

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАССЫ ШТАБЕЛЯ НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА ПРИ НАЛИЧИИ ДИФФЕРЕНТА СУДНА

*Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.*

*Одесская национальная морская академия*

*В практике одновременной перевозки нескольких видов навалочных или насыпных грузов на судне типа «коастер» между портами Северной Европы и Норвегии в бассейне Северного, Норвежского и Балтийского морей размещение таких грузов в трюме отдельными штабелями осуществляется с использованием метода «естественной» сепарации. В связи с такой загрузкой, грузовой помощник капитана, при расчетах мореходных качеств судна, считает, что каждая насыпь является отдельным грузом и имеет свою массу, свои координаты центра массы, создает свой момент относительно миделя и т.д. На т/х «Wilson Bilbao» были выполнены рейсовые наблюдения одновременной перевозки нескольких видов навалочных грузов. Установлено, что, если судно не имеет дифферента и погрузка производится «на ровном киле», то груз размещается, чаще всего, следующим образом: в носовой и кормовой части трюма судна штабель имеет форму прямоугольного треугольника или прямоугольной трапеции, а в центральной части трюма, в зависимости от его объема, имеет форму равнобедренной трапеции или равнобедренного треугольника. Если же судно имеет начальный дифферент, то при погрузке навалочного и, особенно насыпного груза, происходит его смещение и пересыпание. Углы при основании этих штабелей груза изменяются на угол дифферента: один из углов увеличивается, другой – уменьшается. Происходит перемещение центра массы штабеля сместившегося груза, что нельзя не учитывать при расчете остойчивости судна после окончания погрузки. В статье рассмотрена математическая модель, которая позволяет рассчитать координаты центра массы сместившегося груза в зависимости от линейных размеров трюма, угла естественного откоса груза и начального дифферента судна.*

*Ключевые слова:* судно типа «коастер», расчет координат центра массы штабеля навалочного груза.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.** В практике эксплуатации судов типа «коастер» очень часто возникает ситуация, когда необходимо одновременно перевозить несколько видов навалочных или насыпных грузов. Во избежание их смешивания применяется метод «естественной» сепарации. Грузовому помощнику капитана при составлении грузового плана судна необходимо выполнить расчеты количества и размеров каждого штабеля, а также определить координаты его центра тяжести для дальнейших расчетов остойчивости судна после погрузки.

**Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» и возможное смещение его центра тяжести массы рассмотрены в работах [1, 2]. Использование метода «естественной» сепарации и диаграмма графического расчета массы навалочных грузов при их перевозке на судах типа «коастер» изложены в публикациях [3, 4]. Математическая модель определения конфигурации поверхности насыпного груза в трюме судна методом Нелдера-Мида представлена в [5]. Система автоматизированного контроля грузовых операций крупнотоннажного балкера описана в статье [6].

**Целью статьи** является описание математической модели расчета координат центра массы навалочного груза при загрузке трюма «коастера» отдельными штабелями и наличии дифферента судна.

**Изложение материала исследования.** Рейсовые наблюдения на т/х «Wilson Bilbao» позволили установить, что при отсутствии дифферента судна, продольное сечение штабеля груза, который расположен в центральной части трюма, в зависимости от его объема, имеет форму равнобедренного треугольника (рис. 1, III) или равнобедренной трапеции (рис. 1, II). Углы при их основании равны углам естественного откоса данного

груза. Штабеля груза, расположенные в носовой и кормовой части трюма, могут иметь форму прямоугольного треугольника либо прямоугольной трапеции (рис. 1, I, IV).

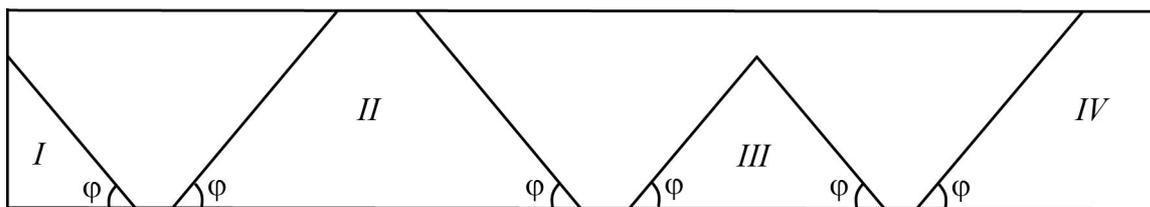


Рисунок 1 – Расположение штабелей груза при отсутствии дифферента судна

При наличии дифферента судна углы при основании этих штабелей груза изменяются на угол дифферента: один из углов увеличивается, другой – уменьшается (рис. 2).

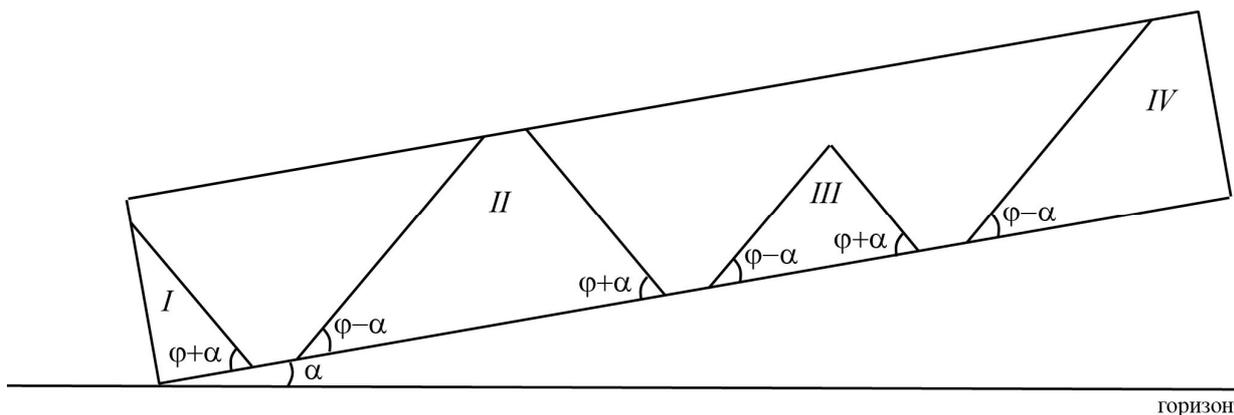


Рисунок 2 – Расположение штабелей груза при наличии дифферента судна

Рассмотрим сначала штабель вида рис. 2, III. Изображение такого штабеля, используемое для дальнейших расчетов, приведено на рис. 3.

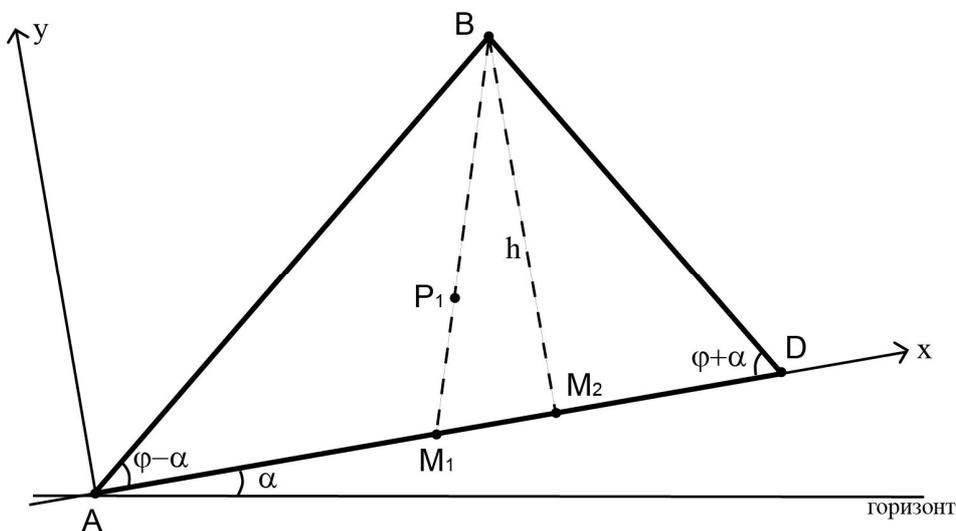


Рисунок 3 – Штабель навалочного груза в трюме при наличии дифферента судна

Здесь груз в продольном сечении имеет форму треугольника  $ABD$ , высота которого  $BM_2 = h$ . Тогда

$$AM_2 = h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), M_2D = h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), AD = h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))$$

$$S_{ABD} = \frac{1}{2} h^2 (\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)) = \frac{h^2 \sin 2\varphi}{2 \sin(\varphi - \alpha) \sin(\varphi + \alpha)}$$

Координаты центра масс  $P_1$  в системе координат, начало которой находится в вершине  $A$ :

$$A(0;0), \quad B(h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); h), \quad D(h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)); 0),$$

$$P_1 \left( \frac{h(2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))}{3}; \frac{h}{3} \right). \quad (1)$$

Если задана масса навалочного груза  $m$ , его насыпная плотность  $\rho$  и ширина трюма  $d$ , то площадь продольного сечения штабеля такого груза  $S = \frac{m}{\rho d}$ . Отсюда определяем необходимую высоту треугольного штабеля:

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}} \quad (2)$$

и его основание

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}}; \quad (2)$$

$$L = AD = \sqrt{2S(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))}. \quad (3)$$

Если рассчитанная таким образом высота не превышает высоту трюма  $H$ ,

$$\sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}} \leq H, \quad (4)$$

то штабель груза может иметь треугольную форму.

Штабель груза треугольной формы вида (рис. 2,  $l$ ) может быть рассчитан аналогичным образом, но вместо  $\triangle ABD$  необходимо рассмотреть  $\triangle BM_2D$  или  $\triangle ABM_2$ . Получим соответственно:

для  $\triangle BM_2D$ :

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}}, \quad (5)$$

$$L = \sqrt{2S \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}. \quad (6)$$

Для  $\triangle ABM_2$ :

$$h = \sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}}, \quad (7)$$

$$L = \sqrt{2S \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}. \quad (8)$$

Условие возможности использования треугольной формы для  $\triangle BM_2D$  и  $\triangle ABM_2$  соответственно:

$$\sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}} \leq H, \quad (9)$$

$$\sqrt{\frac{2S}{\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}} \leq H. \quad (10)$$

Координаты центра масс  $P_1$  в системе координат, начало которой находится в левой вершине основания:

для  $\Delta BM_2D$ :

$$P_1\left(\frac{h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3}, \frac{h}{3}\right); \quad (11)$$

для  $\Delta ABM_2$

$$P_1\left(\frac{2h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}, \frac{h}{3}\right). \quad (12)$$

Пусть теперь погрузка выполнена таким образом (рис. 2, II), что груз в продольном сечении имеет форму трапеции  $ABCD$ , верхнее основание которой равно  $l$ , а высота  $h$  (рис. 4.). Пусть  $M_2, M_3$  – проекции вершин верхнего основания на нижнее,  $M_1$  – середина отрезка  $AM_2$ ,  $M_2$  – середина отрезка  $M_3D$ . Тогда:

$$P_1\left(\frac{2h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}, \frac{h}{3}\right). \quad (12)$$

$$AM_2 = h \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), M_3D = h \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), M_2M_3 = l, \\ AD = l + h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))$$

$$S_{ABCD} = \frac{1}{2}(2l + h(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)))h = lh + \frac{1}{2}h^2(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)).$$

Если задана площадь продольного сечения такого штабеля груза  $S = \frac{m}{\rho d}$ , а высота  $h$  равна высоте трюма  $H$ , то мы можем определить длину верхнего основания трапеции:

$$l = \frac{S}{H} - \frac{1}{2}H(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)). \quad (13)$$

Соответственно, длина нижнего основания:

$$L = AD = \frac{S}{H} + \frac{1}{2}H(\operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)). \quad (14)$$

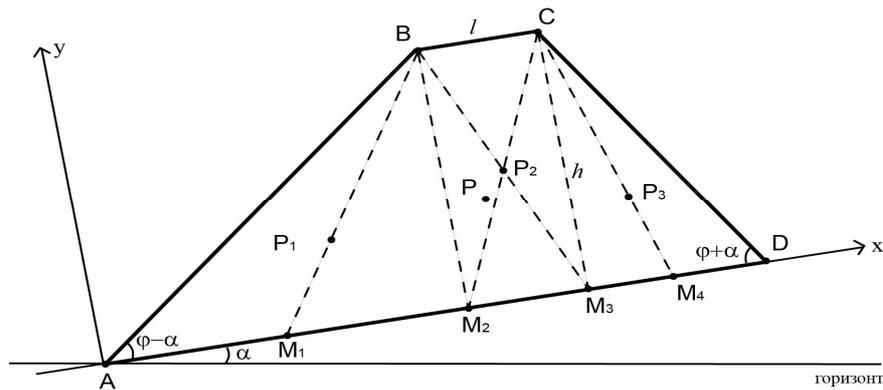


Рисунок 4 – Штабель навалочного груза в трюме при наличии дифферента судна

Определим координаты центра масс штабеля груза  $P$  в системе координат, начало которой находится в вершине  $A$ . Для этого последовательно определим координаты центров масс  $P_1, P_2, P_3$  треугольника  $ABM_2$ , прямоугольника  $M_2BCM_3$ , треугольника  $M_3CD$  и площади этих фигур.

$$A(0;0), \quad M_2(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); 0), \quad B(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); H),$$

Для первого треугольника:

$$P_1\left(\frac{2H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3}; \frac{H}{3}\right), \quad S_1 = \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)$$

Для прямоугольника:  $P_2\left(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{l}{2}; \frac{H}{2}\right), \quad S_2 = lH$ .

Для второго треугольника:  $M_3(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l; 0), \quad C(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l; H),$

$$D(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha); 0),$$

$$P_3\left(\frac{2(H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l) + (H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha))}{3}; \frac{H}{3}\right),$$

$$P_3\left(\frac{3H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3}; \frac{H}{3}\right), \quad S_3 = \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)$$

Следовательно, координаты точки  $P$ :

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{x_1 S_1 + x_2 S_2 + x_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{1}{S_{ABCD}} \left[ \frac{2H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha)}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \right. \\ &+ \left. \left( H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{l}{2} \right) \cdot lH + \frac{3H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) \right] = \\ &= \frac{1}{S_{ABCD}} \left[ \frac{1}{3} H^3 \operatorname{ctg}^2(\varphi - \alpha) + lH^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{l^2 H}{2} + \right. \\ &+ \left. \frac{1}{2} H^3 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + \frac{1}{2} lH^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + \frac{1}{6} H^3 \operatorname{ctg}^2(\varphi + \alpha) \right] = \\ &= \frac{H}{6S_{ABCD}} \left[ 2H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi - \alpha) + 6Hl \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l^2 + \right. \\ &+ \left. 3H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + 3lH \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi + \alpha) \right] \\ y_0 &= \frac{y_1 S_1 + y_2 S_2 + y_3 S_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \\ &= \frac{1}{S_{ABCD}} \left[ \frac{H}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + \frac{H}{2} \cdot lH + \frac{H}{3} \cdot \frac{1}{2} H^2 \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) \right] = \end{aligned}$$

$$= \frac{H^2}{6S_{ABCD}} [H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)],$$

$$P \left( \frac{H}{6S} [2H^2 c_1^2 + 6Hl c_1 + 3l^2 + 3H^2 c_1 c_2 + 3H c_2 + H^2 c_2^2]; \frac{H^2}{6S_{ABCD}} [H c_1 + 3l + H c_2] \right). \quad (15)$$

$$c_1 = \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), c_2 = \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha),$$

Для расчета штабеля груза вида (рис. 2, IV) рассмотрим трапеции  $ABCM_3$  или  $M_2BCD$  (рис. 4). Аналогично получим:

для трапеции  $ABCM_3$ :

$$l = \frac{S}{H} - \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha), \quad (16)$$

$$L = \frac{S}{H} + \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha); \quad (17)$$

для трапеции  $M_2BCD$ :

$$l = \frac{S}{H} - \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha), \quad (18)$$

$$L = \frac{S}{H} + \frac{1}{2} H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha). \quad (19)$$

Координаты центра масс  $P$  относительно левой вершины нижнего основания:  
для трапеции  $ABCM_3$ :

$$P \left( \frac{H}{6S} [2H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi - \alpha) + 6Hl \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l^2]; \frac{H^2}{6S} [H \operatorname{ctg}(\varphi - \alpha) + 3l] \right); \quad (20)$$

для трапеции  $M_2BCD$ :

$$P \left( \frac{H}{6S} [3l^2 + 3Hl \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha) + H^2 \operatorname{ctg}^2(\varphi + \alpha)]; \frac{H^2}{6S} [3l + H \operatorname{ctg}(\varphi + \alpha)] \right). \quad (21)$$

**Расчет оптимального расположения штабелей грузов в трюме.** Пусть в трюме требуется разместить  $n$  (обычно  $2 \leq n \leq 5$ ) видов грузов, так, чтобы при погрузке, транспортировке и выгрузке эти грузы не смешивались. Массу, насыпную плотность, угол естественного откоса для каждого из грузов обозначим через  $m_k$ ,  $\rho_k$  и  $\varphi_k$  соответственно. Размеры трюма: длина  $L$ , ширина  $d$  и высота  $H$ . Угол дифферента –  $\alpha$ . Вообще говоря, каждый из грузов можно попытаться разместить в центральной части трюма или в его крайних частях: носовой или кормовой.

Вычисляем площадь продольно сечения штабеля для каждого из грузов.

Для каждого из грузов просчитываем форму и габариты штабеля при каждом из вариантов размещения (корма, центр, нос). Треугольная форма штабеля возможна при выполнении условий (9), (4), (10) соответственно. При выполнении этих условий определяем длину нижнего основания  $L_{kk}$ ,  $L_{k\varphi}$ ,  $L_{kn}$  штабеля груза по формулам (6), (3), (8), а при невыполнении – по формулам (19), (14), (17).

Чтобы задать способ размещения  $R_j$  грузов, требуется выбрать, какой груз будет расположен в кормовой части, а какой – в носовой. Остальные грузы будут размещены в

центральної частини. Таким образом, фактически имеем всего  $N = n(n-1)$  способов размещения грузов в трюме. Например, при  $n = 3$  имеем  $N = 3 \cdot 2 = 6$  и т.д.

Для каждого из этих способов определяем сумму длин нижних оснований  $\sum_{k=1}^N L_k$  штабелей всех грузов. Если для хотя бы рассматриваемого способа размещения выполнено условие:

$$\sum_{k=1}^N L_k < L, \quad (22)$$

то такой способ считаем допустимым

Если есть несколько допустимых способов, то среди них выбирается оптимальный – такой, при котором сумма  $\sum_{k=1}^N L_k$  принимает минимально возможное значение. Для этого способа определяем расстояние между основаниями штабелей груза, высоту и верхнее основание каждого штабеля и координаты центра масс для каждого из штабелей относительно левого края его основания (формулы (1), (11), (12), (15), (20) или (21) в зависимости от формы штабеля и его расположения) и относительно с учетом места расположения штабеля.

Если условие (22) не выполнено ни для одного из способов, то размещение такого набора грузов в трюме невозможно и нужно уменьшить массу одного из грузов.

#### **Выводы и перспективы дальнейшей работы по данному направлению.**

1. При составлении грузового плана судна типа «коастер» навалочным или насыпным грузом, грузовому помощнику капитана необходимо учитывать возможное пересыпание груза.

2. Предлагаемая математическая модель учитывает смещение груза при наличии дифферента судна и позволяет определить координаты центра массы каждого сместившегося штабеля в зависимости от линейных размеров трюма, угла естественного откоса груза и начального дифферента судна.

3. Программа расчета координат центра масс каждого штабеля груза является дополнением к судовой грузовой программе и сокращает затраты времени грузового помощника капитана на определение мореходных качеств судна после его погрузки.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Хомяков В. Ю. Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека», 19-20 листопада 2013 року. – Одеса : ОНМА, 2013. – С. 136-139.

2. Хомяков В. Ю. Смещение центра тяжести штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених і студентів «Удосконалювання проектування та експлуатації морських суден і споруд» (2-6 грудня 2013 року). – Севастополь, 2014. – С. 159-164.

3. Хомяков В. Ю. Диаграмма графического расчета массы навалочных грузов при перевозке с «естественной» сепарацией / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT – 2014) (27-29 травня 2014 року). – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 147-148.

4. Хомяков В. Ю. Загрузка судна типа «коастер» навалочным грузом с использованием метода «естественной» сепарации / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон: Видавництво ХДМА, 2014. – № 1 (10). – С.64-70

5. Клименко Е. Н. Определение конфигурации поверхности насыпного груза в трюме судна методом Нелдера-Мида / Е. Н. Клименко, В. Д.Савчук // Матеріали науково-методичної конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (18-19 листопада 2014 року). – Одеса : ОНМА, 2014. – С. 70-75.

6. Клименко Е. Н. Система автоматизированного контроля грузовых операций балкера / Е. Н. Клименко // Судовождение: сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 24. – Одесса : «Издат-Информ», 2014. – С. 84-91.

## REFERENCES

1. Khomyakov V. Yu. Raschet vihsotih shtabelya navalochnogo gruzha pri zagruzke sudov tipa «koaster» / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Materiali naukovo-teoretichnoї konferencії «Sudnoplavstvo: perevezennya, tekhnichni zasobi, bezpeka», 19-20 listopada 2013 roku. – Odesa : ONMA, 2013. – S. 136-139.

2. Khomyakov V. Yu. Smethenie centra tyazhesti shtabelya navalochnogo gruzha pri zagruzke sudov tipa «koaster» / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Materiali VIII Vseukraїnsjkoї naukovo-tekhnichnoї konferencії molodikh vchenikh i studentiv «Udoskonalyuvannya proektuvannya ta ekspluatacії morsjikh suden i sporud» (2–6 grudnya 2013 roku). – Sevastopolj, 2014. – S. 159-164.

3. Khomyakov V. Yu. Diagramma graficheskogo rascheta massih navalochnikhkh gruzov pri perevozke s «estestvennoy» separaciey / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Materiali shostoї Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії «Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti» (MINTT – 2014) (27–29 travnya 2014 roku). – Kherson : KhDMA, 2014. – S. 147-148.

4. Khomyakov V. Yu. Zagruzka sudna tipa «koaster» navalochnihm gruzom s ispoljzovaniem metoda «estestvennoy» separacії / V. Yu. Khomyakov, V. D. Savchuk // Naukoviy visnik Khersonsjoї derzhavnoї morsjoї akademії : naukoviy zhurnal. – Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 2014. – № 1 (10). – S.64-70

5. Klimenko E. N. Opredelenie konfiguracії poverkhnosti nasihpnogo gruzha v tryume sudna metodom Neldera-Mida / E. N. Klimenko, V. D.Savchuk // Materiali naukovo-metodichnoї konferencії «Morsjki perevezennya ta informacijni tekhnologii v sudnoplavstvi» (18-19 listopada 2014 roku). – Odesa : ONMA, 2014. – S. 70-75.

6. Klimenko E. N. Sistema avtomatizirovannogo kontrolya gruzovihkh operacij balkera / E. N. Klimenko // Sudovozhdenie: sb. nauchn. trudov / ONMA. – Vihp. 24. – Odessa : «Izdat-Inform», 2014. – S. 84-91.

### **Хомяков В.Ю., Савчук В.Д. ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСИ ШТАБЕЛЯ НАВАЛОЧНОГО ВАНТАЖУ ПРИ НАЯВНОСТІ ДИФЕРЕНТА СУДНА**

*У практиці одночасного сумісного перевезення декількох видів навалочних або насипних вантажів на судні типу «коастер» між портами Північної Європи і Норвегії в басейнах Північного, Норвежського і Балтійського морів розміщення таких вантажів в трюмі окремими штабелями здійснюється з використанням метода «природної» сепарації. У зв'язку з таким завантаженням, вантажний помічник капітана, при розрахунках морехідних характеристик судна, вважає, що кожна насип є окремим вантажем і має свою масу, свої координати центра маси, створює свій момент відносно міделя і т.д. На т/х «Wilson Bilbao» були виконані рейсові спостереження при одночасному перевезенні декількох видів навалочних вантажів. Установлено факт, якщо судно немає диферента і завантаження здійснюється на «на рівному кілі», то вантаж розміщується, частіше за все, наступним чином. В носовій і кормовій частині трюма судна штабель має форму прямокутного трикутника або прямокутної трапеції, а в центральній частині трюма, в залежності від його об'єму, має форму рівнобедреної трапеції або рівнобедреного трикутника. Якщо ж судно має початковий диферент, то при завантаженні навалочного і, особливо, насипного вантажу виникає процес його зміщення і пересипання. Кути при осної цих штабелів вантажу змінюються на кут диферента: один із кутів збільшується, другий – зменшується. Виникає переміщення центра маси штабеля вантажу, що потрібно враховувати при розрахунках остійності судна після закінчення процесу завантаження. В статті розглянута математична модель, що дозволяє розрахувати координати центра маси штабеля вантажу, який змістився а*

залежності від лінійних розмірів трюму, кута природного укосу вантажу та початкового диферента судна.

**Ключові слова:** судно типу «коастер», розрахунок координат центра маси штабеля навалочного вантажу.

**Khomyakov V.Yu., Savchuk V.D. CALCULATION THE CENTER OF MASS COORDINATES OF BULK CARGO STACK WITH AVAILABILITY OF VESSEL'S TRIM**

*In practice of simultaneous transportation of several types of bulk cargo by coaster type vessels between ports of Northern Europe and Norway in the North Sea, Norwegian Sea and Baltic Sea areas, and also placement of such cargo in the hold by separate stacks is carried out by the «natural» separation method. In accordance with such loading, cargo mate believes that each mound is a separate load and has its own mass, the center of mass coordinates, creates a moment relative to the midship section, etc., during calculations of seaworthiness of a vessel. Voyage observations of the simultaneous transportation of several types of bulk cargo by m/v «Wilson Bilbao» were made. It is found that, if the ship has no trim and loading is performed on an even keel, the load is placed, most often, as follows. In fore and aft of the vessel's hold a stack has the shape of a right triangle or rectangular trapezoid, and has the shape of an isosceles trapezium or an isosceles triangle in the central part of the hold, depending of its volume. There is a moving and pouring if the ship has a trim, when loading bulk cargo especially. The angles at the base of these cargo stacks change in the angle of trim: one of the angles increases, the other one decreases. There is moving of stack center of mass of shifted cargo that can not be ignored in the calculation of the stability of a vessel after completion of loading. The mathematical model that allows to calculate a coordinates of the center of mass of a shifted cargo depending of the hold linear dimensions, angle of repose of a cargo and the initial trim of the vessel, is considered in the article.*

**Keywords:** coaster type vessel, calculation of the center of mass coordinates of bulk cargo pile.

© Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.

Статтю прийнято  
до редакції 3.04.15