

Раздел III. Расчет и построения диаграмм статической и динамической устойчивости.

Задание:

- Пользуясь судовой технической документацией, рассчитать и построить диаграмму статической устойчивости для заданного варианта его загрузки.
- По известной диаграмме статической устойчивости рассчитать и построить диаграмму динамической устойчивости.
- Найти по диаграмме статической устойчивости на соответствие нормам устойчивости Регистра.
- Пользуясь результатами систематических испытаний, рассчитать и построить диаграмму статической устойчивости на вершине и подошве волны для паспортной скорости судна, а также найти по полученным диаграммам поперечную метацентрическую высоту соответственно на вершине и подошве попутной волны

					Лист
Изм	ред		Подпись		

3.1 Рассчитаем и построим диаграмму статической остойчивости.

Диаграмму статической остойчивости БАТМ «Пулковский меридиан» строят с помощью пантокарен, приведенных в Приложении 2.6. Пантокарены позволяют по объемному водоизмещению судна V найти плечи остойчивости формы $l\phi$ для углов крена $\theta = 10^\circ, 20^\circ, \dots$. Подсчитав для этих же углов крена плечи статической остойчивости веса $l\vartheta = (Zg - Zc) \sin\theta$, находят плечи статической остойчивости

$$l\theta = l\phi - l\vartheta$$

$$V = M/\rho$$

$$V = 4718.9 / 1.025$$

Значение плеч ДСО заносим в таблицу 3.1

Таблица 3.1. – Определение плеч статической остойчивости

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$l\vartheta$	0	0.68	1.34	1.97	2.5	3	3.4	3.7	3.88	3.94
$l\phi$	0	0.82	1.69	2.5	3.3	3.84	4.23	4.3	4.25	4.0
$l\theta$	0	0.13	0.34	0.5	0.77	0.82	0.81	0.6	0.37	0.05
ΔM_θ	0	76	157	233	312	391	448	437	400	373
δ_θ	0	0,016	0,033	0,49	0,66	0,83	0,95	0,92	0,084	0,079
l_α	0	0,12	0,3	0,48	0,7	0,74	0,72	0,5	0,28	-0.02

Исправим найденные плечи статической остойчивости, введя поправку на влияние свободных поверхностей жидких грузов в цистернах. Для этого с графика «Кривые поправок ΔM_θ к диаграмме статической остойчивости»

(Приложение 2.8.) снимем значения ΔM_θ при соответствующих углах крена. Поправки к плечам определяются по формуле:

$$\delta_\theta = \Delta M_\theta / M$$

Исправленные плечи статической остойчивости находятся по формуле:

$$l\theta_i = l\theta - \delta_\theta$$

											Лист
Изм	ред			Подпись							

по результатам расчета строим диаграмму статической остойчивости (рисунок 3.1.)

3.2. Так как диаграмма статической остойчивости является интегральной кривой по отношению к диаграмме динамической остойчивости, плечи диаграммы динамической остойчивости при углах крена $\theta = 10^\circ, 20^\circ, \dots$ находят интегрированием по правилу трапеции диаграммы статической остойчивости от 0° до соответствующего угла крена. Для подсчета плеч динамической остойчивости при $\theta = 10^\circ, 20^\circ, \dots$ можно использовать следующие зависимости:

$$l_{d(10^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + l_{10})$$

$$l_{d(20^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + l_{20})$$

$$l_{d(30^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + l_{30})$$

$$l_{d(40^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + 2 \cdot l_{30} + l_{40})$$

$$l_{d(50^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + 2 \cdot l_{30} + 2 \cdot l_{40} + l_{50})$$

$$l_{d(60^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + 2 \cdot l_{30} + 2 \cdot l_{40} + 2 \cdot l_{50} + l_{60})$$

$$l_{d(70^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + 2 \cdot l_{30} + 2 \cdot l_{40} + 2 \cdot l_{50} + 2 \cdot l_{60} + l_{70})$$

$$l_{d(80^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + 2 \cdot l_{30} + 2 \cdot l_{40} + 2 \cdot l_{50} + 2 \cdot l_{60} + 2 \cdot l_{70} + l_{80})$$

$$l_{d(90^\circ)} = 0.5 \cdot \delta\theta \cdot (l_0 + 2 \cdot l_{10} + 2 \cdot l_{20} + 2 \cdot l_{30} + 2 \cdot l_{40} + 2 \cdot l_{50} + 2 \cdot l_{60} + 2 \cdot l_{70} + 2 \cdot l_{80} + l_{90}),$$

где $\delta\theta = 0,174$ рад; l_0, l_{10}, l_{20} и т.д. плечи статической остойчивости при $\theta = 0, 10^\circ, 20^\circ, \dots$

Таблица 3.2. – Определение плеч динамической остойчивости

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$l_{d,м}$	0	0,01	0,047	0,116	0,22	0,34	0,47	0,58	0,65	0,67

По данным таблицы 3.2 строим диаграмму динамической остойчивости для заданного варианта загрузки (рисунок 3.2.).

3.3 Для определения метацентрической высоты на диаграмме статической остойчивости производим следующие построения: проводим касательную к диаграмме статической остойчивости в начале координат, откладываем по оси абсцисс один радиан и через полученную точку проводим вертикаль до пересечения с касательной. Отрезок вертикали между касательной и осью абсцисс и даёт в масштабе метацентрическую высоту судна, так как $dl/d\theta = h$ при $\theta = 0$. (Рисунок 3.1)

$$h = 0,76м$$

										Лист
Изм	ред			Подпись						

3.4 По ДСО определяем максимальное плечо статической остойчивости l_{max} , соответствующий ему угол крена θ_{max} и угол заката диаграммы и угол заката диаграммы $\theta_{зак}$.

$$l_{max} = 0,74 \text{ м}$$

$$\theta_{max} = 50^\circ$$

$$\theta_{зак} = 89^\circ$$

Согласно правилам Регистра l_{max} должно быть не менее 0,25 для судов длиной более 105 метров при угле крена $\theta_{max} \geq 30^\circ$, $\theta_{зак} \geq 60^\circ$. По диаграмме динамической остойчивости определяем:

$$l_{d(30^\circ)} = 0.116 \text{ м}$$

$$l_{d(40^\circ)} = 0.22 \text{ м}$$

$$l_{d(40^\circ)} - l_{d(30^\circ)} = 0.1 \text{ м}$$

Согласно правилам Регистра $l_{d(30^\circ)} \geq 0,055 \text{ м}$, а $l_{d(40^\circ)} \geq 0,09 \text{ м}$ и их разница не менее 0,03 м.

Таким образом, диаграммы статической и динамической остойчивости соответствуют требованиям ИМО и нормам остойчивости Регистра.

3.5 Оценим ДСО на попутном волнении.

Изменение диаграммы остойчивости на попутном волнении может быть приближенно оценено по результатам систематических испытаний Ю. И. Нечаева. За расчетную принимается такая волна, длина которой λ равна длине судна L , а крутизна (отношение высоты к ее длине) h_w / λ принимается 0,077.

Плечи статической остойчивости судна при положении на вершине и подошве расчетной волны l_w определяется опытным путем исправления на влияние попутного волнения плеч статической остойчивости на тихой воде:

$$l_w = l + \delta l$$

Вычислим коэффициент F_r , по формуле:

$$F_r = v \cdot 0.515 / (g \cdot L)^{0.5}$$

$$F_r = 14.3 \cdot 0.515 / (9.8596 \cdot 103.7)^{0.5} = 0.23$$

Т.к. $F_r = 0,234 < 0.28$, то в расчетах используем функции стоящие в числителе.

Вычислим коэффициенты A_i по формулам:

$A_1 = L / B - 4.82$	$A_1 = 103,7 / 16 - 4,82 = 1,66$
$A_2 = B/T - 2.67$	$A_2 = 16 / 5,075 - 2,67 = 0,48$
$A_3 = H/T - 1.30$	$A_3 = 7,7 / 5,075 - 1,3 = 0,16$
$A_4 = \delta / \alpha - 0.7$	$A_4 = 0,586 / 0,762 - 0,7 = 0,069$
$A_5 = \delta / \beta - 0.692$	$A_5 = 0,586 / 0,932 - 0,692 = -0,063$
$A_6 = (v \cdot 0.515 / (g \cdot L)^{0.5}) - 0.28$	$A_6 = (14,3 \cdot 0,515 / (9,8596 \cdot 103,7)^{0.5}) - 0,28 = -0,049$
$A_7 = A_1^2$	$A_7 = 1,66^2 = 2,759$
$A_8 = A_2^2$	$A_8 = 0,48^2 = 0,233$
$A_9 = A_3^2$	$A_9 = 0,16^2 = 0,025$
$A_{10} = A_5^2$	$A_{10} = (-0,063)^2 = 0,004$
$A_{11} = A_6^2$	$A_{11} = (-0,049)^2 = 0,002$
$A_{12} = A_2 \cdot A_3$	$A_{12} = 0,076$
$A_{13} = A_2 \cdot A_4$	$A_{13} = 0,033$
$A_{14} = A_1 \cdot A_6$	$A_{14} = -0,0854$

					Лист
Изм	ред		Подпись		

Где T – средняя осадка для заданного варианта нагрузки, м ; δ - коэффициент общей полноты; α - коэффициент полноты ватерлинии; β - коэффициент полноты мидель-шпангоута; g – ускорение свободного падения m/c^2 .

Определяем значение функции $\Phi(h_w/\lambda, \theta)$ по графику зависимости функции от крутизны расчетной волны:

Таблица 3.3. – Положение на вершине расчетной волны

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\Phi(h_w/\lambda, \theta)$	0	-0,0075	-0,014	-0,021	-0,0225	-0,0215	-0,02

Таблица 3.4. – Положение на подошве расчетной волны

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\Phi(h_w/\lambda, \theta)$	0	0,0045	0,007	0,0095	0,065	0,001	-0,005

Поправку плеч статической остойчивости судна δl вычисляется по формуле:

$$\delta l = B \cdot \left[\Phi\left(\frac{h_w}{\lambda}, \theta\right) + \sum_{i=1}^{14} A_i \cdot f_i(\theta) \right]$$

Таблица 3.5. – Положение на вершине расчетной волны

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\delta l, м$	0	-0,006	0,07	0,13	0,33	0,38	0,39

Таблица 3.6. – Положение на подошве расчетной волны

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$\delta l, м$	0	0,19	0,42	0,63	0,8	0,75	0,58

Вычисляем плечи статической остойчивости судна при положении судна на вершине и подошве расчетной волны.

Таблица 3.7. – Положение на вершине расчетной волны

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$l_w, м$	0	-0,006	0,07	0,13	0,33	0,38	0,39

Таблица 3.8. – Положение на подошве расчетной волны

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
$l_w, м$	0	0,19	0,42	0,63	0,8	0,76	0,59

По данным Таблицы 3.1 , Таблицы 3.7 и Таблицы 3.8 строим диаграммы статической остойчивости на вершине волны, на подошве волны и на тихой воде (Рисунок 3.3).

По диаграммам определяем:

На вершине волны:

$$\begin{aligned}h &= -0,14\text{ м} \\l_{\max} &= 0,39\text{ м} \\ \theta_{\max} &> 60^\circ \\ \theta_{\text{зак}} &> 60^\circ\end{aligned}$$

На подошве волны:

$$\begin{aligned}h &= 1,04\text{ м} \\l_{\max} &= 0,8\text{ м} \\ \theta_{\max} &= 40^\circ \\ \theta_{\text{зак}} &> 60^\circ\end{aligned}$$

На тихой воде:

$$\begin{aligned}h &= 0,76\text{ м} \\l_{\max} &= 0,74\text{ м} \\ \theta_{\max} &= 50^\circ \\ \theta_{\text{зак}} &= 89^\circ\end{aligned}$$

Таким образом, диаграммы статической и динамической остойчивости на подошве волны соответствуют требованиям ИМО и нормам остойчивости Регистра.

Вывод: Судно в данном варианте загрузки удовлетворяет требованиям международных правил и правил РМРС.

					Лист
Изм	ред	№Докум	Подпись		