уровня воды до нижней кромки дна  $l_2$  и расстояние от уровня воды до верхней кромки дна  $l_1$  определяются по формулам

$$l_2 = \frac{a - z_1}{\sin \alpha}, \quad (29)$$

$$l_1 = \frac{R - z_1}{\sin \alpha}, \quad (30)$$

$$l_2 = \frac{5,5 - 0,7}{0,464} = 10,34 \text{ м},$$

$$l_1 = \frac{4,4 - 0,7}{0,464} = 7,97 \text{ м},$$

$$P_{\text{дн}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 5,5 \cdot 0,464 \cdot \frac{10,34^2 - 7,97^2}{2} = 543,20 \cdot 10^3 \text{ Н} = 543,20 \text{ кН}.$$

Точка (координата) приложения силы  $P_{\text{дн}}$

$$l_{\text{дн}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{l_2^3 - l_1^3}{l_2^2 - l_1^2}, \quad (31)$$

$$l_{\text{дн}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{10,34^3 - 7,97^3}{10,34^2 - 7,97^2} = 9,20 \text{ м}.$$

### 3 Расчет нагрузок на носовую часть

Носовая часть дока состоит из двух боковых стенок неправильной формы и одной лобовой цилиндрической поверхности (рисунок 4).

#### 3.1 Боковые стенки

Поскольку боковая стенка описывается фигурой неправильной формы, то сила гидростатического давления, действующая на стенку, определяется приближенным способом. Для этого боковая стенка аппроксимируется системой прямоугольников.

Высота каждого прямоугольника равна

$$h_i = \frac{R - z_1}{n}, \quad (32)$$

где  $n$  – количество прямоугольников,  $n = 5$ .

$$h_i = \frac{4,40 - 0,70}{5} = 0,74 \text{ м.}$$

Для каждого прямоугольника определяется сила гидростатического давления на боковую стенку и точка ее приложения

$$P_B = \rho \cdot g \cdot b \cdot \frac{y_2^2 - y_1^2}{2}, \quad (33)$$

$$h_d = \frac{2}{3} \cdot \frac{y_2^3 - y_1^3}{y_2^2 - y_1^2}, \quad (34)$$

где  $b$  – ширина прямоугольника (снимается с рисунка 4), м;

$y_2, y_1$  – заглубление нижней и верхней (соответственно) кромок рассматриваемого прямоугольника, м.

Расчет выполняется в табличной форме (таблица 2).

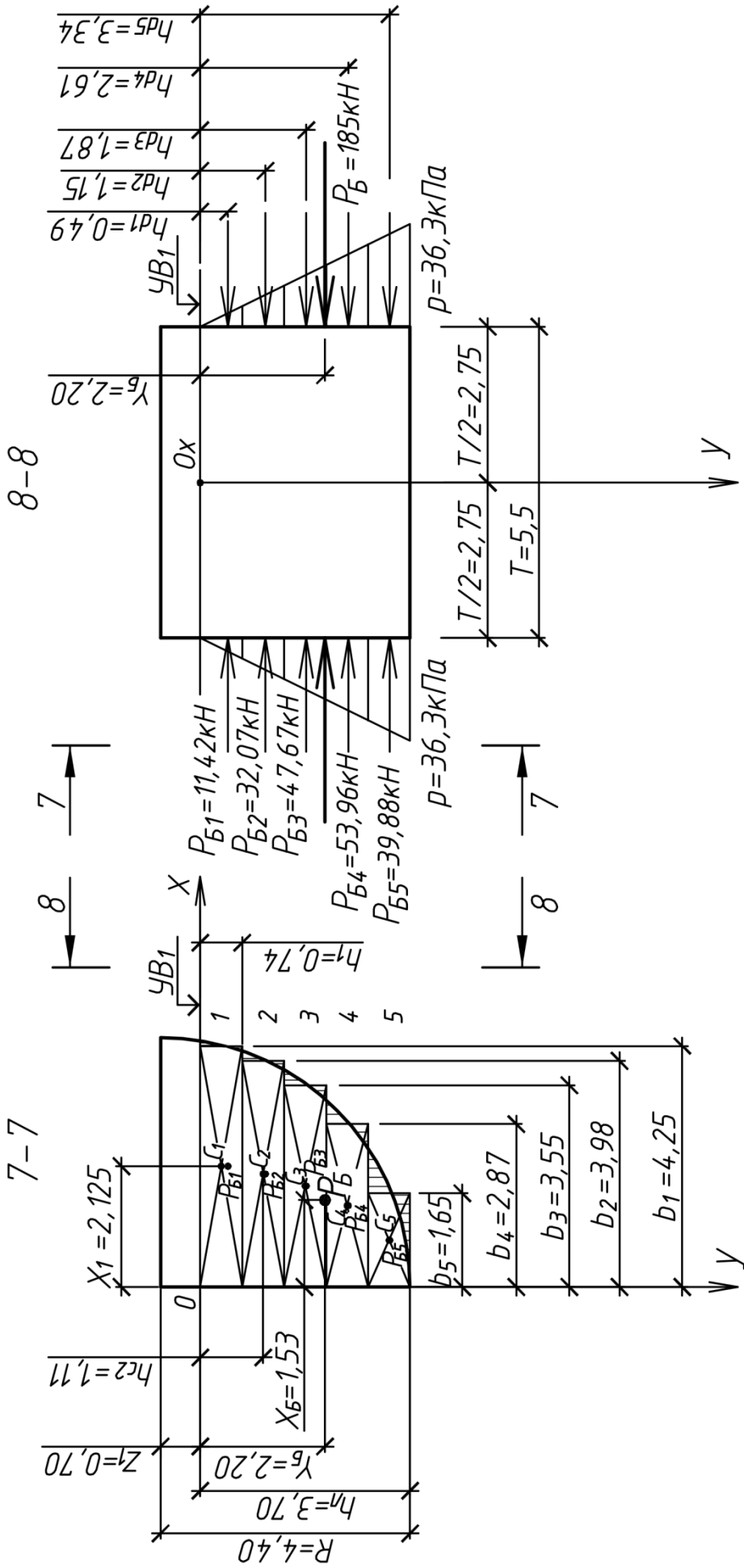


Рисунок 4 – Схема к расчету носовой части с нагрузками на боковые стенки

Таблица 2 – К расчету боковой стенки носовой части дока

№ прямо- угольника	Ширина прямо- угольника $b_i$ , м	Заглубление кромок прямоугольника, м		Сила давления на боковую стенку прямоугольника $P_{Bi} = \rho \cdot g \cdot b_i \cdot \frac{y_2^2 - y_1^2}{2}$ , кН	Плечо силы бокового давления относительно оси $Ox$ $h_{di} = \frac{2}{3} \cdot \frac{y_2^3 - y_1^3}{y_2^2 - y_1^2}$ , м
		$y_2$	$y_1$		
1	4,25	0,74	0	11,42	0,49
2	3,98	1,48	0,74	32,07	1,15
3	3,55	2,22	1,48	47,67	1,87
4	2,87	2,96	2,22	53,96	2,61
5	1,65	3,70	2,96	39,88	3,34

Результирующая сила, действующая на боковую стенку носовой части дока, определяется суммой элементарных сил

$$P_B = \sum_1^5 P_{Bi}, \text{ кН}, \quad (35)$$

$$P_B = 185,00 \text{ кН}.$$

Точка приложения равнодействующей силы определяется двумя координатами: вертикальной ( $Y_B$ ) и горизонтальной ( $X_B$ ), которые находятся из теоремы Вариньона

$$P_B \cdot Y_B = \sum P_{Bi} \cdot h_{di}, \quad (36)$$

$$P_B \cdot Y_B = P_{B1} \cdot h_{d1} + P_{B2} \cdot h_{d2} + P_{B3} \cdot h_{d3} + P_{B4} \cdot h_{d4} + P_{B5} \cdot h_{d5}, \quad (37)$$

где  $P_{Bi}$  – элементарная сила, действующая на прямоугольник, кН;

$h_{di}$  – плечо элементарной силы  $P_{Bi}$  относительно оси  $Ox$ , м.

$$Y_B = \frac{P_{B1} \cdot h_{d1} + P_{B2} \cdot h_{d2} + P_{B3} \cdot h_{d3} + P_{B4} \cdot h_{d4} + P_{B5} \cdot h_{d5}}{P_B}, \quad (38)$$

$$Y_B = \frac{11,42 \cdot 0,49 + 32,07 \cdot 1,15 + 47,67 \cdot 1,87 + 53,96 \cdot 2,61 + 39,88 \cdot 3,34}{185,00} = 2,20 \text{ м}.$$

$$P_B \cdot X_B = \sum P_{Bi} \cdot X_i, \quad (39)$$

где  $X_i = \frac{b_i}{2}$  – плечо элементарной силы  $P_{Bi}$  относительно оси  $Oy$ , м.

$$P_B \cdot X_B = P_{B1} \cdot X_1 + P_{B2} \cdot X_2 + P_{B3} \cdot X_3 + P_{B4} \cdot X_4 + P_{B5} \cdot X_5, \quad (40)$$

$$X_B = \frac{P_{B1} \cdot X_1 + P_{B2} \cdot X_2 + P_{B3} \cdot X_3 + P_{B4} \cdot X_4 + P_{B5} \cdot X_5}{P_B}, \quad (41)$$

$$X_B = \frac{11,42 \cdot \frac{4,25}{2} + 32,07 \cdot \frac{3,98}{2} + 47,67 \cdot \frac{3,55}{2} + 53,96 \cdot \frac{2,87}{2} + 39,88 \cdot \frac{1,65}{2}}{185,00} = 1,53 \text{ м.}$$

### 3.2 Лобовая поверхность

Нагрузка на лобовую цилиндрическую поверхность определяется в виде суммы горизонтальной силы  $P_x$  и вертикальной силы  $P_y$  (рисунок 5).

Горизонтальная сила  $P_x$  [3]

$$P_x = 0,5 \cdot \rho \cdot g \cdot h_n^2 \cdot T, \quad (42)$$

где  $h_n$  – заглубление лобовой части под уровень воды, м.

$$h_n = R - z_1, \quad (43)$$

$$h_n = 4,40 - 0,70 = 3,70 \text{ м.}$$

$$P_x = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 3,7^2 \cdot 5,5 = 369,30 \cdot 10^3 \text{ Н} = 369,30 \text{ кН.}$$

Поскольку эпюра гидростатического давления треугольная, то сила  $P_x$  проходит через центр тяжести эпюры на глубине

$$h_x = \frac{2}{3} \cdot h_n, \quad (44)$$

$$h_x = \frac{2}{3} \cdot 3,70 = 2,47 \text{ м.}$$

Вертикальная сила  $P_y$  [3]

$$P_y = \sum \rho \cdot g \cdot V_i, \quad (45)$$

где  $V_i$  – объем элементарного параллелепипеда, м<sup>3</sup>.

$$V_i = S_i \cdot T, \quad (46)$$

Расчет выполняется в табличной форме (таблица 3).

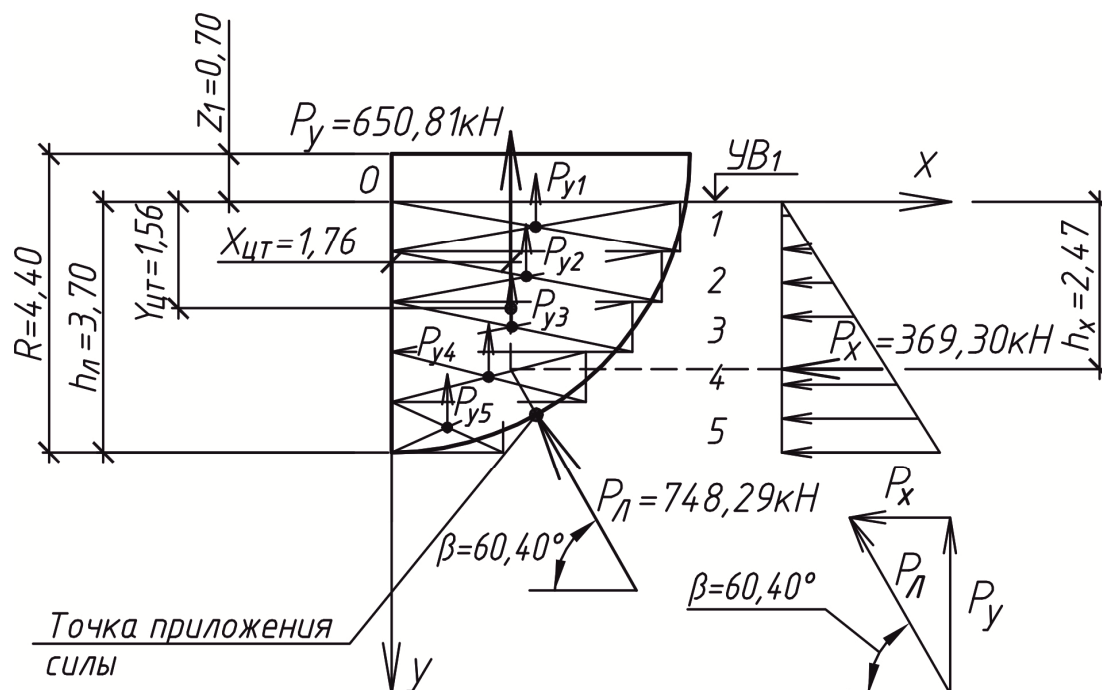


Рисунок 5 – Схема к расчету носовой части с нагрузками на лобовую поверхность

Таблица 3 – К расчету лобовой поверхности носовой части дока

№ прямоугольника	Площадь прямоугольника $S_i = b_i \cdot h_i$ , м <sup>2</sup>	Расстояние до центра тяжести прямоугольника $h_{ci}$ , м	Статический момент прямоугольника относительно оси $Ox$ $S_i \cdot h_{ci}$ , м <sup>3</sup>	Горизонтальная координата центра тяжести прямоугольника $X_i = \frac{b_i}{2}$ , м	Статический момент прямоугольника относительно оси $Oy$ $S_i \cdot X_i$ , м <sup>3</sup>
1	3,145	0,37	1,16	2,125	6,68
2	2,945	1,11	3,27	1,990	5,86
3	2,627	1,85	4,86	1,775	4,66
4	2,124	2,59	5,50	1,435	3,05
5	1,221	3,33	4,07	0,825	1,01
	$S = \sum S_i = 12,06$		$\sum S_i \cdot h_{ci} = 18,86$		$\sum S_i \cdot X_i = 21,26$



$$P_y = 1000 \cdot 9,81 \cdot (3,145 + 2,945 + 2,627 + 2,124 + 1,221) \cdot 5,50 = 650,81 \cdot 10^3 \text{ Н} = 650,81 \text{ кН}$$

Точка приложения силы  $P_y$  по направлению оси  $y$  находится из уравнения статического момента [4]

$$S \cdot Y_{цт} = \sum S_i \cdot h_{ci}, \quad (47)$$

где  $S$  – площадь сечения тела давления,  $\text{м}^2$ ;

$S_i$  – площадь сечения элементарного прямоугольника,  $\text{м}^2$ ;

$h_{ci}$  – координата заглубления центра тяжести элементарного прямоугольника, м.

Точка приложения  $P_y$  по координате  $Y$  равна

$$Y_{цт} = \frac{\sum S_i \cdot h_{ci}}{S}, \quad (48)$$

где  $\sum S_i \cdot h_{ci} = 18,86 \text{ м}^3$  (таблица 3);

$$S = \sum S_i = 12,06 \text{ м}^2.$$

$$Y_{цт} = \frac{18,86}{12,06} = 1,56 \text{ м.}$$

Аналогично определяется координата  $X$  точки приложения вертикальной силы [4]

$$S \cdot X_{цт} = \sum S_i \cdot X_i, \quad (49)$$

где  $X_{цт}$  – координата точки приложения вертикальной силы, м.

$$X_{цт} = \frac{\sum S_i \cdot X_i}{S}, \quad (50)$$

где  $\sum S_i \cdot X_i = 21,26 \text{ м}^3$  (таблица 3).

$$X_{цт} = \frac{21,26}{12,06} = 1,76 \text{ м.}$$

Равнодействующая сила, действующая на лобовую поверхность

$$P_n = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}, \quad (51)$$

$$P_n = \sqrt{369,30^2 + 650,81^2} = 748,29 \text{ кН.}$$

Точка приложения этой силы находится графически (рисунок 5), с предварительным вычислением угла наклона ее к горизонту  $\beta$ .

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{P_y}{P_x}, \quad (52)$$

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{650,81}{369,30} = 1,76;$$

$$\beta = \operatorname{arctg}(1,76) = 60,40^\circ.$$

Сила  $P_n$  приложена к обшивке лобовой поверхности носовой части дока.

## 4 Определение расположения ригелей на торцевой стенке кормовой части

Ригель – ребро жесткости, воспринимающее основную нагрузку. Выполняется в виде двутавра или швеллера. Ригели кормовой части должны быть равнонагружены, т.е. каждый ригель должен воспринимать одинаковую гидростатическую нагрузку.

### 4.1 Аналитический способ

Нагрузка, приходящаяся на один ригель равна

$$P_{\text{руз}} = \frac{P_K}{n}, \quad (53)$$

где  $P_K$  – сила гидростатического давления, действующая на торцевую стенку;  
 $n$  – количество ригелей (по заданию  $n = 3$ ).

$$P_K = \rho \cdot g \cdot h_c \cdot S_K, \quad (54)$$

где  $h_c$  – заглубление центра тяжести торца кормовой части под уровень воды.

$$h_c = \frac{h_K}{2}, \quad (55)$$

где  $h_K$  – глубина погружения торца кормовой части под уровень воды.

$$h_K = a - z_1, \quad (56)$$

$$h_K = 5,5 - 0,7 = 4,8 \text{ м},$$

$$h_c = \frac{4,8}{2} = 2,4 \text{ м},$$

$S_K$  – площадь торца кормовой части, находящейся под уровнем воды, м<sup>2</sup>.

$$S_K = \frac{h_K}{\sin \beta} \cdot T, \quad (57)$$

где  $\sin \beta$  – синус угла наклона торцевой стенки к горизонту.

$$\sin \beta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + k^2}}, \quad (58)$$

$$\sin \beta = \frac{5,5}{\sqrt{5,5^2 + 3,0^2}} = 0,878,$$

$$\beta = 61,40^\circ,$$

$$S_k = \frac{4,8}{0,878} \cdot 5,5 = 30,07 \text{ м}^2,$$

$$P_k = 1000 \cdot 9,81 \cdot 2,4 \cdot 30,07 = 707,97 \cdot 10^3 \text{ Н} = 707,97 \text{ кН},$$

$$P_{\text{руз}} = \frac{707,97}{3} = 235,99 \text{ кН}.$$

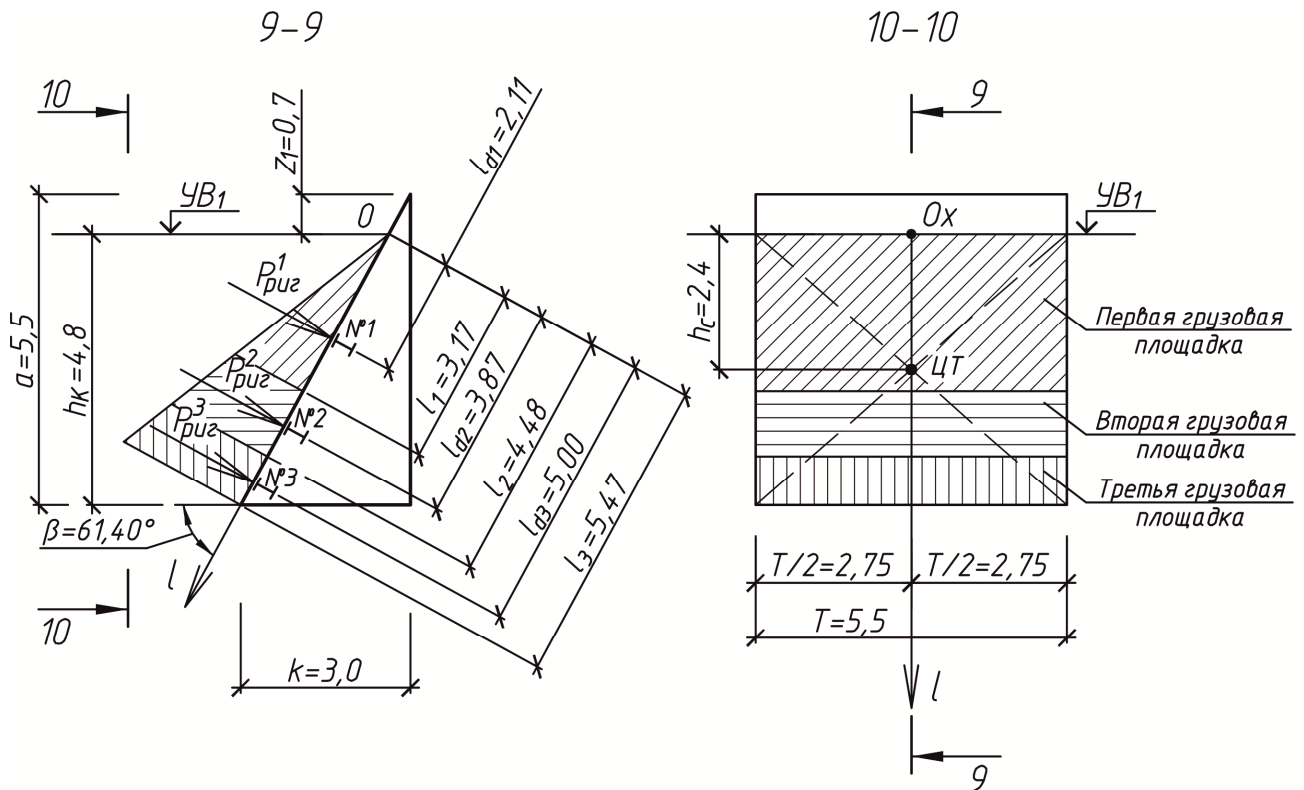


Рисунок 6 – Схема к определению расположения ригелей аналитическим способом

Требуется определить границы грузовых площадок для каждого ригеля. Для этого записывается формула определения силы гидростатического давления в следующем виде

$$P_{\text{руз}}^i = \rho \cdot g \cdot h_c^i \cdot S^i, \quad (59)$$

где  $h_c^i$  – глубина погружения центра тяжести  $i$ -ой грузовой площадки;

$$h_c^i = \frac{l_i + l_{i-1}}{2} \cdot \sin \beta, \quad (60)$$

$S^i$  – площадь  $i$ -ой грузовой площадки;

$$S^i = (l_i - l_{i-1}) \cdot T, \quad (61)$$

$$P_{пуз}^i = \rho \cdot g \cdot \frac{l_i + l_{i-1}}{2} \cdot \sin \beta \cdot (l_i - l_{i-1}) \cdot T, \quad (62)$$

$$P_{пуз}^i = \rho \cdot g \cdot \frac{l_i^2 - l_{i-1}^2}{2} \cdot \sin \beta \cdot T, \quad (63)$$

Из формулы (63) следует, что нижняя граница  $i$ -ой грузовой площадки равна

$$l_i = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{пуз}}{\rho \cdot g \cdot T \cdot \sin \beta} + l_{i-1}^2}, \quad (64)$$

Первая грузовая площадка,  $i = 1$

$$l_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 235,99 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81 \cdot 5,5 \cdot 0,878} + 0^2} = 3,17 \text{ м.}$$

Вторая грузовая площадка,  $i = 2$

$$l_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 235,99 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81 \cdot 5,5 \cdot 0,878} + 3,17^2} = 4,48 \text{ м.}$$

Третья грузовая площадка,  $i = 3$

$$l_3 = \sqrt{\frac{2 \cdot 235,99 \cdot 10^3}{1000 \cdot 9,81 \cdot 5,5 \cdot 0,878} + 4,48^2} = 5,47 \text{ м.}$$

что соответствует длине торцевой стенки кормовой части

$$l_K = \frac{h_K}{\sin \beta}, \quad (65)$$

$$l_K = \frac{4,8}{0,878} = 5,47 \text{ м.}$$

Определяется точка приложения силы гидростатического давления для каждого ригеля

$$l_{di} = \frac{2}{3} \cdot \frac{l_i^3 - l_{i-1}^3}{l_i^2 - l_{i-1}^2}, \quad (66)$$

Первый ригель,  $i = 1$

$$l_{d1} = \frac{2}{3} \cdot \frac{3,17^3 - 0^3}{3,17^2 - 0^2} = 2,11 \text{ м.}$$

Второй ригель,  $i = 2$

$$l_{d2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{4,48^3 - 3,17^3}{4,48^2 - 3,17^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{58,06}{10,02} = 3,87 \text{ м.}$$

Третий ригель,  $i = 3$

$$l_{d3} = \frac{2}{3} \cdot \frac{5,47^3 - 4,48^3}{5,47^2 - 4,48^2} = \frac{2}{3} \cdot \frac{75,56}{10,07} = 5,00 \text{ м.}$$

Каждый ригель должен располагаться на линии действия силы  $P_{\text{риг}}$ .

## 4.2 Графический способ

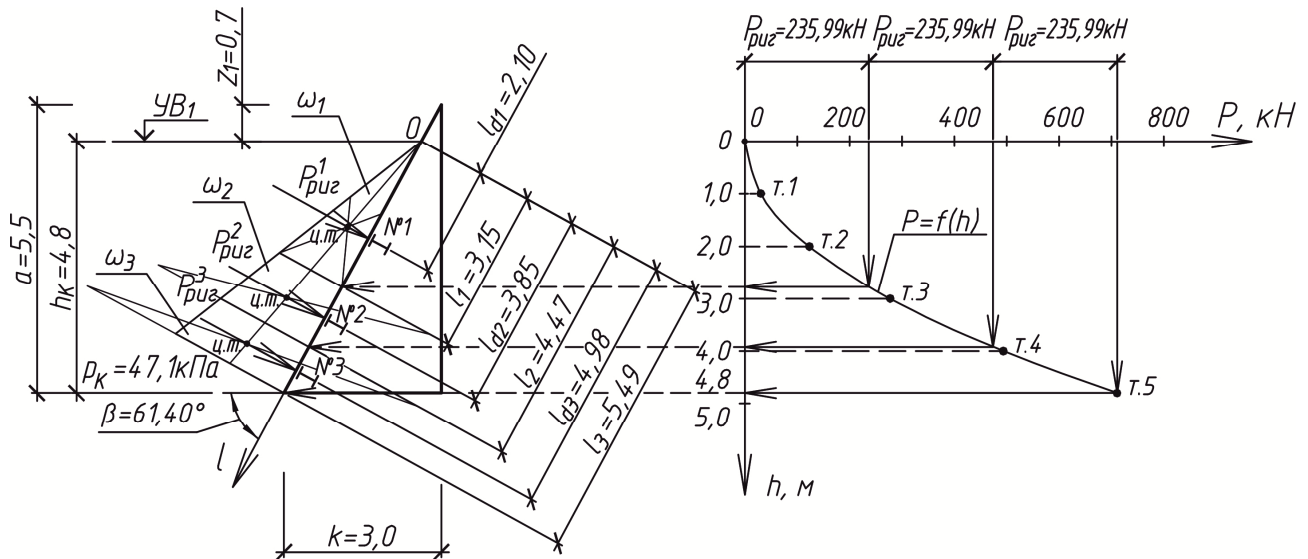


Рисунок 7 – Схема к определению расположения ригелей графическим способом

Алгоритм решения задачи

1. Строится эпюра гидростатического давления (рисунок 7)

$$p_K = \rho \cdot g \cdot h_K, \quad (67)$$

$$p_K = 1000 \cdot 9,81 \cdot 4,8 = 47,1 \cdot 10^3 \text{ Па} = 47,1 \text{ кПа.}$$

2. Вычисляется сила гидростатического давления по формуле (54)

$$P_K = 707,97 \text{ кН.}$$

3. Строится интегральная кривая  $P = f(h)$ , для чего определяется сила гидростатического давления при разных глубинах

$$P_i = 0,5 \cdot \rho \cdot g \cdot \frac{h_i^2}{\sin \beta} \cdot T$$

по найденным точкам строится кривая

т.1  $h_1 = 1,0 \text{ м}$

$$P_1 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{1,0^2}{0,878} \cdot 5,5 = 30,73 \cdot 10^3 \text{ Н} = 30,73 \text{ кН}.$$

т.2  $h_2 = 2,0 \text{ м}$

$$P_2 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{2,0^2}{0,878} \cdot 5,5 = 122,90 \cdot 10^3 \text{ Н} = 122,90 \text{ кН}.$$

т.3  $h_3 = 3,0 \text{ м}$

$$P_3 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{3,0^2}{0,878} \cdot 5,5 = 276,53 \cdot 10^3 \text{ Н} = 276,53 \text{ кН}.$$

т.4  $h_4 = 4,0 \text{ м}$

$$P_4 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{4,0^2}{0,878} \cdot 5,5 = 491,62 \cdot 10^3 \text{ Н} = 491,62 \text{ кН}.$$

т.5  $h_k = 4,8 \text{ м}$

$$P_5 = 0,5 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot \frac{4,8^2}{0,878} \cdot 5,5 = 707,97 \cdot 10^3 \text{ Н} = 707,97 \text{ кН}.$$

4. На оси абсцисс интегральной кривой  $P=f(h)$  откладываются значения  $P_{\text{риг}} = 235,99 \text{ кН}$  (формула 53).

5. С помощью интегральной кривой  $P=f(h)$  определяются нижние границы грузовых площадок на эпюре давления.

6. На полученных фигурах (рисунок 7) эпюры гидростатического давления определяется центр тяжести. Так как ригели равнонагружены, то площади (объемы) эпюры гидростатического давления должны быть равны между собой  $\omega_1 = \omega_2 = \omega_3$ .

7. Центр тяжести каждой равновеликой площади является центром давления  $P_{\text{риг}}$ , который определяет положение ригелей.

## 5 Определение грузоподъемности дока

Грузоподъемность плавающего объекта представляет собой подъемную силу, в основе которой лежит закон Архимеда. Грузоподъемность дока определяет максимально возможный вес ремонтируемого судна.

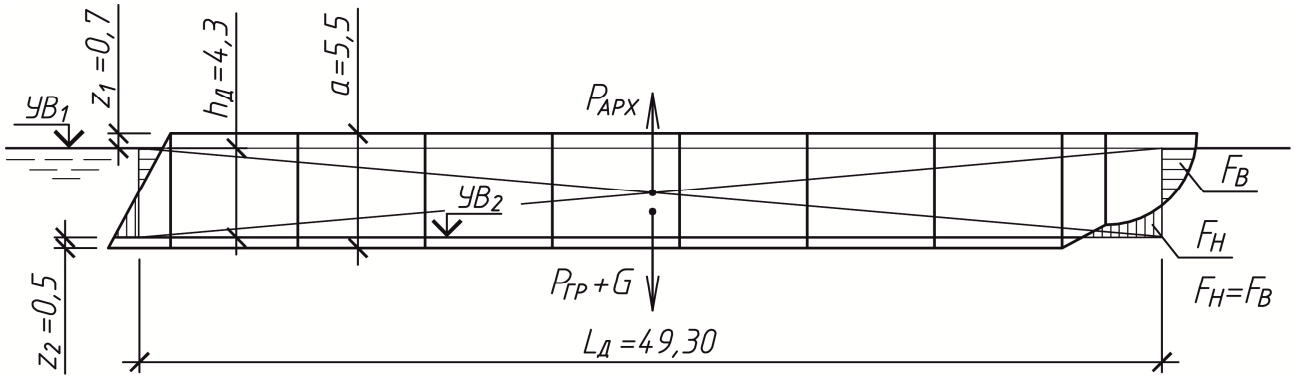


Рисунок 8 – Схема к определению грузоподъемности дока

Грузоподъемность дока

$$P_{ГР} = P_{АРХ} - G, \quad (68)$$

где  $P_{АРХ}$  – архимедова сила, кН;

$G$  – собственный вес дока, кН.

$$P_{АРХ} = \rho \cdot g \cdot V_d, \quad (69)$$

где  $V_d$  – объем части дока, погруженной в воду с учетом воды в доке,  $\text{м}^3$ .

$$V_d = L_d \cdot h_d \cdot T, \quad (70)$$

где  $L_d$  – осредненная длина дока (снимается с рисунка 8),  $L_d = 49,30$  м;

$h_d$  – высота дока под уровнем воды (с учетом воды в доке), м;

$T$  – ширина дока, м.

$$h_d = a - z_1 - z_2, \quad (71)$$

$$h_d = 5,5 - 0,7 - 0,5 = 4,3 \text{ м},$$

$$V_d = 49,3 \cdot 4,3 \cdot 5,5 = 1165,95 \text{ м}^3,$$

$$P_{АРХ} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 1165,95 = 11437,97 \cdot 10^3 \text{ Н} = 11437,97 \text{ кН}.$$



$$G = m \cdot g, \quad (72)$$

где  $m$  – масса дока,  $m = 1100$  т.

$$G = 1100 \cdot 9,81 = 1079,1 \text{ кН.}$$

$$P_{TP} = 11437,97 - 1079,1 = 10358,87 \text{ кН} = \frac{10358,87}{9,81} = 1055,95 \text{ т.}$$

### **Заключение**

Результаты расчетов гидростатических нагрузок на элементы дока являются исходным материалом для проектирования конструкции дока.

Вычисленная грузоподъемность дока определяет размеры судов, которые могут ремонтироваться в настоящем доке.

### Список литературы

1. Чугаев, Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. – Москва : Бастет, 2008. – 672 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. – Москва : Энергия, 1972. – 312 с.
3. Справочник по гидравлике / под ред. В. А. Большакова. – Киев : Вища шк., 1984. – 343 с.
4. Агеева, В. В. Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Механика жидкости и газов» для студентов II курса общетехнического факультета / В. В. Агеева ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2001. – 21с.

**Задание**

на расчетно-графическую работу

по дисциплине «Механика жидкости и газа»

**Гидравлические расчеты конструктивных элементов сооружений**

Студенту \_\_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_ курса \_\_\_\_\_

**1. Цель работы**

Определить гидростатические нагрузки на элементы дока, положение несущих ригелей на торцевой стенке кормовой части дока аналитическим и графическим способами, определить грузоподъемность дока.

**2. Исходные данные**

Схема конструкции дока № \_\_\_\_\_, параметры дока: вариант № \_\_\_\_\_

**3. Отчетный материал**

Отчетный материал представляется в виде пояснительной записки, оформленной по действующим стандартам.

Пояснительная записка должна содержать:

- титульный лист;
- бланк задания;
- введение;
- расчет гидростатических нагрузок на рабочую секцию, переходную секцию и носовую часть дока;
- определение расположения ригелей на торцевую стенку кормовой части дока аналитическим и графическим способами;
- определение грузоподъемности дока;
- заключение;
- список литературы.

Пояснительная записка выполняется на бумаге формата А4 без рамки, соблюдая поля (сверху, снизу, справа – 15 мм, слева – 25 мм).

Графические изображения выполняются в составе пояснительной записки на листах стандартного формата с разрезами по расчетным секциям дока. Масштаб уменьшения принимается стандартный.

Оформление выполняется рукописным или компьютерным способом (текстовый редактор Microsoft Word, шрифт Times New Roman, размер шрифта – 14, межстрочный интервал – 1,5).

### **Рекомендуемая литература**

1. Чугаев, Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. – Москва : Бастет, 2008. – 672 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. – Москва : Энергия, 1972. – 312 с.
3. Справочник по гидравлике / под ред. В. А. Большакова. – Киев : Вища школа, 1984. – 343 с.

Дата выдачи \_\_\_\_\_

Дата сдачи \_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_

## Схемы конструкций дока

Схема 1

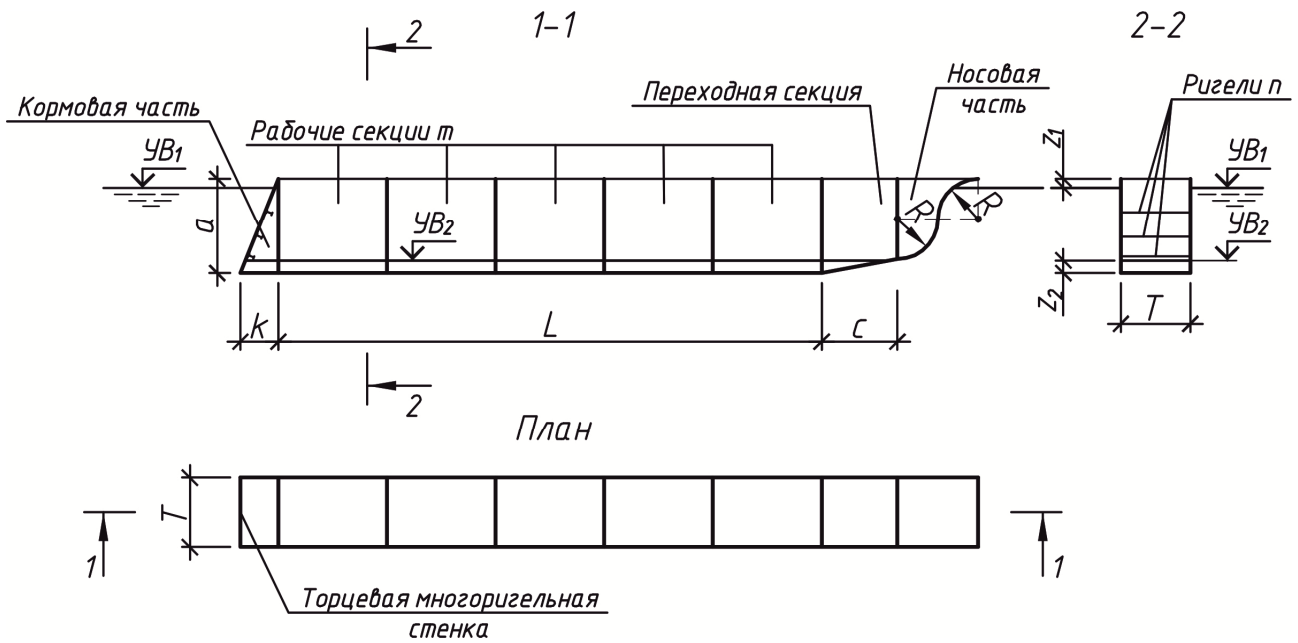


Схема 2

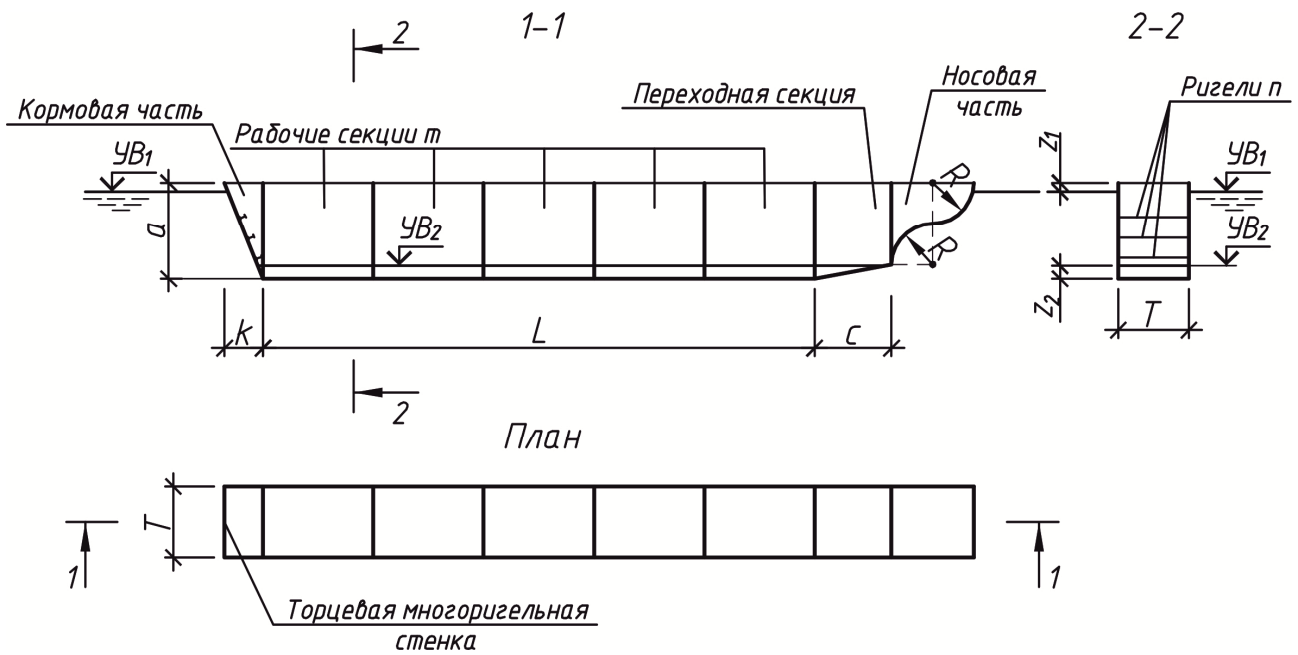


Схема 3

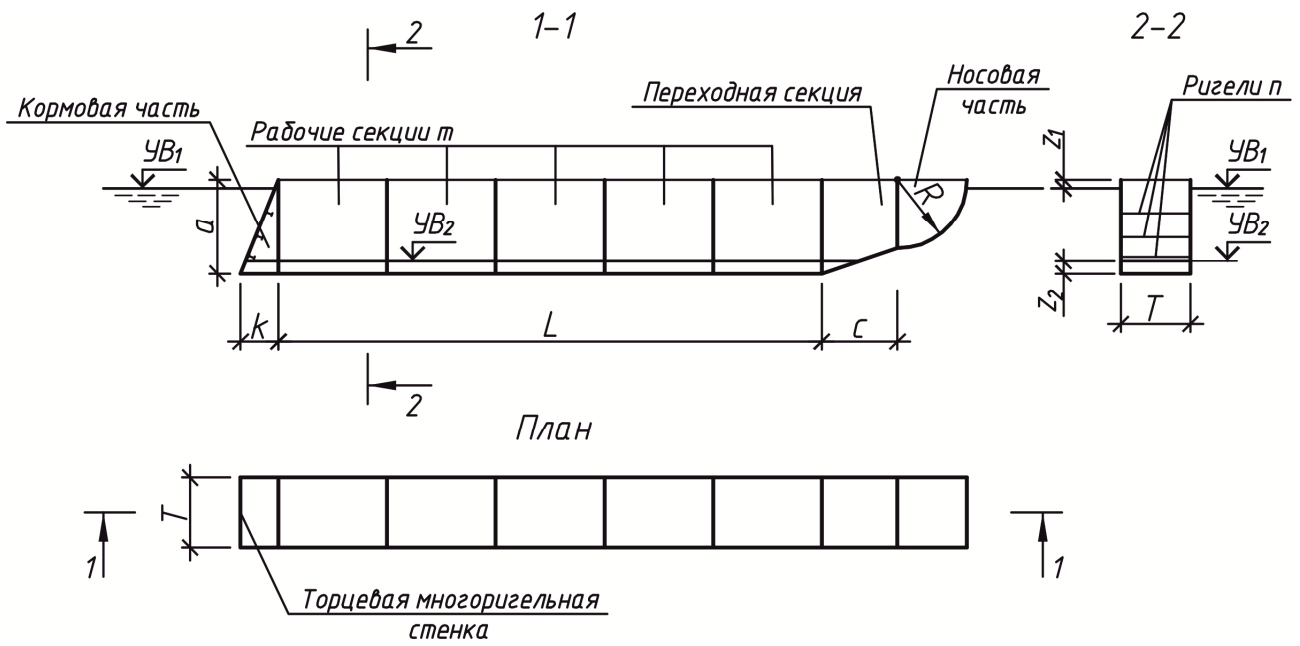
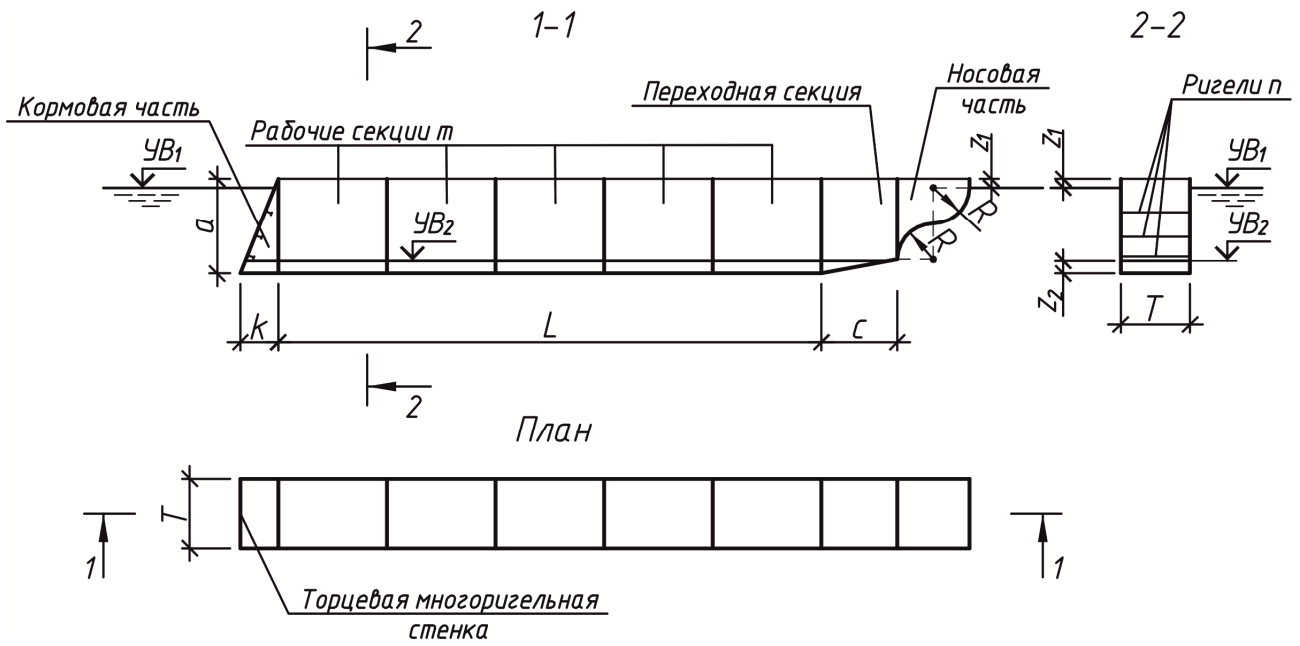


Схема 4



### Параметры дока

№ ва- рианта	Геометрические размеры, м								Количество		Масса дока, т
	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>L</i>	<i>R</i>	<i>T</i>	<i>z<sub>1</sub></i>	<i>z<sub>2</sub></i>	<i>k</i>	рабочих секций <i>m</i>	ригелей <i>n</i>	
1	6,5	3,5	50,0	2,0	5,0	0,5	0,4	3,0	5	4	920,0
2	9,0	3,5	56,0	3,0	7,2	0,7	0,3	2,8	8	3	950,0
3	10,4	4,5	72,0	4,2	6,4	0,6	0,5	2,5	6	3	930,0
4	8,5	2,3	63,0	3,2	6,5	0,4	0,4	3,5	7	4	1000,0
5	7,8	3,5	45,0	2,7	6,2	0,5	0,3	3,8	5	4	940,0
6	12,3	2,8	120,0	5,0	7,4	0,6	0,4	4,2	10	4	1050,0
7	10,3	3,2	48,0	4,3	7,5	0,7	0,5	4,0	6	3	940,0
8	8,2	2,9	72,0	3,4	6,8	0,5	0,5	2,8	8	3	980,0
9	8,5	4,8	40,0	2,9	5,3	0,6	0,4	2,2	5	4	935,0
10	11,3	3,4	56,0	4,8	8,4	0,7	0,6	2,1	7	4	955,0
11	10,2	4,3	60,0	4,3	7,5	0,5	0,3	3,2	6	3	980,0
12	10,6	4,5	48,0	3,9	9,0	0,8	0,6	2,5	8	3	930,0
13	7,4	3,5	35,0	2,5	6,2	0,5	0,3	2,1	5	4	920,0
14	8,3	3,7	42,0	3,1	7,3	0,7	0,4	3,0	6	4	945,0
15	6,8	4,2	35,0	2,3	5,4	0,6	0,5	2,3	7	3	950,0
16	7,2	3,9	72,0	2,8	5,8	0,7	0,3	2,9	9	3	1025,0
17	8,0	5,0	25,0	3,2	7,3	0,5	0,4	3,1	5	4	910,0
18	8,5	4,8	54,0	3,0	6,3	0,4	0,2	2,6	6	4	940,0
19	9,0	3,8	64,0	3,5	5,2	0,7	0,5	2,8	8	3	950,0
20	8,2	3,5	99,0	3,2	6,0	0,8	0,6	3,0	9	3	980,0
21	7,5	4,5	84,0	2,5	7,0	0,5	0,5	2,5	7	4	990,0
22	9,5	4,9	84,0	3,8	7,5	0,6	0,4	3,0	6	4	930,0
23	8,6	3,2	75,0	3,0	8,0	0,6	0,3	3,2	5	3	850,0
24	11,2	4,3	80,0	4,3	8,2	0,8	0,4	3,5	10	3	1100,0
25	10,3	4,6	56,0	4,0	8,3	0,7	0,5	3,4	8	4	950,0
26	9,1	3,4	60,0	3,2	8,2	0,5	0,3	2,8	6	4	830,0
27	8,7	5,2	70,0	3,3	6,0	0,8	0,6	2,5	7	3	890,0
28	13,3	6,2	96,0	5,5	9,4	0,8	0,4	3,9	8	3	1150,0
29	6,2	4,0	60,0	2,3	5,0	0,6	0,6	2,9	5	4	945,0
30	10,5	5,0	56,0	4,0	6,0	0,7	0,3	3,0	7	4	980,0
31	12,0	2,8	52,0	5,0	7,2	0,7	0,5	2,2	4	3	920,0
32	10,2	2,0	40,0	3,5	6,8	0,8	0,6	2,0	5	4	950,0
33	11,5	2,4	42,0	4,7	7,0	0,6	0,5	2,1	6	3	900,0
34	12,4	2,9	55,0	5,0	6,6	0,7	0,6	2,4	5	3	1000,0
35	10,8	2,6	50,0	3,8	6,0	0,8	0,7	1,8	5	4	970,0
36	11,0	1,8	60,0	3,4	7,8	0,6	0,8	2,5	6	4	110,0
37	10,0	2,5	49,0	2,7	6,5	0,5	0,6	2,3	7	3	850,0
38	5,50	2,10	43,0	4,40	5,50	0,70	0,50	3,0	7	3	1100,0



Битюрин Александр Константинович

Золявин Александр Сергеевич

Агеева Вера Валерьевна

Кафедра гидравлики

## Расчет гидростатических нагрузок на элементы дока

Учебно-методическое пособие

к изучению студентами раздела гидростатики

по дисциплине «Механика жидкости и газа»

Подписано в печать    Формат 60x90 1/16 Бумага газетная. Печать трафаретная.

Уч. изд. л. 1,8. Усл. печ. л. 1,9. Тираж 150 экз. Заказ №

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

603950, Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Нижний Новгород, Ильинская, 65.