

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРСЬКОГО ПЕРЕВЕЗЕННЯ НАВАЛОЧНИХ ВАНТАЖІВ ІЗ ВИСОКОЮ ЩІЛЬНІСТЮ

О.М. Мельник

к.т.н, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки,
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

Анотація

Вступ. Забезпечення безпеки морського перевезення навалочних вантажів з високою щільністю також є критичним аспектом морської логістики та вимагає розроблення та втілення сукупності заходів, необхідних для забезпечення безпеки таких перевезень. Дана стаття розглядає проблему розрідження вантажів на судні протягом рейсу та його вплив на остійність і безпеку плавання. Дослідження ґрунтуються на аналізі статистичних даних та фізико-хімічних властивостей вантажів, конструкційні особливості судна та вплив зовнішнього середовища. Підкреслюються особливості процедури прийняття вантажу, контролю за його станом протягом транспортування та ознаки вразливості нікелевої, алюмінієвої та залізної руди до розрідження, що вимагає ретельної перевірки вологості вантажу перед завантаженням. У цій роботі було проведено дослідження небезпек розрідження вантажу під час перевезення, що є процесом, під час якого вантаж стає менш щільним і здатним до руху та зсуву, що може призвести до небажаних наслідків, включно зі зміщенням центру тяжіння судна, зниженням метацентричної висоти та погіршенням його стабільності. **Мета.** Основною метою статті є розуміння проблеми розрідження вантажів під час морського перевезення та розробка і втілення відповідних заходів безпеки для забезпечення безпеки таких перевезень. **Результати.** Запропоновано спрощену математичну модель яка враховує геометрію корпусу судна, параметри хвилювання моря, швидкість вітру та інші чинники для передбачення зсуву розрідженого вантажу. **Висновки.** Розрахунки та моделювання дають змогу оцінити ймовірність розрідження вантажів і вжити відповідних заходів безпеки, підкреслюється важливість контролю умов вантажу, застосування запобіжних заходів і забезпечення безпеки екіпажу для запобігання розрідженню вантажу на судні.

Ключові слова: зрідження вантажів, безпека морських перевезень, навалочні вантажі, остійність судна, моніторинг стану вантажу, зсув вантажу, заходи безпеки.

**SAFETY OF MARITIME TRANSPORTATION
OF HIGH-DENSITY BULK CARGOES**

O.M. Melnyk

PhD (Eng.), Associate Professor at the Department of Navigation and Maritime Safety,
Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0001-9228-8459

Summary

Introduction. Ensuring the safety of maritime transportation of high-density bulk cargo is also a critical aspect of maritime logistics and requires the development and implementation of a set of measures necessary to ensure the safety of such transportation. This article addresses the problem of cargo liquefaction on a ship during a voyage and its impact on stability and safety. The research is based on the analysis of statistical data and physical and chemical properties of cargoes, structural features of the vessel and the impact of the external environment. The peculiarities of the cargo acceptance procedure, control over its condition during transportation, and signs of vulnerability of nickel, aluminum and iron ore to liquefaction, which requires a thorough check of the cargo moisture content before loading, are emphasized. This paper investigates the dangers of cargo liquefaction during transportation, which is a process during which the cargo becomes less dense and capable of movement and displacement, which can lead to undesirable consequences, including a shift in the ship's center of gravity, a decrease in metacentric height, and a deterioration in its stability. **Objective.** The main purpose of the article is to understand the problem of cargo liquefaction during sea transportation and to develop and implement appropriate safety measures to ensure the safety of such transportation. **Results.** A simplified mathematical model is proposed that takes into account the geometry of the ship's hull, sea waves, wind speed and other factors to predict the displacement of liquefied cargo. **Conclusions.** Calculations and modeling make it possible to estimate the probability of cargo liquefaction and take appropriate safety measures, emphasizing the importance of monitoring cargo conditions, applying precautions and ensuring crew safety to prevent cargo liquefaction on board.

Key words: cargo liquefaction, safety of sea transportation, bulk cargo, ship stability, cargo condition monitoring, shifting cargo, safety measures.

Вступ. Зрідження вантажів залишається найбільшим фактором, що спричиняє людських жертв і занепокоєння у сегменті суховантажних перевезень. Дослідженням, пов'язаним з забезпеченням процесу морського перевезення навалочних вантажів та особливо схильних до розрідження, присвячено достатньо уваги та характеризуються значним обсягом наукових праць. Так у [1] звіт, підготовлений Міжнародною асоціацією власників суховантажів (Intercargo), містить статистичні дані про втрати балкерів та людські жертви на протязі десятирічного періоду. Джерело [2] присвячено аспектам безпеки морських перевезень навалочних вантажів, включаючи проблему розрідження вантажів і його вплив на остійність судна. Праця [3] досліджує питання остійності суден і включає аналіз ризиків, пов'язаних з розрідженням вантажів та його впливом на безпеку плавання. Публікація [5] Міжнародної морської організації (ІМО), надає рекомендації щодо

правильного укладання та закріплення вантажів на судах. Вона включає розділи, присвячені безпеці перевезення навалочних вантажів і уникненню їх розрідження. Роботи [6-8] містять практичні поради та інструкції для експлуатації суден, включаючи деякі аспекти їх безпеки.

В підсумку опрацьована література вказує на важливість системного контролю з метою дотримання безпечних умов перевезення вантажів з високою щільністю і забезпечення безпеки екіпажу протягом рейсу.

Основна частина. Статистика пригод які трапляються при перевезенні навалочних вантажів, свідчить про серйозні наслідки розрідження вантажу на судах протягом переходу у відкритому морі. Зазначена кількість загиблих моряків і затонулих суден є тривожним показником. Втрата остійності та аварія судна, спричинені розрідженням вантажу, створюють критичну ситуацію, в якій екіпаж не зміг впоратися зі складними обставинами, не встиг покинути судно або навіть повідомити про небезпеку та отримати допомогу.

Тільки впродовж десятиріччя з 2008 по 2017 роки, світовий флот втратив 53 балкери дедвейтом понад 10 тис. т. Загальні людські втрати на судах балкерах за цей період склали 202 людини, або в середньому близько 20 членів екіпажу на рік. Такі дані звіту Bulk Carrier Casualty Report, надані Міжнародною асоціацією власників суховантажів (Intercargo), рис. 1.

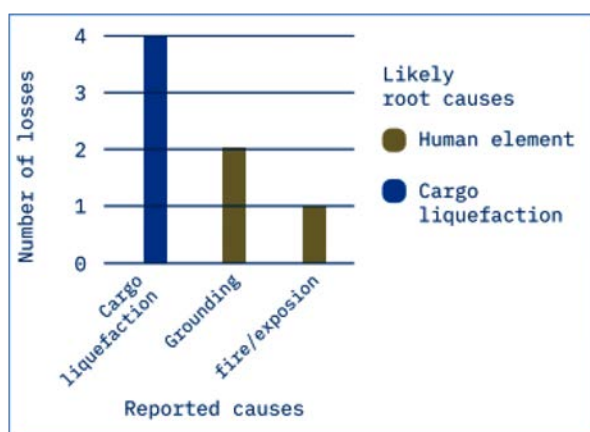


Рис. 1. Втрати суден балкерів дедвейтом від 50 до 60 тис. т., спричинені зрідженням (Intercargo)

Події, пов'язані з розрідженням вантажу, є серйозним викликом для безпеки морського перевезення, і морська індустрія має й надалі працювати над удосконаленням процедур і стандартів для запобігання таким інцидентам і захисту життя та безпеки моряків. Розрідження навалочного вантажу може відбуватися через різні чинники, такі як стиснення вантажу, вібрація двигуна, маневрування судна, бортова хитавиця і зіткнення з хвилями. Ці фактори можуть викликати струс вантажу і призводити до його розрідження.

Декілька провідних країн найбільшими країнами-виробниками первинного нікелю. Наприклад Китайська республіка зробила значний ривок у виробництві нікелю за останні роки. Китайський ринок нікелю став одним із тих, що

найдинамічніше розвиваються у світі. Сприятливі умови для виробництва нікелю, такі як доступ до сировини, низькі витрати на працю і переваги місцевих виробників, сприяли зростанню виробництва в Китаї. Китайські компанії активно інвестують у розвиток нових родовищ і модернізацію виробничих потужностей, щоб задовольнити зростаючий попит на нікель. Японія, Австралія і Канада також відіграють важливу роль у виробництві первинного нікелю. У цих країн є значні резерви нікелевих родовищ і розвинена інфраструктура для видобутку і переробки нікелю. Компанії з цих країн активно працюють на світовому ринку нікелю і постачають значні обсяги продукції. Втім слід зазначити, що світовий ринок нікелю постійно змінюється, і частки виробництва можуть змінюватися залежно від різних чинників, включно з ціною на метал, інвестиціями в розвиток родовищ і зміною попиту на нікель у різних галузях промисловості.

Головними первинними споживачами нікелю є виробники нержавіючої сталі. Нержавіюча сталь широко використовується в різних галузях, таких як будівництво, автомобільна промисловість, енергетика, хімічна промисловість та інші. Вона має високу корозійну стійкість і міцність, і нікель є важливим компонентом, що надає цим властивостям нержавіючої сталі. Крім виробництва нержавіючої сталі, нікель також використовується у виробництві спеціальних сталей і сплавів. Вони застосовуються в різних галузях, включно з авіацією, оборонною промисловістю, енергетикою, машинобудуванням та іншими сферами, де потрібні високоміцні та спеціалізовані матеріали.

Кінцеві споживачі нікелю включають такі галузі, як транспорт (автомобілі, судна, літаки), машинобудування, будівництво (включно з інфраструктурою і будівлями), хімічна промисловість, виробництво посуду та інші вироби побуту. У цих галузях нікель використовують у різних формах і сплавах для надання особливих властивостей матеріалам, поліпшення корозійної стійкості, механічної міцності та інших характеристик.

Вантажі з сировини, особливо з викою щільністю, а це нікелева, алюмінієва і залізна руда належать до тих, які схильні до розрідження під час морського перевезення. Це пов'язано з їхньою підвищеною плинністю під впливом вібрації та руху судна та процесом розрідження (рис. 2).



Рис. 2. Вантаж нікелевої руди до та після вивантаження

Для забезпечення безпечного перевезення треба вивчити фізико-хімічні та транспортні властивості навалочних вантажів і їхній вплив на судно та екіпаж

у процесі морського перевезення. Фізичний склад будь-якого навалочного вантажу можна розглядати як склад фракцій твердих частинок, води і повітря. В залежності від їхнього співвідношення можна визначити основні фізико-механічні властивості навалочного вантажу: щільність і питомий навантажувальний об'єм. Залежно від густини вантажі поділяють на важкі – менш як 0,56 м³/т; середні – від 0,56 до 1,0 м³/т і легкі – понад 1,0 м³/т.

Нікелева руда – це суміш мінералів, що містить нікель у різних сполуках. Фізичні властивості нікелевої руди можуть варіювати залежно від її складу та структури. Однак, у загальному випадку, нікелева руда має такі фізичні властивості (табл. 1):

Таблиця 1

Фізичні властивості вантажу з нікелевої руди

Характеристика	Опис	Значення
Щільність	Щільність нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	У середньому, щільність нікелевої руди становить близько 2,7-3,0 г/см ³ .
В'язкість	Нікелева руда зазвичай не є рідиною або пастою, тому в'язкість не є її характеристикою.	-
Кут внутрішнього тертя	Кут внутрішнього тертя нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	У середньому, він становить близько 30-35 градусів.
Кут укосу	Кут укосу нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	У середньому, він становить близько 25-30 градусів.
Вологість	Вологість нікелевої руди може варіюватися залежно від умов її видобутку і транспортування.	Зазвичай, вологість нікелевої руди становить близько 5-10%.
Фракція частинок	Фракція частинок нікелевої руди може варіюватися залежно від її складу і структури.	Зазвичай, розміри частинок нікелевої руди варіюються від декількох мікрометрів до декількох міліметрів.

Крім того, нікелева руда може містити домішки інших мінералів, які можуть впливати на її фізичні властивості. Наприклад, якщо в нікелевій руді міститься сірка, то вона може мати характерний запах сірководню і може бути вибухонебезпечною за деяких умов.

Для розрахунку площі контакту вантажу з судновими трюмами необхідно знати форму вантажу і його висоту в трюмі. Однак, приблизно можна оцінити площу контакту, використовуючи припущення про те, що вантаж розподілений рівномірно по всьому трюму. Для оцінки площі контакту вантажу з поверхнею трюмів можна використовувати формулу:

$$S = m / (\rho \times h) \quad (1)$$

де S – площа контакту (м²), m – маса вантажу (т), ρ – щільність вантажу (т/м³), h – висота вантажу в трюмі (м).

За умови, що вантаж розподілений рівномірно по трюму, можна прийняти висоту вантажу рівною висоті трюму, тобто:

$$h = V / S \quad (2)$$

де V – об'єм трюму (м^3).

Таким чином, площа контакту вантажу з поверхнею трюму дорівнюватиме:

$$S = m / (\rho \times h) = m / (\rho \times (V/S)) = m \times S / (\rho \times V) \quad (3)$$

$$S = (m \times V) / (\rho \times V) = m / \rho \quad (4)$$

Розрідження призводить до розвитку плинності вантажу, що означає, що вантаж може ковзати і зміщуватися в одному напрямку. Це створює ефект вільної поверхні вантажу і може знижувати метацентричну висоту (GM) судна. Зниження GM може призвести до погіршення остійності судна, що є вкрай небажаним.

Однією з простих моделей зсуву розрідженого вантажу є модель ковзання по поверхні вантажу під впливом крену судна. Припустимо, що вантаж розріджений і зісковзує в одному напрямку під впливом гравітації. У цій моделі ми можемо використовувати закон Ньютона для руху похилою площиною. Рівняння для зсуву розрідженого вантажу на похилій площині може бути записано як:

$$S_s = (1/2) \times g \times t^2 \times \sin(\theta) \quad (5)$$

де S_s – зсув вантажу (м^2), g – прискорення вільного падіння (м/сек^2), t – час, що минув від початку зсуву (год.), θ – кут крену судна (град.).

Також для розрахунку умовної моделі зсуву розрідженого вантажу на судні можна використовувати формулу, засновану на балансі сил. Одним із методів є метод капілярно-когезійної моделі (Capillary-Coherent Model), розподілу рідини в пористих середовищах, зокрема вологості ґрунту або пористих матеріалів. Цей метод базується на сполученні капілярних та когезійних сил, які впливають на розподіл рідини в порах матеріалу.

У методі капілярно-когезійної моделі враховується взаємодія між рідиною та поверхнями пор, а також сили когезії між рідиною та поверхнею пор. Ці сили впливають на капілярний тиск та розподіл рідини у порах. В рамках цього методу використовуються математичні моделі, що описують ці процеси та дозволяють розрахувати розподіл вологості в пористих середовищах.

Формула для розрахунку зсуву розрідженого вантажу на судні може мати такий вигляд:

$$h = (W \times \sin(\theta) \times \cos(\beta)) / (\rho \times g \times (B - L \times \sin(\beta))) \quad (6)$$

де: h – зсув вантажу (висота рівня вантажу, м), W – вага вантажу (т), θ – кут руху судна відносно фронту хвиль (курс судна, град.), β – кут крену судна (град.), ρ – щільність вантажу (т/м^3), g – прискорення вільного падіння (м/сек^2), B – ширина судна (м), L – довжина судна (м).

Однак, слід зазначити, що даний приклад не враховує безліч інших чинників, таких як вплив морського хвилювання, неоднорідність вантажу, взаємодія з елементами конструкції на судні тощо. Тому для побудови моделі зсуву розрідженого вантажу на конкретному судні можна використовувати наступну послідовність:

1. Розрахунок сили зчеплення між вантажем і судном:

$$F_f = \mu \times N \quad (7)$$

де: F_f – сила зчеплення (Н), μ – коефіцієнт тертя (можна розрахувати як $\text{tg}(\theta)$), де θ – кут внутрішнього тертя (град.), N – нормальна реакція (у цьому випадку дорівнює вазі вантажу, Н).

2. Розрахунок моменту, викликаного креном судна:

$$M_h = \rho \times g \times V_h * S_k \times \sin(\theta_h) \quad (8)$$

де: M_h – момент, викликаний креном судна (кН × м), ρ – густина води (г/см³), g – прискорення вільного падіння, V_h – об'єм судна, занурений унаслідок хитавиці (м³), S_k – площа кіля (м²), θ_h – кут крену (град.);

3. Рівняння рівноваги для визначення зсуву вантажу:

$$m \times \Delta h \times g = F_f - M_h \quad (9)$$

де: m – маса розрідженого вантажу (т), Δh – зсув вантажу по вертикалі, g – прискорення вільного падіння;

4. Рівняння для визначення зсуву вантажу в горизонтальній площині:

$$\Delta x = (F_1 + F_2) / (m \times g) \quad (10)$$

де: m – маса розрідженого вантажу, g – прискорення вільного падіння, Δx – зсув вантажу по горизонталі, F_1 – сила, викликана хвилюванням моря (Н), F_2 – сила, викликана вітром (Н).

$$F_1 = 0.5 \times \rho \times g \times H \times A \times \cos(\alpha) \quad (11)$$

де: F_1 – сила, спричинена хвилюванням моря, ρ – густина води, g – прискорення вільного падіння, H – висота хвилі, A – амплітуда хитавиці судна α – різниця фаз між хвилею і хитавицею судна.

Формула для розрахунку сили, спричиненої вітром:

$$F_2 = 0.5 \times \rho \times A_w \times V_w^2 \times C_w \quad (12)$$

де: F_2 – сила, викликана вітром, ρ – густина повітря, A_w – площа поверхні, що зазнає впливу вітру (м²), V_w – швидкість вітру (м/сек), C_w – коефіцієнт опору повітря.

Проведені розрахунки ілюструють як зміна вологості вантажу впливає на його щільність, що може призводити до розрідження вантажу і погіршення морехідних якостей судна і потенційно підвищувати ризик інциденту на борту. Залежність рівня розрідження вантажу від вологовмісту, дає змогу наочно уявити, як змінюється рівень розрідження вантажу за різних ступенів вологості (рис. 3), та дає змогу аналізувати ситуацію. Він може бути корисним для ухвалення рішень про контроль і управління вологістю вантажу, а також для оцінки впливу вологості на безпеку і остійність судна під час перевезення вантажу.

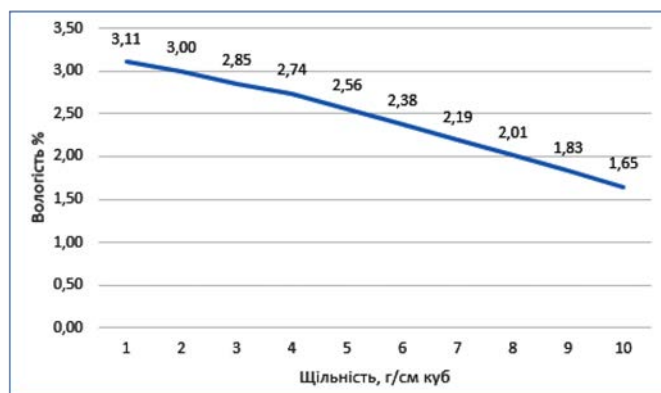


Рис. 3. Залежність між рівнем вологості і рівнем щільності вантажу

Для балкерних вантажів, таких як нікелева руда, існує деяка шкала або класифікація рівнів розрядження вологомісті. Основні рівні розрядження вологомісті можуть включати наступні:

1. Сухий вантаж (0% вологомісті), цей рівень вказує, що вантаж не містить вологи або розчинених речовин тобто вантаж є повністю сухим;
2. Легковологий (до 10% вологомісті) означає що вантаж містить невелику кількість вологи, але вона не є значною часткою маси вантажу;
3. Середньовологий вантаж (10–15% вологомісті), містить помірну кількість вологи але може бути значною, проте все ще допустимою для безпечного перевезення;
4. Високовологий вантаж (понад 15% вологомісті), містить велику кількість вологи. Цей рівень вказує на значну вологомісткість вантажу, що може впливати на остійність судна та безпеку перевезення.

Представлений графік на рис. 4, який дає змогу візуалізувати зміну рівня розрядження вантажу впродовж зазначеного часового інтервалу (у цьому випадку 12 годин), продемонстровано, як рівень розрядження вантажу поступово зростає з часом за умови високого рівня розрядження в розмірі 20–25%, та зростання рівня розрядження для вантажу з середнім рівнем вологості на тому ж часовому інтервалі;

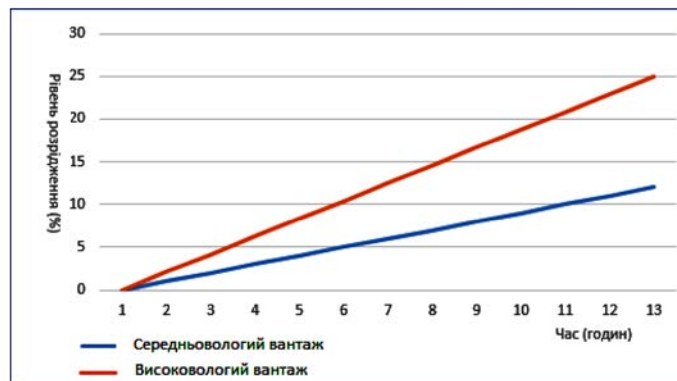


Рис. 4. Залежність рівня розрядження вантажу від часу

З графіка можна зробити спостереження що рівень розрядження вантажу починається з нульового значення на початку періоду (0 годин) і поступово зростає до 25% до кінця періоду (12 годин). Графік демонструє лінійну залежність між часом і рівнем розрядження вантажу. Рівень розрядження збільшується рівномірно з плином часу. Після 12 годин рівень розрядження досягає максимального значення в розмірі 25% та 12,5% відповідно.

Таким чином, цей графік дає змогу наочно уявити зміну рівня розрядження вантажу в заданому часовому інтервалі та допомагає візуалізувати процес розрядження вантажу на основі заданих умов.

Представлені способи дають змогу врахувати вплив хвилювання моря і вітру на судно і відповідно на розряджений вантаж. Вони можуть бути включені в загальну модель зсуву вантажу на основі балансу сил. Важливо зазначити, що точність розрахунків зсуву вантажу залежить від безлічі чинників, включно зі складністю геометрії корпусу судна або конструкції його трюмів, умовами хвилювання і вітру,

а також взаємодією різних сил. Для більш точних результатів рекомендується використовувати спеціалізовані програми для гідродинамічного моделювання і експертні оцінки.

Для запобігання розрідженню вантажу під час рейсу дуже важливо, щоб старший помічник капітана, як особа відповідальна за вантажні операції ретельно перевіряв декларацію вантажовідправника перед завантаженням навалочного вантажу. Це дає змогу переконатися, що вологовміст вантажу не перевищує граничних значень для безпечного транспортування та уникнення розрідження. Помилки в деклараціях вантажовідправників дійсно можуть виникати, тому на судні можуть проводитися вибірккові перевірки вологовмісту вантажу для підтвердження інформації. Це важливий запобіжний захід, щоб забезпечити безпеку морського перевезення навалочних вантажів з високою щільністю. Конкретні процедури і вимоги можуть відрізнятися залежно від національних правил, Міжнародного кодексу з безпечного перевезення навалочних вантажів (IMSBC Code: International Maritime Solid Bulk Cargoes Code) та інших регулювальних документів, які застосовуються в морській індустрії.

Ці дані наголошують на важливості суворого дотримання міжнародних стандартів безпеки, включно з рекомендаціями Кодексу IMSBC і правилами Конвенції СОЛАС (Міжнародна конвенція про безпеку життя на морі), під час перевезення навалочних вантажів із високою щільністю. Належна оцінка та управління ризиками, правильний розподіл вантажу, регулярні перевірки та дотримання запобіжних заходів допоможуть знизити можливість розрідження вантажу і пов'язаних з ним небезпек.

Перевезення навалочних вантажів з високою щільністю може становити певні небезпеки, пов'язані з ушкодженнями корпусу судна, втратою остійності та хімічними реакціями:

1. Пошкодження корпусу судна. Неправильний розподіл і навалочних вантажів може призвести до нерівномірного навантаження на корпус судна. Це може викликати деформації або пошкодження структури судна, особливо в районі трюму або палуби. Пошкодження корпусу може призвести до витоку води, втрати плавучості і навіть до поломки судна.

2. Втрата остійності судна. Деякі навалочні вантажі з високою щільністю можуть мати високий центр ваги або бути нестійкими. Під час рейсу судно може піддаватися хитацям і кренам, і якщо вантажі неправильно розподілені або неправильно закріплені, вони можуть призвести до втрати остійності судна. Це може створити небезпеку занурення або перекидання судна.

3. Хімічні реакції вантажів. Деякі навалочні вантажі можуть бути хімічно активними або реагувати між собою за певних умов, таких як вологість, температура або контакт із водою. Такі хімічні реакції можуть призвести до утворення небезпечних газів, пожежі або навіть вибуху. Тому важливо ретельно вивчати характеристики вантажів і вживати відповідних запобіжних заходів.

Для мінімізації цих небезпек необхідно суворо дотримуватися міжнародних стандартів і керівництва з безпечного перевезення навалочних вантажів. Це охоплює правильний розподіл і закріплення вантажів, проведення інспекцій і контролю якості, а також навчання і сертифікацію персоналу, зайнятого в перевезенні

та обробці таких вантажів. Міжнародний кодекс з безпечного перевезення навалочних вантажів, затверджений резолюцією MSC.268(85), є керівним документом, призначеним для забезпечення безпеки перевезення навалочних вантажів морем. Він являє собою міжнародний стандарт, який рекомендується урядам для використання як основи для національних правил і нормативів відповідно до Конвенції СОЛАС.

Як і багато інших дрібнодисперсних мінералів, включаючи мінеральні рудні концентрати, нікелева руда може розріджуватися і зміщуватися, якщо рівень її вологості занадто високий. Через цей ризик зрідження нікелева руда підпадає під дію положень руда підпадає під дію положень СОЛАС і Кодексу IMSBC щодо випробувань і сертифікації вантажів, які можуть зріджуватися і відносяться до групи небезпеки «А». Тому перевізникам, які планують перевезення нікелевої руди, рекомендується вивчити SOLAS Ch. VI, Reg.2 а також розділи 4, 7 і 8 Кодексу IMSBC.

Додатково для контролю стану вантажу нікелевої руди під час рейсу рекомендується вживати таких заходів:

- здійснення регулярних інспекцій вантажних трюмів, з тим щоб перевірити стан і розподіл вантажу, виявлення ознак розрідження, утворення вільної поверхні, скупчення пилу або збивання вантажу;

- використання датчиків, які можуть вимірювати параметри, такі як температура, вологість, тиск або рівень вантажу. Це дасть вам змогу контролювати і моніторити стан вантажу в режимі реального часу;

- регулярний відбір проб вантажу для визначення вмісту вологості, для аналізу гранулометричного складу та інші параметри, які можуть бути важливими для контролю якості вантажу.

- дотримання інструкцій вантажовідправника або експлуатаційних посібників з обробки та зберігання нікелевої руди. Це включає захист від вологи та інших шкідливих впливів, а також дотримання правил безпеки при поводженні з вантажем.

Зміни та поправки, що постійно вносяться до IMSBC кодексу, можуть зачіпати його структуру і зміст, а також вносити нові рекомендації та вимоги для забезпечення безпеки і захисту довкілля в перевезенні навалочних вантажів. Це дає змогу сфері морського перевезення вантажів і відповідним сторонам ефективно застосовувати новітні стандарти і процедури, забезпечуючи безпеку і знижуючи ризики. Ці дані наголошують на важливості суворого дотримання міжнародних стандартів безпеки, включно з рекомендаціями кодексу і правилами Конвенції СОЛАС, під час перевезення навалочних вантажів із високою щільністю. Належна оцінка та управління ризиками, правильний розподіл вантажу, регулярні перевірки та дотримання запобіжних заходів допоможуть знизити можливість розрідження вантажу і пов'язаних з ним небезпек.

Висновки. Вантажі з високою щільністю, такі як нікелева, алюмінієва і залізна руда, особливо схильні до розрідження, що підкреслює необхідність проведення ретельного контролю і перевірки вологості вантажу перед завантаженням для запобігання його розрідженню під час рейсу. Це призводить до зсуву вантажу в одному напрямку, створення ефекту вільної поверхні, зниження метацентричної висоти судна, що у сукупності критично знижує остійність судна. Моделювання процесу зсуву розрідженого вантажу потребує врахування безлічі чинників, таких як форма корпусу судна, параметри хвилювання моря, швидкість вітру

та інші фізичні характеристики навколишнього середовища, втім його результати дають змогу оцінити ймовірність зсуву розрідженого вантажу і визначити необхідні запобіжні заходи для забезпечення безпеки судна та екіпажу. Тому розробка та застосування адекватних заходів безпеки для запобігання розрідженню вантажу та підтримання остійності судна протягом рейсу має велике значення для подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bulk carrier casualty report 2012-2021. *Intercargo*. Retrieved from: <https://www.intercargo.org/wp-content/uploads/2022/04/INTERCARGO-Bulk-Carrier-Casualty-Report-2021-1.pdf>
2. Bulk carrier safety. (2012). *Dry cargo international*. Retrieved from: <https://www.drycargomag.com/newsdetails.aspx?ref=1148>
3. Obyliński, Lech. (2007). System and risk approach to ship safety, with special emphasis of stability. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 7. 97–106. 10.1016/S1644-9665(12)60228-3.
4. Bliault Charles and North of England P&I Association (2003). Cargo stowage and securing a guide to good practice. Second Edition. Retrieved from: <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2021/05/00-cargo-stowage-and-securing-north-of-england.pdf>
5. J. Isbester (1993). Bulk Carrier Practice: A Practical Guide. The Nautical Institute, 400 с.
6. Barrass, B. & Derrett, D.R. (2006). Ship Stability for Masters and Mates. DOI:10.1016/C2010-0-68323-4.
7. Melnyk, O., Onyshchenko, S. (2022). Navigational safety assessment based on Markov-model approach. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36 (2), 328-337. doi:10.31217/p.36.2.16
8. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., Naleva, G., Rossomakha, O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16, (3), 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18

REFERENCES

1. Bulk carrier casualty report 2012-2021. *Intercargo*. Retrieved from: <https://www.intercargo.org/wp-content/uploads/2022/04/INTERCARGO-Bulk-Carrier-Casualty-Report-2021-1.pdf>
2. Bulk carrier safety. (2012). *Dry cargo international*. Retrieved from: <https://www.drycargomag.com/newsdetails.aspx?ref=1148>
3. Obyliński, Lech. (2007). System and risk approach to ship safety, with special emphasis of stability. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 7. 97–106. 10.1016/S1644-9665(12)60228-3.
4. Bliault Charles and North of England P&I Association (2003). Cargo stowage and securing a guide to good practice. Second Edition.

- Retrieved from: <https://maritimesafetyinnovationlab.org/wp-content/uploads/2021/05/00-cargo-stowage-and-securing-north-of-england.pdf>
5. J. Isbester (1993). Bulk Carrier Practice: A Practical Guide. *The Nautical Institute*, 400 c.
 6. Barrass, B. & Derrett, D.R. (2006). Ship Stability for Masters and Mates. DOI:10.1016/C2010-0-68323-4.
 7. Melnyk, O., Onyshchenko, S. (2022). Navigational safety assessment based on Markov-model approach. *Scientific Journal of Maritime Research*, 36 (2), 328-337. doi:10.31217/p.36.2.16
 8. Melnyk, O., Onishchenko, O., Onyshchenko, S., Voloshyn, A., Kalinichenko, Y., Rossomakha, O., Naleva, G., Rossomakha, O. (2022). Autonomous Ships Concept and Mathematical Models Application in their Steering Process Control. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 16, (3), 553-559. doi:10.12716/1001.16.03.18