

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
Высшего профессионального образования
“Тихоокеанский Государственный университет”

ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория и устройство судна» для студентов III курса специальности «Эксплуатация судовых энергетических установок»

Хабаровск
ТОГУ
2010

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1.

Определение начальной остойчивости судна методом кренования

1. Цель работы.

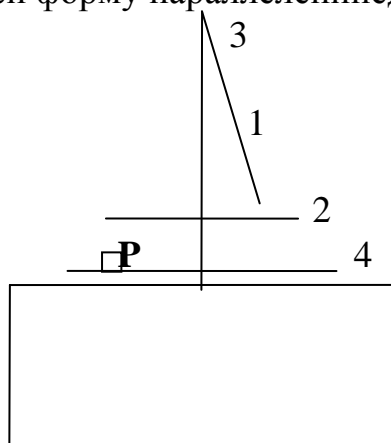
Закрепить знания по начальной остойчивости судна, ознакомиться с методом кренования и приобрести навыки по практическому определению начальных метацентрических высот судна.

2. Задание.

Для выбранной модели судна и способа ее загрузки определить методом кренования начальную поперечную метацентрическую высоту.

3. Описание установки.

Установка для проведения лабораторной работы состоит из бака с водой и модели, имеющей форму параллелепипеда:



Длина модели $L=50,4$ см, ширина $B=20,1$ см, высота борта $H=15,2$ см, весовое водоизмещение $D=6665$ г, аппликата центра тяжести $z_G=7,05$ см, вес перемещаемого груза $P=220$ г.

Для создания кренящего момента используется груз P , перемещаемый по поперечине 4. Для отсчета углов крена используется отвес 1 и закрепленная на мачте модели линейка 2. Угол крена (в радианах) определяется по формуле $\theta = (K - K_0) / \lambda$, где K – отсчет по линейке 2, соответствующий углу крена, λ – длина нити от точки подвеса 3 до линейки 2, K_0 – отсчет по линейке 2, когда груз P находится в диаметральной плоскости. K_0 берется со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Установить груз P в диаметральной плоскости (ДП) модели и измерить отклонение отвеса K_0 .

4.2. Переносить груз Р последовательно на расстояниях L_{yi} равные 2 см, 4 см, 6 см, 8 см от ДП на правый и левый борт, произвести замеры отклонения отвеса K_i для каждого положения груза Р. Наклонения модели не должны превышать 15° .

4.3. Занести данные измерений в таблицу. При замерах с 1 по 4 сдвиг груза Р выполняется к правому борту, при замерах с 5 по 8 – к левому борту.

№ за- мера	L_{yi}	K_i	$K_i - K_0$	θ_i	M_{ki}	h_i
	см	см	см	рад	г · см	см
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	-2					
6	-4					
7	-6					
8	-8					

Произвести необходимые вычисления, определить начальную поперечную метацентрическую высоту $h_{0Э}$. Для уменьшения погрешности метацентрическая высота вычисляется как среднее арифметическое по всем измерениям:

$$h_{0Э} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, \text{ где количество измерений } n = 8, h_i = \frac{M_{ki}}{D \cdot \sin(\theta_i)}, M_{ki} = P \cdot L_{yi} \cdot \cos(\theta_i),$$

D – заданное весовое водоизмещение модели, $\theta_i = (K_i - K_0) / \lambda$ – угол крена, соответствующий сдвигу груза Р на расстояние L_{yi} . Отсчеты K_i и сдвиг груза L_{yi} берутся со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт. Для малых углов крена, измеряемых в радианах, можно считать $\theta \approx \sin(\theta)$, $\cos(\theta) \approx 1$.

Оценить погрешность определения метацентрической высоты. Для этого рассчитать доверительный интервал $\beta = t(p_0, n) \cdot s / n^{0.5}$, где n – число измерений, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{0Э})^2}{n - 1}}$ – среднеквадратичное отклонение, $t(p_0, n)$ – коэффициент Стьюдента.

При доверительной вероятности $p_0 = 0.95$ и числе измерений $n=8$ коэффициент Стьюдента $t(p_0, n) = 2,4$. При отсутствии систематических ошибок точное значение метацентрической высоты h_0 с вероятностью p_0 принадлежит интервалу: $h_{0Э} - \beta \leq h_0 \leq h_{0Э} + \beta$.

Чем меньше доверительный интервал β , тем точнее сделаны измерения.

Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

5. Теоретическая часть .

Для исходных данных рассчитать теоретическое значение метацентрической высоты модели $h_{0T} = r + z_C - z_G$, где $r = I_X / V$ – поперечный метацентрический радиус, $z_C = T / 2$ – центр величины, z_G – заданный центр тяжести модели,

$I_X = L \cdot B^3 / 12$ – момент инерции площади ватерлинии, $V = L \cdot B \cdot T$ – объем подводной части модели, $T = D / (L \cdot B \cdot \gamma)$ – осадка модели, γ – удельный вес воды, D – заданное весовое водоизмещение модели. В формулах вес принимать в граммах, линейные размеры - в сантиметрах, а удельный вес воды $\gamma = 1 \text{ г/см}^3$. Вычислить отклонение $\Delta = |h_{0T} - h_{0Э}|$ и сравнить с доверительным интервалом β .

6. Вопросы для самоконтроля.

- 6.1. Дайте определение остойчивости. Что она характеризует?
- 6.2. Отличие статической остойчивости от динамической, начальной остойчивости от остойчивости на больших углах наклона.
- 6.3. Дайте определение восстанавливающему и кренящему моменту, метацентру, метацентрическому радиусу, метацентрической высоте, коэффициенту остойчивости.
- 6.4. Чем характеризуется отрицательная начальная остойчивость?
- 6.5. Каково взаимное расположение метацентра и центра тяжести судна при положительной начальной остойчивости?
- 6.6. Что называется плечом статической остойчивости? В чем его геометрический смысл ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.

Изменение начальной остойчивости и посадки судна при приеме малого груза.

1. Цель работы.

Выяснить влияние приема малого груза на начальную остойчивость и посадку судна.

2. Задание.

Для заданного способа загрузки определить изменение начальной остойчивости и посадки судна при приеме малого груза.

3. Описание установки.

Описание и размеры модели приведены в лабораторной работе 1. Вес принимаемого груза P_r и его координаты $\{X_r, Y_r, Z_r\}$ задаются преподавателем.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Установить груз P в диаметральной плоскости (ДП) судна и измерить осадки носа $T_{0Н}$, кормы $T_{0К}$, правого борта $T_{0П}$ левого борта $T_{0Л}$ и отклонение отвеса K_0 . Рассчитать среднюю осадку $T_{0Э} = (T_{0Н} + T_{0К} + T_{0П} + T_{0Л}) / 4$ и угол крена $\theta_{0Э} = K_0 / \lambda$ до приема груза.

4.2. Для определения поперечной метацентрической высоты $h_{0Э}$ до приема груза [провести метод кренования](#). Результаты занести в таблицу:

№ за- Мера	L_{yi}	K_i	$K_i - K_0$	θ_i	M_{ki}	h_i
	см	см	см	рад	г · см	см
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	-2					
6	-4					
7	-6					
8	-8					

Для уменьшения погрешности метацентрическая высота $h_{0Э}$ вычисляется как среднее арифметическое по всем измерениям: $h_{0Э} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, где количество

измерений $n = 8$, $h_i = \frac{M_{ki}}{D \cdot \sin(\theta_i)}$, $M_{ki} = P \cdot L_{yi} \cdot \cos(\theta_i)$, D – заданное весовое водо-

измещение модели, $\theta_i = (K_i - K_0) / \lambda$ - угол крена, соответствующий сдвигу груза P на расстояние L_{yi} . Отсчеты K_i и сдвиг груза L_{yi} берутся со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт. Для малых углов крена, измеряемых в радианах, можно считать $\theta \approx \sin(\theta)$, $\cos(\theta) \approx 1$.

Оценить погрешность определения метацентрической высоты. Для этого рассчитать доверительный интервал $\beta_0 = t(p_0, n) \cdot s / n^{0.5}$, где n – число изме-

рений, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{0Э})^2}{n-1}}$ - среднеквадратичное отклонение, $t(p_0, n)$ – коэффициент

Стьюдента. При доверительной вероятности $p_0 = 0.95$ и числе измерений $n=8$ коэффициент Стьюдента $t(p_0, n) = 2,4$. При отсутствии систематических ошибок точное значение метацентрической высоты h_0 с вероятностью p_0 принадлежит интервалу: $h_{0Э} - \beta_0 \leq h_0 \leq h_{0Э} + \beta_0$.

Чем меньше доверительный интервал β_0 , тем точнее сделаны измерения.

4.3. Установить груз P_r на судно в точку с координатами $\{X_r, Y_r, Z_r\}$.

4.4. Установить груз P в диаметральной плоскости (ДП) судна и измерить осадки носа T_{IH} , кормы T_{IK} , правого борта T_{IP} левого борта T_{IL} и отклонение отвеса $K_{0п}$. Рассчитать среднюю осадку $T_{1Э} = (T_{IH} + T_{IK} + T_{IP} + T_{IL}) / 4$ и угол крена $\theta_{1Э} = K_{0п} / \lambda$ после приема груза.

4.5. Для определения поперечной метацентрической высоты $h_{1Э}$ после приема груза [провести метод кренования](#). Результаты занести в таблицу:

№ за- мера	L_{yi}	K_i	$K_i - K_0$	θ_i	M_{ki}	h_i
	см	см	см	Рад	г · см	см
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	-2					
6	-4					
7	-6					
8	-8					

Для уменьшения погрешности метацентрическая высота $h_{1Э}$ вычисляется как среднее арифметическое по всем измерениям: $h_{1Э} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, где количество

измерений $n = 8$, $h_i = \frac{M_{ki}}{(D + P_r) \cdot \sin(\theta_i)}$, $M_{ki} = P \cdot L_{yi} \cdot \cos(\theta_i)$, D – заданное весовое

водоизмещение модели, P_r – вес принятого груза, $\theta_i = (K_i - K_{0п}) / \lambda$ – угол крена, соответствующий сдвигу груза P на расстояние L_{yi} . Отсчеты K_i и сдвиг груза L_{yi} берутся со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт. Для малых углов крена θ_i , измеряемых в радианах, можно считать $\theta_i \approx \sin(\theta_i)$, $\cos(\theta_i) \approx 1$.

Оценить погрешность определения метацентрической высоты. Для этого рассчитать доверительный интервал $\beta_1 = t(p_0, n) \cdot s / n^{0.5}$, где n – число изме-

рений, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{1Э})^2}{n-1}}$ – среднеквадратичное отклонение, $t(p_0, n)$ – коэффициент

Стьюдента. При доверительной вероятности $p_0 = 0.95$ и числе измерений $n=8$ коэффициент Стьюдента $t(p_0, n) = 2,4$. При отсутствии систематических ошибок точное значение метацентрической высоты h_1 с вероятностью p_0 принадлежит интервалу: $h_{1Э} - \beta_1 \leq h_1 \leq h_{1Э} + \beta_1$.

Чем меньше доверительный интервал β_1 , тем точнее сделаны измерения.

4.6. Определить изменение средней осадки $\Delta T_{Э} = T_{1Э} - T_{0Э}$ и угла крена $\Delta \theta_{Э} = \theta_{1Э} - \theta_{0Э}$ при приеме малого груза. Сравнить полученные значения с результатами их теоретического расчета, вычислив отклонение в процентах.

4.7. Вычислить изменение метацентрической высоты $\Delta h_{Э} = h_{1Э} - h_{0Э}$ при приеме малого груза и сравнить с теоретическим значением Δh_T (см. пункт 5). Отклонение $\Delta = |\Delta h_T - \Delta h_{Э}|$ сравнить с доверительным интервалом $\beta = \beta_0 + \beta_1$. Чем меньше доверительный интервал β , тем с большей достоверностью экспериментальные данные соответствуют теоретическим.

4.8. Сделать вывод о влиянии приема малого груза на начальную остойчивость и посадку судна.

Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

5. Теоретическая часть.

5.1. Изменение средней осадки при приеме малого груза: $\Delta T_T = \frac{P_r}{\gamma \cdot S}$,

где S – площадь грузовой ватерлинии (см^2), P_r – вес принятого груза (г), $\gamma = 1 \text{ г/см}^3$ – удельный вес пресной воды.

5.2. Изменение поперечной метацентрической высоты при приеме малого груза: $\Delta h_T = h_{1T} - h_{0T}$, где $h_{1T} = \frac{D \cdot h_{0T}}{D + P_T} + \frac{P_T}{D + P_T} \left(T_0 + \frac{\Delta T_T}{2} - Z_T \right)$ - метацентрическая высота *после приема* груза, h_{0T} - метацентрическая высота *до приема* груза рассчитывается по формулам [пункта 5 лабораторной работы 1](#), Z_T - аппликата центра тяжести принятого груза P_T , $T_0 = D / (L \cdot B \cdot \gamma)$ – осадка модели *до приема* груза, D – заданное весовое водоизмещение модели *до приема* груза.

5.3. Изменение угла крена при приеме малого груза: $\Delta \theta_T = \frac{P_T \cdot Y_T}{(D + P_T) \cdot h_{1T}}$, где Y_T - ордината принятого груза P_T отсчитывается от ДП, h_{1T} – метацентрическая высота *после приема* груза.

6. Вопросы для самоконтроля.

6.1. Какой груз можно считать малым?

6.2. Как изменится начальная остойчивость судна при приеме малого груза на палубу, на днище трюма?

6.3. Существуют ли варианты загрузки судна, при которых прием малого груза на днище уменьшает начальную метацентрическую высоту судна?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3.

Влияние перемещения груза на начальную остойчивость и посадку судна

1. Цель работы.

Выяснить влияние перераспределения грузов на начальную остойчивость и посадку судна при их горизонтальном и вертикальном переносе.

2. Задание.

Для выбранной модели судна и способа ее загрузки определить изменение начальной остойчивости и посадки судна при переносе груза.

3. Описание установки.

Установка для проведения лабораторной работы состоит из бака и модели. Подробное описание установки приведено в [лабораторной работе 1](#).

Преподавателем задаются:

- вес перемещаемого груза P_r ,
- начальные координаты $\{X_r, Y_r, Z_r\}$ перемещаемого груза P_r ,
- расстояние горизонтального поперечного перемещения груза L_r ,
- расстояние вертикального перемещения груза L_v .

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Установить груз P_r в диаметральной плоскости (ДП) судна и измерить осадки носа $T_{0Н}$, кормы $T_{0К}$, правого борта $T_{0П}$ левого борта $T_{0Л}$ и отклонение отвеса K_0 . Рассчитать среднюю осадку $T_{0Э} = (T_{0Н} + T_{0К} + T_{0П} + T_{0Л}) / 4$ и угол крена $\theta_{0Э} = K_0 / \lambda$ до горизонтального перемещения груза.

4.2. Для определения метацентрической высоты $h_{0Э}$ до горизонтального перемещения груза [провести метод кренования](#). Результаты занести в таблицу:

№ за- Мера	L_{yi}	K_i	$K_i - K_0$	θ_i	M_{ki}	h_i
	см	см	см	рад	г · см	см
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	-2					
6	-4					
7	-6					
8	-8					

Для уменьшения погрешности метацентрическая высота $h_{0Э}$ вычисляется как среднее арифметическое по всем измерениям: $h_{0Э} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, где количество

измерений $n = 8$, $h_i = \frac{M_{ki}}{(D + P_r) \cdot \sin(\theta_i)}$, $M_{ki} = P \cdot L_{yi} \cdot \cos(\theta_i)$, D – заданное весовое

водоизмещение модели, P_r – вес груза, установленного в ДП, $\theta_i = (K_i - K_0) / \lambda$ – угол крена, соответствующий сдвигу груза P на расстояние L_{yi} . Отсчеты K_i и сдвиг груза L_{yi} берутся со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт. Для малых углов крена θ_i , измеряемых в радианах, можно считать $\theta_i \approx \sin(\theta_i)$, $\cos(\theta_i) \approx 1$.

Оценить погрешность определения метацентрической высоты. Для этого рассчитать доверительный интервал $\beta_0 = t(p_0, n) \cdot s / n^{0.5}$, где n – число изме-

рений, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{0Э})^2}{n - 1}}$ – среднеквадратичное отклонение, $t(p_0, n)$ – коэффициент

Стьюдента. При доверительной вероятности $p_0 = 0.95$ и числе измерений $n=8$ коэффициент Стьюдента $t(p_0, n) = 2,4$.

4.3. Груз весом P_r переместить на расстояние L_r от ДП. Измерить осадки носа T_{IH} , кормы T_{IK} , правого борта T_{IP} левого борта T_{IL} и отклонение отвеса $K_{0Г}$. Рассчитать среднюю осадку $T_{ГЭ} = (T_{IH} + T_{IK} + T_{IP} + T_{IL}) / 4$ и угол крена $\theta_{ГЭ} = K_{0Г} / \lambda$ после горизонтального перемещения груза.

4.4. Определить [методом кренования](#) поперечную метацентрическую высоту $h_{ГЭ}$ после горизонтального перемещения груза. Результаты занести в таблицу:

№ за- мера	L_{yi}	K_i	$K_i - K_0$	θ_i	M_{ki}	h_i
	см	см	см	Рад	г · см	См
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	-2					
6	-4					
7	-6					
8	-8					

Для уменьшения погрешности метацентрическая высота $h_{ГЭ}$ вычисляется как среднее арифметическое по всем измерениям: $h_{ГЭ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, где количество

измерений $n = 8$, $h_i = \frac{M_{ki}}{(D + P_r) \cdot \sin(\theta_i)}$, $M_{ki} = P \cdot L_{yi} \cdot \cos(\theta_i)$, D – заданное весовое

водоизмещение модели, P_r – вес горизонтально перемещенного груза, $\theta_i = (K_i - K_{0Г}) / \lambda$ – угол крена, соответствующий сдвигу груза P на расстояние L_{yi} . Отсчеты K_i и сдвиг груза L_{yi} берутся со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт. Для малых углов крена θ_i , измеряемых в радианах, можно считать $\theta_i \approx \sin(\theta_i)$, $\cos(\theta_i) \approx 1$.

Оценить погрешность определения метацентрической высоты. Для этого рассчитать доверительный интервал $\beta_\Gamma = t(p_0, n) \cdot s / n^{0.5}$, где n – число изме-

рений, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{ГЭ})^2}{n - 1}}$ – среднеквадратичное отклонение, $t(p_0, n)$ – коэффициент

Стьюдента. При доверительной вероятности $p_0 = 0.95$ и числе измерений $n=8$ коэффициент Стьюдента $t(p_0, n) = 2,4$.

Сравнить метацентрическую высоту $h_{ГЭ}$ после горизонтального перемещения груза с метацентрической высотой $h_{0Э}$ до горизонтального перемещения груза. Разница $|h_{ГЭ} - h_{0Э}|$ должна быть меньше максимальной погрешности измерений $\text{Max}(\beta_0, \beta_\Gamma)$, т.к. горизонтальное перемещение груза не должно изменять остойчивость судна.

4.5. Определить теоретическое значение угла крена $\theta_{ГГ}$ после горизонтального перемещения груза и сравнить с соответствующим экспериментальным значением $\theta_{ГЭ}$, вычислив процент отклонения.

4.6. Сравнить среднюю осадку судна $T_{0Э}$, измеренную до горизонтального перемещения груза, с осадкой $T_{ГЭ}$, измеренной после перемещения. Разница не должна превышать погрешности измерения осадки, т.к. при перемещении груза объемное водоизмещение и средняя осадка не изменяются.

4.7. Переставить груз P_r в исходную точку в диаметральной плоскости.

4.8. Из начального положения переместить груз P_r по вертикали на расстояние L_v . Измерить осадки носа $T_{2Н}$, кормы $T_{2К}$, правого борта $T_{2П}$ левого борта $T_{2Л}$ и отклонение отвеса $K_{0В}$. Рассчитать среднюю осадку $T_{ВЭ} = (T_{2Н} + T_{2К} + T_{2П} + T_{2Л}) / 4$ и угол крена $\theta_{ВЭ} = K_{0В} / \lambda$ после вертикального перемещения груза.

4.8. Определить [методом кренования](#) поперечную метацентрическую высоту $h_{ВЭ}$ после вертикального перемещения груза.

Результаты занести в таблицу:

№ за- мера	L_{yi}	K_i	$K_i - K_0$	θ_i	M_{ki}	h_i
	см	см	См	рад	Г · см	см
1	2					
2	4					
3	6					
4	8					
5	-2					
6	-4					
7	-6					
8	-8					

Для уменьшения погрешности метацентрическая высота $h_{BЭ}$ вычисляется как среднее арифметическое по всем измерениям: $h_{BЭ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$, где количество

измерений $n = 8$, $h_i = \frac{M_{ki}}{(D + P_r) \cdot \sin(\theta_i)}$, $M_{ki} = P \cdot L_{yi} \cdot \cos(\theta_i)$, D – заданное весовое

водоизмещение модели, P_r – вес вертикально перемещенного груза, $\theta_i = (K_i - K_{0B}) / \lambda$ – угол крена, соответствующий сдвигу груза P на расстояние L_{yi} . Отсчеты K_i и сдвиг груза L_{yi} берутся со знаком плюс при крене на правый борт и со знаком минус при крене на левый борт. Для малых углов крена θ_i , измеряемых в радианах, можно считать $\theta_i \approx \sin(\theta_i)$, $\cos(\theta_i) \approx 1$.

Оценить погрешность определения метацентрической высоты. Для этого рассчитать доверительный интервал $\beta_B = t(p_0, n) \cdot s / n^{0.5}$, где n – число изме-

рений, $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - h_{BЭ})^2}{n - 1}}$ – среднеквадратичное отклонение, $t(p_0, n)$ – коэффи-

циент Стьюдента. При доверительной вероятности $p_0 = 0.95$ и числе измерений $n=8$ коэффициент Стьюдента $t(p_0, n) = 2,4$.

Сравнить метацентрическую высоту $h_{BЭ}$ после вертикального перемещения груза с метацентрической высотой $h_{0Э}$ до вертикального перемещения груза. Разница $|h_{BЭ} - h_{0Э}|$ должна быть больше максимальной погрешности измерений $\text{Max}(\beta_0, \beta_B)$, т.к. вертикальное перемещение груза изменяет остойчивость судна.

4.9. Определить теоретическое значение угла крена $\theta_{BТ}$ после вертикального перемещения груза и сравнить с соответствующим экспериментальным значением $\theta_{BЭ}$, вычислив процент отклонения.

4.10. Сравнить среднюю осадку судна $T_{0Э}$, измеренную до вертикального перемещения груза, с осадкой $T_{BЭ}$, измеренной после перемещения. Разница не

должна превышать погрешности измерения осадки, т.к. при перемещении груза объемное водоизмещение и средняя осадка не изменяются.

4.11. Вычислить изменение метацентрической высоты $\Delta h_{\Theta} = h_{B\Theta} - h_{0\Theta}$ при вертикальном перемещении груза и сравнить с теоретическим значением Δh_T (см. пункт 5). Отклонение $\Delta = |\Delta h_T - \Delta h_{\Theta}|$ сравнить с доверительным интервалом $\beta = \beta_0 + \beta_B$. Чем меньше доверительный интервал β , тем с большей достоверностью экспериментальные данные соответствуют теоретическим.

4.12. Сделать вывод о влиянии перемещения малого груза на начальную остойчивость и посадку судна.

Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

5. Теоретическая часть.

Поперечное горизонтальное перемещение груза вызывает лишь изменение крена судна. При этом средняя осадка и остойчивость не изменяются.

Крен судна можно определить из равенства кренящего момента

$M_{кр} = P_{\Gamma} L_{\Gamma} \cos(\theta)$ и восстанавливающего момента $M_{в} = (D + P_{\Gamma}) h_0 \sin(\theta)$.

$\theta_{кр} = \frac{P_{\Gamma} L_{\Gamma}}{(D + P_{\Gamma}) h_0}$, т.к. для малых углов крена можно полагать $\theta \approx \text{tg}(\theta)$

Вертикальное перемещение груза вызывает изменение метацентрической высоты. Приращение поперечной метацентрической высоты составляет

$$\Delta h_T = \frac{P_{\Gamma} L_B}{D + P_{\Gamma}}$$

Если у судна до вертикального перемещения был угол крена $\theta_{0\Theta}$, то он изменится и станет равным $\theta_{BT} = \frac{\theta_{0\Theta} \cdot h_{1T}}{h_{1T} + \Delta h_T}$, где $h_{1T} = \frac{D \cdot h_{0T}}{D + P_{\Gamma}} + \frac{P_{\Gamma}}{D + P_{\Gamma}} \left(T_0 + \frac{\Delta T_T}{2} - Z_{\Gamma} \right)$ -

метацентрическая высота до вертикального перемещения груза, h_{0T} - метацентрическая высота до помещения груза P_{Γ} в начальную точку с координатами $\{X_{\Gamma}, Y_{\Gamma}, Z_{\Gamma}\}$ рассчитывается по формулам [пункта 5 лабораторной работы 1](#), $T_0 = D / (L \cdot B \cdot \gamma)$ - осадка модели до приема груза, D - заданное весовое водоизмещение модели, $\Delta T_T = \frac{P_{\Gamma}}{\gamma \cdot S}$, где S - площадь грузовой ватерлинии

(см^2), P_{Γ} - вес перемещаемого груза (г), $\gamma = 1 \text{ г/см}^3$ - удельный вес воды.

При вертикальном перемещении груза средняя осадка судна не меняется.

6. Вопросы для самоконтроля.

6.1. Как изменится начальная остойчивость судна при опускании груза с палубы в трюм?

6.2. Чем характеризуется изменение продольной метацентрической высоты при вертикальном перемещении груза?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4.

Влияние на начальную остойчивость судна подвешенных грузов.

1. Цель работы.

Определить величины изменения начальной поперечной метацентрической высоты судна в момент отрыва груза. Выяснить влияние подъема подвешенного груза на начальную остойчивость.

2. Задание.

Для выбранной модели судна, способа ее загрузки и величины груза на палубе определить:

- а) начальную поперечную метацентрическую высоту в момент отрыва груза;
- б) начальную поперечную метацентрическую высоту при подъеме груза ;
- в) сравнить результаты проделанной работы с данными теоретических расчетов.

3. Описание установки:

Установка для проведения лабораторной работы состоит из бака и модели судна. Отличие от моделей, используемых в лабораторных работах N 1-3, заключается в том, что модель несет одиночную грузовую стрелу со шкентелем, на котором может быть поднят груз весом P_r .

4. Порядок выполнения работы:

- 4.1. Перед началом работы закрепить на палубе в диаметральной плоскости груз P_r и установить модель прямо и на ровный киль (см. указания п. 4.1. к лабораторной работе 1).
- 4.2. Определить методом кренования начальную поперечную метацентрическую высоту h_0 при неподвижном грузе .
- 4.3. Оторвать груз от палубы и закрепить шкентель грузовой стрелы. Определить методом кренования поперечную метацентрическую высоту h_1 при подвешенном грузе.
- 4.4. Определить изменение метацентрической высоты $\Delta h_3 = h_1 - h_0$.
- 4.5. Подсчитать по теоретической формуле величину изменения метацентрической высоты.
- 4.6. Сравнить результаты теоретических расчетов с данными проведенных измерений.
- 4.7. Поднять груз шкентелем на 10 см, определить методом кренования начальную поперечную метацентрическую высоту h_2 .
- 4.8. Сравнить величины метацентрических высот h_1 и h_2 , сделать вывод о влиянии подъема груза на начальную остойчивость.
- 4.9. Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

5. Теоретическая часть.

5.1. Подвешенный груз весом P_T уменьшает метацентрическую высоту на величину $\Delta h = P_T L_T / D$, где L_T - расстояние от точки подвеса до центра тяжести груза .

5.2. При определении начальных метацентрических высот модели судна следует пользоваться методом кренования, изложенным в лабораторной работе 1.

6. Вопросы для самоконтроля:

6.1. Зависит ли изменение остойчивости судна от того, поднимается ли груз с днища или с вышележащих палуб?

6.2. Как влияет на остойчивость судна подъем и опускание подвешенного груза?

6.3. Каким образом подвешенный груз влияет на посадку судна?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5.

Влияние на остойчивость судна приема жидкого груза со свободной поверхностью.

1. Цель работы.

Выяснить влияния приема жидкого груза со свободной поверхностью на величину метацентрической высоты модели и изучить мероприятия по борьбе с уменьшением остойчивости судна.

2. Задание.

Для выбранной модели судна и способа ее загрузки оценить влияние приема жидкого груза в цистерны и сравнить опытные данные с результатами расчетов по теоретическим формулам.

3. Описание установки.

Установка для проведения лабораторной работы состоит из бака и модели. Подробное описание установки приведено в лабораторной работе N 1. На модели имеются цистерны прямоугольной формы.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Перед началом опытов установить модель судна прямо и на ровный киль (см. указание п.4.1. лабораторной работе 1).

4.2. Определить методом кренования поперечную метацентрическую высоту h_0 до приема жидкого груза.

4.3. Принять в цистерну жидкий груз (воду) весом P_v до образования свободной поверхности жидкости.

4.4. Определить методом кренования начальную метацентрическую высоту h_1 .

4.5. Вычислить изменение метацентрической высоты до и после приемки жидкого груза $\Delta h_3 = h_1 - h_0$.

4.6. Вычислить по теоретической формуле изменения метацентрической высоты от приема жидкого груза и сравнить с полученными экспериментальными данными.

4.9. Оформить и защитить отчет по лабораторной работе.

5. Теоретическая часть.

5.1. Изменение начальной метацентрической высоты от приема жидкого груза может быть вычислено по формуле $\Delta h = h_1 - h_0$,

где
$$h_1 = \frac{Dh_0}{D + P_{жс}} + \frac{P_{жс}}{D + P_{жс}} \left(T_0 + \frac{\Delta T}{2} - Z_{жс} - i_{жс} \frac{\rho_{жс} g}{P_{жс}} \right)$$
, $i_{жс}$ - момент инерции свободной поверхности принятого жидкого груза относительно продольной оси судна, для любого прямоугольного отсека определяется выражением $i_{жс} = \frac{1b^3}{12}$ (l - длина, b - ширина цистерны), $\rho_{жс}$ - плотность жидкости, $g=9.81$ м/с², $P_{жс}$ - вес принятого груза, $Z_{жс}$ - аппликата центра тяжести жидкого груза.

6. Вопросы для самоконтроля:

- 6.1. Как влияют жидкий груз на остойчивость судна?
- 6.2. В каких случаях при приеме жидкого груза остойчивость улучшается и в каких ухудшается?
- 6.3. Почему наибольшая потеря остойчивости судна наблюдается в начальный момент затопления отсеков?
- 6.4. Как влияет на остойчивость жидкий груз при полном заполнении цистерны?
- 6.5. Нарисуйте график изменения поперечной метацентрической высоты от приема жидкого груза в днищевой танк судна с момента начала заполнения до полной загрузки танка.