

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ”

ПАЛАГІН ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 629.123

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВИВАНТАЖЕННЯ БАЛАСТНОЇ
ВОДИ НА ПОГРУЖНИХ МОРСЬКИХ СУДНАХ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2019

Дисертація є рукопис

Робота виконана у Національному університеті “Одеська морська академія” Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук, професор
Малахов Олексій Володимирович,
Національний університет “Одеська морська академія”, професор кафедри суднової теплоенергетики

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Вичужанін Володимир Вікторович,
Одеський національний політехнічний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри інформаційних технологій,
м. Одеса.

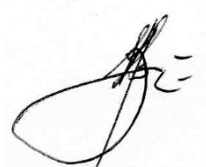
кандидат технічних наук, доцент
Доронін Володимир Васильович,
Державний університет інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України,
доцента кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні, м. Київ.

Захист відбудеться 10 жовтня 2019 р. о 10:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в НУ «ОМА» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідрихсона, 8, корп.1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці НУ “ОМА” за адресою: м. Одеса, вул. Дідрихсона 8, корп. 2 та на сайті НУ “ОМА”: <http://onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>.

Автореферат розісланий 9 вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д.т.н., професор



В. В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Транспортні судна погрузного типу є унікальними за призначенням свого використання і найбільшими на планеті. Сучасні тенденції в розвитку водного транспорту, що використовується для перевезення великогабаритних і нестандартних вантажів на судах погрузного типу SSHL, вимагають використання нових підходів до технології експлуатації таких суден. На перше місце виходять вимоги до підвищення їх надійності і скороченні термінів проведення вантажно-розвантажувальних операцій без зниження показників аварійності.

Специфічні особливості конструктивного виконання таких суден при зануренні або спливанні судна на місці приймання або здачі вантажу завжди призводять до однієї і тієї самої проблеми – виникнення і подальшого хаотичного руху повітряних порожнин всередині заповнених баластною водою танків судна. Через надмірний обсяг таких порожнин їхні інерційні характеристики під час руху всередині об'єму рідини, можуть призводити до посилення хитавиці судна, давати високі додаткові навантаження на його корпус, або призводити до виникнення аварійних ситуацій з негативним результатом – втратою вантажу, затопленням судна тощо.

З урахуванням вищевикладеного вимагає вирішення актуальна науково-технічна проблема, яка полягає в розробці нових принципів функціонування технічних систем суден погрузного типу, що забезпечать істотне підвищення якості їхньої експлуатації за рахунок використання нової системи усунення надмірного повітря з робочих обсягів баластних танків і зниження аварій, пов'язаних з додатковою хитавицею судна.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота спрямована на реалізацію Закону України про Транспорт (№ 4709-VI від 17.05.2012), Морської доктрини України на період до 2035 року (Постанова Кабінету міністрів України від 7.10.2009, № 1307), Галузевої програми забезпечення безпеки судноплавства на 2014-2018 роки (наказ Міністерства інфраструктури України від 26.06.2013, № 426), Стратегії імплементації положень директив та регламентів Європейського Союзу у сфері міжнародного морського та внутрішнього водного транспорту (Розпорядження Кабінету міністрів України від 11.10.2017, № 747-р).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення ефективності роботи та експлуатаційних характеристик суден погрузного типу шляхом розробки нової технології усунення надлишкових паразитних обсягів повітря в судових технологічних танках.

Поставлена мета досягається через вирішення таких допоміжних завдань:

– зробити аналіз технологічних і експлуатаційних особливостей роботи суден погрузного типу і в сукупності з результатами теорії плавання замкнених

обсягів в рідинах розробити нову технологію заповнення водою баластних танків для головного експлуатаційного режиму – баластуванню судна при його зануренні з присутністю в баластних танках великих паразитних повітряних обсягів;

– розробити на основі гіпотези про взаємопроникаючі континууми математичну модель двовимірного ізотермічного коливального руху всередині суднового баластного танка великих обсягів повітря в воді за умови занурення судна на хвилюванні з метою моделювання процесу усунення паразитного повітря під час топінговки баластних танків;

– встановити на основі чисельного підходу з використанням багатомасштабного моделювання основні фактори, що впливають на місця скупчення паразитних обсягів повітря в баластних танках і вплив основних суднових експлуатаційних показників на роботу розробленої системи щодо усунення паразитного повітря в танках;

– отримати нові науково-технічні результати, що відображають зміну основних експлуатаційних характеристик судна на хвилюванні і тих наукових даних, які описують поведінку паразитного обсягу повітря в судновому баластному танку в ході процесу його руху і розпаду на ряд дрібних повітряних обсягів;

– розробити універсальну методику проектування, монтажу та алгоритм інтегрування в суднові системи OCTOPUS і CARGOMASTER для системи видалення надлишкових паразитних обсягів повітря з баластних танків на судах погрузного типу SSHL.

Об'єкт дослідження – процес занурення або спливання суден погрузного типу в умовах хвилювання морської поверхні.

Предмет дослідження – технологічна система заповнення або спорожнення технологічних баластних танків на судах погрузного типу.

Методи дослідження використані у роботі: аналітичний метод для проведення порівняльної оцінки суден погрузного типу, теорія плавання повітряних бульбашок в рідинах для оцінки впливу параметрів хвилювання на поведінку паразитних повітряних обсягів в баластних танках судна, теорія розмірності для отримання основних критеріальних залежностей, метод кінцевих різниць для моделювання процесів руху води і повітря всередині баластних танків при хитах корпусу судна на хвилюванні, чисельні методи апроксимації для побудови характеристик зміни неконтрольованого кута хита судна при і без роботи системи усунення паразитного повітря в баластних танках судна, метод планування експерименту для вивчення основних параметрів, що впливають на роботу системи усунення паразитного повітря в суднових баластних танках, метод статистичної обробки результатів вимірювань.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні моделей та методик руйнування великих паразитних обсягів повітря на поверхні води в суднових баластних танках, що дають змогу підвищити ефективність

стабілізації крену суден погрузного типу під час хвилювання морської поверхні.

Вперше:

- отримано математичну модель, що дає можливість для реальних умов хитавиці судна при хвилюванні морської поверхні моделювати процес руху і руйнування великих паразитних обсягів повітря на поверхні баластної води за умови динамічного впливу з боку зовнішніх сил і жорстких стінок суднового баластного танка в якому вони знаходяться;

- встановлені залежності характеру зміни та швидкості руйнування великих паразитних обсягів повітря на поверхні води в баластному танку під час хитавиці судна, що враховують вплив на них руйнуючих струменів під тиском.

Удосконалено метод стабілізації крену суден погрузного типу, який відрізняється від існуючих використанням номограм, що відображає вплив якості роботи системи стабілізації залежно від величини хвилювання морської поверхні.

Набула подальшого розвитку процедура знаходження оцінки ефективності стабілізації крену суден погрузного типу, яка на відміну від існуючих, враховує час баластування, крен і диферент судна, що дозволяє підвищити безпеку експлуатації суден погрузного типу.

Практичне значення роботи полягає в тому, що:

- для двох класів конструктивного виконання всіх існуючих суден погрузного типу ,виконаний аналіз основних технічних характеристик і технологічних схем роботи в процесі якого встановлено, що з існуючих тридцяти дев'яти суден тільки чотири не мають світових аналогів, а решта можуть розглядатися, як ідентичні одне одному і потребують модернізації технічних систем топінговки баластних танків;

- для зниження аварій на судах погрузного типу при операціях занурення або спливання на принципі гідродинамічних нестійкостей, розроблена технологія усунення паразитних обсягів повітря при топінгуванні баластних танків і сформульований основний принцип модернізації судових технологічних схем подачі баластної води;

- встановлено, що тиск ударного струменя впливає тільки на початковий процес руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку і, починаючи з величини умовної часової межі, що дорівнює 4,5 хвилини для руйнування повітряних бульбашок, потрібен тиск, що дорівнює 0,3 МПа;

- встановлено, що за рахунок зіткнення струменя під тиском з повітряним міхуром під гострими кутами атаки процес топінгування баластних танків стає набагато ефективнішим, оскільки в цьому випадку можливо вплинути на зміну показників неконтрольованої хитавиці судна практично за одну фазу пневматичного удару;

- сформульовані основні вимоги до проектування, монтажу та експлуатації технічної системи усунення паразитних обсягів повітря при

топінгуванні баластних танків з одночасною її інтеграцією в керуючі суднові системи OCTOPUS і CARGOMASTER.

Результати дисертаційної роботи впроваджені й використовуються в:

– судноплавній компанії Dockwise–Boskalis, судно “Target” що, згідно з актом, дозволило у порівнянні з експлуатацією судна без розробленої системи:

зменшити кут неконтрольованого кренування судна під час операції баластування з 2 до 1,5 градусів під час хвилювання морської поверхні з висотою хвилі 0,5 м;

зменшити час операції топінговки (заповнення об’єму на 100 %) баластних танків судна на 12 %;

зменшити навантаження на корпус судна під час операції занурення судна під воду за даними суднових керуючих систем OCTOPUS та CARGOMASTER на 3,4 %

– у навчальному процесі НУ “ОМА” при проведенні лекційних занять з дисциплін “Суднові допоміжні установки, палубні та вантажні системи” і “Загальносуднові системи, їх експлуатація і управління” (акт від 17.05.2018).

Особистий внесок автора. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належить: [2] – сформульована постановка математичної моделі руйнування повітряних бульбашок і описані результати експериментальних досліджень; [5] – сформульована математична модель та виконано аналіз і опис основних результатів досліджень процесу усунення паразитного повітря з баластних танків судна; [6] – виконано аналіз та детальний опис основних результатів проведених експериментальних досліджень; [7] – виконана обробка результатів дослідження підвищення надійності експлуатації судна за рахунок використання струменевих гідродинамічних технологій; [8] – виконано аналіз теорії струменів і сформульовано опис математичної моделі; [9] – виконано аналіз конструктивних схем суднових баластних систем і сформульована технологія їх експлуатації; [10] – виконано розрахунок процесу руйнування повітряних каверн, що рухаються всередині заповнених водою баластних танків і описані основні результати; [11] – проведена обробка результатів експериментального дослідження процесу руйнування повітряних каверн у воді і описаний метод баластування судна.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і наукові результати дослідження доповідалися, обговорювалися та отримали позитивні відгуки на науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях Національного університету “Одеська морська академія” упродовж 2016–2017 років; а також доповідалися на науково-практичних конференціях різного рівня:

міжнародних – “Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО–2015” (Херсон, 2015); Міжнародна науково-практична конференція “Актуальні питання судноплавства, суднобудування та судноремонту” (Одеса, 2015);

всукраїнських – науково-практична конференція молодих учених і студентів “Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості” (Івано-

Франківськ, 2015); “Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту” (Ізмаїл, 2016); “Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО–2016” (Херсон, 2016); “Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт” (Одеса, 2017); “Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство” (Херсон, 2017); “Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація” (Одеса, 2017).

Публікації. Основні результати дисертації висвітлено у 11 наукових публікаціях, з них 6 – у фахових виданнях, серед них 2 – у журналах, що індексуються міжнародними науково-метричними базами; 5 у збірниках і матеріалах конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 165 сторінок, з них 159 сторінок основного тексту, 38 рисунків, 4 таблиці, бібліографія з 118 найменувань на 11 сторінках, 2 додатка на 4 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначено та обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження, сформульовано мету і завдання роботи, наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, показано зв’язок дисертації з науковими планами і темами. Висвітлено особистий внесок здобувача і наведено відомості про апробацію результатів та кількість публікацій.

У **першому розділі** “*Основні технологічні і експлуатаційні особливості роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT*” розглянуто технологічні і експлуатаційні особливості роботи суден погрузного типу SSHL. Показано, що при вантажних операціях принцип їх роботи заснований на зануренні або спливанні судна за рахунок заповнення морською водою баластних танків судна. Залежно від технологій, що використовуються для подачі води, виділені два класи суден, що відрізняються між собою. Перший клас суден працює на занурення і спливання за рахунок роботи штатних баластних насосів, що встановлені за схемою паралельного підключення. Другий клас суден при ідентичних операціях використовує суднову компресорну систему, робота якої дублюється насосами. В обох класах суден заповнення баластних танків судна забортною морською водою складається з двох операцій: попереднього баластування центральних танків судна; основного баластування всіх інших танків судна. В процесі заповнення баластних танків водою постійно контролюється крен і диферент судна.

В процесі аналізу характеристик всіх існуючих в світі суден погрузного типу SSHL зроблено висновок про те, що 75 % суден потрапляє в діапазон вантажопідйомності від 40000 до 60000 тонн і 87,1 % суден може перевозити нестандартні вантажі з вантажною площиною від 4000 до 8200 м². Це вказує на сильну конкуренцію на ринку перевезень нестандартних великогабаритних

вантажів, оскільки, за винятком чотирьох унікальних суден, всі інші судна можуть з невеликим наближенням розглядатися як ідентичні одне одному.

Основна проблема в експлуатації суден погрузного типу SSHL полягає в підтримці диферента судна при операціях його занурення або спливання. При повному заповненні танків завжди виникають паразитні обсяги повітря. Вони являють собою повітряний міхур, що неперервно рухається вздовж поверхні води великого, але завжди кінцевого обсягу. Максимальне значення защемленого простору танка може доходити до 10 %. При розмірах суднових танків від 3600 до 6720 м³ може мати защемлення корисного простору в обсязі від 360 до 672 м³ відповідно. Рух таких колосальних повітряних обсягів під час хитавиці судна незмінно призводить до його неконтрольованого додаткового крену і підвищує ймовірність аварії. Амплітуда і напрямок руху паразитного повітряного міхура всередині танків не пов'язані з характеристиками хвилювання морської поверхні або вітровим навантаженням на корпус судна і є мимовільними. Фактичні умови для настання резонансу, виникнення надмірних навантажень на корпус судна, або навіть до його оверкилю завжди залишаються невизначеними. Видалити паразитне повітря за рахунок роботи штатних переливних клапанів неможливо, оскільки траєкторія руху повітряного обсягу рідко збігається з місцями установки повітряних клапанів, а час його проходження через зону дії переливного клапану може бути значно менший об'ємної витрати самого клапану.

Для вирішення проблеми усунення негативного впливу повітряних порожнин, що постійно переміщуються всередині баластних танків, на роботу судна запропоновано використовувати підхід, який базується на принципі гідродинамічних нестійкостей. У цьому випадку можливий розподіл одиночного повітряного міхура великого розміру на ряд дрібних повітряних обсягів, що не взаємодіють між собою.

У **другому розділі** *“Головні положення методології проведення дисертаційного дослідження”* на основі аналізу результатів першого розділу обґрунтовано вибір теми дослідження та методологічне забезпечення, що буде використовуватися впродовж його проведення.

За рахунок використання методів системного підходу була розроблена технологічна карта, яка повністю відображає робочу гіпотезу та головну мету дослідження, визначає об'єкт та предмет, а також технологію методичного обґрунтування коректного вирішення поставлених допоміжних завдань дослідження. Для вирішення головної мети було сформульовано п'ять завдань.

У **третьому розділі** *“Особливості процесу руйнування рухомих повітряних каверн всередині заповнених баластних танків”* зроблено теоретичний аналіз процесу руйнування повітряних обсягів, що рухаються всередині суднових баластних танків.

На підставі огляду наукової літератури, зроблено висновок про недостатність наукових праць, де розглядається рух з руйнуванням великих обсягів повітря у воді за умови динамічного впливу з боку стінок каналу, в

якому вони знаходяться. Для вирішення такого завдання було зроблено аналіз теорії струменів і чисельних методів.

На підставі теорії струменів отримано результат, що свідчить про скупчення паразитних обсягів повітря не в центральних частинах, а в кутових зонах суднових баластних танків. При розробці математичної моделі задача формулювалася як двовимірною. Було прийнято, що течія в судновому танку формується з трьох складових потоків.

Перший потік – ударні струмені повітря з постійною швидкістю та тиском. Вони рухаються згори баластного танка в бік паразитного повітряного обсягу

$$V_x = 0, \quad (1)$$

$$V_y = 0, \quad (2)$$

$$P = const, \quad (3)$$

де V_x, V_y – складові швидкості, м/с; P – тиск, Па.

Другий потік – повітряний обсяг, який рухається вздовж поверхні баластної води в танку. Такий рух задається на початковому етапі шляхом введення параметра хитавиці судна і описується рівняннями типу

$$\xi = \frac{A_r \sin r \pi x}{l} \cos\left(\frac{r \pi c t}{l} + \varepsilon_r\right), \quad (4)$$

$$x = \frac{2l}{c}, \quad (5)$$

$$c = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3f}{2h}\right), \quad (6)$$

де ξ – поперпервжне переміщення хвилі, м;

A_r – амплітуда коливань, м;

ε_r – фаза коливань;

r – параметр коливань; x – період коливань, м;

l – довжина каналу, м;

c – швидкість хвилі, м/с; f – висота хвилі, м;

h – глибина рідини в баластному танку, м.

Рух газових частинок, тобто самого повітря всередині повітряного обсягу може відтворюватися за методом дискретних частинок за допомогою рівняння

$$m_s \frac{dv}{dt} = m_s g + \frac{V\beta}{(1-\varepsilon)} (U - v) - V \left(\frac{dP}{dx} + \frac{dP}{dy} \right), \quad (7)$$

$$\beta = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon} \frac{\mu}{D_p^2} + 1,75(1-\varepsilon) \frac{\rho}{D_p} |U - v|, \quad (8)$$

де m_s – маса частинки, кг; v – швидкість частинки, м/с;

β – коефіцієнт внутрішнього фазового переходу, кг/(м³с);

ε – показник ступеня однорідності потоку;

U – локальна швидкість частинки, $м/с$;

V – об'єм частинки, $м^3$; P – тиск, $Па$; D_p – діаметр частинки, $м$;

μ , ρ – динамічна в'язкість і щільність повітря, $Па \cdot с$ та $кг/м^3$.

Для випадку ізотермального двовимірного руху з рівнянням (7) необхідно використовувати рівняння нерозривності і моменту газової фази

$$\frac{d(\varepsilon \rho)}{dt} + (\nabla \cdot \varepsilon \rho v) = 0, \quad (9)$$

$$\frac{d(\varepsilon \rho v)}{dt} + (\nabla \cdot \varepsilon \rho v v) = -\varepsilon \nabla P - S_p - (\nabla \cdot \varepsilon \tau) + \varepsilon \rho g, \quad (10)$$

$$S_p = -\frac{1}{V} \int \sum_0^N \frac{v \beta}{(1 - \varepsilon)} (U - v_a) \delta(r - r_a) dV, \quad (11)$$

$$\tau = \frac{2}{3} \mu (\nabla v) + \mu ((\nabla v) + (\nabla v)^T), \quad (12)$$

де S_p – момент в системі рухомих частинок повітря, $Н/м^3$;

τ – тензор в'язких напружень, $кг/(м \cdot с^2)$;

T – температура, $^{\circ}C$;

v_a – швидкість частинки, $м/с$;

δ – дельта-функція;

r , r_a – повний і частковий радіус вектор відносного положення частинки, $м$.

Третій потік – рух всієї маси баластної води при заповненні танка. Він постійно змінюється по висоті танка і здійснює хвильові коливальні рухи в поперечній площині. Коливання поверхні баластної води в танку необхідно задавати за законом (4). Його рух вгору описується лінійними законами виду

$$y = Hkt, \quad (13)$$

$$v = const, \quad (14)$$

$$P = P_a + \rho gh, \quad (15)$$

де y – координата положення верхнього рівня межі баластної води в танку, $м$;

k – коефіцієнт швидкості заповнення;

t – час, $с$.

В ролі граничних умов використовувалася умова непротікання поверхонь, а швидкість на межі розподілу повітря і води корегувалася на компресійну поправку

$$v_k = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)^{0.5}, \quad (16)$$

Критерій якості розрахунків формулювався у вигляді умови нульової різниці суми всіх проекцій швидкості на поверхні розриву між водою і повітрям

$$(V_{x1} - V_{x2}) + (V_{y1} - V_{y2}) = 0, \quad (17)$$

Для вирішення рівнянь був використаний метод кінцевих різниць із другим порядком вірогідності. Застосована розрахункова схема показана на рис. 1.

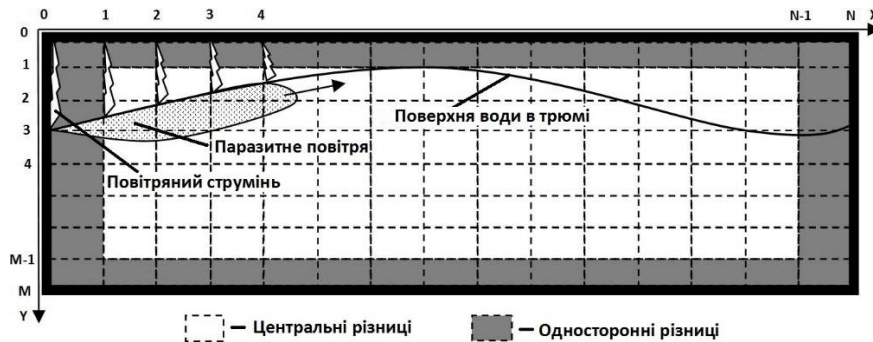


Рис. 1. Розрахункова схема

При теоретичному моделюванні процесу руйнування паразитного повітряного обсягу в баластному танку, що заповнений водою, була знайдена швидкість зменшення його обсягу під час дії струменів під тиском. Ці результати показані на рис. 2, де на осі ординат відкладені значення сумарного обсягу паразитного повітря в процесі його руйнування, а по осі абсцис розрахунковий час робочого процесу. На рис. 2 видно, що в часовому діапазоні від 1,8 до 2,2 хвилини, всі криві починають змінюватися практично однаково. Такий збіг вказує на однаковий характер зменшення повітряного обсягу незалежно від його початкового розміру. Цей час відповідає відпрацюванню механізму зміни гідродинамічних показників процесу коливання двофазної течії в баластному танку і зміні основних експлуатаційних характеристик судна – остійності та кута неконтрольованого крену.

Вплив величини ударного тиску в повітряному струмені на швидкість руйнування паразитного повітряного обсягу показано на рис. 3. На підставі аналізу зроблено висновок, що тиск ударних струменів впливає тільки на початковий процес руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку.

В процесі теоретичних досліджень зроблено оцінку впливу кута атаки ударних струменів на якість процесу руйнування паразитного повітряного обсягу. Критерієм якості була площа фронтальної поверхні взаємодії струменя з межею розподілу між повітряним обсягом і водою. Результати показані на рис. 4, де на осі ординат приведене співвідношення поточної S_m до початкової S_n площі міхура. Графік дає підстави зробити висновок про те, що при кутах атаки повітряного струменя від 1 до 14 градусів, величина площі взаємодії залишається дуже високою.

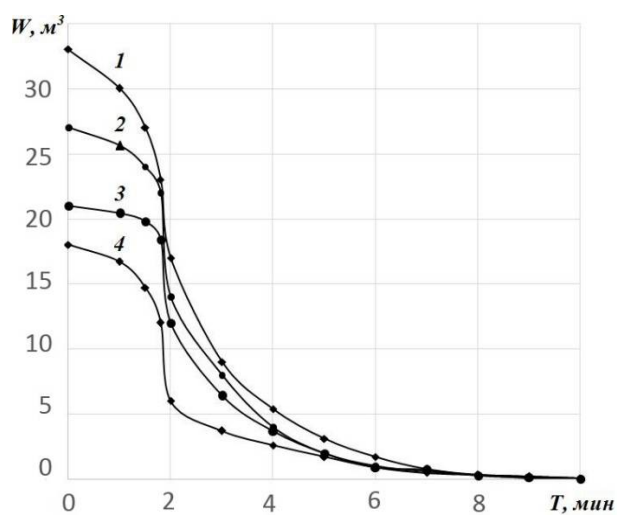


Рис. 2. Швидкість зменшення обсягу паразитного повітря
Початковий обсяг паразитного повітря: 1 – 33 м^3 ; 2 – 27 м^3 ; 3 – 21 м^3 ; 4 – 18 м^3

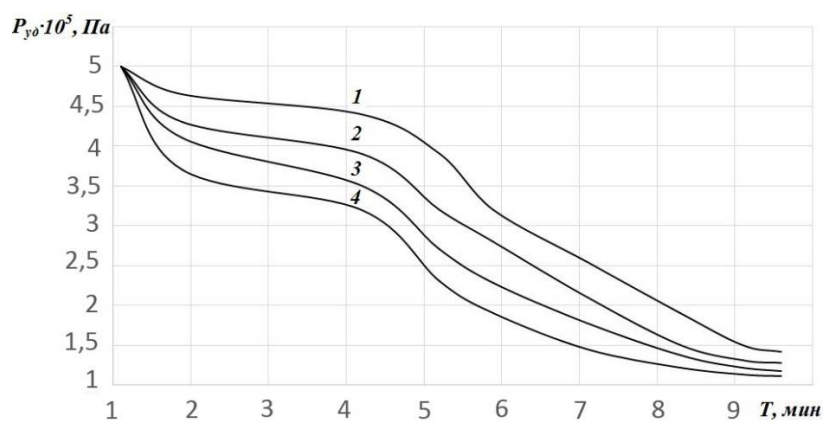


Рис. 3. Вплив тиску ударного струменя на обсяг паразитного повітря
Початковий обсяг паразитного повітря: 1 – 33 м^3 ; 2 – 27 м^3 ; 3 – 21 м^3 ; 4 – 18 м^3

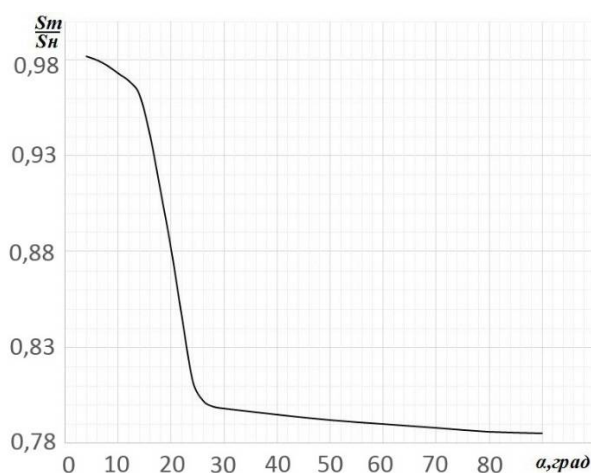


Рис. 4. Вплив кута атаки ударного струменя на площу взаємодії
межі розділу повітря з водою в момент часу 0,1 сек.

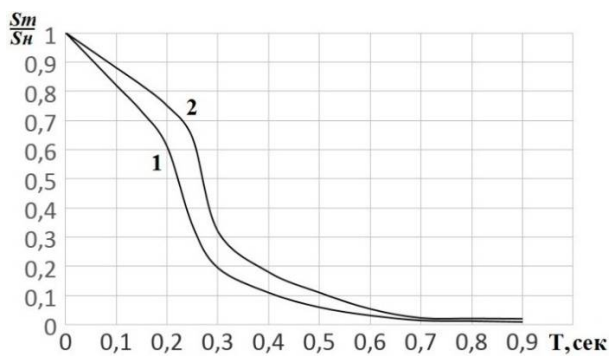


Рис. 5. Швидкість зміни площі повітряного міхура
Обсяг паразитного повітря у вигляді: 1 – кола; 2 – прямокутника

В процесі роботи зроблено розрахунки та вивчено характер зміни площі поперечного перерізу паразитного повітряного обсягу в залежності від часу його руйнування. Отримані результати відображені на рис. 5, де перша крива відповідає повітряному обсягу в формі кола, а друга в формі прямокутника. Як видно на обох графіках, основне зменшення повітряного обсягу при його руйнуванні відбувається в середньому через 0,25 секунди, коли ударний струмінь води проходить через його товщину. Потім він турбулізує всю поверхню розділу повітря та води і викликає нестійкість Релея – Тейлора уздовж всієї поверхні міхура.

У **четвертому розділі** “Метод усунення паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT” подано опис розробленого методу усунення паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків суден погрузного типу SSHL.

При аналізі механічних способів руйнування структури рухомого потоку зроблено висновок, що їх використання на судах погрузного типу SSHL обмежено правилами безпеки і не допустимо для впровадження. Ефективність використання механічних решіток замала, оскільки вони не забезпечують найголовніший показник – значне скорочення об’єму паразитного повітряного обсягу.

На етапі експериментальних досліджень в умовах роботи судна погрузного типу SSHL “Target” компанії Dockwise-Boskalis з урахуванням отриманих теоретичних результатів, був розроблений новий метод усунення паразитних повітряних обсягів. Основою методу є розбивка великого паразитного повітряного міхура на ряд дрібних, які при рівномірному заповненні поверхні води в судновому танку, призводять до зниження рівня коливань загальної маси баластної води. Загальна технологічна схема показана на рис. 6, де видно, що на стрингерах баластного танка встановлені ультразвукові датчики рівня. Вони використовуються для індикації кута нахилу поверхні води в баластному танку і показують місце розташування паразитних повітряних обсягів. Сумарна кількість датчиків визначається розмірами танка. На підволоку танка, уздовж ділянок повітряного трубопроводу високого тиску,

розташовані сопла для створення струменів під тиском. Вони подаються на ту частину поверхні баластної води, де в даний момент часу відповідно до показань ультразвукових датчиків знаходиться повітряний обсяг.

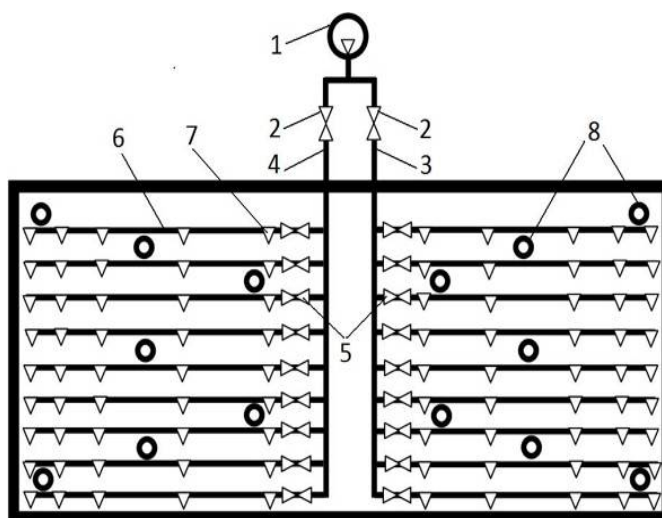


Рис. 6. Технологічна схема

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.

Основна спрямованість експериментів була сфокусована на вимірюванні показників, що впливають на неконтрольований крен судна. Вимірювання кута нахилу судна під час хитавиці здійснювалося за допомогою автоколіматора Ultra і електрооптичного забезпечення компанії Taylor Hobson (Великобританія).

До основних експлуатаційних результатів, що відображають високу якість застосування розробленого методу в умовах роботи судна відносяться:

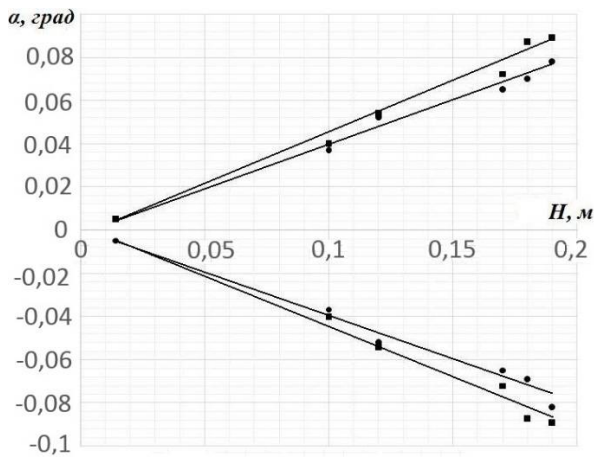
- при хвилюванні морської поверхні 0,5 метра рівень неконтрольованої хитавиці судна при топінгуванні центральних баластних танків під час занурення судна під воду був знижений з 2 до 1,5 градусів;

- час топінгування баластних танків, при роботі системи скоротився в порівнянні з часом стандартної операції по їх заповненню на 12 %;

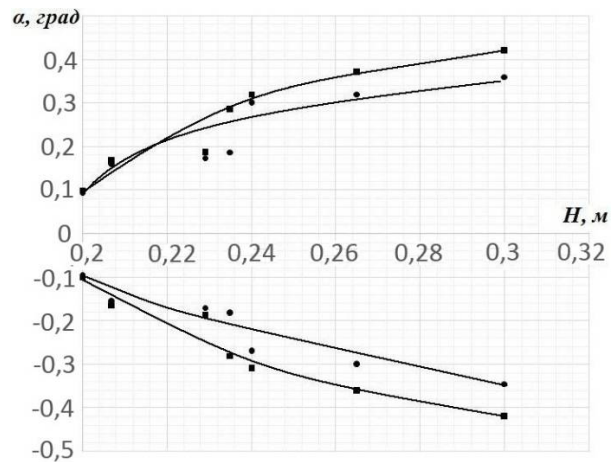
- за реєстраційними даними систем OCTOPUS і CARGOMASTER встановлено, що навантаження на корпус судна в ході операції баластування його танків під час роботи системи були знижені в порівнянні зі стандартним зануренням судна на 3,4 %.

Основні результати експериментів представлені на рис. 7–9. На рис. 7 для різних значень хвилювання морської поверхні, показані результати вимірювань неконтрольованого кута крену судна. Як видно на графіках в разі дуже малого хвилювання (до 0,2 м) зміни в кренуванні судна підпорядковуються лінійному закону, а різниця в кутах його неконтрольованого крену становила 0,012 градуса. При висоті морської хвилі від 0,2 до 0,3 м спостерігалася перехідна

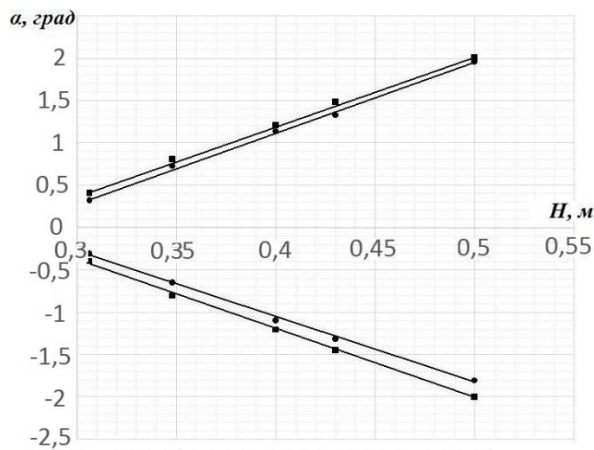
зона, коли хвилювання морської поверхні починає впливати на неконтрольовану хитавицю. Різниця в кутах стає 0,075 градуса.



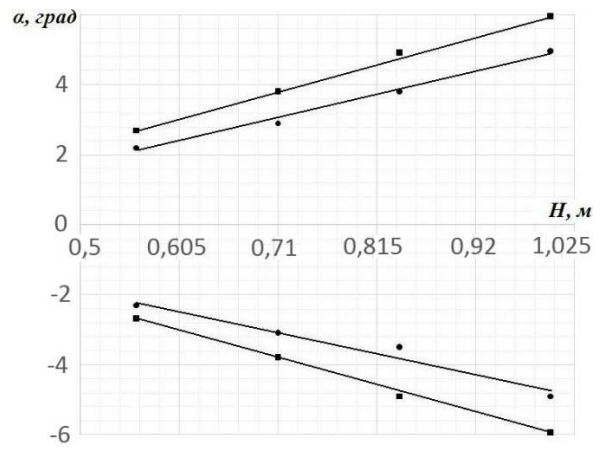
а)



б)



в)



г)

Рис. 7. Зміна неконтрольованого кута крену судна:

■ – робота судна без системи; ● – робота судна з системою
 Висота хвилі: а) – $H=0,1-0,2$ м; б) – $H=0,2-0,3$ м; в) – $H=0,3-0,5$ м;
 г) – $H=0,56-1$ м.

При хвилюванні морської поверхні від 0,3 до 0,5 м робота системи починає надавати позитивний вплив на остійність судна. Різниця між кутами неконтрольованого крену при роботі системи і без неї становить 0,2 градуса. Аналіз графіка показує, що система повинна починати працювати при хвилюванні морської поверхні 0,35 м. У зазначеному діапазоні вплив висоти хвилі на неконтрольовану хитавицю судна підпорядковується лінійному закону. При сильному хвилюванні морської поверхні, при висоті хвиль від 0,56 до 1 м розбіжність між апроксимуючими прямими, що описують природну хитавицю судна і його неконтрольований крен при роботі системи стає істотною. Так, при висоті хвилі 0,56 метра максимальна різниця кутів крену судна становить 0,5

градуса, а при висоті хвилі в 1 метр вона доходить до 1,05 градуса. У відсотковому співвідношенні таке поліпшення неконтрольованого кута крену судна становить 52,38 %. Показані на рис. 8 результати, описують хитавицю судна в діапазоні висоти морської хвилі $H=0,1-1$ м і являють собою номограму якості роботи системи стабілізації крену судна за рахунок видалення з баластних танків паразитних повітряних обсягів.

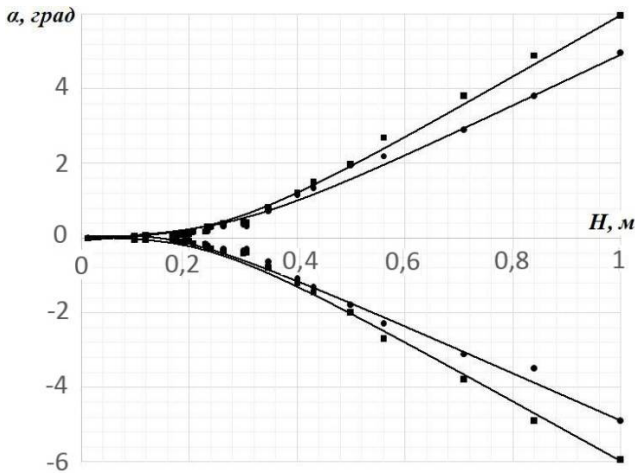


Рис. 8. Неконтрольований кут крену судна:

- – робота судна без системи;
- – робота судна з системою

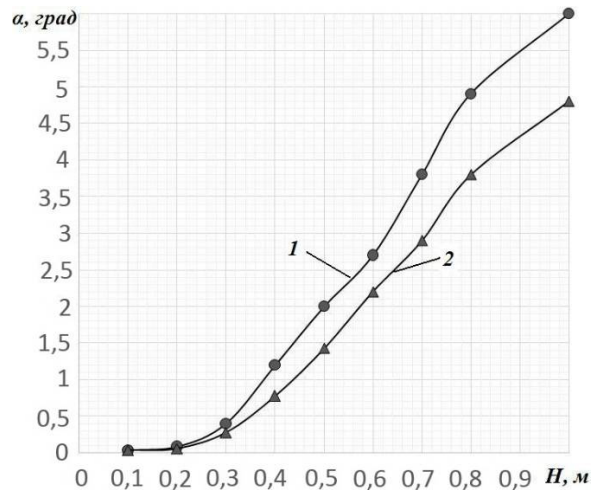


Рис. 9. Ефективність роботи системи:

- 1 – робота судна без системи;
- 2 – робота судна з системою.

В результаті комплексної оцінки всіх даних вимірювань поведінки суден погрузного типу SSHL на хвилюванні, була зроблена оцінка ефективності розробленої системи. В ролі критерію ефективності використано рівень неконтрольованої хитавиці судна під час занурення. Зведені результати показані на рис. 9, де видно, що ефективна різниця кутів крену під час роботи системи збільшується зі зростанням хвилювання морської поверхні. До рівня морської хвилі 0,35 м, який для суден погрузного типу SSHL не є небезпечним, кути крену корпусу судна практично не відрізняються один від одного. У цьому випадку єдиною перевагою роботи розробленої системи руйнування паразитних повітряних обсягів є скорочення часу баластування суднових танків. Починаючи з рівня висоти морської хвилі, що перевищує значення 0,35 м, розроблена система значно підвищує безаварійну роботу судна. На графіку видно, що кут розбіжності між двома експериментальними кривими постійно зростає.

Всі дані на рис. 7–9 є результатами великої серії натурних вимірювань при різних кутах постановки судна до морської хвилі. Залежно від розмірів судна типу SSHL і режиму його експлуатації їх конкретні чисельні показники можуть змінюватися, але отримані якісні результати будуть завжди залишатися незмінними.

П'ятий розділ “Використання розробленої системи видалення паразитного повітря на судах погрузного типу *SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT*” присвячений використанню розробленої системи видалення паразитних обсягів повітря на судах погрузного типу SSHL.

У розділі зроблено детальний опис судових керуючих систем OCTOPUS і CARGOMASTER і детальний аналіз гідравлічних систем подачі баластної води і пневматичних систем подачі повітря під тиском на всіх судах погрузного типу SSHL. В результаті встановлено, що в геометричному розташуванні клапанів подачі води завжди має місце загальна конструктивна помилка – вони встановлені за принципом одиничної розстановки клапана на дні кожного танка, а витратна здатність трубопроводів гідро- і пневмосистем завищена на 30–40 %. Такий підвищений запас пропускної здатності надає можливість проведення на судах конструктивних змін за розробленою і описаною в розділі методикою, що містить:

- розрахункові співвідношення для визначення робочих параметрів характеристики судової гідравлічної мережі;
- опис способу розрахунку загальних конструктивних розмірів складного кільцевого трубопроводу і кількості необхідних для установки клапанів баластної води;
- правила використання баластних насосів в прив'язці до крену і диференту судна і показникам судових систем управління OCTOPUS і CARGOMASTER;
- правила і розрахункові співвідношення для розташування на стрингерах баластних танків ультразвукових датчиків рівня;
- правила регулювання робочої характеристики судової системи подачі стислого повітря під тиском.

Для проектування системи руйнування паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків сформульований перелік її основних технологічних параметрів. Для різних кутів атаки повітряних струменів під тиском наведені чисельні характеристики пневматичного удару і сформульовані правила для вибору оптимальних витрат повітря, що йде на їх створення. Сформульовані межі для величини ударного тиску повітряних струменів і подано опис отриманої в умовах роботи судна SSHL “Target” регульовальної характеристики компресорної системи.

Для практичного використання розробленої системи видалення паразитних повітряних обсягів на судах погрузного типу SSHL, зроблено детальний опис методики проведення всіх технологічних операцій. Ця методика визначена з урахуванням особливостей операції занурення або спливання судна. Вона містить чисельні діапазони для: робочих параметрів баластних і дренажних насосів, кутів крену і диференту судна, рівнів топінговки баластних танків, глибин занурення судна, часу баластування танків.

В п'ятому розділі подано опис розробленої технологічної схеми комбінованої роботи розробленої системи зі штатними судовими системами

контролю стану судна OCTOPUS і CARGOMASTER. Взаємне інтегрування систем може бути виконано на програмному рівні в блоках управління системи автоматичного управління. За керування повинна відповідати система OCTOPUS. Сигнали, що виробляються її датчиками хитавиці і датчиками деформації корпусу судна в результаті силових навантажень із зовнішньої сторони судна, повинні комбінуватися з сигналами ультразвукових індикаторів рівня баластної води. Загальний вигляд розробленого алгоритму спільної роботи двох суднових систем показаний на рис. 10.

Оскільки суднові системи контролю OCTOPUS і CARGOMASTER дублюють одна одну, то для інтегрування розробленої системи, була створена виконавча технологічна схема їх спільної роботи, яка заснована на:

- первісному зборі та обробці даних від датчиків системи OCTOPUS щодо деформації корпусу судна і його хитавиці до початку роботи баластної системи;

- дублюванні всього масиву даних за допомогою системи CARGOMASTER;

- отриманні та обробці сигналів від датчиків трьох систем (розробленої, OCTOPUS та CARGOMASTER) з отриманням інформації про швидкість наповнення баластних танків судна та оцінювання градієнта зміни хитавиці судна при конкретно взятому значенні його осадки і ступеня наповненості баластних танків;

- оцінюванні ступеня наповненості всіх баластних танків судна під час операцій його занурення або спливання;

- кількісному визначенні паразитного обсягу повітря всередині кожного баластного танка.



Рис. 10. Принципова схема інтеграції системи OCTOPUS з розробленою системою руйнування паразитних обсягів повітря; ДР – датчик рівня; ДД – датчик деформації; УІР – ультразвуковий індикатор рівня

На підставі вимірів, проведених системами OCTOPUS і CARGOMASTER, встановлено, що інтегрування розробленої системи в умовах роботи судна SSSL “Target” компанії Dockwise–Boskalis під час операції повного занурення судна призвело до зниження усереднених навантажень на його корпус. Різниця в порівнянні з випадком звичайного занурення судна склала 3,4 %.

Для монтажу системи усунення паразитного повітря з баластних трюмів судна розроблений універсальний перелік основних монтажних операцій. Детально описана розроблена технологія з'єднання елементів повітряної системи всередині баластного танка. Сформульовано вимоги до монтажу складного повітряного трубопроводу високого тиску з нерівномірним розподілом його прямолінійних ділянок щодо довжини і ширини танка.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Дисертаційне дослідження містить нове вирішення актуального науково-технічного завдання, яке полягає в розробці нових принципів функціонування технічних систем суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT, що забезпечують істотне підвищення якості їх експлуатації за рахунок використання нової системи видалення надлишкового повітря з робочих об'ємів баластних танків і зниження аварій, пов'язаних з додатковою хитавицею судна.

Найбільш важливими науковими і практичними результатами, отриманими в процесі виконання дослідження є:

1. Незалежно від технологій заповнення баластних танків суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT при зануренні або спливання судна виникає ефект присутності затиснених паразитних повітряних об'ємів всередині баластних танків. Їх обсяг відповідає діапазону від 360 до 672 м³. В ході свого коливального руху вони можуть викликати явища додаткових коливань судна, які можуть призводити до аварійних ситуацій, пов'язаних з втратою керованості судном або навіть до його перекину.

2. В результаті використання динамічної теорії, в основі якої лежить визначення динамічних сил, що діють з боку рідини на повітряний пухирець, встановлений факт скупчення більшої частини паразитних обсягів повітря не в центральних частинах, а в кутових зонах баластних танків.

3. Встановлено, що при своєму руйнуванні значна зміна обсягу паразитного повітря від 2 до 3,5 раз відповідає діапазону часу від 1,8 до 2,2 хвилини. Потім характер зменшення паразитного повітряного міхура стає незмінним незалежно від його початкового об'єму. За цей період часу відбувається зміна всіх гідродинамічних показників процесу коливання двофазного (водно-повітряного) потоку в баластному танку, що призводить до подальшої зміни основних робочих характеристик судна – його остійності, кута неконтрольованого кренування тощо.

4. Тиск ударного струменя впливає тільки на початковий процес руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку. Протягом

перших двох хвилин після початку подачі ударного струменя відбувається різке зменшення обсягу повітряного міхура. В подальшому вплив величини тиску перестає позначатися. Починаючи з величини умовної межі часу, що дорівнює 4,5 хвилини для руйнування повітряних об'ємів потрібен значно менший тиск – не 0,5 МПа, а 0,3 МПа.

5. Використання розробленої системи руйнування паразитного повітря всередині баластних танків судна скорочує час баластування судна на 12 %, а її робота позитивно впливає на неконтрольовану хитавицю судна. При висоті хвилювання морської поверхні 0,5 метра кут крену судна був при інших рівних умовах знижений з 2 градусів, відповідних нормальному штатному зануренню судна, до 1,5 градусів, відповідних зануренню судна з експлуатацією системи руйнування паразитного повітря всередині баластних танків.

6. Починаючи з рівня висоти морської хвилі, що перевищує значення 0,35 м розроблена система привносить значний внесок в підвищення безаварійної роботи судна. У числових показниках рівень неконтрольованої хитавиці судна на хвилюванні без працюючої системи руйнування паразитного повітряного об'єму і з нею відрізняється при висоті хвилі в 0,3 м на 0,12 градуса, при висоті хвилі 0,6 м на 0,65 градуса, а при висоті хвилі 1 метр на 1,2 градуса.

7. Розроблено алгоритм інтегрування і спільної роботи розробленої системи видалення паразитних об'ємів повітря всередині суднових баластних танків зі штатними судновими системами контролю стану судна OCTOPUS і CARGOMASTER.

Для технологічної схеми їх спільної роботи розроблена і детально описані методика проведення основних робочих операцій і алгоритм роботи системи автоматизованого управління.

Сформульовано основні технологічні вимоги до проектування та монтажу системи видалення паразитного повітря з баластних танків судна.

8. Обґрунтованість і вірогідність результатів підтверджується коректно поставленою науковою метою досліджень, використанням апробованого математичного апарату, відповідністю отриманих результатів і розрахунків.

9. 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.

10. Перспективними напрямками подальших досліджень можуть бути: створення методики визначення просторового розташування паразитного обсягу повітря всередині баластних танків залежно 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях:

1. Палагин А.Н. Основные принципы новой технологии проведения балластных операций на судах погружного типа *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2016. № 2(57). С. 221-229.
2. Malahov A., Gudilko R., **Palagin A.**, Maslov I. Efficiency improvement of ships operation by water-fuel emulsion using *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. № 3 (8). С. 48-53. *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази: "Україніка наукова"; Index Copernicus; DOAJ; World Cat; Ulrich's Periodicals Directory; DRIVER; BASE; Electronic Journals Library, SCOPUS.* (Внесок дисертанта: формулювання математичного апарату та аналіз результатів експерименту).
3. Палагин А. Н. Технологическая схема системы баллаستирования судов погружного типа SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2016. № 4(59). С. 230-241.
4. Палагин А. Н. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков *Науковий вісник НЛТУ України*. 2017. № 27 (5). С. 109-113.
5. Малахов А. В., **Палагин А. Н.**, Маслов И. З. Моделирование процесса разрушения воздушных пузырей при заполнении замкнутых объемов *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017. № 2(61). С. 76-83. (Внесок дисертанта: розробка математичної моделі, аналіз та опис головних результатів досліджень).
6. Malahov A., **Palagin A.**, Maslov I., Gudilko R. Improvement of ship ballasting system *Технологический аудит и резервы производства*. 2017. № 4/1 (36). С. 25-29. *Журнал входить у міжнародні наукометричні бази: Ulrich's Periodicals Director, DRIVER, BASE, Index Copernicus, Research Bib, DOAJ, World Cat, EBSCO, Directory Indexing of International Research Journals, DRJI, OAJI, Sherpa/Romeo, Open Access.* (Внесок дисертанта: безпосередня участь у проведенні експериментальних досліджень та аналіз результатів експерименту).

Статті у збірниках матеріалів і тез конференцій:

7. Маслов И. З., **Палагин О. М.** Підвищення надійності експлуатації морських суден за рахунок застосування гідроаеродинамічних процесів *Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту*: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Ізмаїл: ДІ НУ "ОМА", 2016. 262 с. (Внесок дисертанта: обробка результатів дослідження).
8. Математическое моделирование особенностей движения струйных потоков / Гудилко Р. Г., Малахов А. В., Стрельцов О. В., Бендеберя Ф. А., **Палагин А. Н.** *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості*: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. Івано-Франківськ: Івано-Франківський технічний університет нафти

і газу, 2015. 265 с. (внесок дисертанта: аналіз теорії струменів та опис математичної моделі).

9. Малахов А. В., Палагін А. Н. Система стабилизации судов типа HEAVY–LIFT *Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування CEUTTOO–2016* : матеріали 7 Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2016. 259 с. (внесок дисертанта: аналіз та опис конструктивних схем суднових систем баластування).

10. Малахов А. В., Палагін А. Н., Гудилко Р. Г., Малахова Д. О. Изучение процесса разрушения движущихся воздушных каверн внутри заполненных балластных танков судов погружного типа SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT *Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт* : матеріали науково-технічної конференції, Частина 1. Одеса : НУ “ОМА”, 2017. 279 с. (внесок дисертанта: проведення розрахунків та опис теоретичних результатів).

11. Малахов А. В., Палагін А. Н. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков судов погружного типа *Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство ТМІЕТ – 2017* : матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Херсон : Херсонська державна морська академія, 2017. 153 с. (внесок дисертанта: обробка і аналіз результатів дослідження та опис методу баластування судна).

АНОТАЦІЯ

Палагін О. М. Вдосконалення системи вивантаження баластної води на погружних морських судах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / Національний Університет “Одеська морська академія”. Одеса, 2019.

Дисертація присвячена підвищенню якості експлуатації технічних систем суден погружного типу за рахунок використання нової системи усунення надлишкового повітря з баластних танків судна і зниження аварій, що пов’язані з додатковою хитавицею судна.

В роботі запропоновані та проаналізовані основні напрямки вирішення проблеми підвищення ефективності роботи погружних морських суден шляхом розробки нових принципів функціонування їх технічних систем, що забезпечують істотне підвищення якості їх експлуатації, підвищують надійність їх роботи на хвилюванні і скорочують терміни проведення вантажно-розвантажувальних операцій на хвилюванні зі зниженням показників їх аварійності.

В основній частині роботи наведена формалізація процесу руху повітряної каверни по поверхні води в судновому баластному танку під час хитавиці судна, та розглянуто вплив характеристик цього процесу на ефективність руйнування паразитного повітряного кластера. В процесі

дослідження, розроблена нова система усунення паразитного повітря з робочих обсягів баластних танків.

Теоретичні дослідження руху повітряного кластера в баластному танку виконані з використанням дифенційних рівнянь ізотермічного двовимірного руху, рівняння нерозривності і моменту газової фази. На підставі теорії струменів отримано результат, що свідчить про скупчення паразитних обсягів повітря не в центральних частинах, а в кутових зонах суднових баластних танків.

Експериментальні дослідження виконано під час занурення та спливання судна погрузного типу “Target” компанії Dockwise–Boskalis в умовах широкого діапазону висоти хвилювання морської поверхні. За рахунок впровадження розробленої системи рівень неконтрольованої хитавиці судна був знижений з 2 до 1,5 градусів. Час топінговки у порівнянні з стандартною операцією знижений на 2 %, а судові керуючі системи OCTOPUS і CARGOMASTER у співпраці зафіксували, що навантаження на корпус судна у порівнянні з стандартною операцією баластування зменшилось на 3,4 %, що підтверджено відповідним актом.

Запропонована нова технологія організації процесу стабілізації хитавиці судна з постійним контролем та корегуванням кута його неконтрольованого крену і проведена перевірка її ефективності в умовах роботи судна.

На основі синтезу отриманих наукових результатів вирішення допоміжних завдань та узагальнення досвіду експлуатації суден погрузного типу вирішене головне завдання дослідження – знижені показники аварійності і підвищені експлуатаційні характеристики суден погрузного типу.

Ключові слова: судно погрузного типу, хитавиця, кут неконтрольованого крену судна, ударні струмені, баластний танк, паразитний повітряний обсяг, навантаження на корпус судна.

SUMMARY

Palagin O.M. Improvement of the ballast water discharge system on submersible marine vessels. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.22.20 – operation and repair of transport vessels / National University “Odessa Maritime Academy”. Odessa, 2019.

The dissertation is devoted to improve the quality of technical systems operation of the submersible type ships due to the use of a new system for discharge excess air from ballast tanks of the ship and reducing accidents, which are connected with the additional pitching of the vessel.

The main directions of the problem solution of submersible marine vessels efficiency increasing are investigated and analyzed. This was accomplished by developing new principles for the functioning of their technical systems, which provide a significant increase in the quality of their operation, increase the reliability of their work on sea swell and shorten the timing of cargo load operations with a decrease of their accident rates.

In the main part of the work the formalization of the air cavity movement process along the surface of the water in the ballast tank of the vessel during the hovering of the ship is given, and the influence of the characteristics of this process on the efficiency of the destruction of the parasitic air cluster is considered. In the course of research, a new system of eliminating parasitic air from the working volumes of ballast tanks has been developed.

Theoretical studies of air cluster movement in a ballast tank are made using the differential equations of isothermal two-dimensional motion, the equation of continuity and the moment of the gas phase. On the base of jets theory, a result has been obtained, indicating that the accumulation of parasitic volumes of air takes place not in the central parts, but in the angular zones of ship ballast tanks.

Experimental research was carried out during the immersion and floating of the semi-submersible type vessel "Target", Dockwise-Boskalis company in conditions of a wide range of altitude of sea surface excitement. Due to the introduction of the developed system, the level of uncontrolled vessel pitching has been reduced from 2 to 1.5 degrees. The time of the tank topping in comparison with the standard operation was reduced by 2 %, while the ship's control systems OCTOPUS and CARGOMASTER in cooperation noted that the load on the ship's hull, as compared to the standard ballasting operation, decreased by 3.4 %, as confirmed by the corresponding act.

New technology of organizing the stabilization process of the vessel's pitching with constant control and correction of the angle of its uncontrolled roll is proposed and its efficiency has been checked during the vessel operation.

Based on the synthesis of the obtained scientific results of the solution of auxiliary tasks and the generalization of the experience of the operation of submersible vehicles, the main task of the research is solved – reduced rates of accidents and increased operational characteristics of ships of the submersible type.

Key words: semi-submersible type vessels, pitching, angle of the uncontrolled vessel's pitching, shock jets, ballast tank, parasitic air volume, load on the ship's hull, sea wave highness.

АННОТАЦИЯ

Палагин А. Н. Совершенствование системы выгрузки балластной воды на погружных морских судах. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта / Национальный Университет "Одесская морская академия". – Одесса, 2019.

Диссертация посвящена повышению качества эксплуатации технических систем судов погружного типа за счет использования новой системы устранения избыточного воздуха из балластных танков судна и снижению аварий, связанных с дополнительной качкой судна.

В работе предложены и проанализированы основные направления решения проблемы повышения эффективности работы погружных морских судов путем разработки новых принципов функционирования их технических систем, обеспечивающих существенное повышение качества их эксплуатации, повышающих надежность их работы на волнении и сокращающих сроки проведения грузовых операций на волнении со снижением показателей их аварийности.

В работе описана формализация процесса движения воздушной каверны по поверхности воды в судовом балластном танке во время качки судна, и рассмотрено влияние характеристик этого процесса на эффективность разрушения паразитного воздушного кластера. Разработана новая система устранения паразитного воздуха из рабочих объемов балластных танков.

Теоретические исследования движения воздушного кластера в балластном танке выполнены с использованием дифференциальных уравнений изотермического двумерного движения, уравнения неразрывности и момента газовой фазы. На основании теории струй получен результат о скоплении паразитных объемов воздуха не в центральных частях, а в угловых зонах судовых балластных танков.

Экспериментальные исследования выполнены во время работы судна погружного типа “Target”, Dockwise-Boskalis в условиях широкого диапазона высоты волнения морской поверхности. За счет внедрения разработанной системы уровень неконтролируемой качки судна был снижен с 2 до 1,5 градусов. Время топпинговки по сравнению со стандартной операцией снижено на 2 %, а совместно работающие судовые управляющие системы OCTOPUS и CARGOMASTER зафиксировали, что нагрузка на корпус судна по сравнению со стандартной операцией балластировки уменьшилась на 3,4 %, что подтверждено соответствующим актом.

Предложена новая технология организации процесса стабилизации качки судна с постоянным контролем и корректировкой угла его неконтролируемого крена и проведена проверка ее эффективности в условиях работы судна.

На основе синтеза полученных научных результатов решения вспомогательных задач и обобщения опыта эксплуатации судов погружного типа решена главная задача исследования – снижены показатели аварийности и повышены эксплуатационные характеристики судов погружного типа.

Ключевые слова: судно погружного типа, качка, угол неконтролируемого крена судна, ударные струи, балластный танк, паразитный воздушный объем, нагрузка на корпус судна.

Підп. до друку 05.09.2019. Формат 60х84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И19-09-24

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003