

Пліта Л.Л.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Трофименко І.В.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Шевченко А.П.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

Іваненко В.М.

Дунайський інститут водного транспорту
Державного університету інфраструктури та технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЕФІЦІЄНТА ПРОНИКНОСТІ РЕФРИЖЕРАТОРНОГО ВАНТАЖУ В РАЗІ ЗАТОПЛЕННЯ ВІДСІКУ СУДНА

Метою статті є дослідження впливу коефіцієнта проникності рефрижераторного вантажу в разі затоплення відсіку судна та аналіз затоплення аварійного відсіку та його впливу на стійкість і посадку рефрижераторних і риболовецьких суден. Поставлена мета досягається шляхом визначення основних показників та залежностей для визначення коефіцієнта проникності рефрижераторного вантажу в разі затоплення відсіку судна, аналізу організаційно-технічних заходів та безпосередньо процесу за незатоплюваність рефрижераторних і риболовецьких суден. Під час роботи було встановлено два основні факти про перевезення деяких вантажів у твердому замороженому стані. По-перше, зміна температури та оточуючого середовища може призвести до того, що такі вантажі перетворюються на «пульпу» (в даному випадку, суміші рідини і елементів вантажу) і змінюють свій фізичний стан. Ці вантажі належать до категорії двофазних. По-друге, відсіки з цими вантажами менш небезпечні та відносяться до першої категорії, тоді як відсіки з іншими категоріями є більш небезпечними. Аналіз затоплення аварійного відсіку та його впливу на стійкість і посадку судна виявив такі факти. Відсік другої категорії може бути значною загрозою, оскільки рефрижераторний вантаж у стані «пульпи» має коефіцієнт об'ємної ваги, що значно перевищує об'ємну масу морської води. Зміна стану вантажу з твердого на «пульпу» неминуче призводить до зміни коефіцієнта проникності приміщення, що необхідно враховувати при розрахунках стійкості та аварійної посадки судна. Час, необхідний для герметизації отвору в приміщенні з двофазним вантажем, має велике значення в боротьбі за непотоплюваність судна. Навіть незначні впливи навколишнього середовища, такі як вітер, можуть істотно вплинути на аварійну посадку та стійкість судна, оскільки перехід вантажу з твердого стану в стан «пульпи» є дуже чутливим до зовнішніх впливів. Найбільш суттєвим результатом є визначені основні математичні залежності, які забезпечують врахування зміни коефіцієнта проникності вантажу в разі затоплення відсіку рефрижераторних і риболовецьких суден та результати аналізу затоплення аварійного відсіку та його впливу на стійкість і посадку суден.

Ключові слова: судно, коефіцієнт проникності, стійкість, посадка, трюм, категорія, вантаж, незатоплюваність.

Постановка проблеми. Непотоплюваність судна, як показник його аварійного стану, не є самостійною характеристикою, а складається з таких елементів, як плавучість та стійкість. Для розрахунків аварійної посадки та стійкості судна використовується коефіцієнт проникності приміщення, який

відображає співвідношення обсягу приміщення, який може заповнитись водою при його повному затопленні, до його повного теоретичного обсягу. При цьому враховується осадка поділу на відсіки, що відповідає вантажній ватерлінії, що розділяє судно на відсіки. При цьому безпека судна в пошко-

дженому стані у значній мірі залежить від міцності і цілісності його водонепроникних перегородок. Існує множина факторів, що визначають розташування водонепроникних перегородок на судні й їх конструкцію. Водонепроникні перегородки – це вертикально спроектовані водонепроникні поділи / стінки в конструкції судна для запобігання потраплянню води в відсік, якщо сусідній відсік затоплений через пошкодження корпусу судна. Залежно від типу та розмірів судна визначаються різноманітні документи щодо аварійної посадки та стійкості судна, наслідків затоплення відсіків, схеми живучості тощо. Ці документи дозволяють враховувати вимоги, пов'язані з поділом на відсіки, оцінювати стан судна в разі затоплення відсіків, містити інформацію про результати розрахунку з урахуванням коефіцієнтів проникності приміщень, а також про заходи щодо збереження пошкодженого судна тощо.

Сьогодні залишається важливим питання врахування зміни коефіцієнта проникності рефрижераторного вантажу в разі затоплення вантажного відсіку, що може призвести до зміни аварійної стійкості та посадки в цілому саме рефрижераторних і риболовецьких суден. При цьому особливо важливими є ситуації, що відрізняються від типових випадків, описаних в нормативних документах про аварійну стійкість рефрижераторних і риболовецьких суден.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження стійкості до пошкоджень суден присвячено багато робіт, як нормативних документів, наприклад, [1–4], так і наукових досліджень, наприклад [5–7].

Так, у роботі [5] визначено, що імовірнісні розрахунки стійкості до пошкоджень вимагають багато часу і проводяться на пізній стадії процесу проектування. Для того, щоб розрахувати, чи відповідає судно вимогам, необхідна детальна схема. Щоб звести до мінімуму кількість ітерацій у процесі проектування, морські архітектори повинні знати, як водонепроникність впливає на досягнутий показник. Поздовжня перегородка крила танка в середній частині судна – це перегородка, яка застосовується на всіх морських суднах. Розміщення цієї перегородки, з точки зору максимізації досягнутого показника, було предметом обговорення в Wärtsilä Ship Design. Метою цієї дисертації було проаналізувати, як поперечне розташування перегородки поздовжнього крила танка впливає на досягнутий індекс. Ця інформація може бути використана для максимізації досягнутого індексу для морських суден. Щоб з'ясувати, чи пропорційно змінюється досягнутий

індекс для різних розмірів суден, у дослідженні визначено, чи існує кореляція між розташуванням перегородки і досягнутим індексом для чотирьох різних розмірів суден.

У статті [6] розглядається процедура проектування і нещодавні роботи, опубліковані на тему стійкості до пошкоджень і критеріїв оцінки безпеки, що встановлюються відповідно до неї. Наявні сценарії пошкоджень повинні бути розроблені до оцінки безпеки пошкодженого судна. Іншим аспектом дискусій є думка про деякі проблемні аспекти правил щодо остійності до пошкоджень, оскільки практичні аспекти, представлені в літературі, дуже рідкісні, а також той факт, що різні комп'ютерні програми можуть давати різні результати. Наведено невеликий огляд вимог до стабільності пошкоджень за новими правилами. Оцінка остійності виконується на обраному контейнеровозі за допомогою програмного забезпечення Maxsurf як для неушкодженого, так і для пошкодженого стану судна, в той час як параметри, пов'язані з остійністю, визначаються і класифікуються при розробці детермінованих і імовірнісних сценаріїв пошкоджень.

У роботі [7] надається повний опис і пояснення імовірнісного методу оцінки стійкості суден до пошкоджень від його концепції до сьогоденного дня з акцентом на ймовірність виживання (s-фактор), пояснюються відповідні припущення і обмеження, а також описується його еволюція для конкретного застосування до пасажирських суден з використанням сучасних чисельних і експериментальних інструментів і даних. У ньому також представлено порівняння результатів між статистичним і прямим підходами і надано рекомендації щодо того, як їх можна узгодити з кращим розумінням неявних припущень у підході для використання при проектуванні та експлуатації суден. Еволюція останніх років, спрямована на підтримку відповідних нормативних змін, пов'язаних з оцінкою ризику затоплення (рівня безпеки), а також дослідження в цьому напрямку з акцентом на пасажирські судна, створили новий фокус, який об'єднує всі небезпеки затоплення (зіткнення, посадка на дно і на борт) для оцінки потенційних людських жертв як засіб спрямування подальших досліджень і розробок щодо стійкості до пошкоджень для цього типу суден. На завершення документу надаються рекомендації щодо подальших кроків у сфері оцінки стійкості суден до пошкоджень і ризиків затоплення.

Метою статті є дослідження впливу коефіцієнта проникності рефрижераторного вантажу в разі зато-

плення відсіку судна та аналіз затоплення аварійного відсіку та його впливу на стійкість і посадку рефрижераторних і риболовецьких суден.

Викладення основного матеріалу. При розрахунках аварійної стійкості пошкодженого судна вплив вільної поверхні наливного вантажу, суднових запасів і баласту коригується так само, як і при розрахунках неушкодженого судна. Крім того, коефіцієнт проникності враховується при визначенні обсягу води, що потрапляє у вантажне приміщення M_v , згідно з виразом

$$M_v = V \delta_i \mu_j, \quad (1)$$

де V – геометричний об'єм води у вантажному просторі;

δ_i – питома вага морської води, що надходить в аварійний відсік;

μ_j – коефіцієнт проникності трюму з конкретним видом вантажу або без нього.

Зазвичай, для визначення зміни метацентричної висоти під впливом вільної поверхні використовується такий вираз:

$$H_m = \frac{x_j \delta_i}{\varepsilon}, \quad (2)$$

де x_j – момент інерції аварійного щодо осі абсциса;

ε – водотоннажність судни.

При розрахунку амплітуди качки, крім інших параметрів, також враховується коефіцієнт проникності у вигляді виправленої метацентричної висоти для впливу вільної поверхні рідинного навантаження:

$$\tau_r = K Y_1 Y_2 \sqrt{r S}, \quad (3)$$

де K – коефіцієнт, що враховує вплив вилічного і стрижневого кіля, при відсутності кілів $K = 1$;

Y_1 – безрозмірний показник, що визначається в залежності від співвідношення ширини до осадку;

Y_2 – безрозмірний показник, що визначається в залежності від коефіцієнта комплектності судна;

r – параметр, що визначається за додатковим виразом в залежності від поділу на відсіки, при цьому значення не повинно бути більше 1;

S – безрозмірний показник, що визначається в залежності від району плавання судна і періоду качки.

Щоб визначити рівень непотоплюваності судна, необхідно враховувати допустимий імовірнісний показник поділу на відсіки A , який враховує можливість виникнення бічного отвору внаслідок зіткнення або іншої причини. Для забезпечення необхідного ступеня поділу на відсіки R , яка гарантує непотоплюваність судна, має бути виконана така умова:

$$A \geq R. \quad (4)$$

Даний вираз визначає допустимий імовірнісний показник R_1 :

$$R = \sum W_p, \quad (5)$$

де W_p – ймовірність затоплення відсіку або прилеглих відсіків при отриманні бортового навігаційного отвору;

p – ймовірність збереження судна в разі затоплення відсіку або прилеглої приміщення.

Імовірність W_s затоплення відсіку, обмеженого поперечними перегородками, дорівнює

$$W_p = \alpha_p \rho_p, \quad (6)$$

де α_p – величина, що визначає вплив на задану ймовірність положення відсіку по довжині судна; ρ_p – величина, що визначає ефект довжини відсіку з урахуванням закону розподілу довжини отвору.

Оцінка результатів затоплення відсіків та груп суміжних відсіків, що виконується шляхом розрахунків аварійної посадки і стійкості, проводиться шляхом підсумовування номерів цих відсіків. Для визначення необхідного показника поділу на відсіки використовується вираз

$$R = 1 - \frac{250}{L_s + (N_1 + N_2) / 4 + 375}, \quad (7)$$

де N_1 – кількість осіб, забезпечених місцями в рятувальних шлюпках із загальної кількості осіб, що знаходяться на борту судна під час плавання;

N_2 – кількість людей (включаючи екіпаж), яких дозволено перевозити на борту понад N_1 ;

L_p – довжина поділу судна на відсіки; для вантажного судна найбільша теоретична довжина проєкції судна на палубу або нижче неї, що обмежує максимальну вертикальну довжину потопяючого судна, H_{max} .

У розрахунках, що виконуються для визначення ймовірностей p_i , в яких при осадці d_i визначаються коефіцієнт проникності вантажного простору μ_i , які не повинні перевищувати 0,95 і не менше 0,60, і розраховуються за виразом:

$$\mu_i = 1 - 1.2(d_i - d_0) / d_p - 0.05(d_p - d_i) / (d_p - d_0), \quad (8)$$

де d_0 – найнижча осадка, що відповідає мінімально можливому навантаженню судна, з урахуванням наливних вантажів, включаючи баласт;

d_p – осадка за відсіками відповідно вантажної ватерлінії.

Якщо аварійна посадка відповідала вимогам до посадкових елементів і стійкості пошкодженого судна, а також додатковим вимогам до посадки і стійкості судна, то ймовірність для цього відсіку приймається за $p_i = 1$.

Проте, для будь-якого затоплення, яке відбувається під час проміжної стадії затоплення або

при випрямленні кута крену більше 20° , або кута, під яким отвори надходять у воду і поширюється вода, або коли завершальний етап затоплення містить палубу перегоронок, включаючи район затоплення відсіку або відсіків, або на завершальній стадії затоплення кут крену більше 12° і т. д., імовірність приймається за $p_i = 0$.

Таким чином, можна зробити висновок, що коефіцієнт проникності аварійного вантажного відсіку відіграє важливу роль як у розрахунку аварійної стійкості, так і у визначенні рівня непотоплюваності судна. Зокрема, коефіцієнт проникності для вантажних приміщень, включаючи рефрижераторні, має значення $\mu = 0,6$.

Слід зауважити, що досвід аналізу аварійних ситуацій, що стосуються рефрижераторних і риболовецьких суден, показує, що коефіцієнт проникності заморожених вантажів рефрижераторних приміщень не завжди відповідає величині відповідно до нормативних документів. Проблема полягає в тому, що отвір у судні при аварії не може бути негайно ліквідований, тому морська вода швидко потрапляє на борт. Для аналізу ситуації та мобілізації екіпажу судна потрібно багато часу. Відновлення судна потребує розвідки аварійного відділення, визначення розмірів пошкоджень, прийняття рішення про герметизацію отвору, підготовки необхідного обладнання та підручних засобів, а також безпечного зупинення судна та визначення місця дрейфування. Усі ці кроки забирають значний час, а також вимагають великої психологічної напруги від екіпажу судна, який потрапив у надзвичайну ситуацію.

При аналізі процесу забезпечення життєдіяльності на судні, зокрема у процесі виникнення отвору в трюмі, можна передбачити, що зміна осадки судна в напрямку збільшення може бути припинена, якщо продуктивність дренажної системи зможе впоратися з кількістю води, що надходить. Проте, якщо вимірювання показують продовження надходження води при осушенні аварійного трюму і збільшення осадки судна, це свідчить про значний розмір отвору або низьку продуктивність дренажної системи з яких-небудь причин. Наприклад, у повністю завантаженому холодильному приміщенні неможливо визначити розмір пошкоджень та їх розташування внутрішньо. У даному випадку можна лише здогадуватися про місце отвору, якщо вантаж упакований і є можливість використовувати простір між палубою та вантажем на висоті балки для доступу до передбачуваного місця пошкодження борту. Проте, цей підхід є надзвичайно небезпечним. Крім того, під-

дони заморожених продуктів мають позитивну плавучість і під час потоплення можуть плавати і впиралися в верхню частину палуби та виступаючі балки під палубою, стрингери тощо. При цьому, якщо в аварійному трюмі відсутній палетний вантаж, останній заповнить всі доступні під палубні простори.

Припускається, що в разі подальшого надходження води до пошкодженого приміщення, воно стане практично повністю затопленим, і туди уже не можна потрапити. Ймовірно, що дренажні насоси незабаром почнуть працювати, що призведе до підняття рівня води в трюмі через фізичну зміну стану вантажу. Це станеться, коли почнеться розморожування замороженого вантажу, що може призвести до пошкодження упаковки в трюмі та засмічення решіток колодязів та клапанів всмоктувальних трубопроводів. Однак, наявність насоса на борту може забезпечити часткове вирішення проблеми. Але стан боротьби за непотоплюваність стабілізується лише після того, як екіпаж зможе нанести латку на отвір. Розташування отвору нижче ватерлінії у вантажному районі з рефрижераторним вантажем неможливо визначити інструментальними способами через перераховані вище причини, але місцезнаходження пошкодження можна встановити на інтуїтивному рівні, ретельно проаналізувавши інформацію, отриману від безпосередніх свідків. Незважаючи на ситуацію, наявність працюючого насоса при непрацюючій стаціонарній судновій дренажній системі може дозволити заявити, що латка на отвір розміщена успішно та правильно, коли рівень води в трюмі починає знижуватися за вимірами забірних колодязів.

У разі, якщо можливо оглянути аварійний трюм зсередини, то можна, як правило, побачити вже не первинний вантаж, а тверду масу розмороженого вантажу, який раніше був заморожений. Цей розморожений вантаж частково зберіг свою первісну форму і розмір, і його можна побачити на поверхні води фактично у вигляді «пульпи» (суміші, в даному випадку, рідини і елементів вантажу).

Загальну вагу «пульпи» (тобто вагу вантажу, води та контейнерів) G^p після затоплення відсіку можна визначити шляхом обчислення кількості морської води, яка надходить в пошкоджений трюм з коефіцієнтом проникності $\mu = 0,6$ відповідно до об'ємної маси для морської води в районі плавання за допомогою виразу (1). Для цього потрібно знати вагу вантажу бруто G (включаючи картонну упаковку), яка зазначена в товаро-супровідних документах

$$G^p = G + M_v. \quad (9)$$

Тоді об'ємну вагу «пульпи» δ_p можна визначити за виразом

$$\delta_p = G^p / V. \quad (10)$$

Таким чином, об'ємна вага «пульпи» δ_p є більш об'єктивним показником для розрахунків аварійної посадки та стійкості судна, якщо використовувати її у виразах (2) і (3).

З урахуванням виразів (1) – (10) розглянемо організацію та проведення заходів щодо боротьби за живучість аварійного судна. Такі заходи базуються на трьох основних принципах: конструктивні, організаційно-технічні та боротьба за непотоплюваність у разі аварії. Конструктивні заходи містять достатню кількість водонепроникних перегородок та певну висоту вільного борту для забезпечення необхідного запасу плавучості. Основний конструктивний принцип – принцип «слабкої ланки» – полягає у тому, що плавучість судна втрачається раніше, ніж стійкість, тому поділ на відсіки здійснюється таким чином, щоб судно не перекидалося коли тоне.

Раціональне проектування суднових систем та пристроїв, які забезпечують непотоплюваність судна, є важливим компонентом конструктивних рішень. Проте, стаціонарні системи перекачування та зливу аварійного відсіку з двофазним вантажем, що складається, наприклад, із заморожених рибних продуктів, стають неефективними у подальшій стадії боротьби за непотоплюваність судна, через те, що зміна структури та упаковки вантажу може призвести до забивання решіток колодязів та всмоктувальних труб. Це показує, що при проектуванні стаціонарних систем осушення не було враховано можливість зміни фізичного стану вантажу та його вплив на продуктивність сушильних агентів. Тому розробка та вдосконалення пристроїв фільтрації та водозбору з підтопленого приміщення потребує більш глибокого дослідження та практичного застосування.

Аналіз аварій та загибелі рефрижераторних транспортних та риболовецьких суден свідчить про те, що, незважаючи на правильне розуміння екіпажем будови судна, нерозуміння прихованого фактору зміни стану вантажу (з твердого стану в «пульпу») призводить до неправильного прогнозування поведінки судна в аварійних ситуаціях та прийняття неправильних рішень, що може призвести до загибелі судна та екіпажу.

Важливо знати, на який стандарт відсіку має бути розраховане судно. Судно вважається таким, що має однокамерний стандарт (рис. 1), якщо воно

призначене для морехідності (триматися на плаву і не топити основну лінію) навіть після того, як будь-який з його водонепроникних відсіків буде повністю пошкоджений. Аналогічно, судно з двокамерним стандартом може залишатися на плаву навіть після повного пошкодження будь-якого з двох сусідніх водонепроникних відсіків (рис. 2).

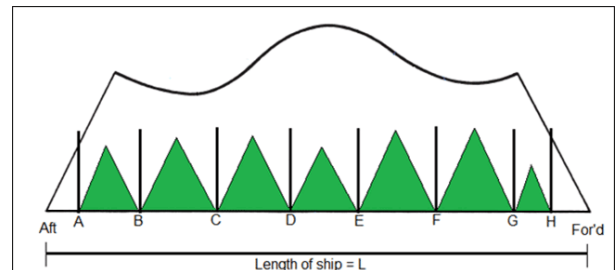


Рис. 1. Однокамерний стандарт

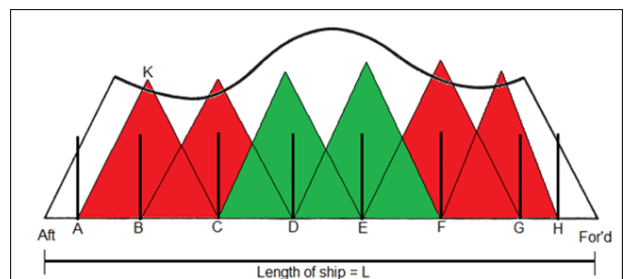


Рис. 2. Двокамерний стандарт

Незатоплюваність рефрижераторних транспортних та риболовецьких суден має бути забезпечена у випадку затоплення будь-яких двох сусідніх відсіків. Це досягається шляхом забезпечення того, щоб при затопленні сусідніх відсіків судно не занурювалось глибше за максимальну водолазну лінію.

Одним з основних заходів для забезпечення непотоплюваності судна є боротьба з потоком води, яка надходить в аварійний відсік. При затопленні рефрижераторного трюму стійкість судна залежить від схеми посадки вантажу та коефіцієнта проникності відсіку. У початковому етапі затоплення, коли вантаж зберігає твердий стан і вода надходить повільно, вода відкачується стаціонарними засобами, і затоплення відсіку можна віднести до четвертої категорії (рис. 3, де WL – це ватерлінія неаварійного судна, W1L1 – ватерлінія відсіку четвертої категорії, W2L2 – ватерлінія відсіку третьої категорії, W3L3 – ватерлінія відсіку першої категорії). У таких випадках потрібно враховувати рівень води у відсіку:

– залишається незмінною, коли продуктивність насосного засобу дорівнює кількості води, що надходить;

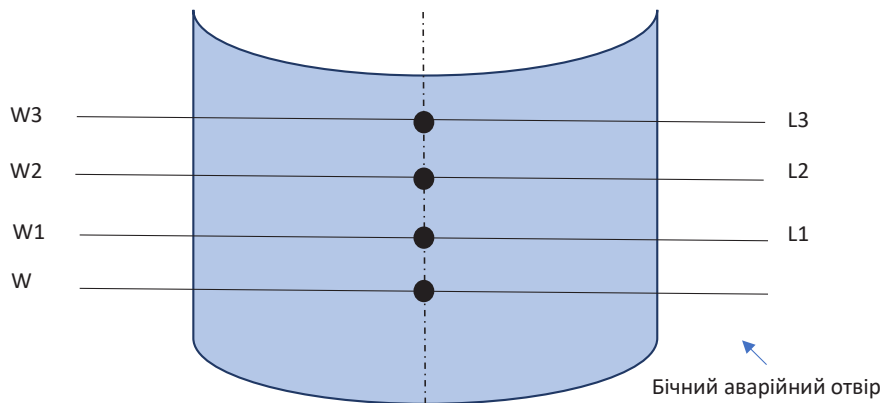


Рис. 3. Затоплення відсіків різних категорій

– зменшується, якщо продуктивність насосів вища, ніж кількість води, що надходить;

– збільшується, коли припливні засоби не в змозі справитись з кількістю води, що надходить в відсік. У даному випадку, відсік заповнюється частково, рівень води в ньому не співпадає з рівнем морської води.

Під час подальшого надходження та підвищення рівня води у відсіку, як правило, припливні засоби не можуть впоратися з цим завданням через початок процесу переходу вантажу та упаковки зі стану твердого в стан «пульпи». Це спричинює забруднення решіток колодязів та всмоктувальних труб розмороженою рибкою та картонними ємностями, що призводить до того, що відсік заповнюється неповністю, і морська вода сполучається. Рівень води у відсіку збігається з рівнем морської води, і кількість припливної води змінюється залежно від зміни осадки, крену та обшивки аварійного судна (див. рис. 3). У такій ситуації затоплення відсіку відноситься до третьої категорії і виключається з запасу плавучості. Зміна початкової стійкості визначається геометрією та координатами центру ваги втраченої ватерлінії.

Одним з важливих елементів конструкції рефрижераторних транспортних та деяких рибальських суден є наявність у трюмах водонепроникної палуби, яка зазвичай розташовується на першому рівні від головної палуби. Під час аналізу процесу затоплення трюму можна припустити, що морська вода повністю затопить пошкоджений відсік до рівня водонепроникної палуби (див. рис. 3). У такому випадку затоплення можна розглядати як затоплення відсіку першої категорії, тобто як надходження ваги води, яка стікає в перший відсік з координатами, відповідними координатам центру ваги обсягу відсіку.

При затопленні відсіку другої категорії зміна плавучості розглядається як затоплення відсіку першої категорії, з урахуванням впливу вільної

поверхні «пульпи» в трюмах. Цей ефект відзначається значною мірою через різницю у питомій вазі «пульпи» та морської води. З використанням виразу (2) може бути виконана корекція метацентричної висоти відсіку другої категорії під час навантаження в стані «пульпа».

При аналізі виразу (2) можна зробити висновок, що поправки на метацентричну висоту, які враховують вплив вільної поверхні, завжди є негативними і залежать від моменту інерції вільної поверхні морської води і «пульпи». Оскільки об'ємна вага морської води значно менша, ніж об'ємна вага «пульпи», затоплення вантажу у відсіку в стані «пульпи» призводить до значної негативної зміни метацентричної висоти судна.

При цьому для забезпечення безпечного плавання необхідно вжити заходів щодо відновлення стійкості та випрямлення судна. Випрямлення судна повинно передувати відновленню стійкості. Це особливо важливо, наприклад, у разі затоплення частини приміщення під час гасіння пожежі. Якщо аварійна ситуація дозволяє проводити відновлення стійкості та випрямлення судна одночасно з роботами із зупинки потоку та відкачуванням води при мінімальному споживанні запасу плавучості, можна припустити, що судно не потоне при отриманні отвору та симетричному затопленні відсіку. Стійкість оцінюється після затоплення відсіків, і якщо є сумніви, то приймаються заходи для її відновлення.

Висновки. У роботі досліджено вплив коефіцієнта проникності рефрижераторного вантажу в разі затоплення відсіку судна. Визначено основні математичні залежності, які забезпечують врахування зміни коефіцієнта проникності вантажу. При цьому у роботі визначено, по-перше, що деякі вантажі, що перевозяться в твердому замороженому стані, можуть перетворюватися на «пульпу» під впливом зміни температури і навколишнього середовища, що призводить до фізичної зміни їх стану. Такі вантажі можна віднести до категорії

двофазних. По-друге, відсіки з такими вантажами є менш небезпечними і відносяться до першої категорії, тоді як відсіки з іншими категоріями становлять більшу небезпеку. Проведений аналіз затоплення аварійного відсіку та його впливу на стійкість і посадку судна показав, що:

1) відсік другої категорії може бути значною загрозою, оскільки рефрижераторний вантаж у стані «пульпи» має коефіцієнт об'ємної ваги, що значно перевищує об'ємну масу морської води;

2) зміна стану вантажу з твердого на «пульпу» неминуче призводить до зміни коефіцієнта проникності приміщення, що потрібно враховувати при розрахунках стійкості та аварійної посадки судна;

3) час, необхідний для герметизації отвору в приміщенні з двофазним вантажем, має велике

значення в боротьбі за непотоплюваність судна. Навіть незначні впливи навколишнього середовища, такі як вітер, можуть істотно вплинути на аварійну посадку та стійкість судна, оскільки перехід вантажу з твердого стану в стан «пульпи» є дуже чутливим до зовнішніх впливів;

4) при повному осушенні відсіку виникає стан рідкої фази «пульпи», який є більш в'язким і здатним стискатися при відкачуванні води з аварійного відсіку. У результаті при усадці виникає вільна поверхня зневодненої «пульпи», яка впливає на стійкість та посадку судна аналогічно до впливу сипучих вантажів з їх невідомим кутом природного ухилу. При цьому на сьогоднішній день не існує методів, які дозволяють запобігти усадці «пульпи» та виключити вплив вільної поверхні на стабільність.

Список літератури:

1. IMO. (2006). SOLAS Chapter II-1 Construction - structure, Subdivision and Stability, Machinery and Electrical Installations, Part B-1 Stability.: International Maritime Organization.
2. IMO. (2008a). International Code on Intact Stability (2008 IS Code): International Maritime Organization.
3. IMO. (2008b). Resolution MSC.266(84) – Code of safety for special purpose ships, 2008: International Maritime Organization.
4. IMO. (2008c). Resolution MSC.281(85), Explanatory notes to the SOLAS Chapter II-1, Subdivision and damage stability regulations, Part B.: International Maritime Organization.
5. Probabilistic Damage Stability Evaluating the Attained Subdivision Index by Analysing the Effect of Changes in the Arrangement and Intact Stability for an Offshore Vessel. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2350929> (дата звернення: 12.10.23).
6. Recent Advances in Damage Stability Assessment with Application on a Container Vessel. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Recent-Advances-in-Damage-Stability-Assessment-with-Tomic-Turk/e7a3a3950354d8938b3cb2abbb8d170ed2e07901> (дата звернення: 12.10.23).
7. Conception and Evolution of the Probabilistic Methods for Ship Damage Stability and Flooding Risk Assessment. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Conception-and-Evolution-of-the-Probabilistic-for-Vassalos-Mujeeb-Ahmed/48d8e08bd037e98b0c1b2ced1feffa1db09fc091> (дата звернення: 12.10.23).

Plita L.L., Trofymenko I.V., Shevchenko A.P., Ivanenko V.M. STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PERMEABILITY COEFFICIENT OF REFRIGERATED CARGO IN CASE OF FLOODING OF THE SHIP'S COMPARTMENT

The purpose of the article is to study the impact of the permeability coefficient of refrigerated cargo in the event of a ship's compartment flooding and to analyse the flooding of the emergency compartment and its impact on the stability and landing of refrigerated and fishing vessels. This goal is achieved by identifying the main indicators and dependencies for determining the permeability coefficient of refrigerated cargo in the event of a ship's compartment flooding, analysing organizational and technical measures and the process of ensuring the unsinkability of refrigerated and fishing vessels. During the work, two main facts were established about the transportation of certain cargoes in a solid frozen state. Firstly, changes in temperature and environment can cause such cargoes to turn into a «pulp» (in this case, a mixture of liquid and cargo elements) and change their physical state. These cargoes are classified as two-phase. Second, compartments with these cargoes are less dangerous and belong to the first category, while compartments with other categories are more dangerous. The analysis of the emergency compartment flooding and its impact on the stability and landing of the vessel revealed the following facts. A compartment of the second category can be a significant threat, since refrigerated cargo in the «pulp» state has a volume weight coefficient that significantly exceeds the volume weight of seawater. Changing the state of the cargo from solid to pulp inevitably leads to a change in the permeability coefficient of the room, which must be taken into account when calculating the stability and emergency landing of the vessel. The time required to seal an opening in a room with a two-phase cargo is of great importance in the fight for the ship's unsinkability. Even minor environmental influences, such as wind, can have a significant impact on emergency landing and vessel stability, as the transition of cargo from a solid to a «pulp» state is very sensitive to external influences. The most significant result is the determination of the main mathematical dependencies that ensure that the change in the permeability coefficient of cargo in the event of flooding of the refrigerated and fishing vessels' compartment and the results of the analysis of the emergency compartment flooding and its impact on the stability and landing of ships.

Key words: ship, permeability coefficient, stability, landing, hold, category, cargo, unsinkability.