

УДК 728:69.034.2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ ЗДАНИЙ НА ВОДЕ*д.т.н., проф., Савицкий Н.В., асп. Шехоркина С.Е.**ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры». г. Днепропетровск*

Актуальность проблематики и постановка задачи. В связи с увеличивающейся популярностью строительства зданий на воде возникает необходимость разработки методик обеспечения безопасной эксплуатации плавучих зданий.

Изложение основного материала. Здания на воде в соответствии с классификацией Регистра судоходства Украины относятся к стоечным судам. Для безаварийной эксплуатации таких зданий одним из наиболее важных технических качеств является остойчивость. Остойчивостью называется способность судна сохранять статическое равновесие, как при отсутствии, так и при наличии какого-либо внешнего воздействия (порыв ветра, скопление людей на одном борту и т.п.) [1]. Остойчивость жилого дома на воде, эксплуатация которого предусмотрена в прибрежных районах, оценивается по критерию ветростойкости.

Критерий ветростойкости характеризуется оценкой потенциальных возможностей судна противостоять возможному внешнему воздействию ветра:

$$M_{\text{крен}} \leq M_{\text{доп}} = V \cdot l_{\max}, \quad (1)$$

где $M_{\text{крен}}$ - кренящий момент от воздействия ветровой нагрузки; $M_{\text{доп}}$ - предельно допустимый кренящий момент; V – водоизмещение; l_{\max} – максимальное плечо статической остойчивости.

Предельно допустимый кренящий момент $M_{\text{доп}}$ определяется по диаграмме статической остойчивости (ДСО), которая представляет собой график зависимости изменения восстанавливющего момента от угла накренения судна [1].

Плечо восстанавливющего момента (плечо статической остойчивости) определяется выражением [2]:

$$l_{\theta} = x_c \cdot \cos \theta + (y_C - y_{C_0}) \cdot \sin \theta - a_0 \cdot \sin \theta. \quad (2)$$

Схема к определению плеча статической остойчивости приведена на рис. 1.

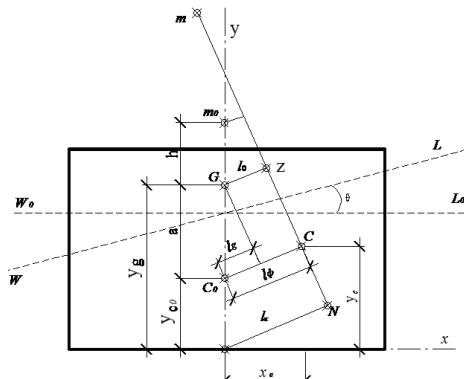


Рис. 1. Схема к определению плеча статической остойчивости

Для вычисления плеч статической остойчивости используется два основных метода – равнообъемных наклонений и вращения вокруг неподвижной оси [2].

Способ равнообъемных наклонений основан на проведении вспомогательных ватерлиний, приближенно отсекающих постоянный объем подводной части платформы. Недостатком данного метода является необходимость дублирующих вычислений для вспомогательной и для действующей ватерлиний, в результате чего возникает возможность накопления значительных погрешностей.

Метод вращения вокруг неподвижной оси рассматривает неравнообъемные наклонения, с помощью которых определяется зависимость величины плеча статической остойчивости от водоизмещения и угла крена – $l_\theta(V, \theta)$. При этом для определения l_θ , соответствующего заданному водоизмещению, необходимо выполнять дополнительные вычисления.

Методика определения параметров ДСО здания на воде разрабатывалась на основе метода вращения судна вокруг неподвижной оси. В зависимости от возможного положения ватерлиний относительно поперечного сечения понтона при накренениях здания на воде были выделены расчетные случаи, представленные на рис. 2.

Поперечное сечение погруженной части понтона представляет собой многоугольник, образованный графиками прямых в координатной плоскости X0Y: $x = -B/2$ (поз.1, рис. 2); $y = H$ (поз.2, рис.2); $y = 0$ (поз.3, рис.2); $x = B/2$ (поз.4, рис.2).

График ватерлинии можно представить в виде уравнения прямой с угловым коэффициентом, проходящей через заданную точку (поз.5, рис. 2):

$$y = T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f), \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \theta$ - угловой коэффициент, равный тангенсу угла крена здания на воде; T – осадка здания на воде; Y_f – ордината точки вращения ватерлинии.

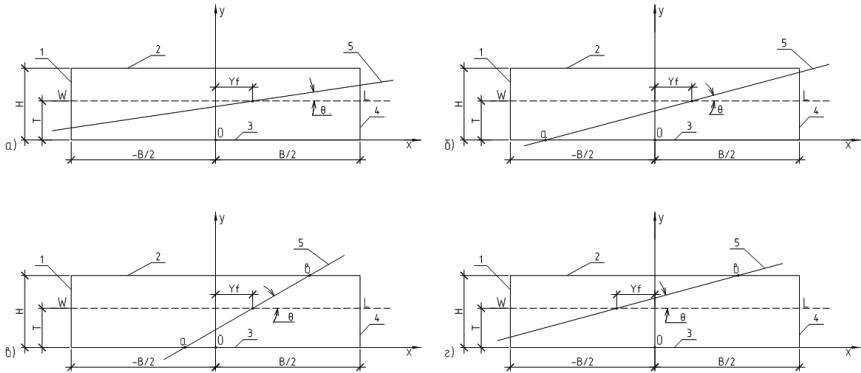


Рис. 2. Расчетные случаи определения параметров ДСО:
 H – высота понтона; B – ширина понтона; a – точка пересечения графика ватерлинии с осью x ($y=0$); b – точка пересечения графика ватерлинии с прямой $y=H$

Центр тяжести плоской фигуры, ограниченной графиками прямых можно определить по формулам [4]:

$$x_c = \frac{M_y}{S}; \quad y_c = \frac{M_x}{S}, \quad (4)$$

где M_x, M_y – статические моменты относительно осей x и y ; S – площадь плоской фигуры.

В свою очередь, статические моменты и площадь поперечного сечения погруженной части понтона определялись с использованием методов интегрального исчисления [4]:

$$M_x = \frac{1}{2} \int_a^b (f_2(x)^2 - f_1(x)^2) dx; \quad M_y = \int_a^b x (f_2(x) - f_1(x)) dx \\ S = \int_a^b (f_2(x) - f_1(x)) dx, \quad (5)$$

где $f_1(x), f_2(x)$ – прямые, ограничивающие плоскую фигуру; a, b – пределы интегрирования.

Точка пересечения ватерлинии с верхней и нижней гранью поперечного сечения pontона определялась через тангенс угла крена здания на воде исходя из схем, приведенных на рис. 2:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{H - T}{\frac{B}{2} + Y_f}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{T}{\frac{B}{2} + Y_f}. \quad (6)$$

Полученные выражения для определения статических моментов и площади сечения погруженной части pontона приведены в табл. 1.

*Таблица 1
Значения статических моментов и площади сечения погруженной части
понтонов в зависимости от положения ватерлинии*

Критерий	Статические моменты	Площадь сечения
Схема а		
$\operatorname{tg} \theta \leq \frac{H - T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_y = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} x \cdot [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx$	$S = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx$
$\operatorname{tg} \theta \leq \frac{T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_x = \frac{1}{2} \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)]^2 dx$	
Схема б		
$\operatorname{tg} \theta \leq \frac{H - T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_y = \int_a^{\frac{B}{2}} x \cdot [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx$	$S = \int_a^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx$
$\operatorname{tg} \theta > \frac{T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_x = \frac{1}{2} \int_a^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)]^2 dx$	
Схема в		
$\operatorname{tg} \theta > \frac{T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_x = \frac{1}{2} \left(\int_a^b [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)]^2 dx + \int_b^{\frac{B}{2}} H^2 dx \right)$	$S = \int_a^b [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx +$
$\operatorname{tg} \theta > \frac{H - T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_y = \int_a^b x \cdot [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx + \int_b^{\frac{B}{2}} x \cdot H dx$	$+ \int_b^{\frac{B}{2}} H dx$

Схема г		
$\operatorname{tg} \theta \leq \frac{T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_x = \frac{1}{2} \left(\int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)]^2 dx + \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} H^2 dx \right)$	$S = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx +$
$\operatorname{tg} \theta > \frac{H - T}{\frac{B}{2} + Y_f}$	$M_y = \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} x \cdot [T + \operatorname{tg} \theta (x - Y_f)] dx + \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} x \cdot H dx$	$+ \int_{-\frac{B}{2}}^{\frac{B}{2}} H dx$

По разработанной методике с использованием ПК MathCAD были выполнены расчеты и построение ДСО, результаты которых приведены на рис. 3.

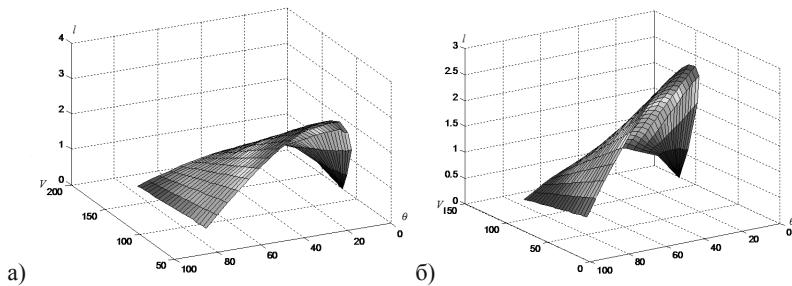


Рис. 3. Диаграммы статической остойчивости для плавучих платформ:
а) $H=2$ м, $B=L=10$ м; б) $H=1.5$ м, $B=L=10$ м

Выводы. Разработана методика расчета остойчивости зданий на воде, которая позволяет определять параметры диаграммы статической остойчивости для различных размеров плавучей платформы, глубины погружения и загрузки здания при минимальном количестве исходных данных.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Правила постройки и классификации малых судов (в 4-х томах). – К.: Регистр судоходства Украины.
- Статика корабля: Учебное пособие / Р.В.Борисов, В.В.Луговский, Б.В. Мирохин, В.В.Рождественский. – 2-е изд., перераб. И доп. СПб.: Судостроение, 2005. – 256 с., ил.
- Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. Бронштейн И.Н. Семеняев К. А.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 706 с.