

УДК 629.5.017.15

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОЗРІДЖЕННЯ НАВАЛЮВАЛЬНИХ ВАНТАЖІВ ГРУПИ А НА БЕЗПЕКУ МОРЕПЛАВСТВА ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ В УМОВАХ ЗМІНЮВАНОЇ ВОЛОГОСТІ

Нестеренко В. Б., старший викладач кафедри управління судном Херсонської державної морської академії, e-mail: nesterenko_mast@mail.ru, ORCID: 0000-0002-9574-6512;

Завальнюк І. П., к.т.н., доцент кафедри управління судном Херсонської державної морської академії, e-mail: zavalnyukinna@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7691-1271;

Завальнюк О. П., к.т.н., доцент кафедри експлуатації судового електрообладнання та засобів автоматики Херсонської державної морської академії, e-mail: olgazavalnjuk82@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3755-8350

В статті акцентується увага на проблемі перевезення мінеральних руд з підвищеною місткістю вологи, що перевищує TML, та впливу її фізичних властивостей на безпеку мореплавства. Проведено аналіз поведінки розрідженого вантажу в умовах морських перевезень та виявлено можливість появи одного з двох ефектів - «ефекту вільної поверхні» та «ефекту ковзання». В результаті виконання теоретичних досліджень показано вплив руху вантажу, що перевозиться, на остійність судна та наведено залежності величини плеча статичної остійності і метацентричної висоти від важливих фізичних характеристик вантажу, судна і зовнішніх факторів, що діють на суховантаж. Проведення процедури поліноміальної апроксимації залежності плеча кренувального моменту від кута крену, що виникає при перевезенні розрідженої руди, дозволило визначити критичний кут крену, при досягненні якого усувається можливість компенсаційної дії відновлювальним моментом кренувального. Сформульовано рекомендації щодо дотримання певних значень кута крену для здійснення безпечного перевезення навалювальних вантажів групи А з ознаками розрідження в умовах змінюваної вологості.

***Ключові слова:** розріджуваний вантаж, транспортABELьна межа вологості, ефект вільної поверхні, відновлювальний момент, кренувальний момент, апроксимація, безпечний діапазон кута крену.*

DOI: 10.33815/2313-4763.2018.2.19.53-61

Вступ. Міжнародна асоціація власників суховантажів Intercargo в своєму звіті Bulk Carrier Casualty Report за 2017 рік відмічає, що за останні десять років світовий флот втратив 53 балкери дедвейтом понад 10000 тонн, а загальні людські втрати на балкерах за цей період склали 202 людини, або в середньому близько 20 членів екіпажа в рік.

Важливим є те, що найбільший відсоток втрат дають аварії, які пов'язані з процесом розрідження вантажів під час перевезення, а саме, з цієї причини в результаті дев'яти подібних інцидентів загинув 101 моряк. В звіті акцентується увага, що на катастрофи в результаті розрідження і подальшого зсуву вантажу доводиться 41,5 % від загального об'єму втрат флоту. Тому розрідження вантажу, як і раніше, викликає серйозну занепокоєність з погляду безпеки життя моряків.

Найрезонансніші катастрофи відбулися з балкерами Stellar Daisy і Emerald Star. Так у звіті Intercargo наголошується, що у 2017 році трагічні втрати балкера Stellar Daisy, який перевозив залізну руду, і Emerald Star, який йшов з вантажем нікелевої руди, викликали питання до загальних принципів транспортування вантажів з високою щільністю, що перевозяться морем. Крім того, дві катастрофи з суднами, призначеними для перевезення навалювальних вантажів, привели до загибелі 32 моряків, що є найвищим показником з 2011 року.

В цілому в 2017 році в базі даних Intercargo значиться 337 інцидентів з балкерами. Стосовно класу суден, що потрапили в звіт Intercargo, то 41,5 % від загального числа втрат припало на балкери Handysize (22 судна, здебільшого втрачених до 2011 року); ще 20,8 % втрат склали судна класу Handymax (11 балкерів); 15,1 % складає частка балкерів класу Supramax в загальному об'ємі втрат (8 балкерів); 13,2 % доводиться на судна класу Capesize (7 балкерів). Втрати суден класу Panamax складають 9,4 % від загального об'єму.

За результатами аналізу даних, Intercargo відзначає, що після досягнення максимального рівня втрат суден в 2011 році на сьогоднішній день можна зробити висновок про поступове зниження кількості інцидентів з балкерами в подальші роки.

Аналіз останніх досліджень та постановка задачі. Дослідження фізичних властивостей і особливостей перевезення навалювальних вантажів групи А виконується в різних наукових напрямках.

Так, авторами [2], для вивчення розвитку розрідження в рудних вантажах був розроблений новий Rolling Test, для використання в геотехнічній центрифугі, що дозволило відтворити напруги та тиск аналогічні тим, що спостерігаються на судні.

Задачею дослідження [3] стало вивчення причин та наслідків розрідження таких вантажів, як нікелева та залізна руди на борту навалювальних суден, з метою надання корисних рекомендацій щодо запобігання проникнення води в вантаж під час транспортування, завантаження та зберігання. Крім того, було запропоновано декілька модифікацій тестових випробувань проб вантажу, які можуть бути не обов'язковими, але корисними для зменшення випадків розрідження. Відзначається, що за результатами таких експериментальних випробувань можуть бути зроблені усі необхідні запобіжні заходи для зменшення потенціалу розрідження вантажів.

В науковій праці [4] представлено розроблену методологію чисельного моделювання ударного руху рідини в прямокутному танку, з використанням методу Level Set Method. Відзначено, що максимальне зміщення вільної поверхні утворюється за обставин, для яких частота збудження наближається до резонансної частоти хитавиці. Причому амплітуда та частота збудження здійснюють суттєвий вплив на величину ударного тиску на стінку досліджуваного танку. Важливо, що втрата зсувного опору вантажу (пульпи) веде до лавиноподібного збільшення кренувального моменту, накопиченого в результаті ударного руху рідини, який можуть спричинити перекидання та затоплення судна. Моделювання показало, що рідина з високою в'язкістю, може зробити негативний вплив на остійність суден, особливо за умов дії хвиль та вітру.

Для оперативного контролю рівня безпеки морського перевезення та стану розріджуваних навалювальних вантажів, авторами [5] запропонований спосіб, який полягає у визначенні наявності вологи, за допомогою комплекту давачів вологи, не тільки на настилі трюму, а і додатковому визначенні наявності вологи в штабелі вантажу на висоті $1 \pm 0,2$ м від настилу.

Отже, аналіз результатів останніх наукових досліджень вказує, що в роботах недостатньо розкриті питання виникнення небезпечного кренувального моменту та зниження остійності судна при змінюванні рівня вологості навалювальних вантажів, що мають здатність розріджуватися.

Тому **метою статті** є встановлення практичних рекомендацій щодо підвищення рівня безпеки перевезення рудних вантажів з високим рівнем вологості шляхом моніторингу за величиною кута крену судна та не допущення входження його в критичну зону значень.

Вирішення задачі. Згідно Міжнародного кодексу морського перевезення навалювальних вантажів (International Maritime Solid Bulk Cargoes Code – IMSBC) до вантажів групи А відносяться також вантажі, які можуть розріджуватися, якщо в процесі завантаження або морського перевезення їх вологовміст перевищить вказану для них транспортабельну межу вологості (TML). Такими вантажами є залізна, марганцева, нікелева руди, рудні концентрати, боксити, тощо [6, 7]. Причому стан розрідження настає тоді, коли маса зернистої речовини стає настільки насиченою вологою, що під впливом переважаючих зовнішніх сил, таких як вібрація, ударні дії або хитавиця судна, вона втрачає свій внутрішній опір зсуву і починає поводитися як рідина. Розрідження може привести до зсуву вантажу. Це явище може бути описане наступним чином:

1) об'єм просторів між частинками скорочується в міру ущільнення вантажу внаслідок вібрації від руху судна і т.д.;

2) таке скорочення простору між частинками призводить до підвищення тиску води в товщі вантажу;

3) підвищення тиску води зменшує тертя між частинками, приводячи до зменшення опору вантажу зсуву.

Цікавим для дослідження є те, що поведінка розрідженого вантажу може проявлятися появою одного з двох ефектів:

1) «ефект вільної поверхні», коли вантаж, що перейшов у в'язкий розріджений стан (пульпу), може перетікати до одного з бортів судна при крені в умовах хитавиці і не повністю повертатися при крені в інший бік (рис. 1). Внаслідок цього поступово судно може досягти небезпечного кута крену і абсолютно несподівано перекинутися.

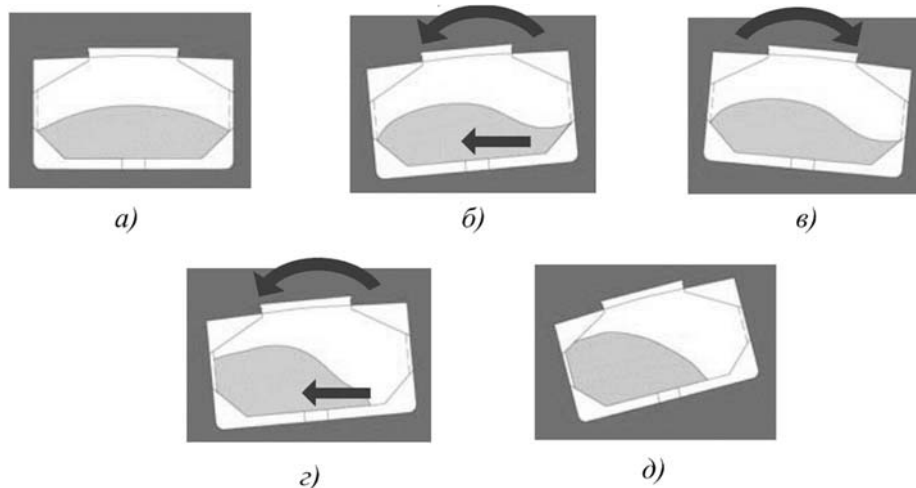


Рисунок 1 – Поведінка вантажу з ефектом вільної поверхні

2) «ефект ковзання», властивий для вантажів з великим вологовмістом, особливо, якщо вантаж завантажено малим шаром і судно піддається впливу великих кутів крену. Тоді вантаж втрачає своє зчеплення і стає менш липким. Коли судно крениться, верхня частина вантажу може відділятися і ковзати в одну сторону. Це переносить вантаж і його вертикальний центр ваги в одну сторону, що викликає появу кренувального моменту, який негативно впливає на остійність судна.

Таким чином, розрідження призводить до розвитку течкості. Це дозволяє вантажу ковзати і зміщуватися, при цьому знижуючи метацентричну висоту GM , і, тим самим, знижуючи остійність судна.

Для аналізу впливу руху розрідженого вантажу на остійність судна доцільно розглянути переміщення центру ваги судна G , центру плавучості B та зменшення метацентричної висоти GM при появі ефекту вільної поверхні (рис. 2) [8, 9]. Отже:

1) при перетіканні вантажу, центр ваги судна з точки G зсунеться в точку G_1 :

$$GG_1 = \frac{w \cdot gg_1}{W}, \quad (1)$$

де w – вага зміщеного вантажу, т; gg_1 – дистанція переміщення центру тяжіння зміщеного вантажу, м; W – водотоннажність судна, т.

2) підняття положення зміщеного центру ваги (т. G_1):

$$G_1G_v = \frac{i \cdot \rho_1}{W}, \quad (2)$$

де ρ_1 – щільність вантажу, що перевозиться, т/м³; i – момент інерції вільної поверхні, м⁴.

Величину зменшення метацентричної висоти може бути знайдено одним з двох способів, що виникають при розгляді трикутника G_vGG_1 :

$$GG_v = GG_1 \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} = \frac{w \cdot gg_1}{W} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} \text{ або } GG_v = G_1 G_v \cdot \cos \theta = \frac{i \cdot \rho_1}{W} \cdot \cos \theta \quad (3)$$

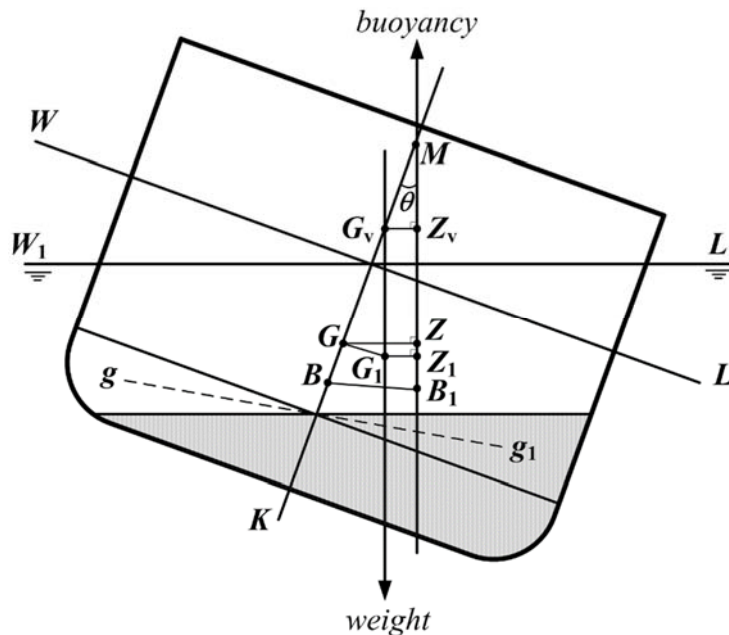


Рисунок 2 – Зміна положення центру ваги при виникненні ефекту вільної поверхні
Тому нове значення метацентричної висоти визначається:

$$G_v M = GM_0 - GG_v = GM_0 - \frac{w \cdot gg_1}{W} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \theta} \quad (4)$$

або

$$G_v M = GM_0 - GG_v = GM_0 - \frac{i \cdot \rho_1}{W} \cdot \cos \theta \quad (5)$$

Для оцінювання остійності судна за величиною плеча статичної остійності, можна скористатися наступним виразом:

1) при малих кутах крену $0^\circ \leq \theta \leq 15^\circ$

$$G_v Z_v = G_1 Z_1 = G_v M \cdot \sin \theta, \quad (6)$$

2) при великих кутах крену $15^\circ \leq \theta \leq 25^\circ$

$$G_v Z_v = G_1 Z_1 = \left[G_v M + \frac{1}{2} \cdot BM \cdot \tan^2 \theta \right] \cdot \sin \theta, \quad (7)$$

Важливим для досягнення поставленої мети дослідження є те, що формули (4) і (5) дозволяють проаналізувати вплив поведінки розрідженого вантажу на остійність суховантажу, оскільки містять всі важливі характеристики вантажу, судна і зовнішніх факторів, що діють на судно.

Відомо, що при виникненні кута крену та дії кренувального моменту на остійному судні, для повернення його в початкове положення починає діяти відновлювальний момент. Але при перевезенні розрідженого рудного вантажу з урахуванням впливу ефекту вільної поверхні, може виникнути ситуація, коли величини відновлювального моменту стане недостатнім для компенсації кренувального моменту. Це може привести до критичної ситуації – перекидання судна. Тому для визначення критичного кута крену та зони його безпечних значень доцільно розглянути перехід конкретного судна з певним вантажем та

побудувати діаграму статичної остійності з нанесенням кривої залежності плеча кренувального моменту від кута крену.

Судно «Federal Sable» водотоннажністю $W = 46963$ т здійснює плавання Бразилія – Канада з вантажем залізна руда ($SF = 0,5$ м³/т). Після складання та корегування вантажного плану для задовільнення умови нульового диференту був проведений розрахунок плечей статичної остійності (таблиця 1).

Величину плеча кренувального моменту може бути знайдено за формулою:

$$GG_{кр} = \frac{M_{кр}}{W} = \frac{w \cdot gg_1}{W}, \quad (8)$$

де $M_{кр}$ – кренувальний момент, що виникає при зміщенні зрідженого вантажу, т·м.

Причому значення ваги w та дистанції переміщення центру тяжіння gg_1 зміщеного вантажу можуть бути визначені при детальному розгляданні клинів вантажу, утворених при певних кутах крену θ . Отже, w і gg_1 визначаються так:

$$w = \frac{1/2 \cdot (b/2)^2 \cdot l \cdot \text{tg} \theta}{SF}, \quad gg_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{b}{2} \cdot \sqrt{4 + \text{tg}^2 \theta} \quad (9)$$

де b і l – ширина і довжина вантажного трюму, м; SF – питомий навантажувальний момент (stowage factor) вантажу, м³/т.

Розраховані чисельні значення плечей кренувального моменту при певному куті крену також занесені в таблицю 1, а графічне зображення залежностей $GZ = f(\theta)$ та $GG_{кр} = f(\theta)$, побудованих у програмі Mathcad, представлено на рис. 3.

Таблиця 1 – Розрахунок плечей статичної остійності та плечей кренувального моменту

	Кут крену θ																
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
$\sin\theta$	0	0.087	0.17	0.26	0.34	0.42	0.5	0.57	0.64	0.71	0.77	0.82	0.87	0.91	0.94	0.97	0.98
$KG \times \sin\theta$	0	0.63	1.24	1.90	2.48	3.07	3.65	4.17	4.68	5.19	5.63	5.99	6.36	6.65	6.87	7.09	7.15
KN	0.03	1.05	2.10	3.17	4.25	5.20	6.05	6.84	7.56	8.14	8.6	8.91	9.13	9.26	9.30	9.25	9.13
GZ	0	0.42	0.86	1.27	1.77	2.13	2.40	2.67	2.88	2.95	2.97	2.92	2.77	2.61	2.43	2.16	1.98
$GG_{кр}$	0	0.211	0.427	0.652	0.893	1.155	1.45	1.79	2.196	2.698	3.347	4.234	5.528	7.585	11.26	19.053	41.102

Аналіз даної таблиці вказує, що критичне значення кута крену, при якому не можлива компенсація кренувального моменту відновлювальним, знаходиться в діапазоні від 45° до 50°.

Для визначення точного значення критичного кута крену доцільно провести апроксимацію графічно отриманих залежностей $GZ = f(\theta)$ і $GG_{кр} = f(\theta)$ за допомогою програми Mathcad [10]. Отже, результат опрацювання розрахованих даних регресійними поліномами 4-го степеня має вигляд:

$$GZ(\theta) = a_1 + b_1 \cdot \theta + c_1 \cdot \theta^2 + d_1 \cdot \theta^3 + e_1 \cdot \theta^4, \quad (10)$$

$$a_1 = -0.0003, b_1 = 0.078, c_1 = 0.0012, d_1 = -4.58 \cdot 10^{-5}, e_1 = 2.77 \cdot 10^{-7}.$$

$$GG_{кр}(\theta) = a_2 + b_2 \cdot \theta + c_2 \cdot \theta^2 + d_2 \cdot \theta^3 + e_2 \cdot \theta^4,$$

$$a_2 = 0.0011, b_2 = 0.03648, c_2 = 0.0008, d_2 = -2.823 \cdot 10^{-5}, e_2 = 4.93 \cdot 10^{-7}.$$

(11)

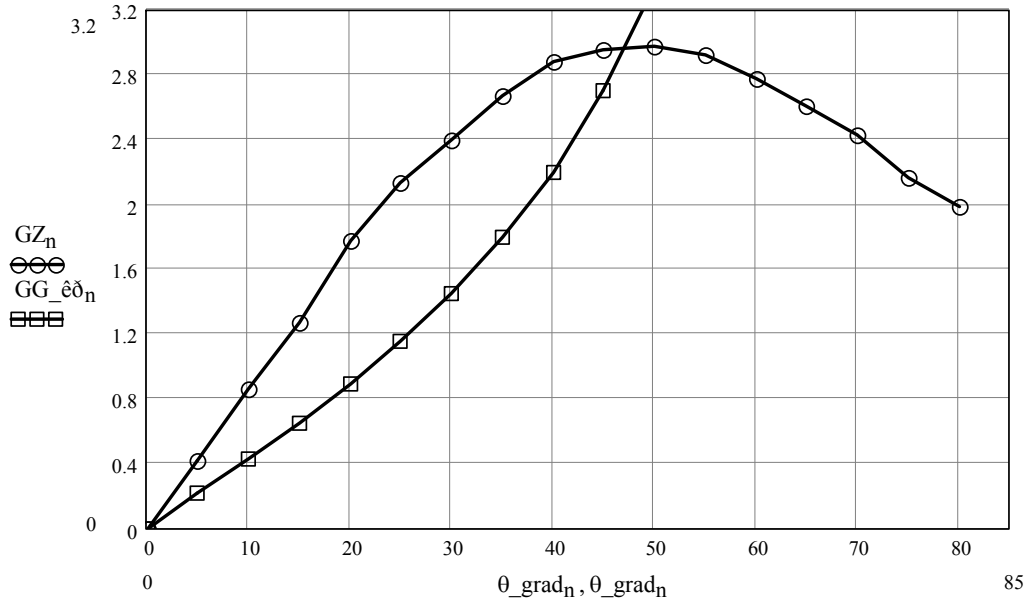


Рисунок 3 – Графіки $GZ = f(\theta)$ та $GG_{кр} = f(\theta)$

Розв’язання рівняння $GZ(\theta) - GG_{кр}(\theta) = 0$ дозволило отримати чисельне критичне значення кута крену для судна «Federal Cable» водотоннажністю $W = 46963$ т з вантажем залізна руда, а саме, $\theta_{кр} = 47^\circ$. Таким чином, досягнення судном такого кута крену буде означати початок незворотного лавиноподібного розвинення аварійної ситуації, що веде до перекидання судна.

У прийнятій морській практиці контроль стану судна ведеться безперервно, і в разі виявлення будь-якого роду позаштатних ситуацій, необхідна негайна реакція екіпажу на обстановку, що склалася. Поява навіть незначного крену, як правило, викликає заклопотаність екіпажу і прагнення швидше з’ясувати причини його виникнення. Виявлення причин крену веде до встановлення тактики боротьби з недоліками. Причому боротьба за живучість приносить позитивні результати лише при здійсненні відповідних заходів до досягнення значення кута крену судна, який дорівнює половині критичного значення. До зазначених заходів щодо вантажу можна віднести наступні: 1) вирівнювання поверхні вантажу та її інтенсивна вентиляція у трюмах; 2) риття каналів в товщині вантажу для збирання води в лляльних колодязях з наступним відведенням системою осушення; 3) виконання заглиблення для встановлення заглибного насоса з метою осушування. Заходи, які можуть бути виконані стосовно судна, з метою зменшення впливу хитавиці та недопущення його перекидання, такі: 1) зміна курсу судна для зменшення бортової хитавиці; 2) зниження швидкості для зменшення явища слемінга, причому такий режим ходу рекомендується зберігати до покращення погодних умов.

У разі, коли вжиті заходи не приносять позитивного результату, а ситуація погіршується, повинно своєчасно прийматися рішення про залишення судна, щоб уникнути хоча б людських жертв. Орієнтиром до цього може служити крен судна, який досяг половини критичного. Отже, основною рекомендацією при перевезенні вантажів, які мають схильність до розрідження, регулярно контролювати кут крену судна та не допускати перевищення його значення $\theta_{кр}$, та утримання його в безпечному діапазоні:

$$0 \leq \theta < \frac{\theta_{кр}}{2}. \quad (12)$$

Висновки та напрямки подальших досліджень. В статті наведено стан світового флоту щодо катастроф в результаті розрідження і подальшого зсуву вантажу, відповідно до інформації Intercargo. Розглянуто фізику процесу розрідження вантажів групи А та вплив руху такого вантажу на остійність судна. Проведена поліноміальна апроксимація залежності плеча кренувального моменту від кута крену з метою визначення критичного кута крену, досягнення якого усуває можливість компенсаційної дії відновлювальним моментом кренувального. Встановлено безпечний діапазон значень кута крену, дотримання якого дозволить мінімізувати ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

Напрямами подальших наукових досліджень мають стати:

- 1) вивчення аварійної ситуації у разі виникнення розрідження рудного вантажу у двох або більше вантажних приміщеннях судна;
- 2) аналіз впливу властивостей вантажу та зовнішніх факторів, як на динаміку процесу розрідження, так і на остійність судна;
- 3) формулювання та пропонування рекомендацій щодо попередження аварійних ситуацій за допомогою певних інструментальних рішень розглядуваної проблеми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bulk Carrier Casualty report – Years 2008 to 2017 and the trends [Електронний ресурс]. – London: International Association of Dry Cargo Shipowners. – Режим доступу: <https://www.intercargo.org/bulk-carrier-casualty-report-2017//>. – Назва з екрану.
2. Luc Thorel Centrifuge rolling test for ore liquefaction analysis / Luc Thorel, Philippe Audrain, Alain Neel, Alberto Bretschneider, Matthieu Blanc // Marine 2017, 7th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, May 2017, NANTES, France. International Center for Numerical Methods in Engineering. – Nantes: ICNME, 2017. – 290–295 pp.
3. Samar Daoud Prevention of liquefaction of transported ores in bulk carriers / Samar Daoud // Proceedings of the 6th International Young Geotechnical Engineers' Conference (iYGEC6), 16–17 September 2017, Global Education Center for Engineers (Building No. 38), Seoul National University, Seoul, Republic of Korea. – Seoul: Seoul National University, 2017. – 42–43 pp.
4. Youjia Zou Numerical Simulations on the Capsizing of Bulk Carriers with Nickel Ores / Youjia Zou, Chun Shen, Xiangying Xi // THE JOURNAL OF NAVIGATION. – Cambridge: The Royal Institute of Navigation, 2013. – Vol.66. – 919–930 pp.
5. Пат. 2539310 Российская Федерация, МПК В63В 25/24, В63В 25/04, В63В 43/02. Способ контроля уровня безопасности морской перевозки разжижающихся навалочных грузов / Бузов О.Н., Глебова М.А., Иванов Ю.М.; патентообладатель Министерство промышленности и торговли Российской Федерации. - № 2013142208/11; заявл. 17.09.2013; опубл. 20.01.2015, Бюл. №2.
6. International Maritime Solid Bulk Cargoes Code (IMSBC Code). – London: IMO, 2011. – 140 p.
7. Reducing the risk of liquefaction [Електронний ресурс]. – Neuilly-sur-Seine: Bureau Veritas. – Режим доступу: <https://group.bureauveritas.com/reducing-risk-liquefaction-new-guidance//>. – Назва з екрану.
8. Derrett D.R. Ship Stability for Masters and Mates / D.R. Derrett. – Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2006. – 534 p.
9. Dr. Barrass C. B. Ship Stability Notes & Examples: Third Edition / Dr. C. B. Barrass – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. – 184 p.
10. Паранчук Я.С. Алгоритмізація та програмування. MathCAD / Я.С. Паранчук, В.І. Мороз. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 312 с.

REFERENCES

1. Bulk Carrier Casualty report – Years 2008 to 2017 and the trends. International Association of Dry Cargo Shipowners. *intercargo.org* Retrieved from <https://www.intercargo.org/bulk-carrier-casualty-report-2017//>.
2. Luc Thorel, Philippe Audrain, Alain Neel, Alberto Bretschneider, Matthieu Blanc (2017). Centrifuge rolling test for ore liquefaction analysis. *7th International Conference on Computational Methods in Marine Engineering, Marine 2017, May 2017*. Nantes, France: International Center for Numerical Methods in Engineering, 290–295.
3. Samar Daoud (2017). Prevention of liquefaction of transported ores in bulk carriers. *Proceedings of the 6th International Young Geotechnical Engineers' Conference (iYGEC6), 16–17 September 2017, Global Education Center for Engineers*. Seoul, Republic of Korea: Seoul National University, 42-43.
4. Youjia Zou, Chun Shen, Xiangying Xi (2013). Numerical Simulations on the Capsizing of Bulk Carriers with Nickel Ores. *The Journal Of Navigation*. Cambridge: The Royal Institute of Navigation, 66, 919–930.
5. Patent MPK B63B 25/24, B63B 25/04, B63B 43/02, № 2539310. *Sposob kontrolya urovnya bezopasnosti morskoy perevozki razzhizhayushchikhsya navalochnikh gruzov*. (2015). Patentobladatel: Ministerstvo promyshlennosti i trgovli Rossiyskoy Federatsii / Burov O.N., Glebova M.A., Ivanov Yu.M., zayavka 2013142208/11.
6. *International Maritime Solid Bulk Cargoes Code* (2011). London: IMO.
7. Reducing the risk of liquefaction. Neuilly-sur-Seine: Bureau Veritas. *group.bureauveritas.com*. Retrieved from <https://group.bureauveritas.com/reducing-risk-liquefaction-new-guidance//>.
8. Derrett, D.R. (2006). *Ship Stability for Masters and Mates*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
9. Dr. Barrass, C.B. (2001). *Ship Stability Notes & Examples*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
10. Paranchuk, Ya.S., Moroz, V.I. (2011). *Alhorytmizatsiya ta proqramuvannya. MathCAD*. Lviv: Vyd-vo L'vivs'koyi politekhniki.

Нестеренко В. Б., Завальнюк И. П., Завальнюк О. П. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЖИЖЕНИЯ НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ ГРУППЫ А НА БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЕМОЙ ВЛАЖНОСТИ

В статье акцентируется внимание на проблеме перевозки минеральных руд с повышенным содержанием влаги, превышающей TML и влияния ее физических свойств на безопасность мореплавания. Проведен анализ поведения разжиженного груза в условиях морских перевозок и установлена возможность появления одного из двух эффектов – «эффекта свободной поверхности» и «эффекта скольжения». В результате выполнения теоретических исследований показано влияние движения перевозимого груза на остойчивость судна и представлены зависимости величины плеча статической остойчивости и метацентрической высоты от важных физических характеристик груза, судна и внешних факторов, действующих на сухогруз. Проведение процедуры полиномиальной аппроксимации зависимости плеча кренящего момента от угла крена, возникающего при перевозке разжиженной руды, позволило определить критический угол крена, при достижении которого исключается возможность компенсационного действия восстанавливающим моментом кренящего. Сформулированы рекомендации по соблюдению определенных значений угла крена для осуществления безопасной перевозки навалочных грузов группы А с признаками разрежения в условиях меняющейся влажности.

Ключевые слова: разжижаемый груз, транспортабельная граница влажности, эффект свободной поверхности, восстанавливающий момент, кренящий момент, аппроксимация, безопасный диапазон угла крена.

Nesterenko V. B., Zavalniuk I. P., Zavalniuk O. P. RESEARCH OF THE LIQUEFACTION'S INFLUENCE OF THE GROUP A BULK CARGOES ON MARITIME SAFETY DURING TRANSPORTATION IN VARIABLE MOISTURE CONDITIONS

In the article it is focused attention on the problem of mineral ore transportation with a high moisture content exceeding TML and the effect of its physical properties on maritime safety. The analysis of the behavior of the liquefied cargo in the sea transportation conditions was carried out and the possibility of the appearance of one of two effects – the «free surface effect» and the «sliding effect» was established. As a result of theoretical researches, the effect of the movement of the transported cargo on the ship's stability was shown, and the relationships of the righting lever and metacentric height of the shoulder on the important physical characteristics of the cargo, vessel and external factors acting on the cargo ship was presented. The carrying out of the polynomial approximation procedures of the dependence of the lever of the listing moment on the angle of list arising during the transportation liquefied ore allowed us to determine the critical angle of list, upon the reaching of which eliminates the possibility of compensatory action of the listing moment by righting moment. Recommendations on the observance of specific values of the list angle for the safe transportation of group A bulk cargoes with signs of liquefaction in a changing humidity conditions was formulated.

Keywords: liquefied cargo, transportable moisture limit, free surface effect, righting moment, listing moment, approximation, safe range of the list angle.

© Нестеренко В. Б., Завальнюк І. П., Завальнюк О. П.

Статтю прийнято
до редакції 12.11.18