

Изм	Ред	Фамилия	Подпись	Дата				
Выполнил						Лит.	Лист	Листов
Проверил								

## Раздел V. Определение посадки и остойчивости судна с затопленными отсеками.

### Задание:

- Рассчитать посадку и остойчивость судна после затопления двух цистерн, расположенных в двойном дне.
- Рассчитать посадку и остойчивость судна после затопления одного из трюмов через открытый люк.
- Судно получило пробоину в районе трюма. Рассчитать изменение коэффициента поперечной остойчивости в процессе откачки воды после заделки пробоины.

					Лист
Изм	ред	№ Докум	Подпись		

5.1 Рассчитаем посадку и остойчивость судна после затопления двух цистерн, расположенных в двойном дне.

Затоплены цистерны ДТ-2 и ДТ-6, найдём массу воды в них:

$$m = \rho \mu V_m,$$

где:

$$\rho = 1,025 \text{ т/м}^3 \text{ – плотность забортной воды;}$$

$$\mu = 0,98 \text{ - коэффициент проницаемости цистерны;}$$

$V_m$  - теоретический объём цистерны, который найдём из формулы:

$$\mu V_m = \frac{m_{мон}}{\rho_{мон}},$$

$$\text{где } \rho_{мон} = 0,95 \text{ т/м}^3 \text{ – плотность топлива;}$$

$m_{мон}$  - масса топлива в цистерне, берётся из таблицы весовой нагрузки при 100% запасов:

$$m_{\text{ДТ-2}} = 364,8 \text{ т,}$$

$$m_{\text{ДТ-6}} = 47,3 \text{ т.}$$

Окончательная формула для массы воды:

$$m = \frac{\rho m_{мон}}{\rho_{мон}};$$

$$m_{\text{водыДТ-2}} = \frac{1,025 \cdot 364,8}{0,95} = 393,6 \text{ т;}$$

$$m_{\text{водыДТ-6}} = \frac{1,025 \cdot 47,3}{0,95} = 51 \text{ т.}$$

Составляем таблицу весовой нагрузки судна с затопленными отсеками (Таблица 5.1).

**Таблица 5.1 - Таблица весовой нагрузки**

Судно с Жидким балластом						
Статья нагрузки	м, т	X, м	Z, м	m*X, т*м	m*Z, т*м	
1 Судно в грузу	4708,9	-4,39	6,91	-20651,58	32518,98	
2 Цистерна ДТ - 2	393,6	37,60	7,04	14799,36	2770,94	
3 Цистерна ДТ - 6	51,0	6,40	0,68	326,40	34,68	
СУММА	5153,5			-5525,82	35324,60	

Найдём координаты центра тяжести и водоизмещение судна после принятия балласта:

$$M = M_0 + \sum m_i$$

$$M = 4708,9 + 444,6 = 5153,5 \text{ т}$$

							Лист
Изм	Ред	№ Докум	Подпись				

$$X_g = \frac{M_0 \cdot X_{g0} + \sum m_i \cdot x_i}{M}$$

$$X_g = \frac{4708.9 \cdot (-4.39) -}{5135} = -4.57 \text{ м}$$

$$Z_g = \frac{M_0 \cdot Z_{g0} + \sum m_i \cdot z_i}{M};$$

$$Z_g = \frac{4708.9 \cdot 6.9 + 2770.94 + 34.68}{5135} = 6.87 \text{ м}$$

**Найдем осадки носом и кормой. Полагаем, что  $X_g \approx X_c$  и входим в диаграмму осадок судна носом и кормой ( Приложение 2.2)**

$$T_n = 4,2 \text{ м}$$

$$T_k = 6,3 \text{ м}$$

$$T_{cp} = 5,25 \text{ м}$$

**Найдем начальную метацентрическую высоту судна для этого сначала определим значения  $Z_c$  и  $r$ , по диаграммам (Приложение 2.3, 2.4)**

$$r = 4,5 \text{ м}$$

$$Z_c = 3,07 \text{ м}$$

$$h = r + Z_c - Z_g$$

$$h = 4,5 + 3,07 - 6,87 = 0,7 \text{ м}$$

**Данная метацентрическая высота соответствует требованиям регистра России, т.к. для судов  $L \geq 70 \text{ м}$   $h \geq 0.15 \text{ м}$ .**

**Проверим соответствие плавучести судна требованиям Регистра путем сравнения средней осадки  $T_{cp}$  с осадкой  $T_{г.м}$ .**

$$T_{г.м} = 5,87 \text{ м}$$

$$T_{cp} = 5,25 \text{ м}$$

$$T_{cp} < T_{г.м}$$

**Плавучесть судна удовлетворяет требованиям Регистра.**

**Соответствие остойчивости судна требованиям Регистра определяем путем сравнения рассчитанной аппликаты центра тяжести  $Z_g$  с её критическим значением  $Z_{кр}$ .**

**Если  $Z_{кр} > Z_g$ , то остойчивость будет соответствовать требованиям Регистра.**

**По кривой критических аппликат Ц.Т. судна (Приложение 2.5) определяем:**

$$Z_{кр} = 6,95 \text{ м}$$

$$Z_g = 6,85 \text{ м}$$

$$Z_g < Z_{кр}$$

**Остойчивость судна удовлетворяет требованиям Российского Морского Регистра Судоходства.**

					Лист
Изм	Ред	№ Докум	Подпись		

5.2 Рассчитаем посадку и остойчивость судна после затопления одного из трюмов через открытый люк.

Затопленным на 70% оказалось нижнее помещение для замороженной рыбы (прямоугольное), найдём массу воды:

$$m = \rho \mu V_m,$$

где  $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$  – плотность забортной воды;

$\mu = 0,95$  - коэффициент проницаемости помещения с рыбой;

$V_m$  - объём трюма.

Согласно судовой документации объём трюма №2 равен:

$$V_m = 1329 \text{ м}^3.$$

Т. к. затоплено только 70%, то масса воды будет:

$$m_e^{70\%} = 0,7 \rho \mu V_m;$$

$$m_e^{70\%} = 0,7 \cdot 0,95 \cdot 1,025 \cdot 1329 = 905,9 \text{ т.}$$

Составляем таблицу весовой нагрузки судна с затопленным отсеком (Таблица 5.2).

**Таблица 5.2 - Таблица весовой нагрузки**

Судно с Жидким балластом						
Статья нагрузки	м, т	X, м	Z, м	m*X, т*м	m*Z, т*м	
1 Судно в грузу	4708,9	-4,39	6,91	-20651,58	32518,98	
2 Трюм №2	905,9	6,00	4,58	5435,40	4149,02	
СУММА	5614,8			-15216,18	36668	

Найдем координаты центра тяжести и водоизмещение судна после принятия балласта:

$$M = M_0 + \sum m_i$$

$$M = 4708,9 + 905,9 = 5614,8 \text{ т}$$

$$X_g = \frac{M_0 \cdot X_{g0} + \sum m_i \cdot x_i}{M}$$

$$X_g = \frac{4708,9 \cdot (-4,39) + 5435,4}{5614,8} = -2,71 \text{ м}$$

$$Z_g = \frac{M_0 \cdot Z_{g0} + \sum m_i \cdot z_i}{M};$$

$$Z_g = \frac{4708,9 \cdot 6,9 + 4149,02}{5135} = 6,53 \text{ м}$$

					Лист
Изм	Ред	№ Докум	Подпись		

Найдем осадки носом и кормой. Полагаем, что  $Xg \approx Xc$  и входим в диаграмму осадок судна носом и кормой ( Приложение 2.2)

$$T_n = 6,2 \text{ м}$$

$$T_k = 5,3 \text{ м}$$

$$T_{cp} = 5,75 \text{ м}$$

Найдем начальную метацентрическую высоту судна для этого сначала определим значения  $Zc$  и  $r$ , по диаграммам (Приложение 2.3, 2.4)

$$r = 4,1 \text{ м}$$

$$Zc = 3,1 \text{ м}$$

$$h = r + Zc - Zg$$

$$h = 4,1 + 3,1 - 6,53 = 0,67 \text{ м}$$

Данная метацентрическая высота соответствует требованиям регистра России, т.к. для судов  $L \geq 70 \text{ м}$   $h \geq 0,15 \text{ м}$ .

Проверим соответствие плавучести судна требованиям Регистра путем сравнения средней осадки  $T_{cp}$  с осадкой  $T_{г.м}$ .

$$T_{г.м} = 5,87 \text{ м}$$

$$T_{cp} = 5,75 \text{ м}$$

$$T_{cp} < T_{г.м}$$

Плавучесть судна удовлетворяет требованиям Регистра.

Соответствие остойчивости судна требованиям Регистра определяем путем сравнения рассчитанной аппликаты центра тяжести  $Zg$  с её критическим значением  $Z_{кр}$ .

Если  $Z_{кр} > Zg$ , то остойчивость будет соответствовать требованиям Регистра.

По кривой критических аппликат Ц.Т. судна (Приложение 2.5) определяем:

$$Z_{кр} = 6,91 \text{ м}$$

$$Zg = 6,53 \text{ м}$$

$$Zg < Z_{кр}$$

Остойчивость судна удовлетворяет требованиям Российского Морского Регистра Судоходства.

Необходимо учесть влияние свободной поверхности жидкости. Для этого сначала найдём геометрические размеры трюма:

Высота трюма:

$$h_{mp} = 2(z - h_{од}),$$

где  $z = 4,6 \text{ м}$  – центр тяжести груза в трюме;

$h_{од} = 1,5 \text{ м}$  – высота двойного дна БМРТ «Прометей»;

$$h_{mp} = 2 \cdot (4,6 - 1,5) = 6,2 \text{ м}.$$

					Лист
Изм	Ред	№ Докум	Подпись		

**Ширина трюма:**

$$b = 0,5B,$$

где  $B = 16$  м – ширина судна;

$$b = 0,5 \cdot 16 = 8 \text{ м.}$$

**Длина трюма:**

$$l = \frac{V_{mp}}{bh_{mp}},$$

$$l = \frac{1329}{8 \cdot 6.2} = 26.8 \text{ м.}$$

**Момент инерции площади свободной поверхности воды:**

$$i_{xx} = \frac{1}{12}lb^3,$$

$$i_{xx} = \frac{1}{12} \cdot 26.8 \cdot 8^3 = 1143.5 \text{ м}^4.$$

**Влияние свободной поверхности жидкости на поперечную метацентрическую высоту:**

$$\Delta h = -\frac{\rho_{ж} \cdot i_{xx}}{M},$$

$$\Delta h = -\frac{1,025 \cdot 1143.5}{5614.8} = -0,21$$

5.3 Судно получило пробоину в районе трюма. Рассчитаем изменение коэффициента поперечной остойчивости в процессе откачки воды после заделки пробоины, для чего составим Таблицу 5.4 и построим график зависимости  $k = f(t)$  (Рисунок 5.1).

Процесс откачки воды из помещения обратен процессу его затопления. Поэтому зададимся различными уровнями  $t$  воды в помещении с шагом 0,5 м от нулевого до  $h_{mp}^{70\%} = 2,18$  м. Для принятых уровней в табличном виде рассчитываем коэффициент поперечной остойчивости  $k = Mh$

Осадки судна носом и кормой для каждого варианта загрузки находим по диаграмме осадок судна носом и кормой, полагая, что  $X_g \approx X_c$  ( Приложение 2.2).

Используя осадки носом и кормой находим аппликату поперечного метацентра, для этого сначала определим значения  $Z_c$  и  $r$ , по диаграммам (Приложение 2.3, 2.4)

Аппликату поперечного метацентра находим по формуле:

$$Z_m = r + Z_c$$

Полученные результаты заносим в таблицу 5.3

					Лист
Изм	Ред	№ Докум	Подпись		

**Таблица 5.3. – Значения для расчета аппликата поперечного метацентра**

№ п.п.	r,м	Z <sub>с</sub> ,м	Z <sub>т</sub> ,м	T <sub>н</sub> ,м	T <sub>к</sub> ,м
1	4,7	2,95	7,65	4	6,15
2	4,65	2,97	7,62	4,05	6,18
3	4,55	3	7,55	4,25	6,2
4	4,5	3,05	7,55	4,3	6,2
5	4,44	3,1	7,54	4,55	6,2
6	4,35	3,15	7,5	4,75	6,2
7	4,3	3,18	7,48	4,9	6,25
8	4,22	3,25	7,47	5,1	6,25
9	4,15	3,3	7,45	5,25	6,25
10	4,11	3,25	7,35	5,4	6,25

По результатам Таблицы 5.4 строим график  $k = f(t)$  (Рисунок 5.1).

					Лист
Изм	Ред	№ Докум	Подпись		



№ п.п.	Уровень воды $t_i = t_{i-1} + 0,5$ , м	$V_{вi} = lbt_i$ , м <sup>3</sup>	$m_{вi} = \rho V_{вi}$ , т	Координаты центра масс воды		Статические моменты		Момент инерции свободной поверхности $i_{xx}$ , м <sup>4</sup>	Водоизмещение $M_1 = M + m_{вi}$ , т	Поправка $\delta h = \rho i_{xx} / M_1$ , м	Абсцисса ЦТ судна $X_{ej} = (M_{xg} + mx) / M_1$ , м	Апplikата ЦТ судна $Z_{ej} = (M_{zg} + mz) / M_1$ , м	Апplikата поперечного метacentра $Z_m$ , м	Поперечная метacentрическая высота $h_1 = z_{m1} - z_{ej} + \delta h$ , м	Коэффициент поперечной остойчивости $k = M_1 h_1$ , тм
				$x$ , м	$Z = t/2 + h_{доп}$ , м	$mx$ , тм	$mz$ , тм								
1	0	0	0	6	1.5	0	0	0	4708.9	0	-4.39	6.9	7.65	0.5	3531.7
2	0.5	107	104.36	6	1.75	626	183	1143.5	4813.3	-0.24	-4.16	6.79	7.62	0.59	2830.9
3	1.0	214	208.73	6	2	1252	417	1143.5	4917.6	-0.24	-3.95	6.69	7.55	0.62	3047.1
4	1.5	322	313.09	6	2.25	1879	704	1143.5	5022	-0.23	-3.74	6.61	7.54	0.70	3497.9
5	2.0	429	417.46	6	2.5	2505	1044	1143.5	5126.4	-0.23	-3.54	6.54	7.50	0.73	3740.5
6	2.5	536	521.82	6	2.75	3131	1435	1143.5	5230.7	-0.22	-3.35	6.49	7.50	0.79	4131.9
7	3.0	643	626.19	6	3	3757	1879	1143.5	5335.1	-0.22	-3.17	6.44	7.48	0.82	4364.4
8	3.5	750	730.55	6	3.25	4383	2374	1143.5	5439.4	-0.22	-2.99	6.41	7.47	0.84	5494.9
9	4.0	857	834.91	6	3.5	5009	2922	1143.5	5543.8	-0.21	-2.83	6.39	7.45	0.85	4715.7
10	4.6	986	960.15	6	3.8	5761	3649	1143.5	5669	-0.21	-2.63	6.37	7.35	0.77	4355.4

Таблица 5.4 - таблица расчёта коэффициентов поперечной остойчивости.

**Рисунок 5.1 – График зависимости  $k = f(t)$**