

10.31653/smf343.2021.196-206

Палагін О. М.

Дунайський Інститут НУ «ОМА»

## **КОНТРОЛЬ ЗА БАЛАСТНОЮ СИСТЕМОЮ НА ПОГРУЖНИХ МОРСЬКИХ СУДНАХ ПІД ЧАС ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ**

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Сучасні тенденції в розвитку суден погрузного типу, що використовуються для перевезення великогабаритних і нестандартних вантажів вимагають використання нових підходів до технології їх експлуатації. На перше місце виступають вимоги до підвищення надійності їх роботи при хвилюванні морської поверхні і скорочення термінів проведення вантажних операцій. На цих суднах в силу специфіки їх конструкцій під час операцій занурення або спливання завжди присутня велика проблема. Йдеться про виникнення і подальший хаотичний рух великих паразитних повітряних обсягів у середині заповнених водою баластних танків судна. Через їх великий об'єм, а значить і високі інерційні характеристики завжди має місце посилення хитавиці судна. Також виникають високі додаткові навантаження на корпус судна, що досить часто призводить до аварійних ситуацій. Може йти мова навіть про втрату вантажу або затоплення судна.

Таким чином, мета досліджень полягала у збільшенні ефективності роботи і підвищенні експлуатаційних характеристик суден погрузного типу шляхом розробки нової технології усунення надлишкових паразитних об'ємів повітря в суднових технологічних танках. Об'єктом дослідження був процес затоплення або спливання суден погрузного типу в умовах хвилювання морської поверхні, а предметом дослідження була технологічна система заповнення або спорожнення баластних танків. Науковою гіпотезою було припущення про можливість зменшення показників неконтрольованої хитавиці судна і зменшення кута крену. Це призведе до зменшення хитавиці судна і зменшить ймовірність настання аварії при його експлуатації. Рішення головного завдання було реалізовано за рахунок його декомпозиції на ряд незалежних між собою допоміжних завдань досліджень. При їх вирішенні були отримані нові наукові результати. Прийнята наукова гіпотеза була повністю підтверджена отриманими результатами як теоретичного моделювання, так і експериментальними дослідженнями в умовах роботи судна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сфері вантажоперевезень цей флот представляє собою окремий клас суден. Так, як приклад, згідно з даними компанії Dockwise-Boskalis[8] максимальна довжина судна Dockwise Vanguard становить 275 м, ширина 70 м, а максимальна площа вантажної палуби дорівнює 19250 м<sup>2</sup>. На таких суднах площа основи для вантажу може доходити до 23 тис. м<sup>2</sup>, а максимальна вага вантажу може становити 110 тис. тон при швидкості руху судна в 14 вузлів.



а

б

Рис. 1. Конструктивні виконання суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLEHEAVY–LIFT

а – поздовжня конструктивна компоновка; б – поперечна конструктивна компоновка.

Як видно на рисунку конструктивне виконання таких суден буває двох типів[1]. У першому випадку вантажна палуба розташована посередині між носом судна і його кормою, а в другому випадку вона розташована уздовж всього судна, а надбудови знаходяться по бортах судна.

Залежно від технологій, що використовуються при зануренні або спливанні, можуть бути виділені два принципово різних між собою класи суден. Головна відмінність між ними полягає в технології заповнення або спорожнення баластних танків. Перший клас працює на занурення або спливання за рахунок роботи штатних баластних насосів. Другий клас працює за рахунок системи компресорів, що створюють розрядження або підвищений тиск всередині танків. Приклад першого класу показаний на рис. 2.



Рис. 2 Судно «Таргет»

Це хевіліфт «Таргет» і на цьому судні була виконана більша частина досліджень. Схема баластних насосів цього судна показана на рис. 3. Тут видно, що в технологічній схемі використовуються чотири баластних насоса. П'ятий насос призначений для подачі забортної води під час режимів пікових навантажень. Найчастіше він використовується в операціях, пов'язаних з вирівнюванням крену судна при сильному хвилюванні морської поверхні.

Приклад схеми розташування компресорної системи на судні «Траншельф» показаний на рисунку 4. Ця схема є типовою і використовується практично на всіх суднах хевіліфтах. Тут видно, що робота компресорів все одно дублюється роботою системи насосів, які включаються починаючи з певного рівня наповненості баластних танків.

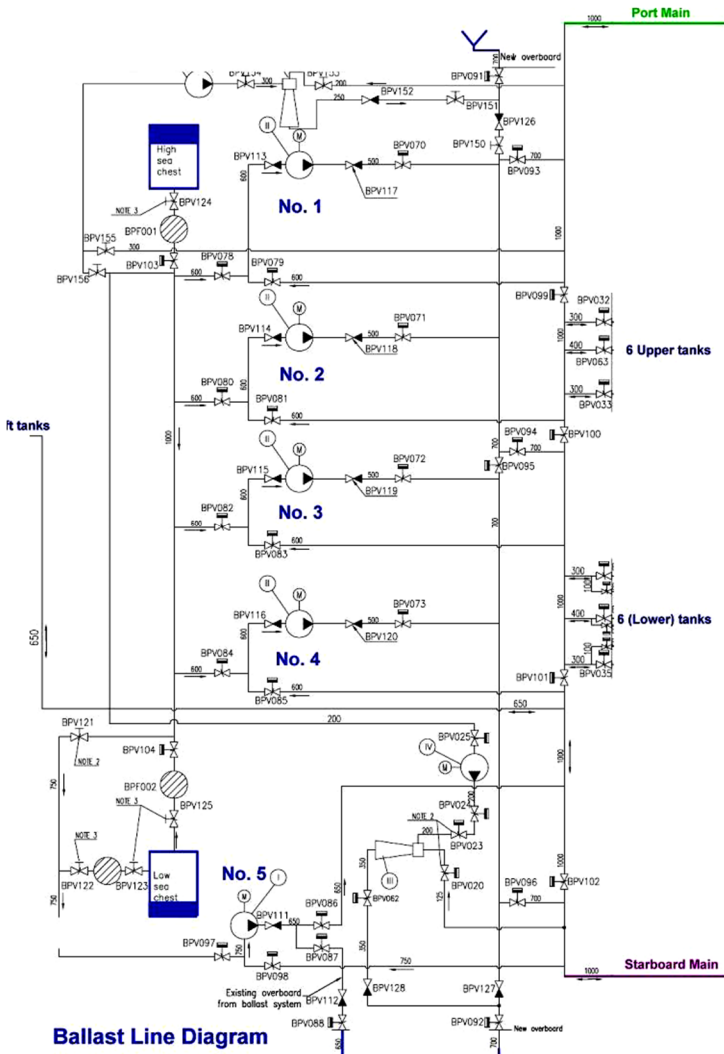


Рис. 3 Схема розташування баластних насосів на Heavy-Lift Target



Рис. 4 Схема розташування компресорів на Heavy–Lift «Transshelf»

Різниця між двома класами суден полягає в часі заповнення танків[7]. У першого класу суден воно становить в середньому 24 години, а у другого класу воно знаходиться в межах від 8 до 14 годин.

**Постановка завдання.** Затоплення судна завжди йде за рахунок наповнення танків подвійного дна і центральних танків. Їх схема є типовою. Від судна до судна змінюються тільки розміри танків. При детальному аналізі їх конструктивних і технологічних параметрів повинні бути сформульовані основні умови вдосконалення тих технічних систем які відповідають за безперебійну роботу судна під час занурення або спливання [3]. Основна проблема полягає в підтримці диференту судна при цих операціях. Єдиним технічним прийомом в цьому випадку є комбіноване поєднання операцій попереднього і основного баластування судна [2]. В ході їх проведення безперервно проводиться зміна диференту і крену судна. При повному заповненні танків практично завжди спостерігається виникнення паразитних обсягів повітря, які представляють собою постійно рухомий повітряний міхур. Максимальне значення таких паразитних об'ємів повітря може доходити до 10% від обсягу танків, а якщо в числах, то на судні виникає защемлення корисного простору танка в обсязі від чотирьохсот до 700 м<sup>3</sup>. Рух в баластних танках таких колосальних повітряних об'ємів під час хитавиці судна завжди призводить до неконтрольованого розхитування судна і підвищує ймовірність настання аварії. Під час свого коливального руху в танку паразитні міхури можуть викликати явища таких коливань, коли збіг частоти коливального руху повітряного міхура всередині танка може збігтися з частотою коливань взаємодіючих з корпусом судна морських хвиль. Приклад такої аварії показаний на рис. 5.



Рис. 5 Втрата остійності судном «MV Transporter»

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для вирішення цієї проблеми було запропоновано підхід, який базується на принципі гідродинамічних нестійкостей [6]. Він заснований на тому, що в разі руйнування повітряного міхура в воді на кордоні розділу між водою і повітрям в зоні турбулентного перемішування завжди виникає скачок концентрації води [9]. У застосуванні до розв'язуваної науково-технічної задачі мається на увазі поділ одиничного повітряного міхура великого розміру на ряд дрібних і не взаємодіючих між собою повітряних об'ємів. Такий поділ можна зробити за рахунок подачі з верхньої частини суднового танка струменів повітря під тиском. Вони можуть створюватися за рахунок штатної суднової компресорної системи, яка повинна бути модернізована воздуховодами з ультразвуковими датчиками рівня і системою форсунок для створення струменів. В ході численних експериментів було вивчено вплив величини ударного тиску в повітряному струмені на швидкість руйнування паразитного повітряного міхура. На графіку рис. 6 показані результати розрахунку площі взаємодії ударного струменя з поверхнею паразитного міхура. На осі ординат показано безрозмірне співвідношення поточної площі міхура  $S_t$  до його початкової площі  $S_n$ , а на осі абсцис значення кута атаки струменя. Ця крива відповідає величині площі взаємодії взятої в момент часу, що дорівнює 0,1 с, тобто фактично в момент початку руйнування паразитного міхура. На графіку видно, що при кутах атаки повітряного струменя до 14 градусів величина площі взаємодії залишається дуже високою.

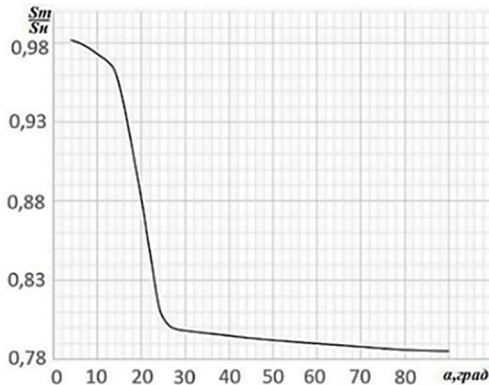


Рис. 6 Вплив кута атаки ударного струменя на площу взаємодії межі розділу повітря з водою в момент часу 0,1 с.

При проведенні досліджень в умовах роботи судна були розглянуті дві технології руйнування міхура. У першому випадку, створювалася область підвищеного тиску над поверхнею води в танку. Тут основні елементи це: компресор, повітряна лінія і датчики рівня баластної води в танку. Ультразвукові датчики рівня використовувалися як прилади подвійного призначення. Вони показували рівень води в танку і дозволяли визначати місце поточного розташування повітряного міхура. В ході експериментів встановлено, що технологія підвищеного тиску працює слабо оскільки зупинка руху паразитної повітряної пробки була тільки частковою і приводила тільки до деформації зовнішнього кордону міхура. Друга технологія з ударними струменями виявилася набагато краще. Як видно на рис. 7 була використана схема з набором сопел для подачі струменів з високим тиском. На подволоку танка були встановлені ультразвукові датчики рівня. Вони розставлялися зі змінним кроком по довжині повітряного трубопроводу високого тиску. Згущення місць установки датчиків відповідало кутовим зонам, де ймовірність знаходження паразитного повітряного об'єму є найбільш високою. При зіткненні струменів повітря з повітряним міхуром процес заповнення баластних танків був набагато ефективніший. В цьому випадку досягалась практично миттєва зміна об'єму паразитного повітря. У момент удару суцільний міхур руйнувався і спостерігався перехід до дрібно пухирцевої фази хвильового руху міхурів повітря на поверхні води в баластному танку.

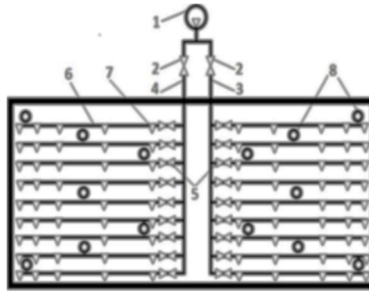


Рис. 7 Технологічна схема

1 – компресор; 2 – автоматичні клапани відсікачі; 3, 4 – контури лінії подачі повітря під тиском; 5 – клапан включення лінії з сопловими насадками; 6 – імпульсна повітряна лінія; 7 – сопла; 8 –ультразвуковий датчик.

При використанні дуже гострих кутів атаки під час зіткнень паразитного міхура зі струменями повітря під тиском спостерігалось практично миттєве його зникнення. У цьому випадку можливо було вплинути на зміну показників неконтрольованої хитавиці судна практично за одну фазу пневматичного удару. В основному цей вплив визначався повним зникненням паразитного повітря в баластному танку [5]. Всі експериментальні дослідження проводилися на судні HEAVY-LIFT «Target» компанії Dockwise-Boskalis. Основна спрямованість досліджень полягала в отриманні результатів, по зміні неконтрольованого кута крену судна при використанні системи розбивки паразитних повітряних обсягів [4].

Одним з основних критеріїв ефективності і якості роботи системи може виступати рівень неконтрольованої хитавиці судна. Різниця кутів крену в хитавиці судна при звичайному режимі експлуатації і при хитавиці під час роботи системи збільшується зі зростанням хвилювання морської поверхні. Дисбаланс в крені судна на малому і великому хвилюванні між собою відрізняється дуже сильно. Другою перевагою роботи розробленої системи руйнування паразитних повітряних обсягів є скорочення часу баластування суднових танків. Під час операції занурення судна під воду час стовідсоткового заповнення всіх баластних танків при роботі нової системи, відрізнявся від часу стандартної операції по їх заповненню на 12%. Якщо говорити про практичне впровадження розробленої технології то слід зазначити, що всі без винятку судна погрузного типу комплектуються двома керуваними судновими системами OCTOPUS і CARGOMASTER. Вони постійно вимірюють основні конструктивні і механічні показники корпусу судна в ході його руху. Як видно на



рисунку 8 вимір динамічних навантажень на корпус судна здійснюють за рахунок датчиків деформації, які встановлюються уздовж всього корпусу судна. Їх головним призначенням є вимір зсувних зусиль і згинальних моментів на корпусі судна[5].



Рис. 8 Датчики динамічних навантажень системи OSTOPUS

Наша система повинна інтегруватися в ці системи теж, оскільки зниження кута крена судна буде приводити до менших навантажень на його корпус. Крім руйнування паразитного повітря дуже важливим питанням є подача баластної води в танк. Вона безпосередньо пов'язана з результатами проведених досліджень і визначається здатністю повітря збиратися в локально виділені об'єми. При заповненні баластного танка водою в місці роботи клапана з'являється точкове джерело дрібнодисперсних міхурів повітря, які в ході свого руху переходять від псевдоожигеного кластера до пухирчастих об'ємів або медузоподібних структур. З моменту початку заповнення баластних танків водою обидві суднові системи управління OSTOPUS і CARGOMASTER повинні використовувати показання ультразвукових датчиків рівня. Процес подачі струменів повітря повинен відбуватися дискретно. Ступінь дискретності роботи повітряних форсунок в першу чергу визначається початковим обсягом паразитного повітря. Величина ударного тиску є найважливішим параметром в роботі системи, При роботі системи він завжди є величиною змінною і залежить від хвилювання морської поверхні, ступеня заповнення баластного танка, кількості і сумарного обсягу паразитних повітряних міхурів. З урахуванням хвилювання морської поверхні ударний тиск повинен контролюватися автоматично. В цьому випадку сумарна регуляторна характеристика компресорної системи повинна координуватися із значенням кута крена і диферентом судна. Верхня межа ударного тиску повинна становити 0,7 МПа, а нижня 0,2 МПа. На підставі вимірів, проведених системами OSTOPUS і

CARGOMASTER було встановлено, що інтегрування розробленої системи видалення паразитних обсягів повітря в умовах роботи судна на Heavy-Lift Target призвело під час операції повного занурення судна до зниження усереднених навантажень на його корпус в порівнянні з випадком звичайного занурення судна на 3,4%.

**Висновки.** Обґрунтованість і вірогідність результатів підтверджується коректно поставленим науковим завданням досліджень, використанням апробованого математичного апарату, відповідністю отриманих результатів і розрахунків. Результати досліджень є універсальними для всіх суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT. Вони можуть використовуватися для підвищення їх експлуатаційних характеристик і зниження рівня неконтрольованого крену судна при його роботі на хвилюванні. Перспективними напрямками подальших досліджень можуть бути: створення методики визначення просторового розташування паразитного обсягу повітря всередині баластних танків в залежності від рівня хвилювання морської поверхні; розробка нових правил баластування суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT з урахуванням отриманої в дослідженнях номограми якості роботи системи стабілізації крену судна за рахунок видалення з суднових баластних танків паразитних обсягів повітря.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурмака И. А., Король А. Я, Любенко С. С, Сауляк С. В. Теория и устройство судна. Одесса: ОНМА, 2012. – 225 с.
2. Дейнего Ю.Г. Эксплуатация судовых механизмов и систем. – М.: Моркнига, 2008. – 238 с
3. Малахов А. В. Система стабилизации судов типа HEAVY-LIFT / Малахов А. В., Палагин А. Н. // Матеріали 7-мої Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТ-ТОО-2016”, –Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016 – 259 С.
4. Палагин А. Н. Основные принципы новой технологии проведения балластных операций на судах погрузного типа. Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 2(57). – с. 221–229.

5. Палагин А. Н. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков. Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – № 27 (5). – с. 109–113.

6. Халипа В. М., Вамболь С. О., Міщенко І. В., Прокопов О. В. Технічна механіка рідини і газу. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – 224 с

7. Чиняев И. А. Судовые вспомогательные механизмы. Учебник для вузов водного транспорта – М.: Транспорт, 1989.– 295с.

8. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://boskalis.com/about-us/dockwise.html>

9. Bazarov Yu. B., Kanygin R.I., Meshkov E.E., Pikalova M.A., Fedorenko Ya.V., Yanbayev G.M., Proc. Of Int. Conf. «Fluxes and Structures in Fluids». St. Petersburg, 2013, p.26–28.