

Національний університет "Одеська морська академія"

Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Палагін Олександр Миколайович

УДК. 629.123

ДИСЕРТАЦІЯ

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ВИВАНТАЖЕННЯ БАЛАСТНОЇ ВОДИ НА ПОГРУЖНИХ МОРСЬКИХ СУДНАХ

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 О. М. Палагін

Науковий керівник: Малахов Олексій Володимирович д. ф.–м. н, професор

Одеса – 2019

АНОТАЦІЯ

Палагін О.М. Вдосконалення системи вивантаження баластної води на погрузних морських суднах. – 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, 2018.

На підставі огляду літературних джерел проведено аналіз основних напрямків вирішення проблеми підвищення ефективності роботи погрузних 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 результаті аналізу було встановлено, що для вирішення сформульованої проблеми необхідно визначити залежність хитавиці судна та його неконтрольованого кута крену від хвилювання морської поверхні, та ступінь впливу на неконтрольований кут крену судна експлуатаційних показників нової системи руйнування надлишкових паразитних обсягів повітря в баластних танках судна. Обґрунтовано основний напрямок дисертаційного дослідження, яке присвячене розробці нових принципів функціонування технічних систем суден погрузного типу, що забезпечують істотне підвищення якості їх експлуатації за рахунок використання нової системи усунення паразитного повітря з робочих обсягів баластних танків і зниження аварій, що пов'язані з додатковою хитавицею судна.

Об'єктом дослідження є процес занурення або спливання суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT в умовах хвилювання морської поверхні, а предметом - технологічна система заповнення або

спорожнення технологічних баластних танків на судах погрузного типу – SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT.

Викладена методика наукових досліджень і розроблена їх технологічна карта, що містить наукові завдання, основні наукові результати, наукову значимість, практичну цінність та сформульоване наукове положення. Обґрунтовані методи вирішення наукових завдань та сформульована методика експериментальних досліджень в умовах роботи судна.

Сформульована мета, висунута гіпотеза і поставлене головне завдання досліджень, яке полягає у підвищенні ефективності роботи і експлуатаційних характеристик суден погрузного типу шляхом розробки нової технології усунення надлишкових паразитних обсягів повітря в судових технологічних танках. Обробка отриманих результатів виконувалася за допомогою сучасних програмних комплексів та методів математичної статистики.

Визначена практична цінність результатів наукової роботи. Вона надає можливість впровадження практичних рекомендацій, що були отримані під час досліджень. Сформульоване основне наукове положення. Дано опис всіх етапів вирішення складової задачі при виконанні дисертаційних досліджень. Вони включають в себе: теоретичний підхід з використанням сучасних теорій та методів аналітичного аналізу і проведення чисельних експериментів, який підтверджує коректність наукової гіпотези та одержаного і експериментально вивіреного способу впливу на неконтрольований крен та хитавицю судна погрузного типу, за рахунок руйнування паразитних обсягів повітря в баластних танках судна.

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

Виконано дослідження роботи суден погрузного типу під час занурення та спливання в умовах широкого діапазону висоти хвилювання морської поверхні. В результаті проведених досліджень сформульовано загальний

висновок, про те що надійність експлуатації та показники безаварійної роботи судна цілком залежать від руху надлишкових повітряних кластерів всередині баластних танків судна. Загальний обсяг таких кластерів, що відповідають защемленому 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 настання аварії або оверкилю судна.

На підставі огляду літератури зроблений висновок про відсутність наукових праць, в яких розглядається рух з руйнуванням великих обсягів повітря в воді за умови динамічного впливу з боку стінок каналу, в якому вони знаходяться. На підставі теорії струменів отримано результат, що свідчить про скупчення паразитних обсягів повітря не в центральних частинах, а в кутових зонах суднових баластних танків.

Теоретичні дослідження руху повітряного кластера в баластному танку та розроблена математична модель базувалися на одночасному моделюванні трьох складових потоків (ударних струменів, паразитного повітряного кластера та баластної води) з використанням початкових граничних умов та диференціальних рівнянь ізотермічного двовимірного руху, рівняння нерозривності і моменту газової фази. Під час чисельних експериментів постійно використовувався критерій їх якості у вигляді умови нульової різниці суми всіх проекцій швидкості на поверхні розриву між водою та повітрям.

Під час експериментальних досліджень в умовах роботи судна погрузного типу "Target" компанії Dockwise–Boskalis з урахуванням отриманих теоретичних результатів був вивірений новий метод усунення паразитних повітряних обсягів. Основою методу є розбивка великого паразитного повітряного кластера на ряд дрібних, які при рівномірному заповненні поверхні води в судновому танку призводять до зниження рівня коливань загальної маси баластної води та часу баластування судна. Основна

спрямованість експериментів була сфокусована на вимірюванні показників, що впливають на неконтрольований крен судна.

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

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. В результаті комплексної оцінки всіх результатів досліджень поведінки суден погрузного типу на хвилюванні була виконана оцінка ефективності розробленої системи. В якості критерія ефективності використано рівень неконтрольованої хитавиці судна під час операції занурення або спливання.

Для проектування системи руйнування паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків сформульований перелік її основних технологічних параметрів, наведені чисельні характеристики і сформульовані правила для їх вибору.

Для практичного використання розробленої системи видалення паразитних повітряних обсягів на судах погрузного типу виконано детальний опис методики проведення всіх технологічних операцій і універсального переліку основних монтажних операцій. Методика складена 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 суднових танків.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці нової технології усунення паразитних обсягів повітря під час топінговки баластних танків суден погрузного типу, що значно знижує показники аварійності та підвищує ефективність експлуатації судна і формулюванні основного принципу модернізації суднових технологічних схем баластування судна.

Результати дисертаційного дослідження, розроблені методики і програми розрахунків впроваджені в навчальний процес НУ "ОМА". Розроблена система видалення паразитних повітряних обсягів впроваджена на судні погрузного типу "Target" компанії Dockwise–Boskalis. Рівень його неконтрольованої хитавиці був знижений з 2 до 1,5 градусів, час топінговки у порівнянні з стандартною операцією знижений на 12 %, а суднові керуючі системи OSTOPUS і CARGOMASTER у співпраці зафіксували, що навантаження на корпус судна у порівнянні з стандартною операцією баластування зменшилось на 3,4 %, що підтверджено відповідними актами.

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

Основні наукові результати дисертаційного дослідження опубліковані в наступних наукових працях:

1. 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.

2. Malahov A. Efficiency improvement of ships operation by water-fuel emulsion using / Malahov A., Gudilko R., Palagin A., Maslov I. // 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.

3. Палагин А.Н. Технологическая схема системы баллаستировки судов погрузного 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. Моделирование процесса разрушения воздушных пузырей при заполнении замкнутых объемов / Малахов А.В., Палагин А.Н., Маслов И.З. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. – № 2(61). – С. 76–83.

6. Malahov A. Improvement of ship ballasting system / Malahov A., Palagin A., Maslov I., Gudilko R. // Технологический аудит и резервы производства.- 2017. - № 4/1 (36). – С. 25 – 29. Журнал входит 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.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

7. Маслов И.З. Повышение надежности эксплуатации морских судов за счет применения гидроаэродинамических процессов / Маслов И.З., Палагин А.М. // Матеріали VII – мої Всеукраїнської науково–практичної конференції ”Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту”, – Ізмаїл: ДІ НУ “ОМА”, 2016 – С. 116–122.

8. Гудилко Р.Г. Математическое моделирование особенностей движения струйных потоков. // Гудилко Р.Г., Малахов А.В., Стрельцов О.В., Бендеберя Ф.А., Палагин А.Н. // Матеріали II – ї Всеукраїнської науково–практичної конференції молодих учених і студентів “Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості”, – Івано–Франківськ: Івано–Франківський технічний університет нафти і газу, 2015 – 265 с.

9. 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 СЕУТТОО–2016”, – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016 – С. 29–30.

10. Малахов А.В. Изучение процесса разрушения движущихся воздушных каверн внутри заполненных балластных танков судов погружного

типа SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT / Малахов А.В., Палагин А.Н., Гудилко Р.Г., Малахова Д.О. // Матеріали науково-технічної конференції “Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт”, Частина 1. – Одеса: НУ “ОМА”, 2017, — 279 с.

11. Малахов А.В. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков судов погружного типа / Малахов А.В., Палагин А.Н. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство ТМІЕТ – 2017”, – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017 – С. 85–86.

ANNOTATION

Palagin O.M. Improvement of the ballast water discharge system on submersible marine vessels. - It is qualifying scientific laboron rights for a manuscript. The dissertation on competition a scientific degree of the candidate of technical science (Ph.D.). Speciality 05.22.20 - operation and repair of transport vessels. - National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, 2018.

On the basis of the literary sources review, the analysis of the main directions of the problem solution for increasing the efficiency of submersible marine vessels has been carried out by developing new principles for the functioning of their technical systems, which provide a significant increase in the quality of their operation, increases the reliability of their work on fluctuation, and shortens the prolongation of cargo loading and unloading operations with a decrease in their accident rates. As a result of the analysis, it was stated that for the solution of the formulated problem, it is necessary to determine the dependence of the vessel pitching and its uncontrolled bank angle from the sea surface wave oscillation and the level of influence on the uncontrolled angle of the ship's vessel operating from the main

performance indicators of a new system for excessive waste air volumes in ballast tanks of the vessel. The basic direction of the dissertation research is substantiated and is devoted to the development of the new principles of the functioning of the technical systems of the submersible type vessels, which provides a significant improvement in the quality of their operation due to the use of a new system for parasitic air eliminating from the working volumes of ballast tanks and reducing the accidents associated with the additional displacement of the vessel.

The object of research is the process of submergence or floating of SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT type vessels under conditions of sea surface oscillation, and the subject is a technological system for technological ballast tanks filling or emptying on SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT type vessels.

The methodic of scientific researches is described and their technological map containing scientific tasks, basic scientific results, scientific significance, practical value and formulated scientific position was developed. The methods of scientific tasks solution were stated and for conditions of the ship operation the method of experimental research was formulated.

The objective is formulated, the hypothesis is advanced and the main task of the research is stated, which is to increase the efficiency of the operation and performance characteristics of semi-submersible vehicles by developing a new extraction technology for excessive parasitic volumes of air inside the vessel technological tanks. Processing of the obtained results was carried out with the help of modern software complexes and methods of mathematical statistics.

The practical value of the scientific work results is determined. It provides the opportunity to introduce practical recommendations that were obtained during research. The basic scientific provision is formulated. The description of all stages of the problem solution for the complex task in the course of dissertation research is given. They include: a theoretical approach with the use of modern theories and methods of analytical analysis and numerical experiments, which confirms the correctness of the scientific hypothesis and the experimentally derived method of

influencing of the uncontrolled banking and pitching of a submersible vessel due to the destruction of parasitic volumes of air in ballast tanks of a ship.

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.

The study of the operation of semi-submersible type vessels during diving and floating in conditions of a wide range of altitude of sea surface oscillation is performed. As a result of the research, a general conclusion was formulated that the reliability of operation and the performance of the vessel completely depends on the movement of excess air clusters inside ballast tanks of the vessel. The total volume of such clusters corresponding to the jammed space of the tank can reach up to 10%. With the size of ship tanks from 3600 to 6720 m³ a damping of useful space can take place in the volume from 360 to 672 m³, respectively. The movement of such huge volumes of air during the pitching of the vessel invariably leads to its uncontrolled additional banking and increases the probability of an accident or overkill of the vessel.

On the basis of the literature review a conclusion about the absence of scientific works, that describe the movement with the destruction of large volumes of air in the water with the dynamic effect of the walls of the channel in which they are located was done. Based on the theory of jets, a result has been obtained, indicating that the accumulation of parasitic volumes of air happens not in the central parts, but in the angular zones of ship ballast tanks.

Theoretical studies of air cluster movement in a ballast tank and the developed mathematical model were based on simultaneous simulation of three main component streams (shock jets, parasitic air cluster and ballast water) using the initial and boundary conditions and differential equations of isothermal two-dimensional motion, the equation of continuity and the momentum of the gas phase. During numerical experiments, the criterion of their quality was constantly used as

a condition of zero difference of the sum of all projections of velocity on the border surface between water and air.

During experimental research in the operation conditions of the semi-submersible vessel "Target" of the Dockwise-Boskalis company with taking into account the obtained theoretical results, a new method for parasitic air volumes destruction was verified. The basis of the method is the division of a large parasitic air cluster into a series of small bubbles, which, when uniformly filling the surface of water in a ship's tank, leads to a decrease in the fluctuations of the total mass of ballast water and the operation time of vessel ballasting. The main focus of the experiments was focused on those indicators measuring that affect the uncontrolled ship's pitching.

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 semi-submersible vessels, the main task of the research is solved - reduced rates of accidents and increased operational characteristics of semi-submersible ships.

There was offered a new technology for organizing the stabilization process of the vessel's shaft with constant control and correction of the angle of its uncontrolled pitching and the efficiency of its work on the vessel has been checked. As a result of the integrated assessment of all the results of research on the behavior of semi-submersible type ships in anxiety, an evaluation of the effectiveness of the developed system was performed. As an efficiency criterion, the level of uncontrolled pitching of a ship during diving or floating operation was used.

For the design of a parasitic air volumes destruction system inside ballast tanks, a list of its main technological parameters was formulated, numerical characteristics were stated and formulated rules for their selection were given.

For practical use of the developed system for removing parasitic air volumes on semi-submersible vessels, a detailed description of the methodology for conducting all technological operations and the universal list of basic assembly operations was performed. The technique is based on the characteristics of the ship's diving or floating operation. It contains numerical ranges for: operating parameters of ballast

and drainage pumps, angles of the pitch and the ship's differentials, levels of ballast tanks topping, submersion depths of the vessel, time of ship tanks ballasting.

The practical significance of the obtained results lays in a development of a new technology for destruction of parasitic volumes of air during ballast tanks of semi-submersible vessels topping, which significantly reduces the accident rates and improves the operation of the vessel and formulates the basic principle of modernization of vessel technological schemes for ballasting the vessel.

The results of the dissertation research, the developed methodologies and programs of calculations are implemented in the educational process of the NU "OMA". The developed system for removing parasitic air volumes has been introduced on the semi-submarine vessel "Target" Dockwise - Boskalis company. The level of its uncontrolled pitching has been reduced from 2 to 1.5 degrees, the time of vessels ballasting in comparison with the standard operation was reduced by 12%, and the ship's control systems OCTOPUS and CARGOMASTER in cooperation have recorded that the load on the ship's hull in comparison to the standard ballasting operation decreased by 3.4%, which is confirmed by the relevant acts.

Keywords: 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.

The main scientific results of the dissertation research are published in the following scientific papers:

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 O. Efficiency improvement of ships operation by water–fuel emulsion using / Malahov A., Gudilko R., Palagin A., Maslov I. // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 3(8). – С. 48–53.
Журнал входить у міжнародні наукометричні бази: "Україніка наукова";

IndexCopernicus; ПИНЦ; DOAJ; WorldCat; Ulrich's Periodicals Directory; DRIVER; BASE; Electronic Journals Library, SCOPUS.

3. Палагин А.Н. Технологическая схема системы баллаستировки 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. Моделирование процесса разрушения воздушных пузырей при заполнении замкнутых объемов / Малахов А.В., Палагин А.Н., Маслов И.З. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. – № 2(61). – С. 76–83.

6. Malahov A. Improvement of ship ballasting system / Malahov A., Palagin A., Maslov I., Gudilko R. // 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.

Publications which certify approbation of materials of dissertation:

7. Маслов И.З. Повышение надежности эксплуатации морских судов за счет применения гидроаэродинамических процессов / Маслов И.З., Палагин А.М. // Матеріали VII – мої Всеукраїнської науково-практичної конференції "Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту", – Ізмаїл: ДІ НУ "ОМА", 2016 – С. 116–122.

8. Гудилко Р.Г. Математическое моделирование особенностей движения струйных потоков. // Гудилко Р.Г., Малахов А.В., Стрельцов О.В., Бендебера Ф.А., Палагин А.Н. // Матеріали II – ї Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів "Інформаційні технології в освіті,

техніці та промисловості”, – Івано–Франківськ: Івано–Франківський технічний університет нафти і газу, 2015 – 265 с.

9. Малахов А.В. Система стабилизации судов типа HEAVY–LIFT / Малахов А.В., Палагін А.Н. // Матеріали 7–мої Міжнародної науково – практичної конференції “Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО–2016”, – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016 – С. 29–30.

10. Малахов А.В. Изучение процесса разрушения движущихся воздушных каверн внутри заполненных балластных танков судов погружного типа SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT / Малахов А.В., Палагин А.Н., Гудилко Р.Г., Малахова Д.О. // Матеріали науково–технічної конференції “Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт”, Частина 1. – Одеса: НУ “ОМА”, 2017, — 279 с.

11. Малахов А.В. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков судов погружного типа / Малахов А.В., Палагин А.Н. // Матеріали міжнародної науково–технічної конференції “Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство ТМІЕТ – 2017”, – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017 – С. 85–86.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	17
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СУДЕН ПОГРУЖНОГО ТИПУ SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.....	27
1.1. Основні відмінні конструктивні особливості суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.....	27
1.2. Основні процедури, які використовуються в роботі баластної системи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.....	33
1.3. Порівняльні технічні характеристики суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY LIFT.....	41
1.4. Висновки по розділу 1	47
РОЗДІЛ 2. ГОЛОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	49
2.1. Обґрунтування теми наукового дослідження.....	49
2.2. Характеристика методів дослідження дисертаційної роботи.....	57
2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження.....	63
2.4 Висновки по розділу 2.....	64
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ РУХОМИХ ПОВІТРЯНИХ КАВЕРН ВСЕРЕДИНИ ЗАПОВНЕНИХ БАЛАСТНИХ ТАНКІВ	66
3.1. Основні аспекти теорії плавання повітряних бульбашок в рідинах.....	66
3.2. Математична модель руйнування повітряної каверни в воді	72
3.3. Опис чисельної схеми вирішення задачі про руйнуванні повітряної каверни в воді	78
3.4. Теоретичне дослідження процесу руйнування повітряного міхура обмеженого поверхнею води і стінками суднового танка	81
3.5. Висновки по розділу 3	88

РОЗДІЛ 4. МЕТОД УСУНЕННЯ ПАРАЗИТНИХ ПОВІТРЯНИХ ОБСЯГІВ ВСЕРЕДИНІ БАЛАСТНИХ ТАНКІВ СУДЕН ПОГРУЖНОГО ТИПУ SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT	91
4.1. Аналіз механічного способу руйнування повітряних обсягів всередині суднових баластних танків	91
4.2. Експериментальне дослідження процесу руйнування повітряного міхура, обмеженого поверхнею води і стінками суднового танка	95
4.3. Ступінь впливу основних параметрів системи усунення повітряних обсягів всередині баластних танків на хитавицю суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT	103
4.4. Висновки по розділу 4	112
РОЗДІЛ 5. ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ ПАРАЗИТНОГО ПОВІТРЯ НА СУДНАХ ПОГРУЖНОГО ТИПУ SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT	114
5.1. Основні характеристики суднових систем OSTOPUS і CARGOMASTER	114
5.2. Удосконалення технології заповнення або відбору води з баластних танків	117
5.3. Основні технічні параметри системи подачі струменів під тиском.....	124
5.4. Алгоритм комбінованої роботи розробленої системи зі штатними судновими системами контролю стану судна OSTOPUS і CARGOMASTER	134
5.5. Монтаж системи усунення паразитного повітря з баластних трюмів судна	138
5.6. Висновки по розділу 5	144
ВИСНОВКИ	146
ЛІТЕРАТУРА.....	149
Додаток 1. Акт впровадження НУ "ОМА"	160
Додаток 2. Акт впровадження "Dockwise Boskalis"	162

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЦПУ – центральний пульт управління;

Q – витрата насосу, $\text{м}^3/\text{год}$;

Draft – диферент судна, м;

m – маса, кг;

r – радіус, м;

F_x, F_y – дві складові зовнішньої сили, яка призводить до руху повітряного міхура, Н.

ξ – поздовжнє переміщення хвилі, м;

A_r – амплітуда коливань, м;

ε_r – фаза коливань;

r – параметр коливань;

l – довжина каналу, по якому рухається хвиля, м;

x – період коливань повітряного обсягу при проході подвійної відстані від однієї стінки танка до іншої;

c – швидкість поширення найвищої точки хвилі, м/с;

f – висота хвилі, м;

V_x і V_y – поздовжня і поперечна складові швидкості хвилі, м/с;

P – тиск, Па;

h – глибина води, м;

R – радіус повітряної сфери, м;

α – коефіцієнт поверхневого натягу рідини в якій плаває пухірець повітря, Н/м;

Bo – число Бонда;

λ – коефіцієнт гідравлічного тертя;

k_1 – коефіцієнт геометричної форми течії;

n_1 – коефіцієнт пропорційності, який становить величину сумарного коефіцієнта місцевих втрат;

Re – число Рейнольдса;

ρ – щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$;

k_2 – коефіцієнт форми дисперсної складової;
 η – динамічна вязкість води, Па·с;
 w_2 – швидкість руху повітряного міхура в каналі, м/с;
 w_0 – середня швидкість по перетину каналу, м/с;
 l_2 – характерний розмір повітряного міхура, м;
 μ_k – об'ємна концентрація повітря по відношенню до обсягу води;
 D – гідравлічний діаметр каналу, м;
 m_b – маса частинки, кг;
 v – швидкість частинки, м/с;
 β – коефіцієнт, що відображає внутрішній фазовий перехід, кг/(м³с);
 ε – показник ступеня однорідності потоку;
 U – локальна швидкість частинки, м/с;
 V – об'єм частинки, м³;
 β – коефіцієнт, що відповідає моменту внутрішнього фазового переходу при взаємодії потоку води з потоком повітря;
 D_p – діаметр частинки, м;
 μ – динамічна вязкість, Па·с;
 C_d – коефіцієнт опору;
 S_p – доданок, що відповідає за передачу моменту в системі рухомих частинок повітря, Н/м³;
 τ – тензор вязких напружень, кг/(мс²);
 v_a – поточна швидкість частинки в розрахунковому вузлі, м/с;
 δ – дельта-функція;
 r, r_a – повний і частковий (спроектований на напрямок руху частинки) радіус вектор відносного положення частинки, м;
 T – поточна температура потоку, °С;
 y – координата в вертикальному напрямку, м;
 k_3 – коефіцієнт швидкості заповнення баластного танка;
 t – час, с;

V_k – компресійна поправка для величини повній швидкості на межі поділу між повітрям і водою, м/с;

N, M – чисельні крайові межі для розрахункових перетинів при моделюванні, шт;

H – повна висота розташування води в баластному танку, м;

k – величина, що відображає швидкість заповнення баластного танка забортною водою;

i, j – поточний індекс, що показує номер розрахункового перетину в напрямку осей OX і OY відповідно;

l – ширина баластного танка, м;

S_n і S_t – початкова і поточна площа повітряного міхура, m^2 .

ВСТУП

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

Специфічні особливості конструктивного виконання таких суден при зануренні або спливанні судна на місці приймання або здачі вантажу завжди призводять до однієї і тієї ж проблеми – виникнення і подальшого хаотичного руху повітряних порожнин всередині заповнених водою танків судна. Внаслідок дуже великого обсягу таких порожнин їх інерційні характеристики під час руху всередині об'єму рідини можуть призводити до посилення хитами судна, давати високі додаткові навантаження на корпус судна або приводити до виникнення аварійних ситуацій з негативним результатом – втратою вантажу, затопленням судна і т. і.

З урахуванням цього в роботі свого рішення вимагає дуже актуальна науково-технічна задача, яка 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 усунення надмірного повітря з робочих обсягів баластних танків і зниження аварій, пов'язаних з додатковою хитами 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 от 26.06.2013, № 426, стратегії імплементації умовам директиви 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 і підвищення експлуатаційних характеристик суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT шляхом розробки нової технології усунення надлишкових паразитних обсягів повітря в судових технологічних танках.

Поставлена мета досягається вирішенням таких допоміжних завдань:

- виконати аналіз технологічних і експлуатаційних особливостей роботи суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT і в сукупності з результатами теорії плавання замкнутих обсягів в рідинах розробити нову технологію заповнення водою баластних танків для головного експлуатаційного режиму – баластуванні судна при його зануренні з присутністю в баластних танках великих паразитних повітряних обсягів;

- розробити на основі гіпотези про взаємопроникаючі континіуми математичну модель двовимірного ізотермічного коливального руху всередині судового 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 SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT.

Об'єктом дослідження є процес занурення або спливання суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT в умовах хвилювання морської поверхні.

Предметом дослідження є технологічна система заповнення або спорожнення технологічних баластних танків на судах погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT.

Методи дослідження. У роботі використані наступні методи досліджень: аналітичний метод для проведення порівняльної оцінки суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT, 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, які 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 дозволяють підвищити ефективність стабілізації крену суден погрузного типу під час хвилювання морської поверхні.

Вперше:

- отримано математичну модель, що дозволяє 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 в залежності від величини хвилювання морської поверхні.

Отримала подальший розвиток 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.

Практична цінність отриманих результатів полягає в наступному:

- для двох класів конструктивного виконання всіх існуючих суден погрузного типу виконаний аналіз основних технічних характеристик і технологічних схем роботи в ході якого встановлено, що з існуючих тридцяти дев'яти суден тільки чотири не мають світових аналогів, а всі інші судна

можуть розглядатися, як ідентичні одне одному і потребують модернізації технічних систем топінговки баластних танків;

- для зниження аварій на суднах 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 суднових 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 умовного часового кордону, 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.

Основні результати дисертаційних досліджень реалізовані: у роботі судноплавної компанії Dockwise–Boskalis, ship «Target»; в навчальному процесі національного університету «Одеська морська академія» при створенні курсу лекцій і лабораторних робіт з дисциплін: "Суднові допоміжні установки, палубні та вантажні системи" і "Загальносуднові системи, їх експлуатація і управління", що підтверджено відповідними актами впровадження.

Персональний внесок здобувача. Результати, які складають основний зміст дисертаційної роботи отримані автором самостійно.

У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать:

[17] – виконано аналіз теорії струменів і сформульовано опис математичної моделі;

[46] – виконано аналіз конструктивних схем суднових баластних систем і сформульована технологія їх експлуатації;

[47] – виконаний розрахунок процесу руйнування рухомих повітряних каверн всередині заповнених водою баластних танків і описані основні результати;

[48] – проведена обробка результатів експериментального дослідження процесу руйнування повітряних каверн у воді і описаний метод баластування судна;

[49] – сформульована математична модель та здійснено аналіз та опис основних результатів досліджень процесу усунення паразитного повітря з баластних танків судна;

[52] – виконана обробка результатів дослідження підвищення надійності експлуатації судна за рахунок використання струменевих гідродинамічних технологій;

[112] – сформульована постановка математичної моделі руйнування повітряних бульбашок і описані результати експериментальних досліджень;

[113] – виконаний аналіз і детальний опис основних результатів проведених експериментальних досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення роботи та окремі її розділи доповідалися і отримали схвалення на науково–технічних конференціях професорсько–викладацького складу Національного університету "Одеська морська академія" 2016–2018 рр.

Також результати дисертації отримали апробацію на наступних конференціях:

6–та Міжнародна науково–практична конференція "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; II Всеукраїнська науково–практична конференція молодих учених і студентів ” Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості”, Івано–Франківськ, 2015; VII Всеукраїнська науково–практична конференція ”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 матеріали дисертаційної роботи і головні результати проведених досліджень були опубліковані в шести наукових роботах (серед них шість – у фахових збірниках, з яких 3 статті опубліковані без співавторів і 2 статті – у міжнародних науково-метричних базах), а також 5 апробаційних матеріалів.

РОЗДІЛ 1.

ОСНОВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ СУДЕН ПОГРУЖНОГО ТИПУ SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

1.1 Основні відмінні конструктивні особливості суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

В експлуатації морського транспорту судна погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT є унікальними через особливості свого конструктивного виконання [25]. Вони є одними з найбільших засобів водного транспорту на планеті і в сфері вантажоперевезень представляють собою окремий клас суден. Так, в якості прикладу, згідно з даними компанії Dockwise – Boskalis [95] максимальна довжина судна Dockwise Vanguard становить 275 метрів, а максимальна площа вантажний палуби дорівнює 19250 м². При цьому площа підстави нестандартного вантажу, що перевозиться на таких судах може на величину 20% перевищувати площу палуби і доходити до 23100 м². Саме надпотужне судно здатне піднімати до 110000 тон вантажу і транспортувати його на швидкості в 14 вузлів.

Головним призначенням суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT є перевезення нестандартних великогабаритних і великовагових вантажів – бурових платформ, суден, цілісних заводських залізобетонних конструкцій і т.п. Оскільки вантажі, що перевозяться на таких судах завжди відрізняються між собою і практично ніколи не повторюються то умови розміщення вантажу на палубі і вид кріплення, що використовується, завжди є індивідуальними. Цей факт ставить особливі вимоги до питань остійності судна, швидкості його оптимального ходу і особливо до

технологічних операцій, які використовуються при операціях його навантаження або розвантаження.

Конструктивне виконання суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT буває двох типів [10]. У першому випадку основна палуба судна з робочою площадкою для установки вантажу розташовується посередині між носом судна і його кормою на якій розташована надбудова. Приклад такого конструктивного виконання показаний на малюнку 1.1-б. У другому випадку вантажна палуба розташовується уздовж всього судна, а його надбудови знаходяться по бортах судна. Цей варіант конструктивного виконання показаний на малюнку 1.1-а.



а

б

Рисунок 1.1 – Конструктивні виконання суден погрузного типу

SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

а – поздовжня конструктивна компоновка;

б – поперечна конструктивна компоновка.

Основним принципом роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT при прийомці на борт нового вантажу або при його подальшому вивантаженні є операція занурення, або спливання під рівень, або над рівнем морської поверхні [23]. Залежно від технологій, що використовуються при зануренні або спливанні, можуть бути виділені два

класи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT, що принципово відрізняються між собою. У кожному з цих класів, як показано в наступних розділах, в якості основного конструктивного елемента використовуються технологічні баластні танки. У ці робочі обсяги, по мірі необхідності, або подається, або відбирається забортна морська вода. Головна відмінність між двома класами суден полягає в технології заповнення або спорожнення баластних танків.

Перший клас суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT працює на занурення і спливання за рахунок роботи штатних баластних насосів. При зануренні судна, у міру необхідності, ці насоси подають на судно забортну морську воду і, таким чином, поступово створюють умови для занурення судна на необхідну глибину [9–10]. Детальний опис процедури занурення судна описано в розділі 1.2.

Прикладом судна, що відноситься до першого класу може служити показане на малюнку 1.2 судно Target. Саме це судно було базовим при проведенні натурних досліджень і всі наступні науково-практичні результати були отримані під час його експлуатації.



Рисунок 1.2 – Судно Target

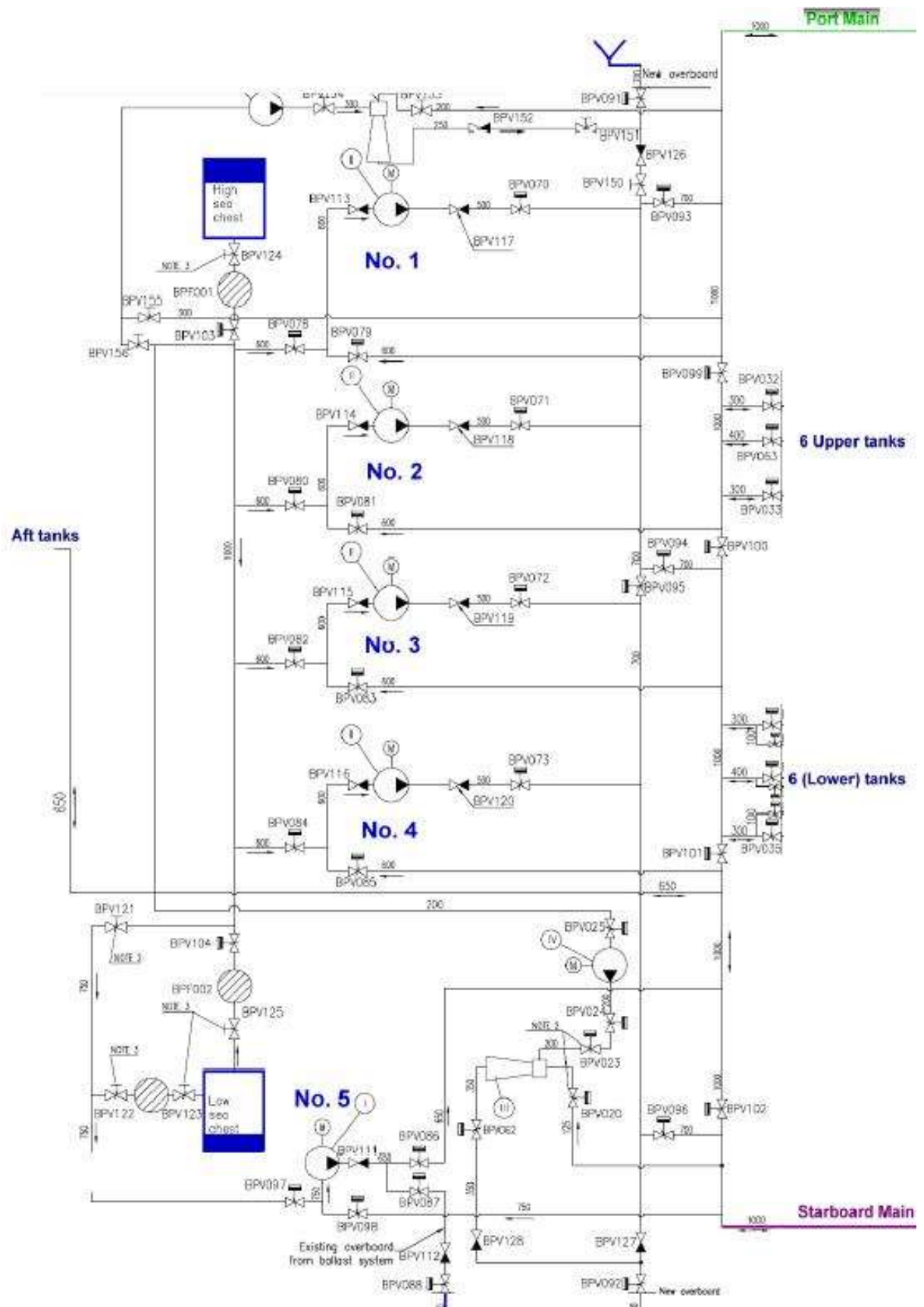


Рисунок 1.3 – Схема розташування баластних насосів на Heavy-Lift Target

Специфічною особливістю конструктивного виконання цього судна є організація технологічної схеми занурення за допомогою баластних насосів. Процес заповнення баластних танків, що дозволяє судну занурюватися під воду на глибину до 22 метрів організований за допомогою системи з п'яти баластних насосів. Загальна схема їх розташування показана на малюнку 1.3, де видно, що для подачі і відбору води була використана схема паралельного підключення насосів.

Продуктивність по витраті морської води, що нагнітається, повністю ідентичних між собою перших чотирьох насосів становить $2500 \text{ м}^3/\text{год}$ (на рис. 1.2 позначені як No. 1–4), а у п'ятого насоса (на рис. 1.2 позначений як No. 5) вона становить $4500 \text{ м}^3/\text{год}$. Призначенням останнього п'ятого насоса є забезпечення безперебійної подачі заборотної води під час режимів пікових навантажень. Найчастіше він використовується в операціях, пов'язаних з вирівнюванням крену судна, коли при сильному хвилюванні необхідно заповнювати заборотною водою баластні танки з боку певного борту. У поточній роботі судна цей насос є резервним і використовується не часто [9].

Другий клас суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT при ідентичних операціях вже використовує систему компресорів стиснутого повітря. В цьому випадку при спливанні судна за рахунок подачі стисненого повітря в баластні танки вода, що там знаходиться, під тиском видавлюється в відвідні лінії і скидається за борт судна. Під час вантажних операцій, коли судно необхідно опустити під рівень морської поверхні в роботу також включаються компресори. Як видно на малюнку 1.4, де показана схема розташування компресорної системи судна Transshelf, в трубопроводах, що з'єднують клінкети заборотної води і баластні танки судна, вони створюють розрядження, за рахунок якого і йде надходження заборотної води в баластні танки. Робота компресорів дублюється роботою системи насосів, які включаються в роботу починаючи з певного рівня наповненості танка. При використанні компресорних систем вивантаження води з баластових танків час повного спорожнення танків в порівнянні зі схемою

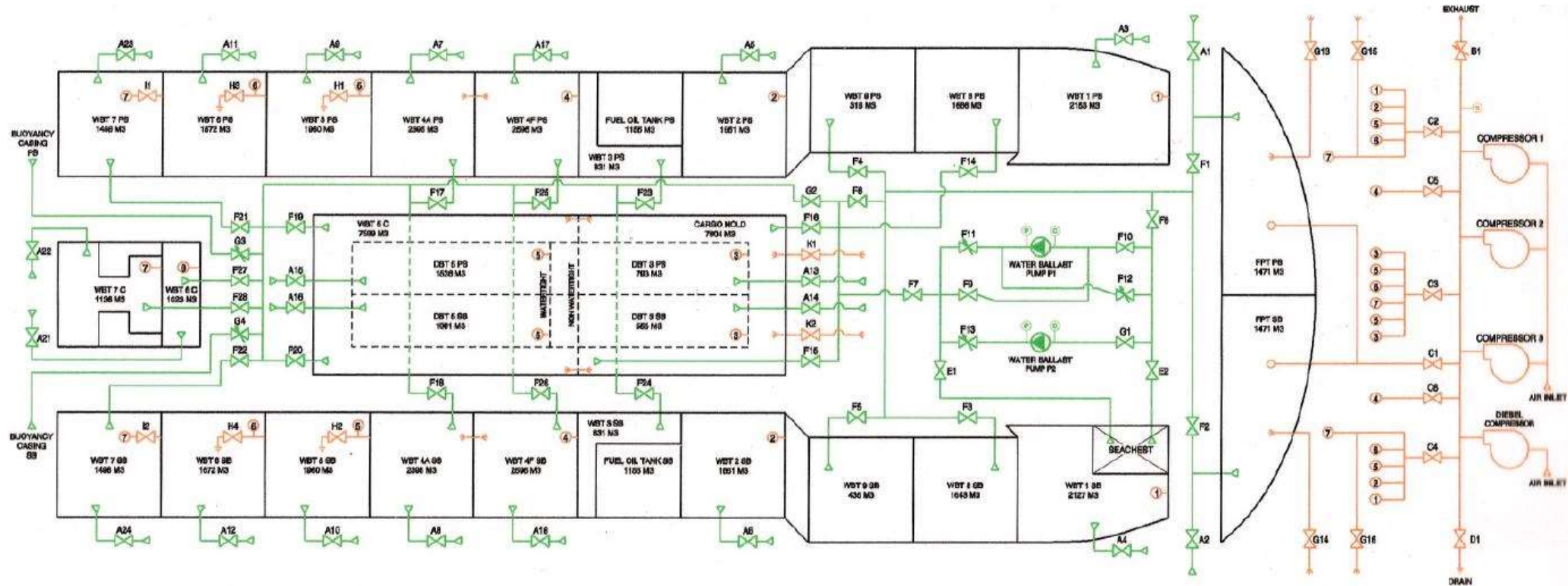


Рисунок 1.4 – Схема розташування компресорів на Heavy-Lift Transshelf

використання відкачування за допомогою водяних насосів зменшується в два рази [93]. Якщо у першого класу суден цей час становить в середньому 24 години, то у другого класу суден воно може перебувати в межах від 8 до 14 годин. Не дивлячись на той факт, що другий клас суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT більш оперативно може використовуватися при операціях навантаження або вивантаження вантажу найбільшого поширення набув перший клас суден. В основному це викликано:

- більш високою надійністю використання нагнітального насосного обладнання в порівнянні з повітряними компресорами;
- необхідністю спільної роботи компресорів і насосів для заповнення танків, що фактично призводить до дублювання їх роботи і робить недоцільним використання компресорів;
- високими показниками аварійності компресорів в порівнянні з насосами.

1.2. Основні процедури, які використовуються в роботі баластної системи суден типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.

Основними технологічними операціями при роботі суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT крім транспортування вантажу є занурення судна під рівень морської поверхні або спливання над нею. До цих операцій пред'являються підвищені вимоги в силу того, що вони безпосередньо пов'язані з прийомом нестандартних великогабаритних та великовагових вантажів. Ці операції в разі їх повністю регламентованого виконання визначають загальний рівень безаварійної роботи судна [46, 52].

Заповнення баластних танків судна заборотної морською водою складається з двох операцій:

- попереднього баластування заздалегідь визначених танків судна;

– основного баластування всіх інших танків судна.

Операція попереднього баластування починається від повністю остійного положення судна, коли воно знаходиться в надводному і повністю горизонтальному положенні. Кінцевим результатом цієї операції є те положення судна, при якому воно знаходиться в зануреному під воду стані. У цьому положенні занурення носової частини судна становить величину, що дорівнює $Draft F=12$ м, а занурення кормової частини становить відповідно $Draft A=13.5$ м.

Дисбаланс в горизонтальному положенні кормової і носової частин судна викликаний вимогою до остійності судна в зануреному стані. В основному це визначається конструктивним виконанням судна, оскільки вага його кормової частини перевищує відповідно вагу носової частини [10]. У разі повністю горизонтального занурення судна можлива поява силового моменту, який перевертає, що приводить до оверкилю (перевороту) судна [60]. Для уникнення подібної аварійної ситуації занурення судна здійснюють наступним чином: на початковому етапі проводиться занурення в воду кормової частини судна на глибину 1,5 м і тільки після цього починається повне занурення всього корпусу судна. У той момент, коли досягнута технологічно необхідна глибина занурення всього судна, воно вирівнюється в горизонтальне положення, тобто ніс судна опускають по відношенню до його кормової частини на глибину 1,5 м. Після вирівнювання судна починаються операції вантаження і кріплення на судновій вантажній палубі великогабаритного вантажу, що перевозиться. Вимога горизонтальності положення судна в повністю зануреному стані викликана регламентом проведення навантажувальних операцій.

Затоплення судна проводиться шляхом наповнення танків з подвійним дном (Double Bottom Tank) і центральних танків. Схема їх розташування на прикладі судна Heavy–Lift Target показана на малюнках 1.5–1.6. Аналіз наведеної на рис. 1.5 схеми і зібраних експлуатаційних характеристик судна дозволив зробити два висновки:

- на судні використовується 43 танки з подвійним дном;
- протягом експлуатаційного періоду судна, відповідного одному рейсу середньостатистична ступінь наповненості танків з подвійним дном неоднакова, а саме: повністю заповнені 60 – 70% танків, повністю порожніми є відповідно 40 – 30% танків.

Технологія наповнення танків з подвійним дном заборотної морською водою завжди базується на використанні тільки безнапірного руху, тобто заповнення проходить самопливом. В першу чергу проводиться заповнення порожніх танків і тільки потім вода подається в танки з уже наявними рівнем води. Подача заборотної води припиняється, коли всі танки з подвійним дном стають повністю заповненими.

Після заповнення бічних танків судна починається процес заповнення показаних на рис. 1.5 центральних танків. Подача води в ці танки також здійснюється без напору, тобто самопливом. В ході наповнення використовується обмеження, що обсяг води в танку повинен становити менше 50% від повного обсягу. Після перевищення цієї величини в роботу включаються показані на рис. 1.3 насоси заборотної води. В основному п'ятдесяти відсоткове обмеження викликано тим, що швидкість наповнення танків самопливом завжди різко падає через вплив гідростатичного тиску води в танку [59].

Якщо вимоги до часу повного занурення судна відсутні, то обмеження на заповнення танка самопливом збільшується до обсягу 60% і тільки після цього в роботу включаються баластні насоси.

Заповнення бортових і центральних танків проводиться одночасно в наступному порядку – заповнення центральних танків під номерами 1–WB.C, 2–WB.C, 3–WB.C, 4–WB.C, 5–WB.C, 6–WB. C (див. рис. 1.5) збігається з заповненням бортових танків з номерами 1–WB.S, 2–WB.S, 3–WB.S, 5–WB.S, 6–WB.S (див. рис.1.4).

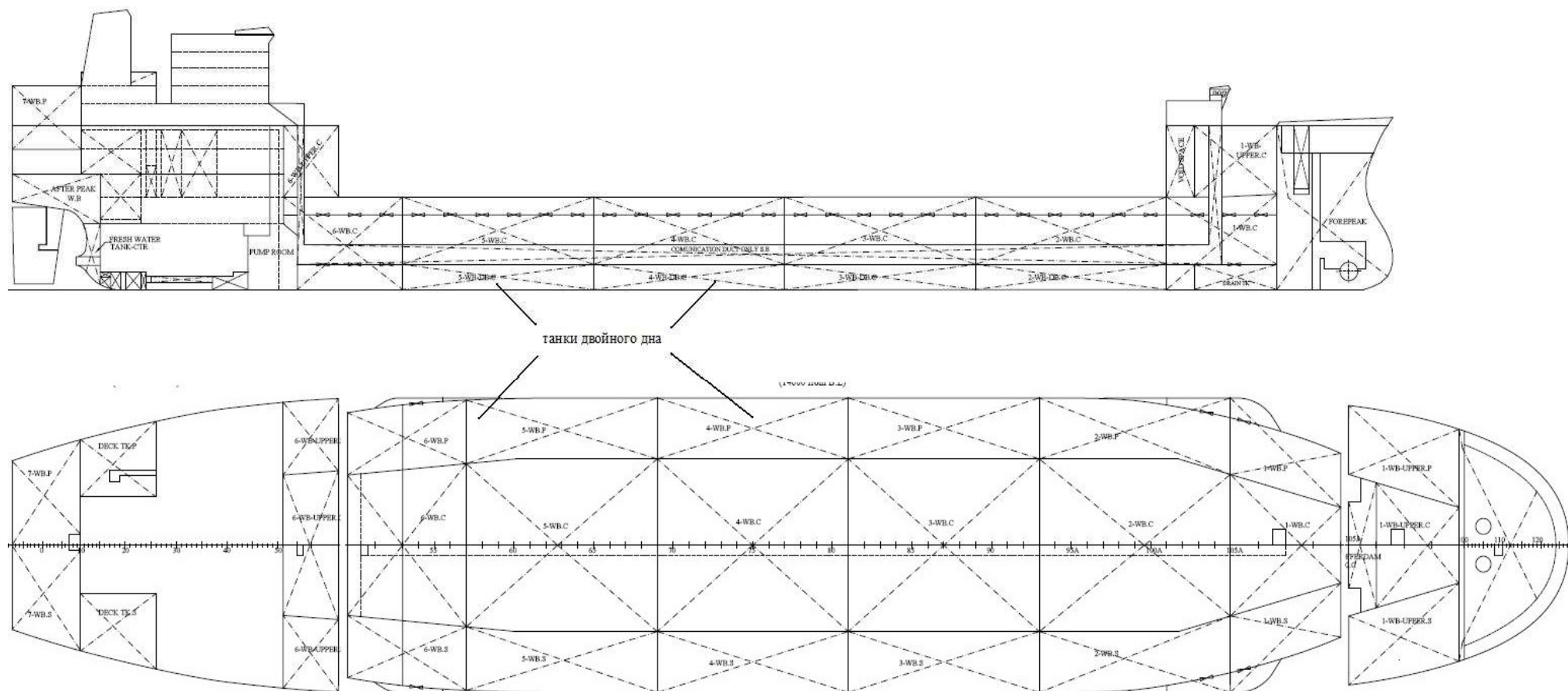


Рисунок 1.5 – Розташування танків з подвійним дном на судні Heavy-Lift Target

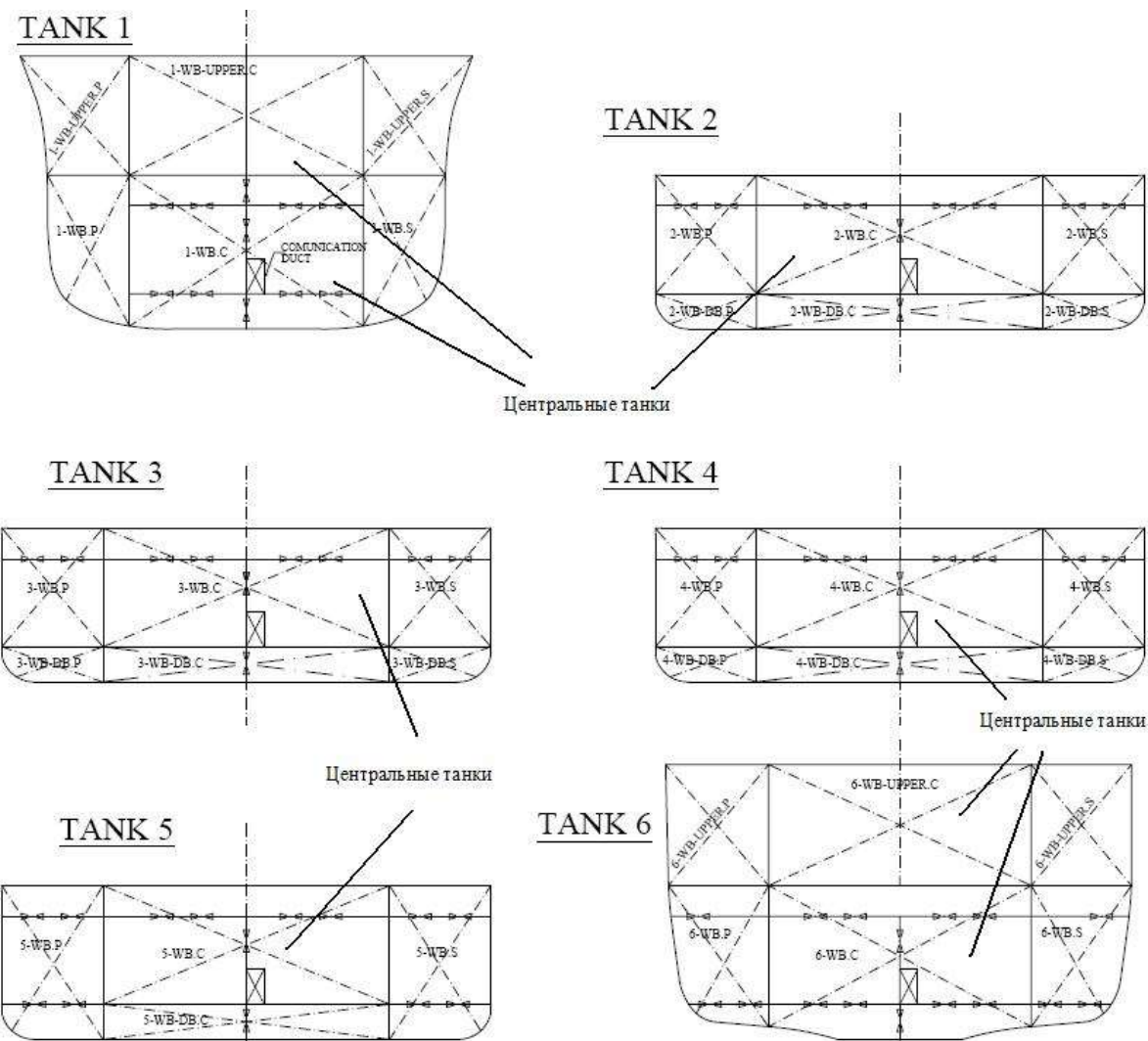


Рисунок 1.6 – Розташування центральних танків з подвійним дном на судні Heavy-Lift Target

Нормативними параметрами для зупинки операції попереднього баластування є наступні:

1. Ступінь наповнення забортною водою в обсязі рівному 80% від обсягу танка відповідає центральним танкам під номерами 1–WB.C, 2–WB.C, 3–WB.C.

2. Ступінь наповнення забортною водою в обсязі рівному 90% від обсягу танка відповідає центральним танкам під номерами 4–WB.C, 5–WB.C, 6–WB.C.

3. Ступінь наповнення забортною водою в обсязі рівному 75% від обсягу танка відповідає бортовим танкам під номерами 1–WB.S, 2–WB.S, 3–WB.S.

4. Ступінь наповнення забортною водою в обсязі рівному 50% від обсягу танка відповідає бортовим танкам під номерами 5–WB.S, 6–WB.S.

Відмінності в залишкових обсягах морської води, що є закачаною, в заповнюваних баластних танках викликані вимогою дотримання диференту судна, тобто перепадом рівнів розташування носової і кормової частин судна. Фактично, наведені вище чисельні значення щодо рівня заповнення відповідають максимальній остійності судна при знаходженні в повністю зануреному під воду стані.

Вимірювання процесу занурення судна у воду на стадії попереднього баластування з осадкою носової частини судна, що дорівнює Draft F=12 м і з осадкою кормової частини, що дорівнює Draft A=13.5 м дали наступні середні значення часу:

- з використанням баластних насосів від 3,5 до 4,0 годин;
- з використанням безнапірного потоку від 7,5 до 9,0 годин.

У разі використання на судах типу Heavy–Lift систем занурення, що працюють на основі використання компресорного устаткування основні операції попереднього і основного баластування, залишаються незмінними. Як видно на рис. 1.4 на відміну від попередньої технології заповнення танків основна подача забортної води на судні Heavy–Lift Transshelf здійснюється не

самопливом, а за рахунок розрядження, що створюється сумісною роботою системи з чотирьох компресорів.

У цьому випадку на стадії попереднього баластування до початку закачування забортної води в бічні танки судна, в них, за рахунок роботи компресорів створюється розрядження. При відкачуванні повітря з танків в їх вільному просторі створюється вакуум, величина якого зазвичай становить 0,3–0,4 атм. (30000–40000 Па). Тривалість операції по створенню вакууму зазвичай становить одну годину і її специфічною особливістю є регламентна перевірка працездатності системи суднових танкових клапанів [62]. Вона здійснюється за показаннями вакуумметрів в ході відбору повітря з баластних танків судна. У цьому випадку також перевіряється працездатність зливних суднових танкових клапанів [63].

Операція занурення судна з компресорно–насосною системою є ідентичною операції занурення на судні з насосною системою і на стадії попереднього баластування реалізується подачею морської води в бічні танки судна самопливом. З ростом гідростатичного тиску в танках за рахунок збільшення рівня наповнення витрата води може зменшуватися [5, 11, 37]. Як видно на рис. 1.4 для його підтримки на постійному рівні можуть додатково використовуватися два баластних насоси – один кормовий і один носовий. Саме за рахунок роботи цих насосів проводиться опресування бічних танків, тобто стовідсоткове заповнення їх обсягу з видаленням повітря. Це заповнення завжди проводиться з використанням системи переливних клапанів, так званих гусаків. Їх головне призначення полягає у видаленні надлишкового повітря з бічних танків судна і регулювання рівня води в ньому.

Стосовно до судна Heavy–Lift Transshelf робота системи компресорного занурення передбачає занурення судна під рівень на глибину носової частини 9,6 м, а кормової частини 11,9 м. Вирівнювання рівня води в танках за рахунок роботи переливних клапанів зазвичай починається з рівня занурення судна на глибину 10,5 м.

Робота компресорної системи занурення судна на відміну від насосної системи передбачає не одночасне, а послідовне заповнення бічних баластних танків судна [33, 38]. Технічно це реалізується в такий спосіб: допоміжний насос, що працює на заповнення конкретного танка відключається. Як тільки танк стає повністю заповнений, клапан на живильному трубопроводі закривається, і танк опресовується (видаляється все повітря) за рахунок роботи переливних клапанів. Потім проводиться відкриття клапана в танку, який є наступним у черзі на заповнення, після чого в роботу заново включається допоміжний насос.

Описана операція попередньої баластування в середньому триває близько трьох годин, і після її закінчення починається друга стадія – основне баластування. Цей етап також має свої специфічні особливості.

Під час баластування в першу чергу проводиться крен судна на лівий борт на величину від 1 до 1.5 градусів. Операція з виставлення крену судна здійснюється за рахунок наповнення забортної морською водою тих верхніх бортових палубних танків, які розташовані ближче до кормової частини. Заповнення танків здійснюється самопливом. Через велику швидкість нахилу судна, в ході цієї операції, здійснюється постійний контроль за креном судна і задані величини повороту регулюються шляхом почергового наповнення бортових танків. Вибір танка, що підлягає заповненню, залежить від швидкості крену і величини максимального кута крену, що дорівнює 1,5 градуса.

Ступінь занурення впливає на диферент судна і з цієї причини, коли під воду занурюється приблизно третя частина площі палуби, починається заповнення тільки центрального кормового танка з частковим заповненням носових танків, які грають роль компенсаторів диференту [58]. При цьому загальна осадка судна здійснюється за рахунок заповнення водою всіх палубних танків. Саме на стадії основного баластування крім компресорів, що створюють розрядження в танках судна в роботу включаються всі без винятку баластні насоси. Їх сумарна подача морської води відповідає обсягу кормових

танків, оскільки саме за рахунок цієї додаткової витрати води і з'являється можливість компенсувати диферент судна.

У тому випадку, коли при роботі компресорної і насосної систем занурення кормова частина судна занурюється в воду з великою швидкістю, заповнення центральних палубних танків зупиняється. Крен судна утримується на рівні від 1 до 1.5 градуса з диферентом носової і кормової частини від 3 до 4 м.

Після того, як вся палуба судна занурилася під рівень морської поверхні операція баластування проходить в звичайному режимі. При зануренні до потрібної глибини витримується або рівний киль, або підтримується диферент судна до 3 м.

При зануренні судна на малі глибини значення яких приблизно складають від 14 до 15 м існують специфічні особливості. Вони полягають у тому, що з причини підводних течій, або сильного хвилювання морської поверхні, судно може відчувати великий крен. У ряді випадків навіть можливий вихід з-під рівня води одного з бортів судна. В цьому випадку при зануренні необхідно збільшувати диферент судна в більшу сторону з вирівнюванням крену судна на величину, що не перевищує 1,5 градуса і продовжувати занурення судна до кінцевого значення осадки судна. При повному зануренні диферент судна повинен бути вирівняний, тобто повинна виконуватися умова його осадки у вигляді: $\text{Draft F} = \text{Draft A} = 13.5 \text{ м}$.

1.3 Порівняльні технічні характеристики суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

В даний час велика частина суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT, що працюють на ринку перевезень

великотоннажних та нестандартних великогабаритних вантажів належить тільки трьом судноплавним компаніям:

- Dockwise–Boskalis, Голландія (22 судна);
- Offshore Heavy Transport, Норвегія (5 суден);
- COSCO, Китай (7 суден).

Загальна кількість суден цих компаній складає 85% від світового великотоннажного флоту, а частина, що залишилася належить невеликим судноплавним компаніям:

- GPO, Норвегія (станом на 2017 рік в процесі будівництва знаходиться 4 судна);
- Combi–Lift, Німеччина (2 судна).

У таблиці 1.1 наведені загальні дані по всіх судах погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT, що експлуатуються станом на вересень місяць 2017 року, у кількості тридцяти дев'яти одиниць. Наведена класифікація суден по тоннажу відповідає прийнятій міжнародній класифікації.

В ході аналізу основних параметрів цих суден було проведено порівняння їх тоннажу і площі вантажної палуби. Саме ці два показники дозволяють робити висновки про конкурентоспроможність судна і його можливості транспортувати нестандартні великогабаритні вантажі.

Результати порівняння показані на малюнках 1.7–1.8, де видно, що більша частина суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT потрапляє в характерний діапазон вантажопідйомності від 40000 до 60000 т. На малюнку 1.7 вказані судна водного транспорту, що покривають 75% від загального обсягу суден і позначені на графіку номерами від дев'ятого до тридцять шостого.

При аналізі характерних площ вантажних палуб суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT були використані дані малюнка 1.8. На графіку показано, що велика частина нестандартних вантажів, відповідних діапазону розмірів палуби від 6000 до 8200 м² може перевозитися

Таблиця 1.1

Технічні показники суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

Назва судна	Тоннаж, тон	Габарити судна, м	Габарити палуби, м	Потужність, кВт	Глибина заглиблення, м	Осадка, м	Швидкість ходу, вузли
Компанія Dockwise–Boskalis							
Dockwise Vanguard	117000	275 x 78,75	275 x 70	28500	31,5	10,94	14,5
Blue Marlin	76061	224,8 x 63	178,2 x 63	23620	28,4	10,24	13
White Marlin	72000	216,7 x 63	177,6 x 63	16728	26	10	14,5
Black Marlin	57021	217,80 x 42	178,2 x 42	12640	23,3	10,08	14,5
Target	53868	216,79 x 44,5	130 x 44,5	15552	23	10,44	15
Treasure	53868	216,79 x 44,5	130 x 44,5	15552	23	10,44	15
Triumph	53818	216,79 x 44,5	130 x 44,5	15552	23	10,44	15
Transporter	53806	216,79 x 44,5	130 x 44,5	15552	23	10,44	15
Trustee	53013	216,79 x 44,5	130 x 44,5	15552	23	10,44	15
Talisman	53000	216,79 x 44,5	130 x 44,5	15552	23	10,44	15
Finesse	48000	216,75 x 43	177,6 x 43	16470	26	9,68	14
Forte	48000	216,75 x 43	177,6 x 43	16470	26	9,68	14

Назва судна	Тоннаж, тон	Габарити судна, м	Габарити палуби, м	Потужність, кВт	Глибина заглиблення, м	Осадка, м	Швидкість ходу, вузли
Mighty Servant 1	45407	190,03 x 50	150 x 50	14220	26	8,77	13
Transshelf	34030	173 x 40	132 x 40	16420	22	8,8	15,5
Swift	32187	180,96x32,26	126,6 x 31,66	11655	21,65	9,74	15,5
Teal	32101	180,96x32,26	126,6 x 31,66	11655	21,65	9,74	15,5
Tern	30060	180,96x32,26	126,6 x 31,66	11655	21,65	9,74	15,5
Swan	30060	180,96x32,26	126,6 x 31,66	11655	21,65	9,74	15,5
Mighty Servant 3	27720	181 x 40	140 x 40	14220	22	9,48	15
Fjord	23845	159,24 x 45,5	131,8 x 45,5	13700	20	6,11	12
Fiell	17880	147,24 x 36	119,8 x 36	13700	19	6,42	12,5
Super Servant 3	14138	139,09 x 32	116 x 32	6250	14,5	6,26	14
Компанія Offshore Heavy Transport							
Eagle	31809	199,33 x 42	113,7 x 42	20500	11	8	13
Falcon	31809	199,33 x 42	113,7 x 42	20500	11	8	13
Albatros	34797	204,325 x 42,5	129,5 x 42,5	20300	11,85	8,575	14
Osprey	54000	223,07 x 44,5	157 x 44,5	18175	13	10	13

Назва судна	Тоннаж, тон	Габарити судна, м	Габарити палуби, м	Потужність, кВт	Глибина заглиблення, м	Осадка, м	Швидкість ходу, вузли
Hawk	64900	223,07 x 55,5	157 x 55,5	18100	13	10,06	12,5
Компанія COSCO							
Xin Guang Hua	98000	255 x 68	208,4 x 68	11000	16	10,5	13,5
Xiang He Kou	48163	216,7 x 43	177,6 x 43	10500	13	9,68	13,5
Xiang Rui Kou	48232	216,7 x 43	177,6 x 43	10500	13	9,68	13,5
Xiang Yun Kou	48232	216,7 x 43	177,6 x 43	10500	13	9,68	13,5
Kang Sheng Kou	29131	156 x 36	125 x 36	1600	9	7,4	13,5
Tai An Kou	20131	156 x 36	125 x 36	1600	9	7,4	13,5
Xia Zhi Yuan 6	38000	195,2 x 41,5	153,6 x 41,5	3000	11	8,8	12
Компанія GPO							
4 однотипних судна споруди 2017 року	64000	225 x 48	183 x 48	3500	15	10,68	Немає даних
Компанія Combi-Lift							
Papenburg	4500	104,02 x 20,5	80 x 15	Немає даних	Немає даних	Немає даних	Немає даних
Pan Ocean	24172	174 x 40	148 x 48	Немає даних	Немає даних	Немає даних	Немає даних

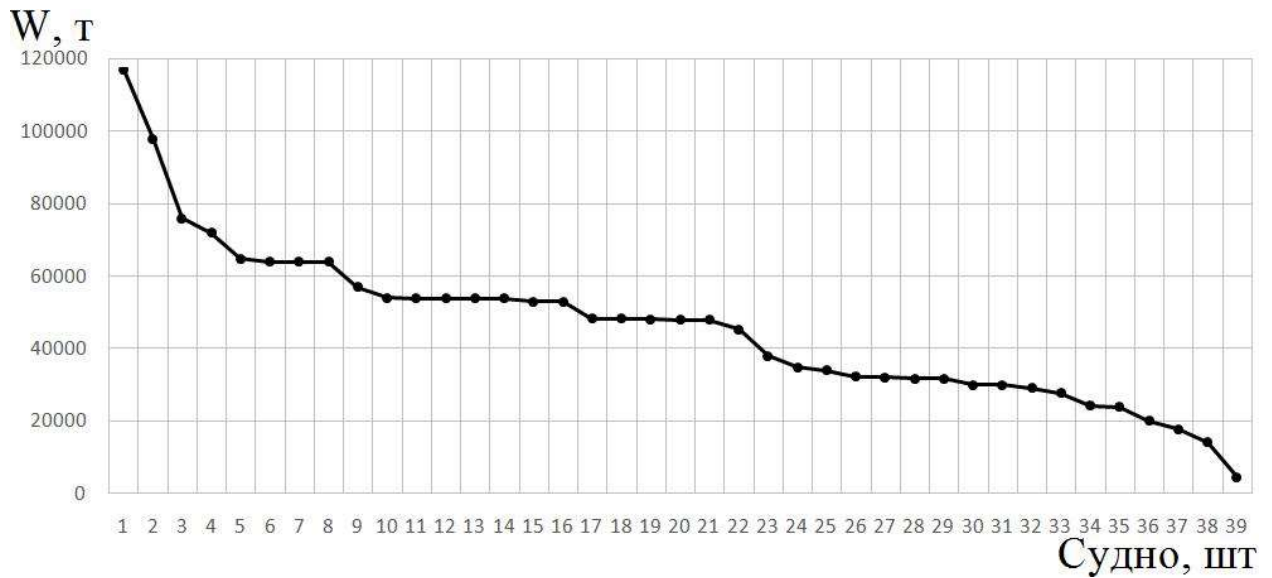


Рисунок 1.7 – Розподіл світового флоту суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT за вантажопідйомністю

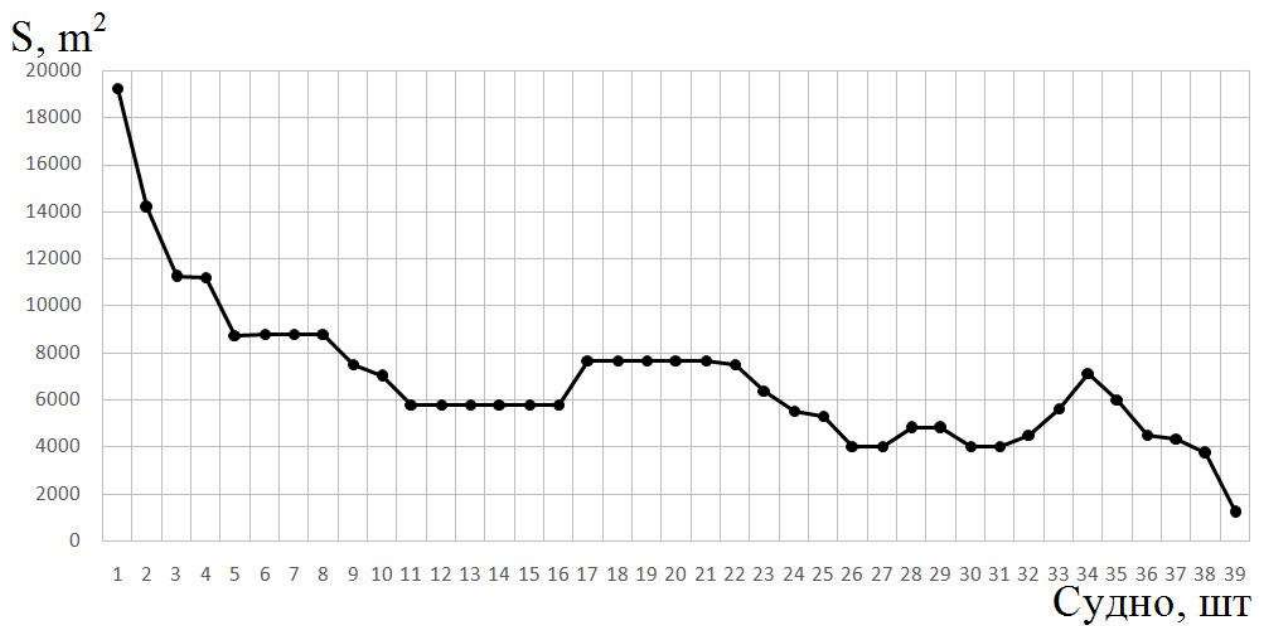


Рисунок 1.8 – Розподіл світового флоту суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT по площі вантажної палуби

на двадцяти трьох суднах, що відповідає 58,9% суден від їх загального обсягу. У діапазон габаритних розмірів вантажний палуби від 4000 до 8200 м² вже потрапляє 34 судна, що становить 87,1% суден від їх загального обсягу.

На основі наведених двох графіків можна зробити однозначний висновок про дуже жорстку конкуренцію на ринку перевезень нестандартних великогабаритних вантажів. Тільки чотири судна не мають світових аналогів і характеризуються унікальними розмірами своєї палуби, а також тоннажем вантажу, що транспортується. Всі інші судна можуть з невеликим наближенням розглядатися, як ідентичні одне одному.

При детальному аналізі конструктивних і технологічних параметрів суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT повинні бути сформульовані основні умови вдосконалення тих технічних систем, які відповідають за безперебійну експлуатацію судна [50]. Як було показано в попередніх розділах в більшій частині необхідність вдосконалення подібних систем пов'язана з виконанням технологічних операцій по баластуванню судна при його зануренні або спливанні.

1.4 Висновки по розділу 1

1. Судна погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT є унікальними через особливості свого конструктивного виконання і спрямованості роботи – перевезення нестандартних великогабаритних і великовагових вантажів. Площа підстави нестандартного вантажу, що перевозиться на таких судах, може на 20 % перевищувати площу палуби і доходити до 23100 м².

2. Конструктивне виконання суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT буває двох типів. У першому випадку грузова палуба судна для установки вантажу розташовується посередині між носом судна і його кормою на якій розташована надбудова. У другому випадку вантажна палуба розташовується уздовж всього судна, а його надбудови знаходяться по бортах.

В обох конструктивних виконаннях основним принципом роботи цих суден при прийомі на борт нового вантажу або при його подальшому вивантаженні є операція занурення, або спливання під рівень, або над рівнем морської поверхні.

3. В залежності від технології заповнення баластних танків судна погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT використовують або штатні баластні насоси, або систему компресорів подачі стисненого повітря.

В обох варіантах при зануренні або спливанні судна виникає ефект присутності паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків. У гідродинамічному наближенні такі повітряні бульбашки можуть розглядатися, як динамічно рухомі газоподібні структури всередині крапельної рідини, яка не стискається. В ході свого коливального руху вони можуть викликати явища резонансних коливань, коли збіг частоти коливання повітряного міхура всередині танка може збігтися з частотою коливання хвилі, яка взаємодіє з корпусом судна. Такі коливання можуть призводити до аварійних ситуацій, пов'язаних з втратою керованості судном або навіть до його оверкилю.

4. Жорстка конкуренція на ринку перевезень нестандартних великогабаритних вантажів викликана практично ідентичними характеристиками і параметрами суден, що використовуються. З тридцяти дев'яти існуючих в світі суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT тільки чотири судна не мають аналогів і характеризуються унікальними розмірами своєї палуби, а також тоннажем вантажу.

Умови вдосконалення технічних систем таких суден в основному пов'язані з виконанням технологічних операцій по баластуванню судна при його зануренні або спливанні.

РОЗДІЛ 2.

ГОЛОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОВЕДЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1. Обґрунтування теми наукового дослідження.

Відповідно до аналізу викладеного в розділах 1.1–1.3 опису роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT основна проблема в їх роботі полягає в підтримці диференту судна при операціях його занурення або спливання щодо рівня морської поверхні. Єдиним технічним прийомом в цьому випадку є комбіноване поєднання операцій попереднього і основного баластування судна [2, 47]. В ході їх проведення безперервно проводиться зміна диференту і крену судна. Це безперервна зміна має на увазі наповнення за номерами конкретних танків судна в чіткій послідовності і з певною швидкістю заповнення.

Закачування морської заборотної води в танки на етапі основного баластування передбачає використання суднових насосів, які запускаються безпосередньо з початку моменту занурення або спливання судна. До моменту їх введення в роботу ці насоси працюють в холостому режимі байпасної подачі, коли вся відібрана (при зануренні судна) морська вода скидається назад в море. Режим холостої роботи насосів підтримується в зв'язку з тим, що вони мають велику потужність, і їх постійний запуск, і зупинка при операціях зміни диференту судна (під час його кренування) дуже небажані [9, 75, 93]. Випадки роботи насосів безпосередньо на заповнення кормових і носових танків в режимі постійного пуску і зупинки можуть призводити тільки до їх аварії [23, 38]. Подача насоса в байпасному режимі зазвичай становить величину, що дорівнює 50–60% від максимально можливої подачі і завжди регулюється за допомогою штатної суднової гідравлічної апаратури.

При повному заповненні танків практично завжди спостерігається виникнення паразитних обсягів повітря. У всіх танках вони представляють собою повітряний міхур великого, але завжди кінцевого обсягу, що безперервно рухається уздовж поверхні води [46–49]. В якості оціночних даних можна констатувати, що максимальне значення таких паразитних обсягів повітря може доходити до 10% від обсягу всього танка. Фактично при відповідних середньостатистичних об'ємних розмірах суднових танків від 3600 до 6720 м³ може мати заземлення корисного простору танка в обсязі від 360 до 672 м³ відповідно [62–64]. Рух в баластних танках таких колосальних повітряних обсягів під час хитами судна незмінно призводить до його неконтрольованого додаткового розгойдування і підвищує ймовірність настання аварії. Слід особливо відзначити, що амплітуда і напрямок руху паразитного повітряного міхура всередині танка ніяким чином не пов'язані з характеристиками хвилювання морської поверхні або вітровим навантаженням на корпус судна і є мимовільними. Фактичні умови для настання резонансу, що приводять до перевероту судна завжди залишаються невизначеними.

Оскільки в залежності від розмірів судна середня площа поверхні танка в середньому становить від 300 до 560 м² усунути паразитний обсяг повітря за рахунок роботи штатних переливних клапанів не завжди можливо. При русі міхура його траєкторія не завжди збігається з місцями установки клапанів і тому можливе проскакування їх всмоктувальних робочих отворів. Найбільш ймовірними місцями скупчення повітря є кутові зони баластних танків. При русі паразитного повітряного обсягу всередині танка час його проходження через зону дії переливного клапана може бути набагато менше пропускного значення об'ємної витрати самого клапана.

Якщо використовувати гідродинамічне наближення, то повітряні пухирці можуть розглядатися, як динамічно рухомі газоподібні структури всередині крапельної нестислої рідини [43, 56]. Не дивлячись на той факт, що ці структури постійно змінюють свою зовнішню форму і положення в

просторі, вони повинні розглядатися як цілісні однорідні об'єкти, що володіють своєю власною приєднаною масою, інерційністю, частотою і періодом коливань [43–44, 91].

Під час свого коливального руху між протилежними стінками суднового танка паразитні обсяги повітря можуть викликати явища резонансних коливань, коли збіг частоти коливального руху повітряного міхура всередині танка може збігтися з частотою коливань взаємодіючих з корпусом судна морських хвиль [64]. Ці коливання будуть приводити корпус судна до додаткової хитавиці. В результаті виникнення незворотних резонансних коливань на судні завжди будуть виникати аварійні ситуації. Вони можуть проявлятися в надлишкових навантаженнях на корпус судна або навіть в його оверкилі. Технічне усунення таких коливань може стати неможливим через швидку дію коливального процесу, що виник. Приклад втрати остійності судном погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT "MV Transporter" показаний на малюнку 2.1 [96].

Розташування повітряного міхура в виділеній частині баластного танка може бути стаціонарним – в районі кутових зон або верхньої стінки танка. В цьому випадку негативна присутність повітря буде проявлятися в складності



Рисунок 2.1 – Втрата остійності судном “MV Transporter” [96].

остаточного баластування конкретних номерів тих танків, які відповідають за операції диференту або кренування судна.

Для вирішення проблеми усунення негативного впливу стаціонарних або таких, що динамічно змінюють своє положення всередині баластних танків повітряних порожнин на роботу системи занурення, або спливання судна був використаний підхід, який базується на принципі гідродинамічних нестійкостей [14, 16, 76, 92]. Відомо, що в разі руйнування повітряного міхура в воді в зоні турбулентного перемішування на кордоні розділу завжди повинен спостерігатися скачок концентрації води [39, 54, 100]. Цей скачок завжди виникає на межі середовищ різної щільності при їх русі з прискоренням.

У застосуванні до науково-технічної задачі, що розв'язується, мається на увазі поділ одиночного повітряного міхура великого розміру на ряд дрібних повітряних обсягів, що не взаємодіють між собою. Такий поділ має відбуватися за рахунок подачі з верхньої частини (стрингерів) суднового танка струменів повітря під тиском. Ці струмені можуть створюватися при роботі стандартного устаткування штатної суднової компресорної системи. Сама система повинна бути модернізована шляхом установки додаткового набору повітропроводів, які будуть укомплектовані набором ультразвукових датчиків рівня і системою форсунок, для створення струменів.

Для технічної реалізації цього гідроаеродинамічного процесу на судні може бути використаний підхід, наочно відображений в роботі [12]. У ній показано, як одиночний повітряний пухирець колапсує поблизу жорсткої поверхні з ефектом виникнення високошвидкісного струменя, спрямованого вниз. Він утворюється на вершині міхура при його колапсі. Механізм руйнування основного міхура, полягає в проходженні тонким струменем навколишньої до його поверхні рідини через порожнечу всередині повітряної бульбашки і зіткненні з його дном з подальшим затягуванням за собою зовнішнього кордону міхура [26]. Основні стадії такого руйнування показані на взятому з роботи [12] малюнку 2.2.

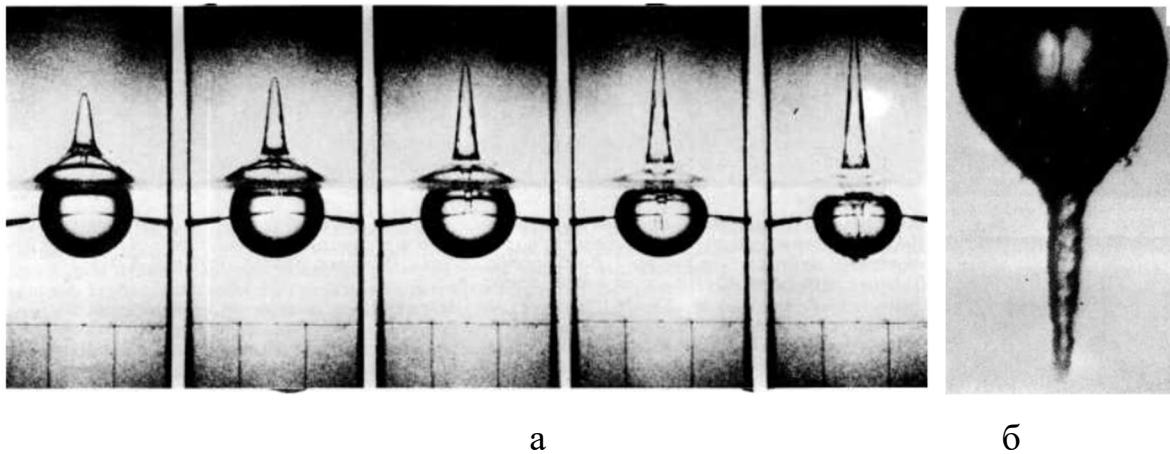


Рисунок. 2.2– Руйнування повітряної бульбашки на поверхні води [12]

а – різні фази руйнування

б – збільшений знімок останньої фази руйнування

У застосуванні до розглянутої задачі, про руйнування паразитних обсягів повітря всередині баластних трюмів судна, умови для створення тонкого струменя води будуть виконані при зіткненні поверхні повітряного міхура зі струменем повітря. Такий струмінь повинен витікати з встановленої на верхній частині суднового танка повітряної форсунки і виникненні на межі розділу зони стрибка концентрації води. Подача повітря під тиском може бути реалізована шляхом технічної модернізації суднової штатної компресорної системи.

У такому контексті відповідно до запропонованої в роботі [110] класифікації всі рухомі в рідині структуровані елементи з однокомпонентного газу або суміші газів можуть бути розділені на класи з використанням масштабного фактору. До цих класів відносяться:

- структурований шар або обсяг, що однорідно розширюється;
- пухирцеві обсяги;
- медузоподібні структури;
- турбулентні структури;
- бульбашки, що швидко розчинюються;

–псевдорідкий кластер.

У загальному вигляді, відповідно до цієї класифікації, вони все показані на схематичному малюнку 2.3 [110].

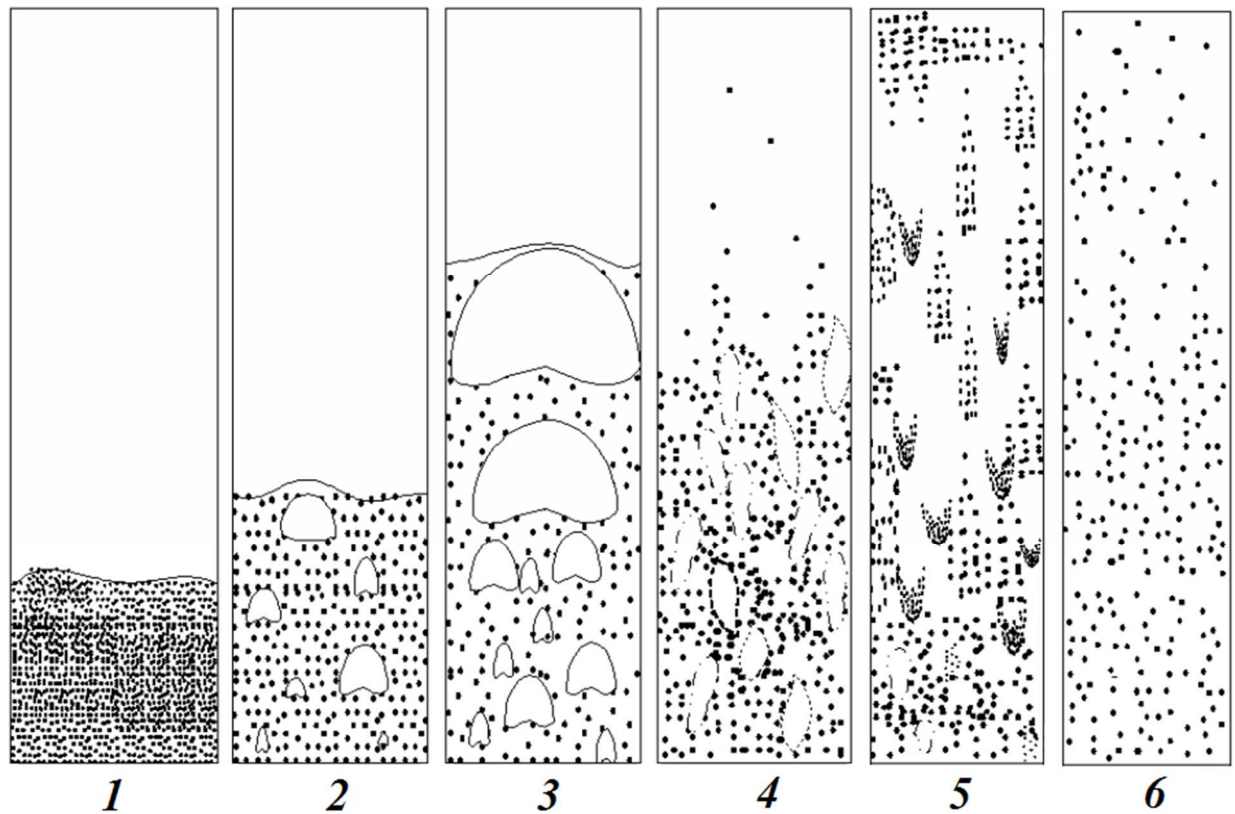


Рисунок 2.3 – Види структурованих газових елементів в рідині [110]

- 1 – структурований шар;
- 2 – пухирцеві обсяги;
- 3 – медузоподібні структури;
- 4 – турбулентні структури;
- 5 – бульбашки, що швидко розчинюються;
- 6 – псевдорідкий кластер;

З урахуванням вищевикладеного була сформульована основна науково–технічна задача, яка 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 усунення надмірного повітря з робочих обсягів баластних танків і зниження аварій, пов'язаних з додатковою хитавицею судна.

Таким чином, проблема стабілізації головних експлуатаційних показників роботи судна (хитавиці, кута крену, диференту судна, часу операцій з баластування суднових танків і т. і.) є дуже актуальною і перспективною. Це обумовлює вибір теми дисертації в наступній редакції: “Вдосконалення системи вивантаження баластної води на погрузних морських судах”

Для вирішення основної задачі досліджень по означеній проблематиці були сформульовані наступні допоміжні задачі досліджень:

- виконати аналіз технологічних і експлуатаційних особливостей роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT, і в сукупності з результатами теорії плавання замкнутих 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 континіуми 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 SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.

Актуальність тематики дисертаційного дослідження визначають вимоги до підвищення надійності роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT на хвилюванні і скорочення термінів проведення вантажно-розвантажувальних операцій без зниження показників їх аварійності.

Розробка технології стабілізації головних експлуатаційних показників судна під час хвилювання морської поверхні та процедури оцінки якості роботи системи стабілізації крену на хитавицю судна можуть розглядатися як головні складові наукової новизни дисертаційного дослідження.

Стабілізація та контроль кута крену судна під час проведення вантажних операцій на хвилюванні морської поверхні можуть значно знизити збитки від рівня аварійності або від повної втрати судна. Сукупність цих факторів є головною складовою економічної доцільності дисертаційного дослідження.

Повноцінна реалізація теоретичних досліджень та їх перевірка за рахунок використання обґрунтованих критеріїв якості з одночасним порівнянням з результатами натурних досліджень забезпечують можливість подальшого втілення в практику експлуатації суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT запропонованого наукового дослідження.

Об'єктом дослідження є процес затоплення або спливання суден погрузного типу SEMI-LIFT в умовах хвилювання морської поверхні.

Предметом дослідження є технологічна система заповнення або спорожнення технологічних баластних танків на судах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.

2.2. Характеристика методів дослідження дисертаційної роботи.

Для методологічного забезпечення дисертаційного дослідження була розроблена технологічна карта. Вона показана на малюнку 2.3. Приведена технологічна карта повністю відображає використаний спосіб вирішення головної задачі дисертаційних досліджень за рахунок використання методів системного підходу у сукупності з останніми досягненнями з області методологічних знань.

Сучасні запити практики напряду обумовлюють необхідність підвищення рівня безпеки умов експлуатації суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT при хвилюванні морської поверхні. Вони потребують розробку сучасних методів та технологій, проведення операцій їх баластування при проведенні занурення або спливання судна для прийому, або вивантаження нестандартних та великогабаритних вантажів.

Метою дисертаційних досліджень виступає підвищення ефективності роботи і підвищення експлуатаційних характеристик суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT шляхом розробки нової технології усунення надлишкових паразитних обсягів повітря в суднових технологічних танках.

Науковою гіпотезою дисертаційного дослідження прийнято допущення про можливість зменшення показників неконтрольованої хитавиці судна та зменшення його кута крену, за рахунок руйнування та видалення великих паразитних обсягів повітря в баластних танках, що призведе до зменшення неконтрольованого додаткового розгойдування судна і зменшить ймовірність настання аварії при його експлуатації.

Головна задача дослідження 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 усунення надмірного

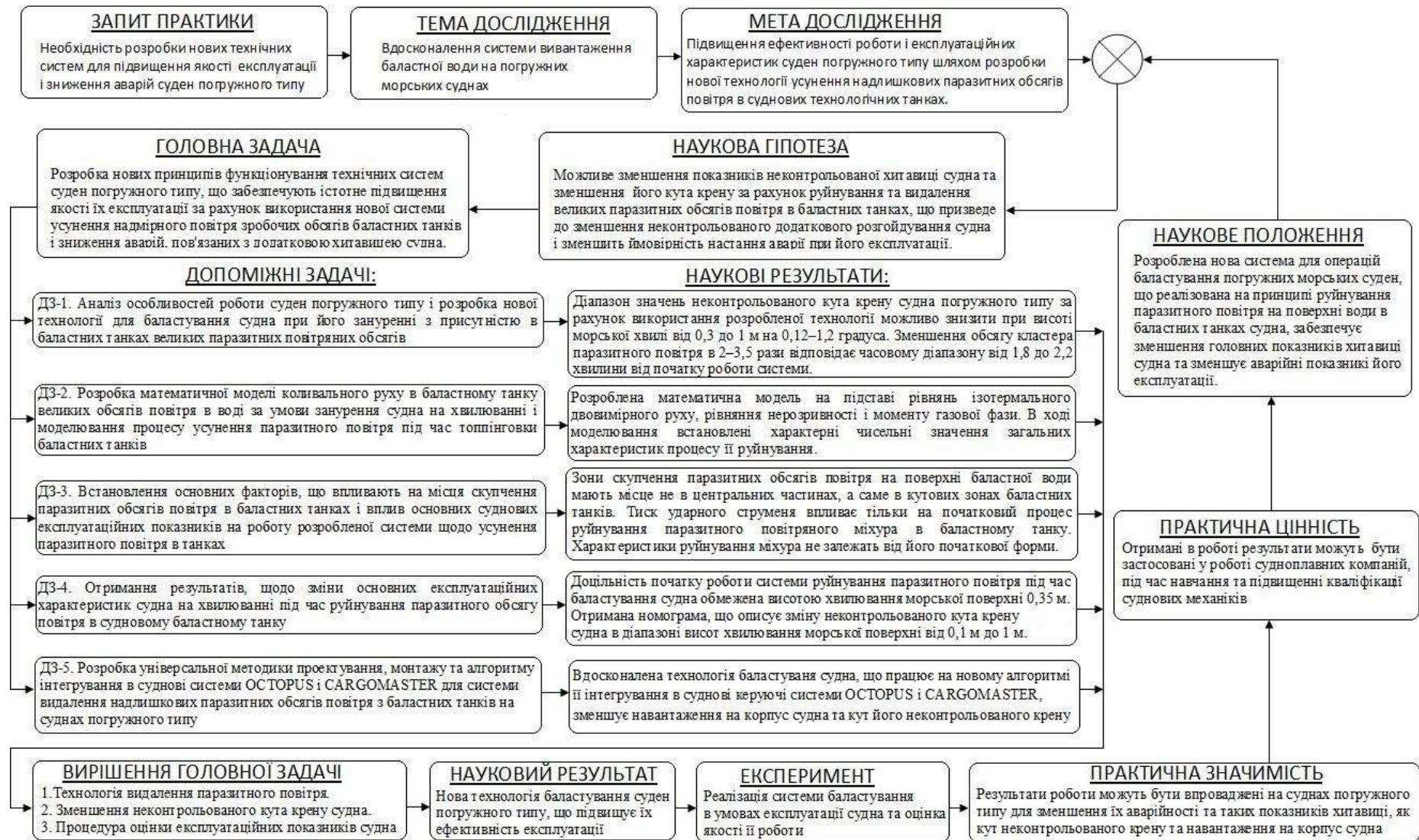


Рисунок 2.4 – Технологічна карта досліджень

повітря з робочих обсягів баластних танків і зниження аварій, пов'язаних з додатковою хитавицею судна.

Вирішення головної задачі досліджень може бути реалізовано за рахунок її декомпозиції на ряд незалежних між собою допоміжних задач досліджень. До них відносяться такі незалежні між собою складові задачі:

1. Виконати аналіз технологічних і експлуатаційних особливостей роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT і в сукупності з результатами теорії плавання замкнутих 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;

2. Розробити на основі гіпотези про взаємопроникаючі континіуми 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;

3. 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;

4. 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;

5. 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 суднах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT.

Формалізація першої допоміжної задачі вимагає проведення аналізу конструктивних особливостей суден погрузного типу, та встановлення меж щодо зміни головних показників експлуатації судна під час проведення операцій з прийому або вивантаження нестандартних та багато габаритних вантажів. Для можливості зменшення неконтрольованого кута крену судна та навантаження на його корпус необхідно визначити вплив нової технології руйнування паразитних повітряних кластерів всередині баластних танків на його хитавицю, та на тривалість проведення операцій баластування.

Формалізація другої задачі щодо розробки математичної моделі вимагає в першу чергу проведення синергетичного аналізу щодо гіпотези про самоорганізацію взаємопроникаючих континіумів повітря та води. На підставі аналізу такої незалежної задачі за допомогою диференціальних рівнянь двовимірної ізотермічного коливального руху великих обсягів повітря в воді всередині суднового баластного танка за умови роботи судна на хвилюванні можливо отримати показники, що будуть відображати ефективність процесу видалення паразитного повітря під час топінговки баластних танків.

Формалізація третьої задачі вимагає на підставі чисельного підходу з використанням розробленої математичної моделі встановлення основних факторів, що впливають на місця скупчення паразитних обсягів повітря в баластних танках. Під час її вирішення також необхідно визначити вплив основних експлуатаційних показників на роботу розробленої системи щодо усунення паразитного повітря в баластних танках.

Формалізація четвертої задачі вимагає експериментальне визначення в умовах роботи судна результатів, що відображають зміну основних експлуатаційних характеристик судна на хвилюванні під час проведення операцій баластування. Такі результати повинні бути отримані під час стандартної операції з баластування судна та з використанням технології руйнування та видалення паразитного обсягу повітря в суднових баластних танках. На основі порівняльного аналізу ідентичних показників можливо

отримати номограму залежності неконтрольованого кута крену судна від ступеня хвилювання морської поверхні.

Формалізація п'ятої задачі вимагає створення для суден погрузного типу методики проектування та монтажу нової системи руйнування паразитних обсягів повітря всередині баластних танків. Для зменшення навантажень на корпус судна та зменшення кута його неконтрольованого крену вирішення такої задачі буде реалізовано в створенні алгоритму інтегрування нової системи в суднові керуючі системи OSTOPUS і CARGOMASTER.

Під час вирішення незалежних між собою складових допоміжних задач були отримані наступні наукові результати:

- науковим результатом ДЗ-1 є нова технологія щодо зміни діапазону значень неконтрольованого кута крену судна погрузного типу. За рахунок використання розробленої технології цей кут можливо знизити при висоті морської хвилі від 0,3 до 1 м на 0,12–1,2 градуса. Зменшення обсягу кластера паразитного повітря в 2–3,5 рази відповідає часовому діапазону від 1,8 до 2,2 хвилини від початку роботи системи;
- науковим результатом ДЗ-2 є розроблена математична модель на підставі рівнянь ізотермального двовимірного руху, рівняння нерозривності і моменту газової фази за допомогою якої в ході моделювання встановлені характерні чисельні значення загальних характеристик процесу її руйнування.
- науковим результатом ДЗ-3 є локалізація зони скупчення паразитних обсягів повітря на поверхні баластної води, що має місце не в центральних частинах, а саме в кутових зонах баластних танків. Тиск ударного струменя впливає тільки на початковий процес руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку, а характеристики його руйнування не залежать від його початкової форми;
- науковим результатом ДЗ-4 є чисельна оцінка нижньої межі доцільності початку роботи системи руйнування паразитного повітря під час баластування судна, яка обмежена висотою хвилювання морської поверхні

0,35 м. Також була отримана номограма, що описує зміну неконтрольованого кута крену судна в діапазоні висот хвилювання морської поверхні від 0,1 м до 1 м;

- науковим результатом ДЗ-5 є вдосконалена технологія заповнення або відбору води з баластних танків на судах погрузного типу, що зменшує навантаження на корпус судна та кут його неконтрольованого крену та працює на новому алгоритмі її інтегрування в судові керуючі системи OSTOPUS і CARGOMASTER.

Прийнята наукова гіпотеза для суден погрузного типу про те, що під час їх баластування існує висока вірогідність зменшення неконтрольованого кута судна і навантажень на його корпус за рахунок руйнування великих обсягів паразитного повітря в баластних танках була повністю підтверджена отриманими результатами як теоретичного моделювання, так і експериментальними дослідженнями в умовах роботи судна.

Практична значущість результатів дисертаційного дослідження полягає у тому, що всі результати, що були отримані під час проведення наукових робіт можуть бути реалізовані на всіх без винятку судах погрузного типу для підвищення рівня їх безпеки та зменшення аварійності під час проведення технологічних операцій з їх баластування. Вони також можуть бути використані у галузях суднобудування та судноремонту для технічного обладнання суден погрузного типу, системами надійного та швидкого видалення надлишкового паразитного повітря з баластних танків.

Практична цінність результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що всі отримані чисельні діапазони, номограми та рекомендації можуть бути використані при керуванні суднами погрузного типу під час операцій їх занурення або спливання на хвилюванні морської поверхні. Також вони можуть бути застосовані при навчанні або підвищенні кваліфікації судових механіків.

Наукові результати, що були отримані при виконанні дисертаційного дослідження визначають його наукове положення у наступному вигляді –

розроблена нова система для операцій баластування погрузних морських суден, що реалізована на принципі руйнування паразитного повітря на поверхні води в баластних танках судна, забезпечує зменшення головних показників хитавиці судна та зменшує аварійні показники його експлуатації.

2.3. Методика проведення дисертаційного дослідження

Для проведення теоретичних та експериментальних досліджень була розроблена методика, що включає в себе виконання основних стадій наукових робіт з використанням відповідних методів.

Згідно з теорією проведення дослідницьких робіт за допомогою методу дедукції необхідно провести комплексний аналіз основних напрямків вирішення проблеми підвищеної аварійності суден погрузного типу під час їх спливання або занурення при хвилюванні морської поверхні. Така проблема обумовлена неконтрольованою хитавицею судна при проведенні вантажних операцій з використанням операції баластування суднових танків і саме вона обумовлює вибір основного напрямку і теми дисертаційного дослідження.

Другим етапом, що відображено в технологічній карті дослідження, є декомпозиція головної задачі на ряд незалежних складових задач. Для їх вирішення задіяне використання методів та теорій, що забезпечують методологічне обґрунтування всіх напрямків дисертаційного дослідження. Реалізація таких напрямків буде сформована у вигляді комплексного обсягу аналітичних виразів, номограм та чисельних діапазонів, що будуть відображати зміни неконтрольованого кута крену судна в залежності від ступеня хвилювання морської поверхні та зміни загального обсягу паразитних кластерів повітря в суднових баластних танках.

Третій етап виконання дисертаційної роботи має бути направлений на зменшення навантажень на корпус судна під час проведення баластних

операцій. Під час його реалізації слід сформулювати головні положення щодо застосування технології заповнення або відбору води з баластних танків на суднах погрузного типу. Для підвищення експлуатаційних показників судна необхідно задіяти алгоритм інтегрування нової технології в керуючі системи OSTOPUS і CARGOMASTER, що використовуються для управління судном.

Заключний етап роботи полягає у формулюванні головних вимог щодо монтажу та експлуатації всіх елементів технологічної системи видалення паразитного повітря з баластних танків судна під час його роботи в широкому діапазоні висоти хвилювання морської поверхні.

2.4 Висновки по розділу 2

1. На основі детального аналізу головних особливостей експлуатації суден погрузного типу зроблений обґрунтований вибір теми дисертаційних досліджень і сформульовані їх основні напрямки. Приведений детальний опис розробленої технологічної карти досліджень і показано, що вона містить методологічну структуру дисертації в сукупності з її методологічним забезпеченням.

2. Розроблена технологічна карта досліджень. Вона базується на подальшій реалізації мети дисертаційної роботи, а також її головної задачі, що була декомпонована на п'ять незалежних складових задач.

Робоча гіпотеза, що є основою наукових досліджень роботи сформульована і підтверджена за рахунок вирішення незалежних п'яти складових задач. Для кожної задачі отримані відповідні наукові результати.

Дано опис основних наукових положень роботи, які мають наукову новизну. Наведено теоретичні та експериментальні результати дослідження, що були отримані вперше.

3. Подано опис значущості і практичної цінності науково-практичних результатів дисертаційного дослідження. Вони містять можливість свого подальшого впровадження на морських судах погрузного типу. Сформульовані практичні рекомендації, що були отримані в дисертаційній роботі та основне наукове положення роботи.

4. Сформульована методика вирішення головної та складових задач дисертаційного дослідження. Вона є комплексною і базується як на основних етапах виконання складових задач, так і узагальнює головні стадії виконання дисертаційної роботи.

Основна направленість методики полягає на проведенні теоретичних та експериментальних досліджень з використанням сучасних методів та теорій з метою вирішення проблеми зменшення неконтрольованої хитаючості судна при проведенні вантажних операцій з використанням операції баластування суднових танків.

РОЗДІЛ 3.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ РУЙНУВАННЯ РУХОМИХ ПОВІТРЯНИХ КАВЕРН ВСЕРЕДИНІ ЗАПОВНЕНИХ БАЛАСТНИХ ТАНКІВ

3.1 Основні аспекти теорії плавання повітряних бульбашок в рідинах

Практично всі теоретичні і експериментальні роботи присвячені плаванню повітряних бульбашок в рідинах в основному відносяться до завдань механічної рівноваги [4, 6, 69, 117, ...], тепломасообміну [8, 57, 98, ...], емульгування різних рідин [15, 22, 39, ...], поведінки псевдозрідженого прошарку [14, 102, 107–108, ...] або до матеріалознавства в області ливарного виробництва металу і виробів з нього [27, 53, 111, ...]. Виконаний аналіз літературних джерел з цієї тематики дозволяє зробити висновок про відсутність наукових робіт в яких розглядається рух великих обсягів повітря в воді за умови динамічного впливу з боку стінок каналу, в якому вони знаходяться.

Поведінка рідини з газовими пухирцями відрізняється від випадку руху однофазної чистої рідини. В основному ця відмінність проглядається в гідродинамічних структурах, які утворюються та змінюють одна одну в міру зростання швидкості потоку або руху газових бульбашок в ньому [13, 15, 31, 42, 111, 114]. Характерним прикладом таких структур є рис. 2.3. Важливе значення також має співвідношення щільності між газо–рідинною фазою в потоці, що рухається [43].

Початкові дані про рух повітряної бульбашки в рідині можуть бути отримані на підставі динамічної теорії, в основі якої лежить визначення динамічних сил, що діють з боку рідини на пухирець [41, 45]. У цій теорії, яка не дивлячись на тривалість свого використання є як і раніше актуальною, повітряний пухирець і навколишня рідина розглядаються як одна цілісна

динамічна система. Збільшення маси бульбашки враховується шляхом зростання інерційної складової [36]. Характерним прикладом практичного використання цієї теорії є рішення задачі про рух сфери всередині рідини в сторону стінки в площині, яка до неї є перпендикулярною. У цьому завданні рух сфери розглядається під рівнем води або на її поверхні. У момент часу t координати положення рухомого сферичного об'єму по відношенню до стінки описуються за допомогою координат x і y (відстань від центру сфери до стінки), а кінцевий запис рівнянь руху має вигляд [45]

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\left[m + \frac{2}{3} \pi \rho r^3 \left(1 + \frac{3}{16} \frac{r^3}{y^3} \right) \right] dx \right) &= F_x \\ \frac{d}{dt} \left(\left[m + \frac{2}{3} \pi \rho r^3 \left(1 + \frac{3}{8} \frac{r^3}{y^3} \right) \right] dy \right) - \\ - \frac{1}{2} \left(\frac{d}{dy} \left(m + \frac{2}{3} \pi \rho r^3 \left(1 + \frac{3}{16} \frac{r^3}{y^3} \right) \right) dx^2 + \right. \\ \left. + \frac{d}{dy} \left(m + \frac{2}{3} \pi \rho r^3 \left(1 + \frac{3}{8} \frac{r^3}{y^3} \right) \right) dy^2 \right) &= F_y \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

де m – маса сфери, кг; ρ – щільність рідини, кг/м³; r – радіус сфери, м; F_x , F_y – складові зовнішньої сили, яка призводить до руху сфери, Н.

У разі, коли сфера рухається у напрямку, що є паралельним до стінки, система (3.1) спрощується і величина сили, що є необхідною для руху сфери, може бути знайдена як

$$F_y = - \frac{1}{2} \frac{d \left(m + \frac{2}{3} \pi \rho r^3 \left(1 + \frac{3}{16} \frac{r^3}{y^3} \right) \right)}{dy} dx^2 \quad (3.2)$$

Аналіз виразу (3.2) дозволяє зробити висновок, з причини від'ємного значення другого доданка, тобто $(d.../dy)$, рух сфери буде завжди направленим

в сторону стінки. У застосуванні до даної в даній роботі задачі про переміщення паразитного повітря при заповненні водою суднового баластного танка цей факт свідчить про скупчення більшої частини паразитних обсягів повітря не в центральних частинах, а саме в кутових зонах баластних танків.

Оскільки будь-яке морське судно постійно знаходиться на хвилюванні то рух у воді паразитного повітря необхідно розглядати, як коливальний. В цьому випадку, якщо всередині баластного танка довжина половини хвилі, що рухається від однієї до іншої стінки, менше глибини наповнення танка, то згідно динамічної теорії [45] при амплітуді коливань A_r і фазі коливань ε_r вільне коливання води, а отже і паразитного повітряного міхура, в баластному танку може описуватися рівнянням

$$\xi = A_r \sin \frac{r\pi x}{l} \cos \left(\frac{r\pi c t}{l} + \varepsilon_r \right) \quad (3.3)$$

де ξ – позовжнє переміщення хвилі, м; A_r – амплітуда коливань, м; ε_r – фаза коливань; r – параметр коливань (ціле число); l – довжина каналу, по якому рухається хвиля (для поперечних коливань це ширина, а для позовжніх коливань це довжина баластного танка), м; c – швидкість руху хвилі, м/с.

У разі повільних коливань, які якраз найчастіше зустрічаються при експлуатації суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT, параметр коливань можна приймати рівним $r = 1$. У цьому випадку період коливань повітряного обсягу, при проході подвійного відстані від однієї стінки танка до іншої і назад дорівнює [45]

$$x = \frac{2l}{c} \quad (3.4)$$

Більш високі періоди коливань будуть відповідно рівні [45]

$$x = \frac{1}{2}\left(\frac{2l}{c}\right), \quad \frac{1}{3}\left(\frac{2l}{c}\right), \quad \frac{1}{4}\left(\frac{2l}{c}\right), \dots \quad (3.5)$$

Величину швидкості поширення хвилі (її найвищої точки) у першому наближенні зручно розраховувати за формулою Ері [45]

$$c = \sqrt{gh} \left(1 + \frac{3f}{2h}\right) \quad (3.6)$$

де f – висота хвилі, м; h – глибина рідини, м.

У тому випадку, коли збурення поверхні води з утворенням поверхневих хвиль відбувається під дією зовнішнього тиску в динамічній теорії використовуються наступні рівняння руху [45]

$$\left. \begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} &= -g \frac{df}{dx} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dx} \\ \frac{dV_y}{dt} &= -\frac{1}{\rho} \frac{df}{dy} - \frac{1}{\rho} \frac{dP}{dy} \\ \frac{df}{dt} &= -h \left(\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} \right) \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

де V_x і V_y – поздовжня і поперечна складові швидкості хвилі, м/с; P – тиск, Па; h – глибина води, м.

Більш повні результати руху повітряної бульбашки в рідині можуть бути отримані на підставі сучасних чисельних методів розв'язання рівнянь руху [3, 17, 41, 44, 74, ...]. Найбільш якісні результати в цьому випадку можуть бути отримані з використання комбінованого підходу Ейлера–Лагранжа [76, 95], коли моделювання газо–водяного потоку дозволяє відтворювати формування та еволюцію складних гідродинамічних структур, що утворюються.

У загальному випадку в чисельному підході Ейлера–Лагранжа використовується багатомасштабне моделювання, яке базується на [110]:

- методі Латтіса–Больцмана, для чисельної оцінки сил взаємодії між частинками двох середовищ на мікрорівні;
- дискретному методі розрахунку зіткнення частинок газу і води при їх взаємодії на межі розділу;
- двофазному моделюванні руху газового потоку з водою на макрорівні.

Одночасне використання цих методів відрізняється великою складністю через колосальний обсяг обчислень і необхідності зберігання і обробки величезних масивів чисельних даних. З цієї причини найчастіше використовується метод дискретної взаємодії частинок з процесом декомпозиції [43, 110, 118]. При вирішенні задачі про рух газо–водяного потоку проводиться розрахунок дисипативних процесів на мікрорівні окремих частинок води і газу, а в подальшому проводиться комбінування отриманих результатів з переходом на макрорівень [55]. В цьому випадку мікрорівень дозволяє визначити внесок дисипативних процесів при взаємодії окремих частинок на формування всього поля течії в цілому.

З механічної точки зору руйнування в воді сферичного повітряного міхура безпосередньо визначається взаємної реакцією сил поверхневого натягу і тяжкості [22]. Сила поверхневого натягу в разі знаходження повітряного міхура в воді по відношенню до сили тяжіння повинна співвідноситися як

$$F_{\text{пн}} \gg F_{\text{т}} \quad (3.8)$$

або

$$8\pi R\alpha \gg (mg = \frac{4}{3}\pi\rho R^3 g) \quad (3.9)$$

де R – радіус повітряної сфери, м; α – коефіцієнт поверхневого натягу рідини в якій плаває пухирець повітря, Н/м.

Для повітряного міхура в воді більш проста умова просторової стійкості до руйнування може бути сформульована за допомогою числа Бонда [110]

$$Bo = \frac{2gR^2}{2\alpha} \ll 3 \quad (3.10)$$

Оскільки сферичну форму повітряний міхур в рідині може мати тільки в тих випадках, коли його діаметр не перевищує 18 мм [69] то в більшості випадків його форма буде мати вигляд медузоподібних структур, які найбільш наочно показані на рис. 2.3–3. Для такої форми важливо знати величину мінімальної товщини повітряного міхура, після якої буде відбуватися його руйнування. Її можна оцінити виходячи з рівності між надлишковим тиском над поверхнею міхура і гідростатичним тиском в його центральній точці. Якщо розглядати повітряний міхур в формі циліндра, то ця точка фактично відповідає половині його висоти. Кінцевий результат в цьому випадку буде мати вигляд [72]

$$H = 2 \sqrt{\frac{\sigma}{\rho g}} \quad (3.11)$$

Особливий інтерес представляє собою оцінка величини коефіцієнта гідравлічного тертя λ при русі двофазного потоку, що складається з повітря і води. При розгляді баластного танка як плоского каналу цей коефіцієнт може наближено бути розрахований за виразом, взятому з роботи [28]

$$\lambda = 2k_1/B \quad (3.12)$$

де складовий коефіцієнт B розраховується як

$$B = \frac{Re}{1 + \frac{n_1}{32} Re + \frac{\left(\rho g - \frac{k_2 \eta w_2}{l_2^2}\right) \mu_k D^2}{32 \eta w_0}} \quad (3.13)$$

де k_1 – коефіцієнт геометричної форми течії (кругла труба $k_1=32$, плеската течія в прямокутному каналі $k_1=68$); n_1 – коефіцієнт пропорційності становить величину сумарного коефіцієнта місцевих втрат; Re – число Рейнольдса; ρ – щільність води, кг/м³; k_2 – коефіцієнт форми дисперсної складової (для сферичного міхура $k_2=12$); η – динамічна в'язкість води, Па·с; w_2 – швидкість руху повітряного міхура в каналі, м/с; w_0 – середня швидкість по перетину каналу, м/с; l_2 – характерний розмір повітряного міхура, м; μ_k – об'ємна концентрація повітря по відношенню до обсягу води; D – гідравлічний діаметр каналу ($D = 4F/\Pi$), м.

Велике значення під час руху повітряного міхура уздовж верхньої стінки суднового танка мають гідрофобні властивості (в основному властивість рідини змочувати поверхню) матеріалу з якого ця поверхня виготовлена [104]. Згідно з даними експериментальних досліджень, викладених в роботах [20–22, 73, 90, 109] на сили молекулярного прилипання води до твердої стінки впливають такі чинники як: площа контакту, градієнт концентрації розчиненого у воді газового компонента, а також крайові кути між твердою поверхнею і рідиною.

3.2. Математична модель руйнування повітряної каверни в воді

При складанні математичної моделі руху двофазного потоку повітряного міхура і води всередині баластного танка була використана гіпотеза про взаємопроникаючі континіуми, коли закони збереження маси,

імпульсу і енергії записуються окремо для кожної фази [99]. Самі фази розглядалися на макроскопічних рівнях, що перевищують розміри їх молекулярних структур [32]. Перебіг повітряного міхура уздовж поверхні води в баластному танку було сформульовано в плескатій постановці, коли основні характеристики двофазного потоку змінювалися тільки в двох напрямках.

Схематично при складанні математичної моделі було прийнято, що вся течія, що моделюється в судновому танку, складається з трьох складових потоків [47, 49, 62, 113]:

- робочого ударного струменя повітря з підвищеним тиском, який рухається від верхньої стінки танка в сторону паразитного повітряного обсягу;
- повітряного міхура, що рухається в довільному горизонтальному напрямку (вліво або вправо) уздовж поверхні води;
- баластної води в танку, що рухається в бік верхньої стінки танка з хвилюванням поверхневого шару.

Перший потік завжди характеризується постійною швидкістю і тиском, що на практиці відповідає завданням ідентичних початкових і граничних умов у відповідних розрахункових вузлах [112]. У математичній формі запису ці умови мають вигляд

$$V_x = 0 \quad (3.14)$$

$$V_y = \text{const} \quad (3.15)$$

$$P = \text{const} \quad (3.16)$$

Рух зовнішньої межі другого потоку, тобто оболонки повітряного міхура, задається на початковому етапі шляхом введення параметра хитавиці судна. З урахуванням поставлених значень амплітуди і фази коливань A_r і ε_r такий рух може описуватися рівняннями (3.3) – (3.6).

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

рівняння, що відображає роботу всіх зовнішніх сил, прикладених до повітряного обсягу [110]

$$m_b \frac{dv}{dt} = m_b g + \frac{V\beta}{(1-\varepsilon)}(U-v) - V \left(\frac{dP}{dx} + \frac{dP}{dy} \right) \quad (3.17)$$

де m_b – маса частинки, кг; v – швидкість частинки, м/с; β – коефіцієнт, що відображає внутрішній фазовий перехід, кг/(м³с); ε – показник ступеня однорідності потоку (повітряного); U – локальна швидкість частинки, м/с; V – об'єм частинки, м³; P – тиск, Па.

У рівнянні (3.17) другий доданок являє собою силу опору. Присутній в правій частині рівняння в другому доданку коефіцієнт β відповідає моменту внутрішнього фазового переходу при взаємодії потоку води з потоком повітря, а останній доданок відповідає за рух, що викликається градієнтом тиску в потоці.

У разі невисокого ступеня однорідності (тобто при наявності пустот без частинок повітря) повітряного потоку, коли $\varepsilon < 0.8$ він визначається наступним чином [110]

$$\beta = 150 \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon} \frac{\mu}{D_p^2} + 1.75(1-\varepsilon) \frac{\rho}{D_p} |U-v| \quad (3.18)$$

де D_p – діаметр частинки (від 0.009 до 0.0095), м; μ , ρ – динамічна в'язкість і щільність повітря, Па·с і кг/м³.

Якщо потік є однорідним, тобто при $\varepsilon > 0.8$ коефіцієнт β може бути знайдений як [110]

$$\beta = \frac{3}{4} C_d \frac{\varepsilon(1-\varepsilon)}{D_p} \rho (U-v) \varepsilon^{-2.65} \quad (3.19)$$

де C_d – коефіцієнт опору;

Коефіцієнт опору C_d , що входить у вираз (3.19) розраховується в залежності від параметра Рейнольдса як [110]

$$\begin{aligned} \text{при } Re < 1000 \quad C_d &= \frac{24}{Re} (1 + 0.15Re^{0.687}) \\ \text{при } Re > 1000 \quad C_d &= 0.44 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Параметр Рейнольдса, що входить в рівняння (3.20) розраховується за виразом [110]

$$Re = \frac{\varepsilon \rho |U - v| D_p}{\mu} \quad (3.21)$$

На додаток до рівняння (3.17) необхідно використовувати два визначальні рівняння газової динаміки – рівняння нерозривності і рівняння моменту газової фази. Для випадку ізотермічного двовимірного руху вони можуть бути відповідно записані в наступному вигляді [40, 110]:

$$\frac{d(\varepsilon \rho)}{dt} + (\nabla \cdot \varepsilon \rho v) = 0 \quad (3.22)$$

$$\frac{d(\varepsilon \rho v)}{dt} + (\nabla \cdot \varepsilon \rho v v) = -\varepsilon \nabla P - S_p - (\nabla \cdot \varepsilon \tau) + \varepsilon \rho g \quad (3.23)$$

де S_p – складова, що відповідає за передачу моменту в системі рухомих частинок повітря, Н/м³; τ – тензор в'язких напружень, кг/(мс²).

Сила реакції потоку при виникненні в рухомому потоці опору визначає передачу моменту в системі частинок повітря. Загальний вираз, що дозволяє знайти величину S_p з урахуванням сили реакції має вигляд [110]

$$S_p = -\frac{1}{V} \int \sum_0^N \frac{v\beta}{(1-\varepsilon)} (U - v_a) \delta(r - r_a) dV \quad (3.24)$$

де v_a – поточна швидкість частинки в розрахунковому вузлі, м/с; δ – дельта-функція; r, r_a – повний і частковий (спроектований на напрямок руху частинки) радіус вектор відносного положення частинки, м.

Присутня в рівнянні (3.23) величина тензора в'язких напружень може бути знайдена по наближеному виразу [110]

$$\tau = \frac{2}{3} \mu (\nabla v) + \mu ((\nabla v) + (\nabla v)^T) \quad (3.25)$$

де T – поточна температура потоку, $^{\circ}\text{C}$.

Третій потік, відповідний руху всієї маси баластної води при заповненні танка, необхідно формулювати таким, що постійно змінюється одночасно по висоті і вчиняє хвильові коливальні рухи в поперечній площині.

Рух вгору може описуватися лінійними законами виду

$$y = Hkt \quad (3.26)$$

$$v = \text{const} \quad (3.27)$$

$$P = P_a + \rho g y \quad (3.28)$$

де y – координата положення верхнього рівня межі баластної води в танку, м;
 k – коефіцієнт швидкості заповнення (діапазон зміни становить від 0,1 до 1);
 t – час, с.

Коливання поверхні баластної води в танку необхідно формулювати за законом (3.3). Єдине обмеження на його використання накладається величиною амплітуди коливань A_r , яка обмежує число розрахункових кутів, що відображають коливання поверхні. Коливальний рух необхідно

формулювати в тій смузі розрахункових вузлів, яка чисельно дорівнює величині A_r .

В якості граничних умов необхідно на всіх межах, що відповідають жорстким стінкам баластного танка задавати умови не протікання рухомого потоку. Воно виражається в рівності нулю вектору швидкості у всіх розрахункових вузлах, які лежать на жорстких межах розрахункового обсягу [44, 65]

$$v = 0 \quad (3.29)$$

Згідно з даними роботи [110] величина повної швидкості на межі розподілу між повітрям і водою повинна коректуватися на компресійну поправку. Її величина визначається відношенням градієнта тиску до градієнта щільності двох середовищ у вигляді

$$V_k = \left(\frac{\partial P}{\partial \rho} \right)^{0.5} \quad (3.30)$$

Одним з критеріїв якості розрахунків, що виконуються, має бути умова нульової різниці суми всіх проекцій швидкості на поверхні розриву. В цьому випадку при переході з одного середовища на інше, тобто з води на повітря або навпаки має виконуватися така рівність

$$(V_{x1} - V_{x2}) + (V_{y1} - V_{y2}) = 0 \quad (3.31)$$

У рівнянні (3.31) номери індексів відповідають двом середовищам, що моделюються, наприклад, індекс 1 – воді, а індекс 2 – повітрю.

3.3 Опис чисельної схеми вирішення задачі про руйнування повітряної каверни в воді

Загальна дискретна розрахункова схема для вирішення рівнянь математичної моделі (3.14) – (3.31) була розроблена з урахуванням всіх особливостей процесу руху міхура по поверхні води, що моделюється всередині суднового баластного танка. На відміну від класичних підходів, напрямок чисельного рахунку було вибрано таким, що збігається з напрямком подачі стислого повітряного струменя для руйнування пухирців, а не зі зменшенням глибини води, що моделюється в танку.

На схематичному малюнку 3.1 відображені основні елементи використаної розрахункової схеми. Завдання вирішувалась в плескатій постановці, при якій уздовж двох осей координат відкладалися розрахункові перетини. Уздовж осі OX – відповідні розрахункові перетини: 1, 2, 3, ..., $N-1$ і N моделювали ширину танка. Уздовж осі OY – відповідні розрахункові перетини 1, 2, 3, ..., $M-1$ і M моделювали висоту танка.

Зміна рівня поверхні баластної води по висоті баластного танка моделювалася в ході рішення з використанням закону

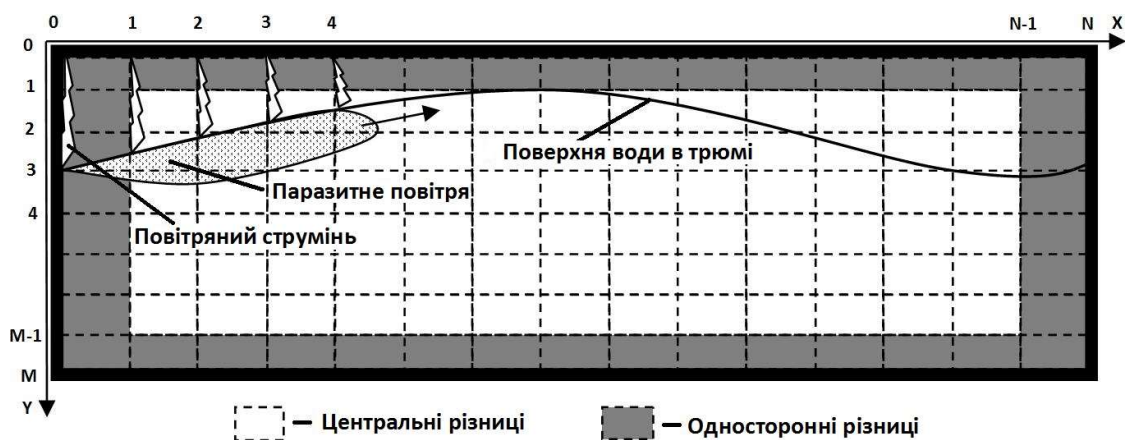


Рисунок 3.1– Розрахункова схема завдання про руйнування паразитного повітряного обсягу в баластному танку судна

$$H = \left(\frac{h}{M} j \right)^k \quad (3.32)$$

де h – повна висота танка, м; j – поточний індекс, що показує номер розрахункового перетину в напрямку осі ОУ; k – величина, що відображає швидкість заповнення баластного танка забортною водою. У разі подачі води в баластний танк без використання насосів, тобто самопливом, величину показника ступеня k слід брати рівною $k = 0,1 - 0,7$, а при використанні при баластуванні танків нагнітального обладнання $k = 1 - 4,7$.

Коливання поверхні води всередині баластного танку задавалося за допомогою видозміненого закону (3.3)

$$\xi = A_r \sin \frac{r\pi \left(\frac{l}{N} i \right)}{l} \cos \left(\frac{r\pi ct}{l} + \varepsilon_r \right) \quad (3.33)$$

де i – поточний індекс, що показує номер розрахункового перетину в напрямку осі ОХ; l – ширина баластного танка, м.

Розрахункові вузли на верхній стінці баластного танка можуть використовуватися для моделювання соплових джерел подачі стисненого повітря. При чисельному розрахунку всього процесу точне місце розташування паразитного повітря по відношенню до стінок баластного танка завжди відомо, також як і його відстань по відношенню до верхньої стінці танка. Виходячи з цього основні характеристики ударних повітряних струменів в розрахункових вузлах, що моделюють соплові апарати задавалися таким чином:

– швидкість потоку в струмені приймалася відповідною до рівномірного плескатоного потоку і в кожному розрахунковому вузлі приймалася постійною і знаходилась за законом

$$V_{0,j} = \text{const} \quad (3.34)$$

У виразі (3.34) значення константи повинно відповідати конкретним значенням швидкості подачі стисненого повітря. Зазвичай вони лежать в діапазоні від 10 до 15 м/с.

– тиск повітря в струмені для розрахункових точок кожного окремо взятого вертикального перетину приймався постійним. Ці величини задавалися, як константи в усіх вертикальних розрахункових вузлах, відповідних незаповненою водою частині баластного танка і в точці, яка відповідає рівню води в баластному танку по закону

$$P_{i,j} = \text{const} \quad (3.35)$$

У виразі (3.35) значення константи повинно відповідати заздалегідь відомим значенням тиску подачі стисненого повітря.

Конкретні значення ударного тиску повітря необхідно брати рівними тиску використовуваного на судні компресорного устаткування. При проведенні розрахунків використовувалися величини $P = 0,3 - 0,5$ МПа.

Рішення диференціальних рівнянь математичної моделі (3.17), (3.22) – (3.24), (3.30) здійснювалося кінцево – різницеvim методом [3, 68, 106]. Як видно на рис. 3.1 для різних розрахункових перетинів використовувалися центральні і односторонні різниці. Були використані стандартні формули другого порядку вірогідності, які записувалися в разі центральних різниць за хрестоподібним шаблоном [3].

При складанні кінцево–різничевої розрахункової схеми були використані наступні логічні умови:

- при $0 < i < N$ і $0 < j < M$ у всіх розрахункових вузлах використовуються центральні різниці;
- при $i = 0$ для всіх j використовуються справа наліво різниці;

- при $i = N$ для всіх j використовуються лівобічні різниці;
- при $j = M$ для всіх i використовуються лівобічні різниці;
- при $j = 0$ для всіх i використовуються граничні умови.

Вірогідність розрахунків і стійкість обчислювального процесу безпосередньо залежать від кількості розрахункових вузлів, що беруть участь в розрахунку [3, 17, 86]. З цієї причини на всіх етапах моделювання мінімальне число розрахункових вузлів приймалося таким, що дорівнює значенням не менше 40000 по ширині розрахункової області і не менше 60000 по її висоті.

Розрахунок процесу усунення паразитного повітря при заповненні баластного танка проводився з використанням двох різних алгоритмів завдання початкових умов. У першому випадку вважалося, що наповнення баластного танка водою проводиться від його нижньої стінки. У цьому випадку швидкість потоку води задавалася тільки в самому нижньому розрахунковому перетині. У кожному розрахунковому вузлі вона приймалася постійною. У всіх інших точках розрахункового обсягу, що моделювався, задавався нерухомий потік, значення щільності якого приймалося таким, що дорівнює щільності повітря. Тиск повітря в усіх вузлах розрахункового обсягу приймався атмосферним.

У другому випадку завдання початкових умов моделювання паразитного повітряного міхура здійснювалося за схемою заповненого танка. В цьому випадку в обраній області задавався вихідний обсяг паразитного повітря, а у всіх інших розрахункових вузлах задавався потік води, що здійснює хвильовий рух.

3.4. Теоретичне дослідження процесу руйнування повітряного міхура, обмеженого поверхнею води і стінками суднового танка

При теоретичному моделюванні процесу руйнування паразитного повітряного обсягу всередині баластного танка, який заповнений водою

отримання точних кількісних результатів неможливо. В основному цей недолік чисельного експерименту викликаний такими факторами як:

- відсутність високої повторюваності результатів в реальному житті, тому що руйнування повітряного міхура на ряд дрібних залежить від поточного значення величини поверхневого натягу баластної води, її щільності, солоності і тому є унікальним в кожному конкретно даному випадку;

- необхідність використання такої великої кількості розрахункових даних, які в даний час неможливо обробити сучасними обчислювальними комплексами.

У зв'язку з вищевикладеним під час теоретичних досліджень основною ціллю було отримання якісних результатів, що відображають зміну базових експлуатаційних характеристик судна на хвилюванні. Також визначалися нові данні, які описують поведінку паразитного обсягу повітря в судновому баластному танку в ході процесу його руху і розпаду на ряд дрібних повітряних обсягів.

Найголовнішим питанням при вирішенні задачі про руйнування паразитного повітряного міхура всередині баластного танка є швидкість зменшення його обсягу під час впливу на нього струменів повітря під тиском. Ці результати були отримані в ході теоретичних досліджень і вони показані на малюнку 3.2. На графіку, на осі ординат відкладені значення сумарного обсягу паразитного повітря в ході його руйнування, а по осі абсцис розрахунковий час робочого процесу.

Наведені чотири криві відповідають скороченню початкового зовнішнього контуру повітряного міхура при його розподілі вже на кілька пухирців. Вони описують серію чисельних експериментів в ході яких задавалися різні початкові величини обсягу паразитного повітряного міхура. Крива 1– 33 м^3 , 2– 27 м^3 , 3– 21 м^3 і 4– 18 м^3 відповідно. Всі чотири розрахункові криві відповідають випадку, коли тиск ударного повітряного струменя, який руйнує міхур був незмінним і становив $0,3\text{ МПа}$.

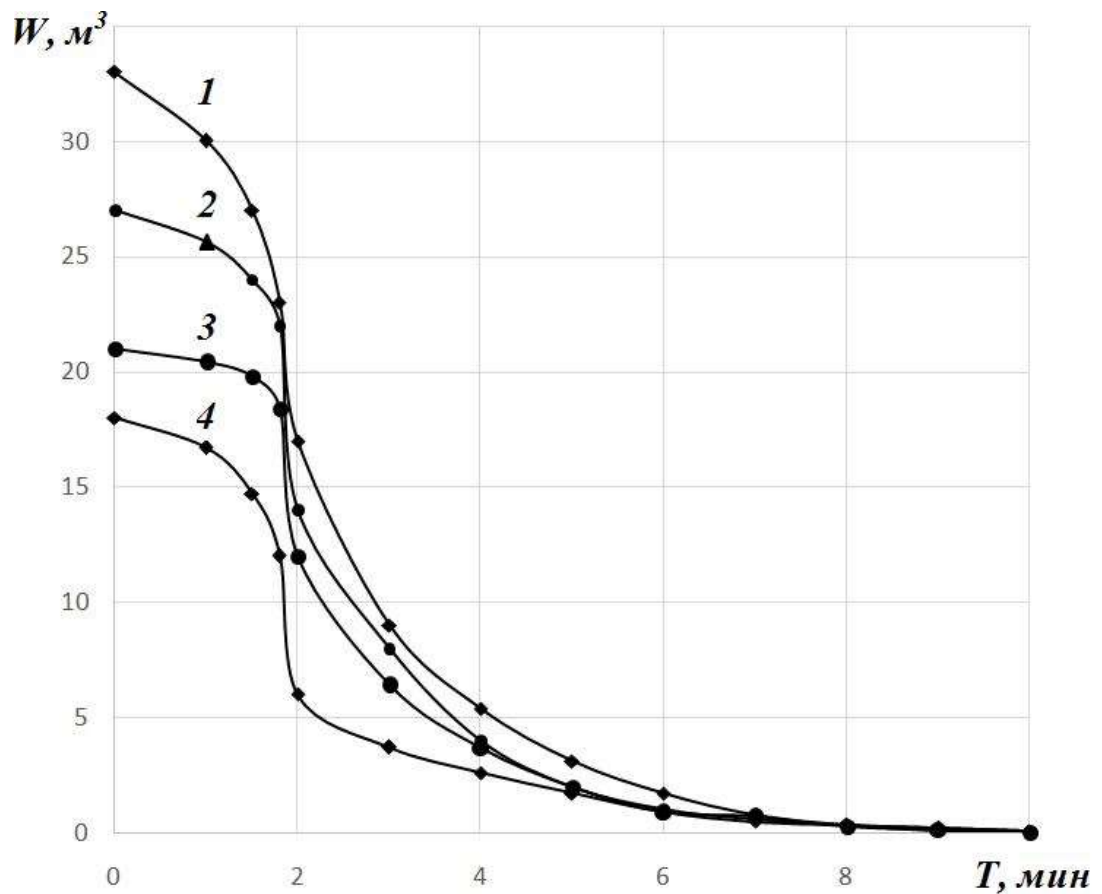


Рисунок 3.2 – Зменшення обсягу паразитного повітря в баластному танку при тиску ударної повітряної струменя рівному $P_{уд} = 0,3$ МПа

- 1 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 33 м^3 ;
- 2 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 27 м^3 ;
- 3 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 21 м^3 ;
- 4 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 18 м^3 .

На рис. 3.2 видно, що, починаючи з моментів часу відповідних діапазону від 1,8 до 2,2 хвилини все криві починають змінюватися практично однаково. Такий збіг вказує на повністю ідентичний характер зменшення повітряного обсягу, що моделюється. Він відповідає швидкому руйнуванню на поверхні води повітряного міхура, оскільки початок цього режиму призводить до різкого скорочення обсягу паразитного повітря від двох до трьох з половиною разів. Саме на цій ділянці зміни всіх кривих можна говорити про спрацювання механізму миттєвої зміни всіх гідродинамічних показників процесу коливання

двофазного (водо–повітряного) потоку в баластному танку, що призводить до подальшої зміни основних робочих характеристик судна – його остійності, кута неконтрольованого крену і т. п.

Наступна зміна всіх чотирьох кривих показує, що механізм руйнування повітряного міхура починає ставати однаковим у всіх випадках. Починаючи приблизно з сьомої хвилини все криві практично збігаються між собою. Як видно на рис. 3.2 на цьому часовому рівні вплив початкових розмірів міхура і механізму його руйнування перестають визначати характер процесу його подальшого руйнування.

Швидкість руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку також безпосередньо залежить від способу формування повітряних струменів, що його руйнують. Глибина проникнення струменя в повітряний обсяг і воду, а також ступінь тривалості її впливу визначає всі процеси подальшої турбулізації кордону розділу двох середовищ.

В ході численних експериментів було вивчено вплив величини ударного тиску в повітряному струмені на швидкість руйнування паразитного повітряного міхура. Ці результати показані на малюнку 3.3. Наведені на графіках дані відповідають нульовому куту атаки ударного струменя, тобто випадку, при якому вісь симетрії ударного струменя була перпендикулярна поверхні рівня баластної води в баластному танку. Розрахунок проводився для значення початкового обсягу паразитного міхура що дорівнює 33 м^3 .

З наведених на рис. 3.2 – 3.3 розрахункових даних може бути зроблений головний висновок про те, що тиск ударного струменя впливає тільки на початковий процес руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку. Як видно на всіх наведених графіках на першій стадії, протягом початкових двох хвилин після початку подачі ударного струменя відбувається різке зменшення обсягу повітряного міхура. В подальшому, на другій стадії, вплив величини тиску перестає позначатися. В цьому випадку при зменшенні початкового повітряного обсягу настає процес розподілу отриманих при розбивці нових дискретних повітряних обсягів (розмір яких малий у

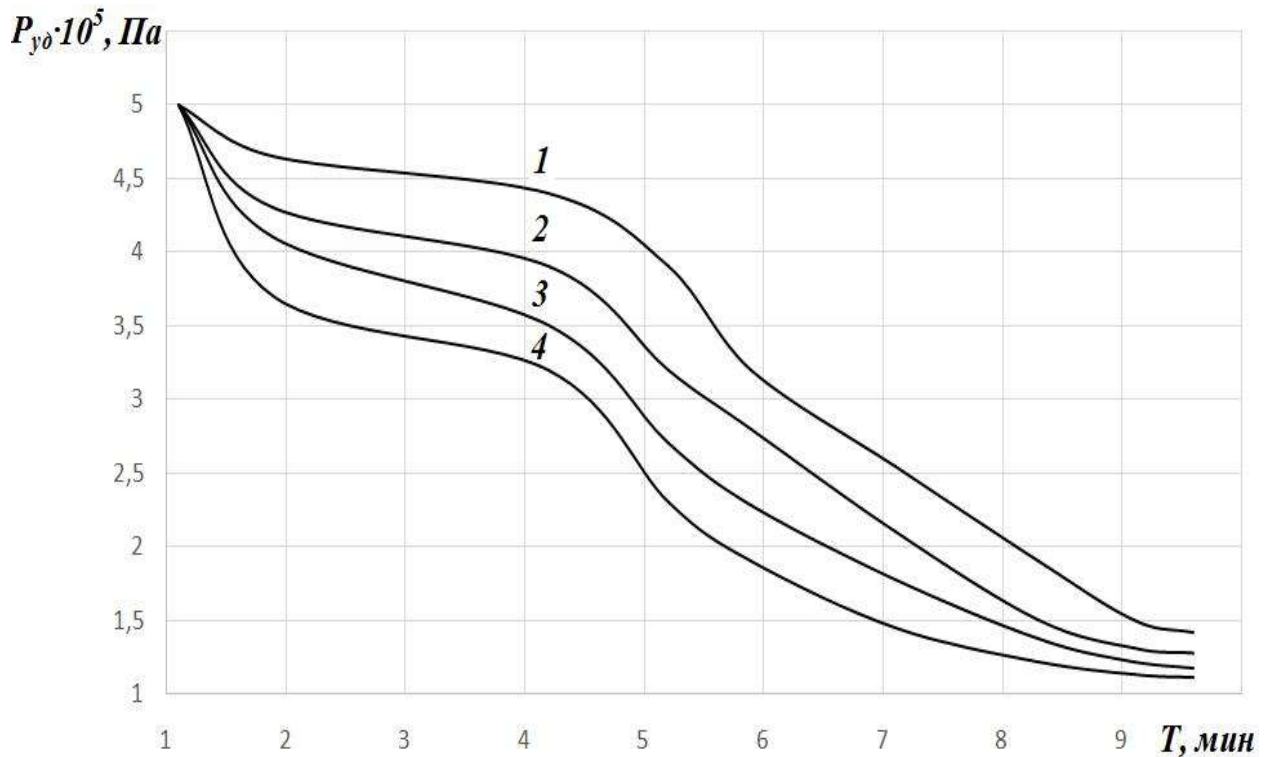


Рисунок 3.3 – Вплив величини тиску ударного повітряного струменя на час зменшення обсягу паразитного повітря в баластному танку

- 1 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 33 м^3 ;
- 2 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 27 м^3 ;
- 3 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 21 м^3 ;
- 4 – початковий обсяг паразитного повітряного міхура 18 м^3

порівнянні з початковим міхуром) при значно менших величинах тиску. Як приклад, на рис. 3.4 видно, що, починаючи з величини умовної тимчасової межі, що дорівнює 4,5 хвилини для руйнування повітряних бульбашок потрібно значно менший тиск. Тепер його величина становить не 0,5 МПа, а 0,3 МПа.

В ході теоретичних досліджень також було розглянуто питання про те, яким чином впливає кут атаки ударного повітряного струменя, що використовується для руйнування паразитного повітряної каверни на якість процесу руйнування. У цьому випадку в якості основного розрахункового оціночного критерію використовувалася площа фронтальної поверхні

взаємодії струменя з межею поділу між повітряним міхуром і водою. Ця площа розглядалася в тій частині простору, в яку переміститься поверхня повітряного міхура через 0,01 секунди. Відлік зміни кута атаки ударного струменя проводився від його повністю вертикального положення, коли струмінь взаємодіє з поверхнею рівня води в баластному танку під прямим кутом.

В ході обчислювальних експериментів було встановлено, що в разі, коли кут атаки стає гострішим, а площа струменя збільшується, то під процес взаємодії поверхні розділу міхура і поверхні води відводиться велика площа. Саме поняття такої площі є величиною умовною, оскільки в процесі поділу початкового повітряного міхура на ряд дрібних цей параметр постійно змінюється.

Результати розрахунку величини зміни площі взаємодії показані на малюнку 3.4, де на осі ординат показано безрозмірне співвідношення поточної площі міхура S_t до його початкової площі S_n . Всі відображені дані відповідають величині площі взаємодії, взятої в момент часу, що дорівнює 0,1 секунди, тобто фактично в момент початку руйнування паразитного повітряного обсягу. Графік дозволяє зробити однозначний висновок – при кутах атаки повітряного струменя, що змінюються в діапазоні від 1 до 14 градусів величина площі взаємодії залишається дуже високою.

Ступінь турбулізації поверхні води в баластному танку дуже сильно впливає на характер її подальшої взаємодії з поверхнею паразитного повітряного міхура. Гідродинамічна нестійкість, що виникає в цьому випадку призводить до більш якісного скорочення обсягу паразитної повітряної каверни.

В ході розрахунків було вивчено характер зміни площі поперечного перерізу паразитного повітряного міхура в залежності від часу його руйнування. Розрахунок проводився для умов, коли міделевий перетин повітряного міхура має чітку форму прямокутника зі сторонами, що дорівнюють 4 та 1 м відповідно і кола, у якого величина радіуса дорівнює 3,192 м. При використанні наведених чисельних величин в обох розрахункових

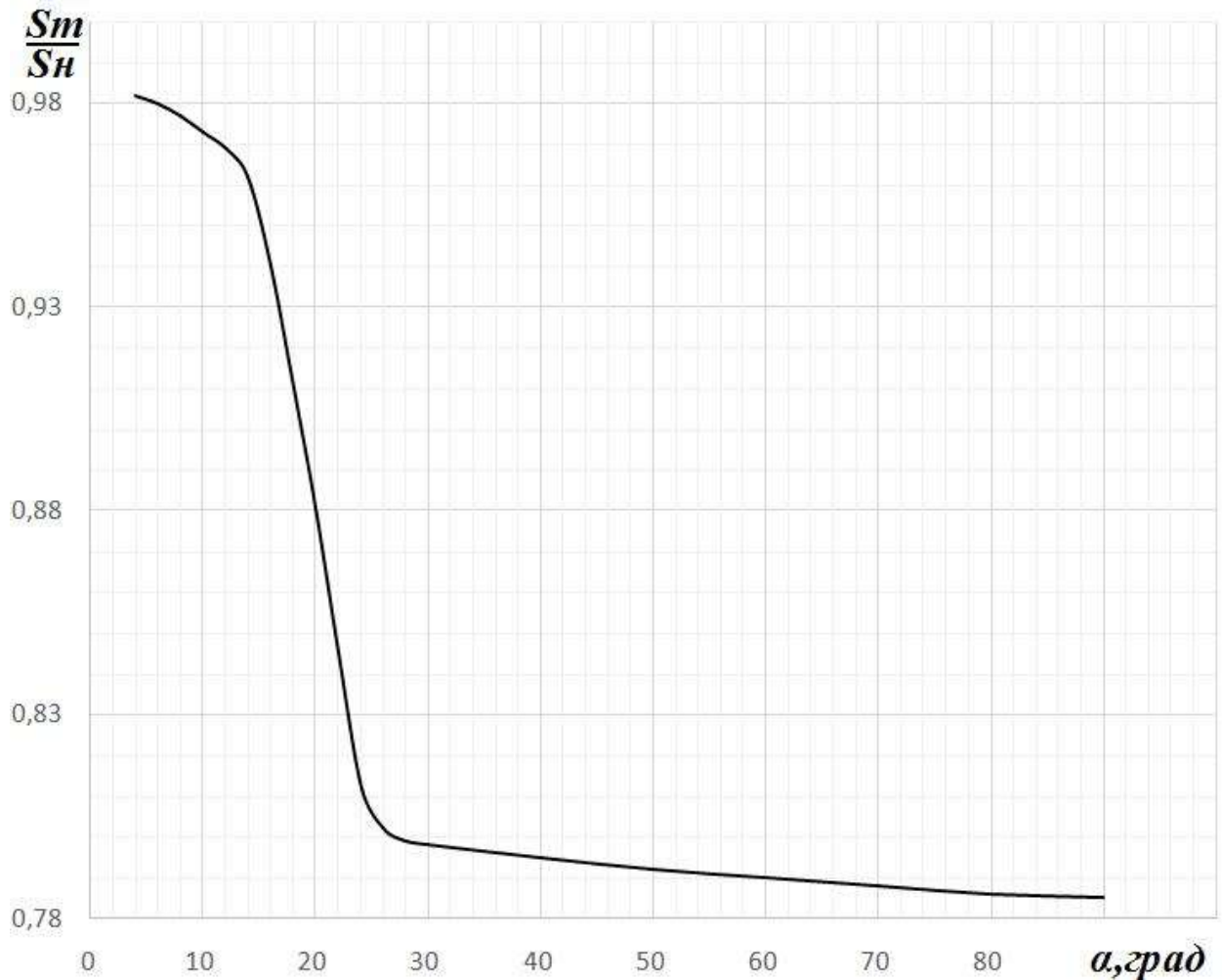


Рисунок 3.4 – Вплив кута атаки ударного струменя на площу взаємодії межі розділу повітря з водою в момент часу, що дорівнює 0,1 секунди

випадках площа повітряного міхура становила 4 м². У всіх розрахунках товщина повітряного міхура приймалася рівною 0,3 м.

Отримані дані численних експериментів відображені на малюнку 3.5. За аналогією з рис. 3.4 на графіку на осі ординат показано безрозмірне співвідношення поточної площі міхура S_T до його початкової площі S_n . Розрахунок процесу руйнування повітряного міхура на поверхні води проводився з кроком по часу, що дорівнює 0,01 секунди. На графіках перша крива відповідає повітряному міхуру в формі кола, а друга в формі прямокутника. Як видно на обох графіках основне зменшення обсягу міхура

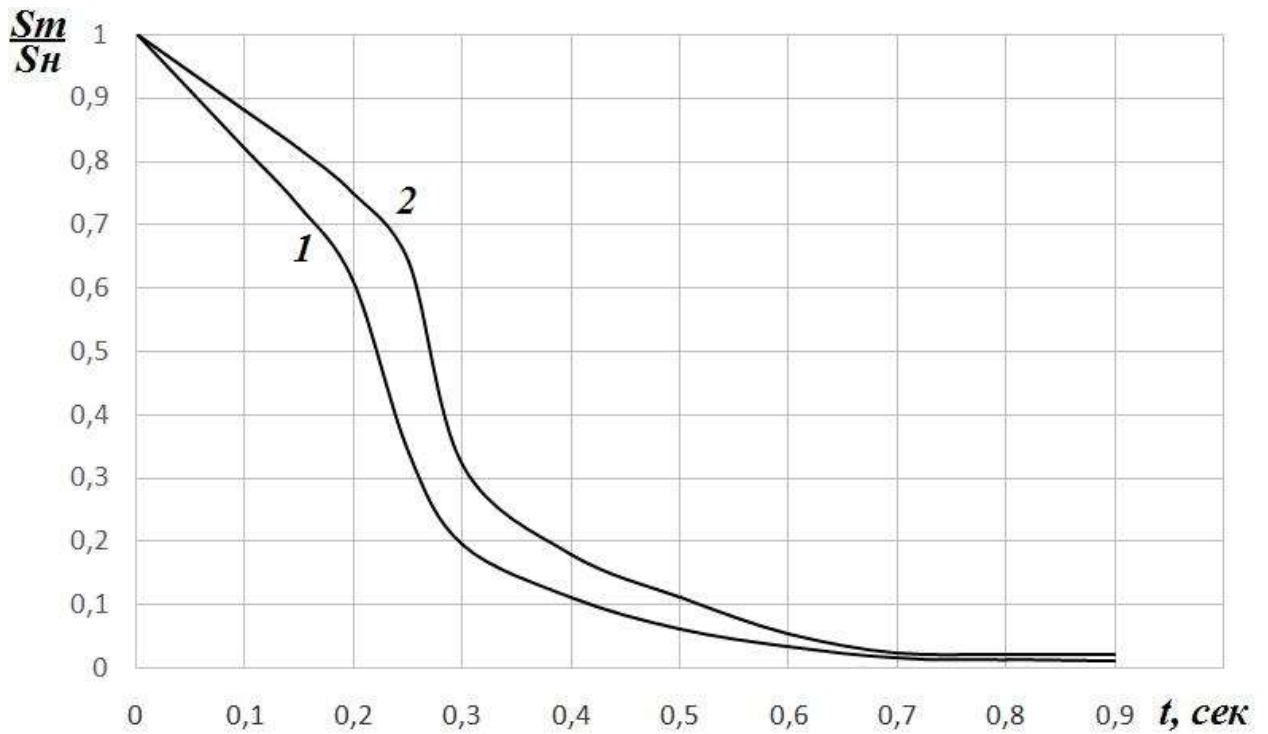


Рисунок 3.5 – Швидкість зміни площі повітряного міхура

1 – початкова форма перетину у вигляді кола;

2 – початкова форма перетину у вигляді прямокутника

при його руйнуванні відбувається в середньому через 0,25 секунди, коли ударний струмінь води проходить через його товщину, вчиняє турбулізацію всієї поверхні розділу повітря та води і викликає нестійкість Релея–Тейлора уздовж всієї поверхні міхура.

3.5. Висновки по розділу 3

1. Початкові дані про рух повітряної бульбашки в рідині можуть бути отримані на підставі динамічної теорії, в основі якої лежить визначення динамічних сил, що діють з боку рідини на бульбашку.

На основі цієї теорії встановлено факт скупчення більшої частини паразитних обсягів повітря не в центральних частинах, а саме в кутових зонах баластних танків.

2. Сферичну форму повітряний міхур в рідині може мати тільки при діаметрах менше 18 мм. Для бульбашок, які найчастіше зустрічаються у вигляді медузоподібних структур, отримано вираз, що дозволяє знайти величину мінімальної товщини повітряного міхура, після якої буде відбуватися його руйнування.

3. Розроблена математична модель і кінцево-різницева схема її вирішення передбачає моделювання трьох складових потоків:

- робочого ударного струменя повітря з підвищеним тиском, який рухається від верхньої стінки танка в сторону паразитного повітряного обсягу;
- повітряного міхура, що рухається в довільному горизонтальному напрямку (вліво або вправо) уздовж поверхні води;
- баластної води в танку, що рухається в бік верхньої стінки танка з хвилюванням поверхневого шару.

4. Значна зміна обсягу паразитного повітря від двох до трьох з половиною раз відповідає часовому діапазону від 1,8 до 2,2 хвилини. Потім характер зменшення паразитного повітряного міхура стає незмінним незалежно від його початкового об'єму.

Саме за цей період часу відбувається зміна всіх гідродинамічних показників процесу коливання двофазного (водо–повітряного) потоку в баластному танку, що призводить до подальшої зміни основних робочих характеристик судна – його остійності, кута неконтрольованого крену і т.п.

5. Швидкість руйнування паразитного повітряного міхура в баластному танку залежить від способу формування повітряних струменів, що його руйнують. Глибина проникнення струменя в повітряну каверну і воду, а також ступінь тривалості її впливу визначає всі процеси подальшої турбулізації кордону розділу двох середовищ.

6. 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 пухирця. В подальшому, на другій стадії, вплив величини тиску перестає позначатися. Починаючи з величини умовної тимчасової межі, що дорівнює 4,5 хвилини для руйнування повітряних бульбашок потрібно значно менший тиск – не 0,5 МПа, а 0,3 МПа.

7. При кутах атаки повітряного струменя, що змінюються в діапазоні від 1 до 14 градусів, величина площі фронтальної поверхні взаємодії струменя з межею розподілу між повітряним міхуром і водою залишається високою.

8. Основне зменшення обсягу міхура при його руйнуванні відбувається в середньому через 0,25 секунди, коли ударний струмінь води проходить через його товщину, вчиняє турбулізацію всієї поверхні розділу повітря та води і викликає нестійкість Релея–Тейлора уздовж всієї поверхні міхура.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОД ВИРІШЕННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБСЯГІВ ВСЕРЕДИНИ
БАЛАСТНИХ ТАНКІВ СУДЕН ЗАГЛИБНІ ТИПУ
SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

4.1 Аналіз механічного способу руйнування повітряних обсягів
всередині суднових баластних танків

Процес руйнування паразитних повітряних бульбашок усередині баластних танків на судах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT може бути реалізований за двома напрямками – механічному й гідродинамічному. Ці напрямки можна реалізувати наступним шляхом:

- механічне руйнування за рахунок системи решіток, розташованих на верхній стінці баластного танка і частково занурених під рівень баластної води;
- гідродинамічне руйнування за рахунок використання принципу гідродинамічної нестійкості повітряного міхура, що рухається в рідині.

Принцип механічного руйнування характерних структур в рухомому потоці відомий давно. Найближче до розглянутої в даній роботі проблеми про руйнування рухомого на поверхні води паразитного обсягу повітряного міхура відносяться стабілізуючі решітки [28, 66, 89]. Їх зазвичай використовують для вирівнювання епюри швидкості і зниження турбулентності потоку, що рухається. Також, дуже близькими є завдання про встановлення системи різних решіток з погано обтікаючих профілів (плоских пластин, квадратних або трикутних стрижнів і т. п.). Найбільш часто вони використовуються в технологіях, пов'язаних з тепло– чи масообміном [3, 8, 70]. В цьому випадку, при відриві потоку, що рухається, за такими ґратами утворюються складні

вихорові структури. Вони завжди характеризуються низькочастотними вібраціями, підвищеним завихренням і присутністю локальних областей з високою дисипацією енергії рухомого потоку.

Як приклад практичного використання таких решіток для управління потоком можна привести результати візуалізації гідродинамічних експериментів різних авторів [12, 41, 94]. Вони показані на зведеному на малюнку 4.1.

З точки зору якості забезпечення процесу руйнування повітряного міхура стабілізуючі решітки є надійним, простим і дешевим в реалізації технічним рішенням. Виготовлення та встановлення механічних решіток не вимагає використання спеціальних навичок у екіпажу судна. Якість їх роботи може задовольняти всім експлуатаційним вимогам до зниження вкладу в неконтрольований крен судна на хвилюванні внаслідок руху паразитних повітряних обсягів в баластній воді.

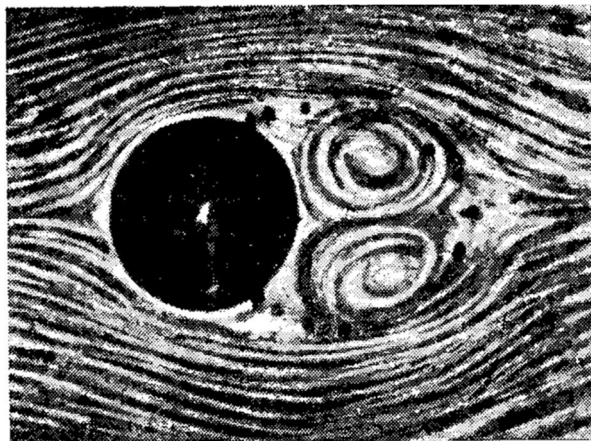
Використання механічних решіток на суднах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT повністю обмежено єдиною, але при цьому дуже істотною вимогою – безпекою обслуговування екіпажем основних конструктивних елементів судна. Всі без винятку конструкції судових баластних танків повинні забезпечувати можливість безперешкодного доступу членів екіпажу для їх обслуговування як на стоянці, так і під час ходу судна [77].

У разі установки стабілізуючих решіток у верхній частині танків ступінь доступу до цієї зони баластного танка буде істотно відрізнятися від танка до танка. Як приклад можна детально розглянути схеми розташування танків з подвійним дном на судні Heavy – Lift Target, які показані на рис. 1.5 – 1.6. Характерні розміри основних конструктивних елементів трьох танків (взяті номери: 4 – WB.P, 4 – WB.C і 4 – WB.S), розташованих між двома бортами судна наведені в таблиці 4.1.

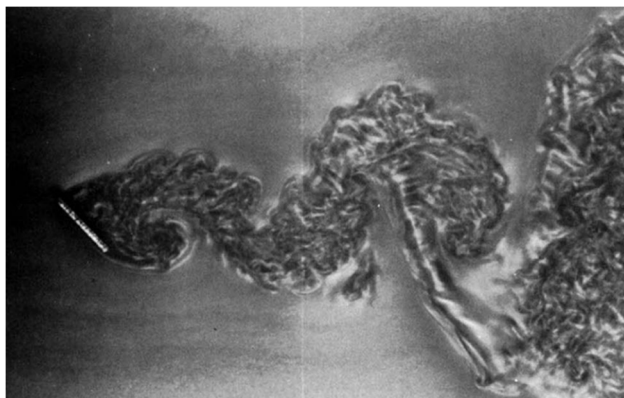
З точки зору експлуатації механічних решіток необхідно відзначити, що наведені в таблиці 4.1 висоти танків, становлять у всіх трьох випадках 10,8 м,



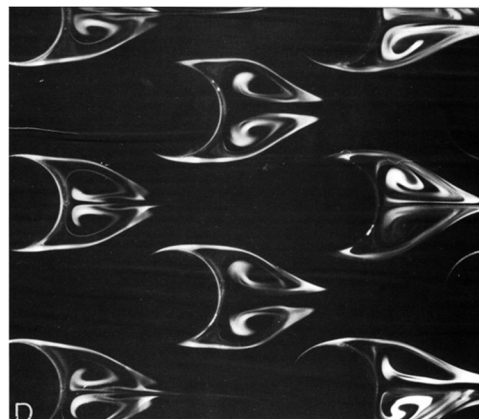
а



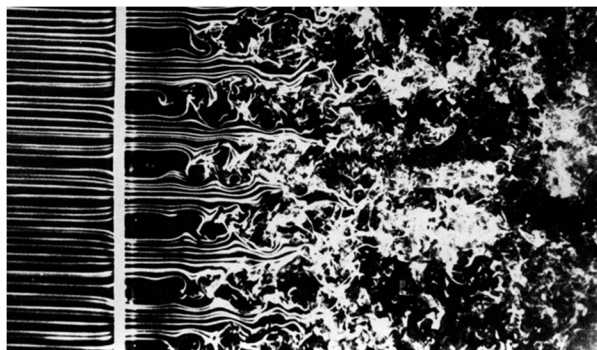
б



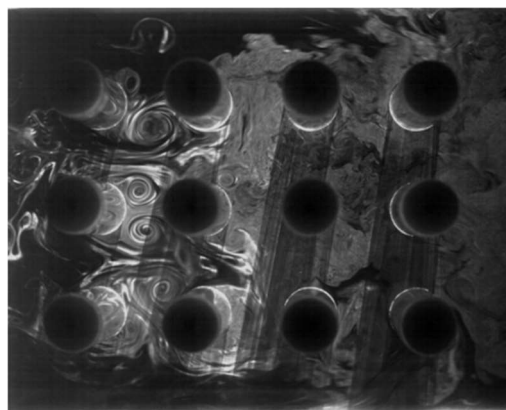
в



г



д



е

Рисунок 4.1 – Використання механічних перешкод під час руху потоку
а – обтікання плоскої пластини [41]; б – обтікання циліндричного стрижня [41]; в – обтікання пластини під кутом [12]; г – обтікання решітки з круглих дротів [12]; д – потік за ґратами з квадратними отворами [12] ; е – обтікання решітки з круглих дротів [94].

Таблиця 4.1

**Характерні розміри баластних танків з подвійним
дном на судні Heavy–Lift Target**

Найменування параметра	Номер танка		
	4–WB.P	4–WB.C	4–WB.S
Загальний обсяг, м ³	2925,8	8041,3	2925,8
Шпангоути, шт	11 з кроком 2,5	12 з кроком 2,5 м	11 з кроком 2,5
Довжина танка, м	30	30	30
Ширина танка, м	9,210	26,08	9,210
Висота танка, м	10,8	10,8	10,8
Міжстрінгерна відстань, м	0,815	0,815	0,815

в реальних умовах складаються фактично з двох висот. Баластний танк розділений на два рівні:

- нижній прямокутний простір, який не містить перегородок, з висотою 8 метрів;
- верхній обсяг з висотою 2.8 метра і з ребрами жорсткості розташованими по схемі: довжина 2.5 метра з кроком 0.815 метра.

Обидва простори танка з'єднані між собою через симетрично розташовані робочі люкові отвори.

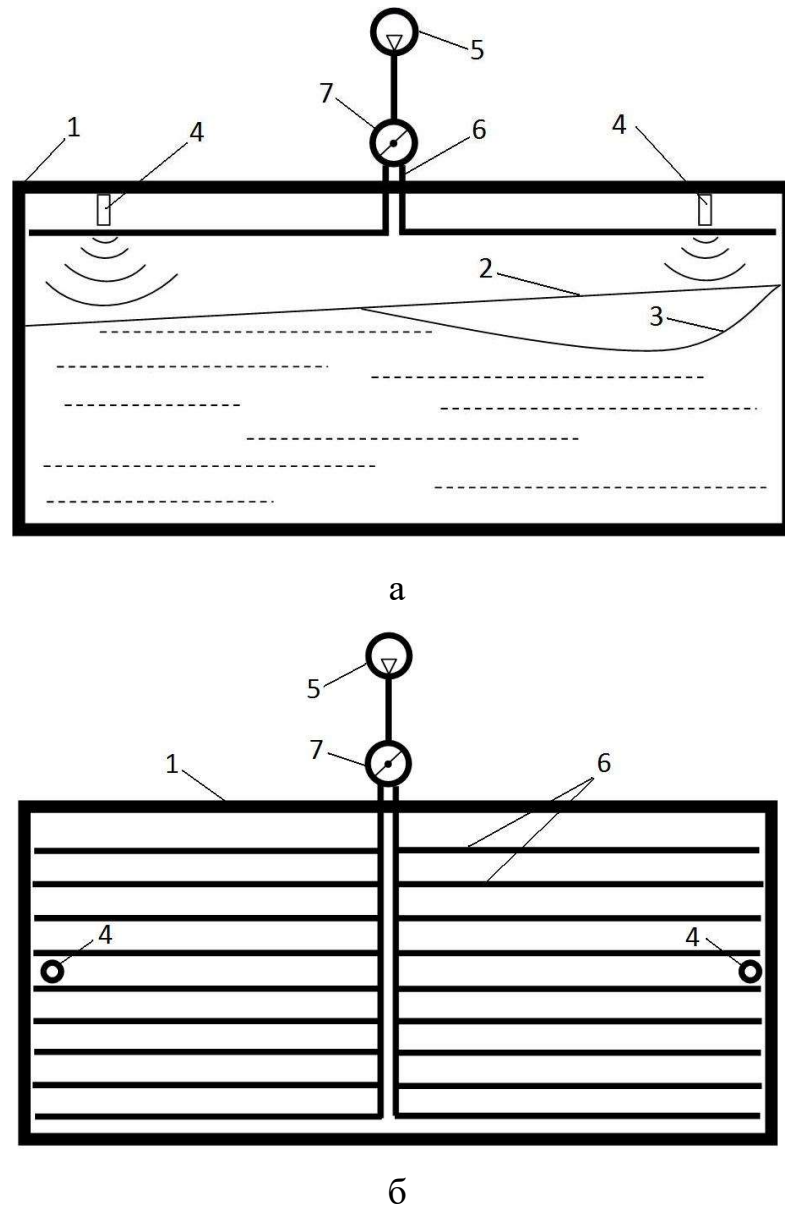
Всі вищенаведені дані вказують на другий недолік використання технології механічного руйнування повітряних обсягів. При фактичних розмірах паразитних повітряних обсягів, що перевищують величину 2 метри ефективність використання механічних решіток, зводиться до мінімуму, оскільки вони не зможуть забезпечити найголовніший показник – значне скорочення початкового об'єму паразитного повітряного міхура.

4.2 Експериментальне вивчення процесу руйнування повітряного міхура, обмеженого поверхнею води і стінками суднового танка

При русі всередині баластного танка великого за обсягом паразитного повітряного міхура, а відповідно і маси води за ним, виникає проблема збільшення його приєднаної маси, яка незмінно виявляється в зростанні неконтрольованого кута крену судна [46–49, 62–64]. Найпростішим і надійним способом усунення негативних наслідків від цього руху може бути поділ повітряної каверни на ряд дрібних і відокремлених один від одного повітряних міхурів або повне її знищення на остаточній стадії топінговки суднових баластних танків.

На етапі експериментального вивчення процесу руйнування паразитного повітряного міхура в умовах роботи судна погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT "Target" компанії Dockwise –Boskalis були розглянуті два варіанти його технологічної реалізації. Не дивлячись на велику ідентичність реалізованих технологічних схем, результати, які були отримані в кінцевому підсумку виявилися такими, що сильно відрізняються один від одного.

У першому випадку використовувався варіант створення зони підвищеного тиску в тій частині баластного танка, яка відповідає тому борту судна, який іде вгору при повороті його корпусу під час хитамиці. Область підвищеного тиску створювалася за рахунок роботи штатних компресорів. Повітря від компресора подавалося в баластний танк вздовж перфорованої повітряної лінії високого тиску. Величина витрати повітря високого тиску була постійною, а саме нагнітання здійснювалось в момент повороту судна на максимальний кут крену. Загальна схема роботи системи в цей момент часу показана на малюнку 4.2. Її основними елементами є: компресор 5, що створює в повітряної лінії нагнітання 6 підвищений тиск і датчики рівня баластної



а – поздовжній вид баластного танка; б – баластний танк, вид зверху

Рисунок 4.2 – Схема розбивки повітряного обсягу за рахунок використання підвищеного тиску

1 – стінки баластного танка; 2 – рівень баластної води; 3 – повітряний міхур; 4 – ультразвуковий датчик рівня води в танку; 5 – компресор; 6 – повітряні лінії високого тиску; 7 – затвор для повітряного потоку.

води в судновому баластному танку 4.

Різниця показань двох датчиків рівня 4 завжди в автоматичному режимі дозволяла визначати кут крену судна [18–19]. Залежно від напрямку кута

нахилу корпусу судна проводилося автоматичне перемикання електромагнітного клапана–затвора 7. Перемикання клапана відбувалось для повітряного потоку під тиском в таке положення, при якому додатковий протитиск створювався в потрібній половині танка, над тією частиною поверхні води де в поточний момент часу перебував паразитний повітряний обсяг.

У всіх експериментах, в якості основного вузла контролю положення рівня баластної води в судновому танку, використовувалася система з набору ультразвукових датчиків рівня. Вони всі працювали на принципі Доплера, що полягає у вимірюванні різниці кутів і часу руху відправленої і відбитої хвилі ультразвукового сигналу [29]. Були використані прилади Mobrey 003 Ultrasonic Level Switch компанії Emerson (США). За описом паспортних даних заводу–виготовлювача ці ультразвукові датчики рівня виконані в циліндричному герметичному і антикорозійному поліфеніловому корпусі [19]. Його зовнішній діаметр дорівнює 22 мм (1 дюйм). Робочий діапазон температур таких вимірників рівня становить від -20 до 70°C , робочий тиск може доходити до 0,5 МПа (5 атм), а похибка вимірювання складає 2 мм при максимальній дистанції вимірювання рівня від випромінювача датчика до поверхні води дорівнює 3 м [19].

Ультразвукові датчики рівня при проведенні експериментів використовувалися, як прилади подвійного призначення. Крім своєї основної функції – індикації рівня заповнення баластного танка водою вони також використовувалися для знаходження і локалізації місця поточного розташування паразитного повітряного обсягу.

Другий напрямок забезпечувався тим, що в місці знаходження повітряного міхура рівень кордону баластної води в танку буде відображатися свідомо більше, ніж на інших індикаторах. Це мале місце за рахунок того, що відображення ультразвукової хвилі відбувалось від гладкої, а не криволінійної поверхні.

Створення зони підвищеного тиску повинно було приводити до фіксування рухомого на поверхні баластної води паразитного повітряного обсягу в тій частині танка, в якій знаходяться клапани (гусаки), що відводять повітря. Надалі передбачалося, що при такій технології топінговки відбір повітря з суднового баластного танка завершиться повністю.

При проведенні експериментів було встановлено, що створення області з підвищеним тиском не призводило до одержання очікуваного результату. Паразитне повітря все одно залишалося всередині баластного танка, а неконтрольований кут крену судна зменшувався в дуже незначних межах. В основному це було викликано тим, що зупинка руху паразитного повітряного об'єму не відбувалася до кінця. Вона була тільки частковою і приводила до деформації зовнішнього кордону міхура, внаслідок чого ймовірність попадання паразитного повітряного обсягу в робочу зону всмоктування випускного повітряного клапана (гусака) все одно залишалася високою.

З цієї причини був реалізований другий варіант технології видалення паразитного повітряного обсягу з баластного танка. В цьому випадку аналогічним чином була використана схема видалення паразитного повітря за рахунок використання суднової компресорної системи. За рахунок установки набору соплових апаратів і використання принципу дискретної подачі стисненого повітря, для руйнування паразитного повітряного обсягу, були використані повітряні струмені з високим тиском. Основний принцип роботи такої системи полягав в розбивці великого паразитного повітряного міхура на ряд дрібних, які при рівномірному заповненні всієї поверхні води в судновому танку приводили до зниження рівня коливань загальної маси баластної води. При реалізації такого процесу все надлишкове повітря може бути вилучено у нормальному штатному режимі. Цей режим відповідає випадку найкращої топінговки танків, тобто при відсутності як хитами судна, так і хвилювання морської поверхні.

Загальна схема другої технології руйнування паразитного повітряного обсягу всередині суднового баластного танка показана на малюнку 4.3.

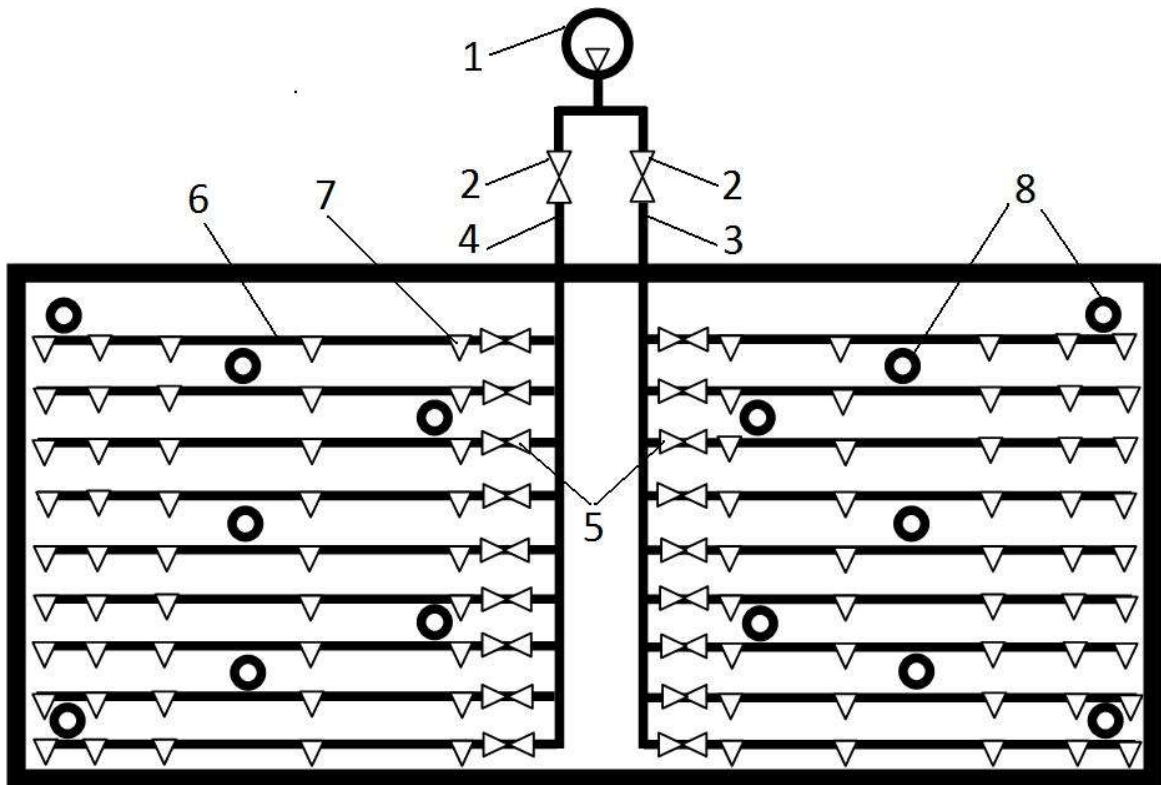


Рисунок 4.3 – Схема розбивки паразитного повітряного обсягу за рахунок використання струменів підвищеного тиску

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

У порівнянні з першим варіантом з точки зору вартісних витрат, що йдуть на обладнання, що встановлюється і роботи з його монтажу цей варіант є більш дорогим, проте він забезпечує повне та якісне рішення поставленої науково-технічної задачі.

У використовуваному науково-технічному рішенні на підволоках танка або на його стрингерах встановлюється велике (не менше чотирнадцяти) число ультразвукових датчиків рівня. На відміну від попередньої технологічної схеми, тепер ці датчики служать не тільки для індикації кута нахилу поверхні

води в баластному танку, але також сигналізують про найбільш ймовірне місце розташування паразитного повітряного міхура (або бульбашок) в будь-який момент часу.

Сумарна кількість ультразвукових датчиків рівня є величиною змінною. Їх загальне число повинно безпосередньо визначатися габаритними розмірами суднового баластного танка.

При проведенні експериментів, як це показано на рис. 4.3, по ширині баластного танка соплові насадки розставлялися зі змінним кроком по довжині повітряного трубопроводу високого тиску. Згущення місць установки датчиків проводилося в міру наближення до кутових зон, тобто до зон, де ймовірність знаходження паразитного повітряного обсягу є найбільш високою.

Технологія руйнування паразитного повітряного міхура в такій технологічній схемі базується на використанні повітряних струменів під тиском. Вони подаються з соплових насадок на ту частину поверхні баластної води, де в даний момент часу відповідно до показань ультразвукових датчиків знаходиться паразитний повітряний міхур.

У разі зіткнення струменя під тиском з повітряним міхуром процес топінговки баластних танків стає набагато ефективнішим. Як показали результати виконаних відео зйомок при такому процесі досягалася практично миттєва зміна обсягу паразитного повітря – суцільний міхур руйнувався і спостерігався перехід до дрібної пухирцевої фази хвильового руху бульбашок повітря на поверхні води в баластному танку.

При використанні дуже гострих кутів атаки під час зіткнень паразитного міхура зі струменями повітря під тиском спостерігалася практично миттєве його зникнення. У цьому випадку можливо було вплинути на зміну показників неконтрольованої хитавиці судна практично за одну фазу пневматичного удару. В основному такий вплив визначалося повним зникненням паразитного повітря в баластному танку.

У ряді технічних пристроїв для отримання ефекту псевдорозрідженого шару використовуються різні технології барботування потоку. При проведенні експериментів цей варіант руйнування паразитного повітряного міхура був також перевірений в якості робочої гіпотези. В ході експериментів стандартна технологічна схема, що показана на малюнку 4.3 була незначно модернізована.

Технологія руйнування паразитного повітряного обсягу була реалізована в такий спосіб – струмені повітря під тиском подавалися з повітряних ліній високого тиску 6. Ці лінії тепер розташовувалися не на підволоку баластного танка, а були затоплені під рівень баластної води в танку і знаходилися під поверхнею повітряного міхура. Місце їх установки відповідало величині 90% від загальної висоти баластного танка. В цьому випадку розглянутий спосіб руйнування показав невисоку ефективність, що в основному було пов'язано з умовами руху повітряного струменя в воді. Високі значення гідродинамічних напружень, що визначають опір і тертя на поверхні розділу двох середовищ (повітря і баластної води), малі відстані, на яких дія струменя є ефективною і складність монтажу основних технологічних елементів вказали на недоцільність установки системи подачі повітряних струменів поза верхньої стінки баластного танка.

Основна спрямованість експериментів, виконаних на судні Heavy–Lift Target, була сфокусована на вимірюванні показників, що впливають на неконтрольований крен судна. Вимірювання кута повороту корпусу судна під час хитами здійснювалося за допомогою автоколліматора Ultra компанії Taylor Hobson (Великобританія) [30].

За описом паспортних даних заводу–виготовлювача цей прилад має можливість вимірювання відхилень від прямолінійності в двох площинах одночасно. Він має наступні характеристики [35]:

1. Похибка і стабільність вимірювання кутів по всьому діапазону, який настроюється – 0,2 секунди.

2. Діапазон вимірювання, який може бути налаштовано в потрібних просторових межах – 1800 секунд.
3. Робоча відстань по всьому діапазону – 5 метрів.
4. Максимальна робоча відстань – 20 метрів.
5. Швидкість вимірювання – 0,15 секунди.

Стандартна комплектація приладу має базуватися на використанні засобів лазерного наведення. Вони забезпечують на великих відстанях або при наявності невеликих відбивачів точне наведення на ціль. За допомогою автоколліматора Ultra всі виміри, розрахунок і аналіз кутів відхилення проводилися шляхом використання, спеціально розробленого (входить в комплект поставки) електрооптичного прикладного програмного забезпечення компанії Taylor Hobson.

Вимірювання часу, що відповідав заповненню баластних танків при їх топінгуванні, здійснювалося за допомогою штатного суднового цифрового секундоміра [34].

Найголовнішим результатом, який вказав на правильність зроблених наукових припущень щодо принципів роботи системи, що розробляється для усунення паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків на суднах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT є час топінговки баластних танків. Під час операції занурення судна під воду час стовідсоткового заповнення всіх баластних танків при роботі нової системи, технологічна схема якої показана на малюнку 3.3, відрізнялася від часу стандартної операції по їх заповненню в меншу сторону.

В ході експериментів було також встановлено, що робота системи руйнування паразитних каверн всередині суднових баластних танків позитивно впливає на неконтрольовану хитавицю судна. Було встановлено, що при всіх допустимих значеннях робочого хвилювання морської поверхні кут крену судна при інших рівних умовах знижувався.

4.3 Ступінь впливу основних параметрів системи усунення повітряних обсягів всередині баластних танків на хитавицю суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

При проведенні експериментальних досліджень, спрямованих на оцінку якості впливу розробленої системи усунення паразитних повітряних обсягів всередині баластних танків на неконтрольовану хитавицю суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT було встановлено, що вона надає стабілізуючу дію. Розроблена система привносить позитивний ефект в загальні експлуатаційні характеристики судна яке працює при хвилюванні. Як це відображено в Додатку 2:

- 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 топінговки (заповнення на 100% обсягу) баластних танків, при роботі системи скоротився в порівнянні з часом стандартної операції по їх заповненню на 12%;
- за реєстраційними даними суднової системи керування OCTOPUS, що працює у взаємодії з судновою системою керування CARGOMASTER, було зареєстровано, що навантаження на корпус судна в ході операції баластування танків судна під час роботи системи були знижені в порівнянні з випадком стандартного занурення на 3,4%.

Всі експериментальні дослідження проводилися на судні погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT "Target" компанії Dockwise-Boskalis. Основна спрямованість вимірювань полягала в отриманні експериментальних результатів, що будуть відображати, яким чином змінюється неконтрольований кут крену судна при використанні системи розбивки паразитних повітряних обсягів в центральних баластних танках

судна. Основні результати отримані під час експериментів показані на малюнках 4.4–4.9.

На малюнку 4.4 показані результати вимірювань неконтрольованого кута крену судна при дуже малому значенні хвилювання морської поверхні. Під час вимірювань на судні висота морських хвиль не перевищувала величину $H=0,2$ м.

У разі дуже малого хвилювання, як видно на графіках, зміни як в природному, так і керованому кренуванні судна повністю підкоряються лінійним законом. В обох випадках відхилення корпусу судна від свого

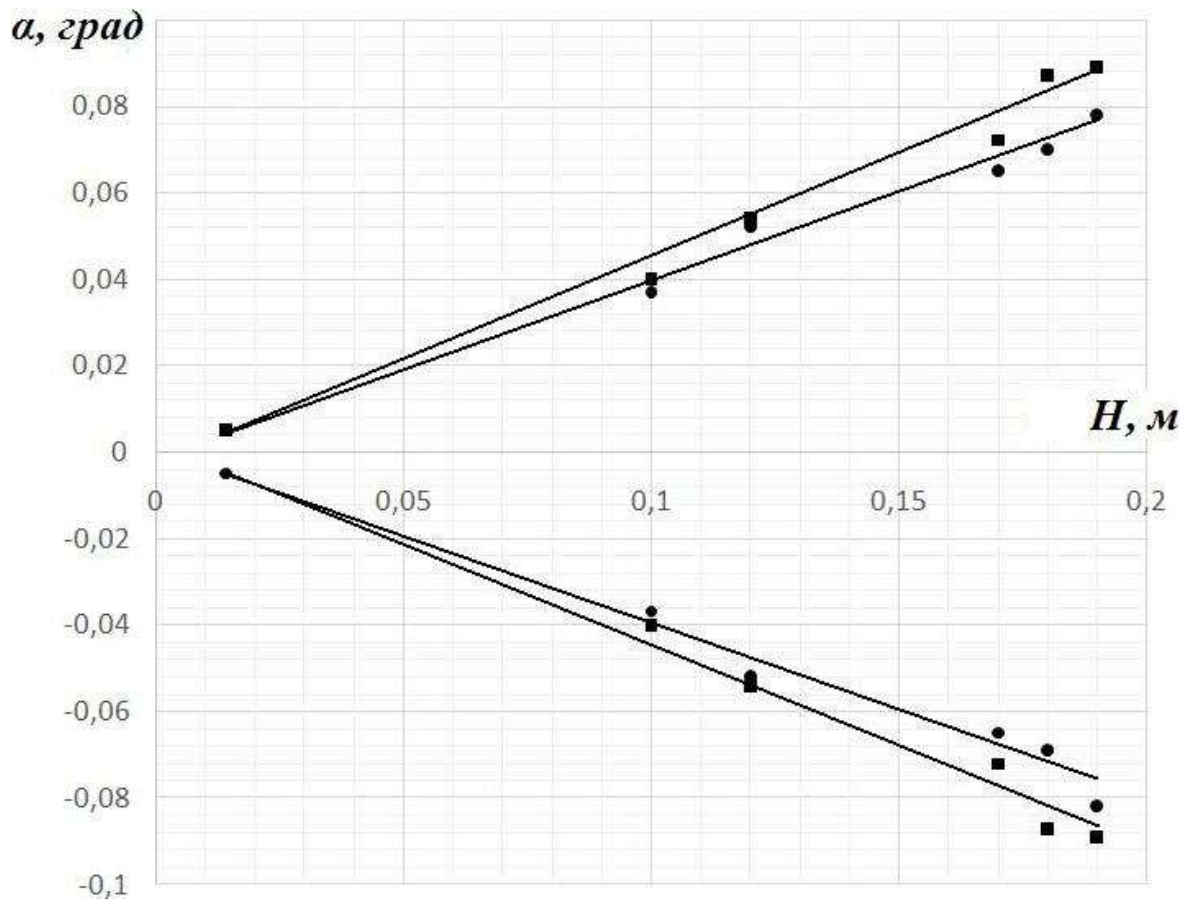


Рисунок 4.4 – Неконтрольований кут крену судна при висоті морської хвилі до $H=0,2$ м.

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

рівноважного положення є настільки незначними, що можна зробити висновок – при таких режимах експлуатації судна умови хитавиці не вчиняють на його роботу ніякого впливу. Під час такого режиму експлуатації судна немає необхідності використовувати систему усунення повітряних обсягів. У цьому випадку її робота практично не призводить до отримання відчутних практичних результатів. Різниця в кутах неконтрольованого крену судна при самому максимальному хвилюванні, що дорівнює 0,2 м становить величину всього 0,012 градуса.

На малюнку 4.5 показані результати вимірювань неконтрольованого

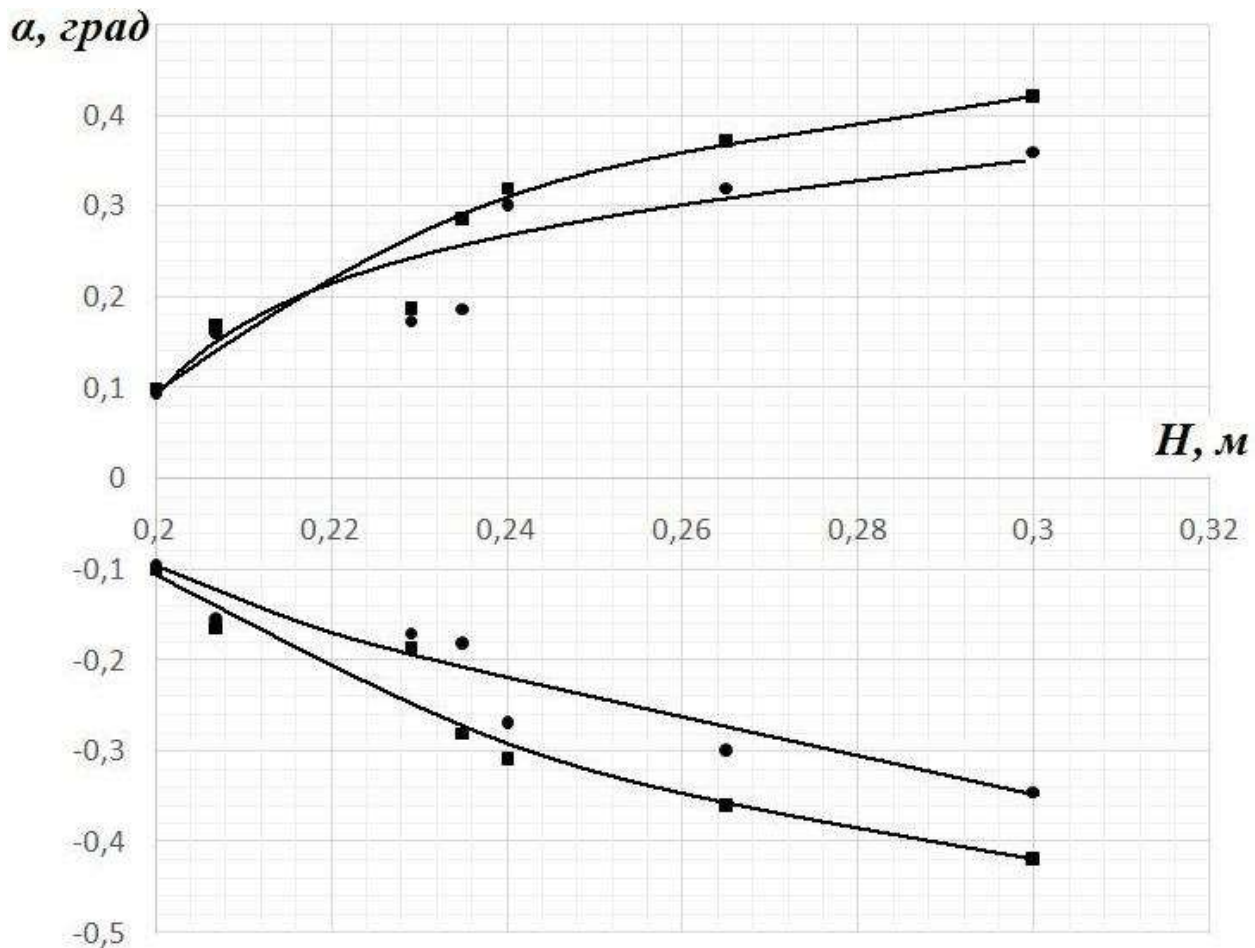


Рисунок 4.5 – Неконтрольований кут крену судна при висоті морської хвилі в діапазоні від $H=0,2$ м до $H=0,3$ м.

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

кута крену судна при малому хвилюванні морської поверхні. Під час експериментів висота морських хвиль знаходилась в діапазоні від $H=0,2$ м до $H=0,3$ м. У цьому випадку спостерігалася перехідна зона, коли хвилювання морської поверхні вже починає впливати на неконтрольовану качку судна. З огляду на складності такого перехідного процесу оцінити основні фактори неможливо. Статистична апроксимація отриманих кривих показала, що найкраще вони апроксимуються поліномами непарних ступенів (п'ятої і вище).

При аналізі двох кривих малюнка 4.5 був зроблений висновок про те, що на цьому режимі експлуатації судна доцільність використання системи розбивки паразитних повітряних обсягів в центральних баластних танках судна також не є обов'язковою. При розглянутих умовах хвилювання морської поверхні різниця кутів неконтрольованого крену судна становить при максимальному хвилюванні морської поверхні рівному $0,3$ м величину всього $0,075$ градуса.

На малюнку 4.6 показані результати вимірювань неконтрольованого кута крену судна при середньому хвилюванні морської поверхні, коли висота хвиль лежить в діапазоні від $H=0,3$ м до $H=0,5$ м.

При такому кренуванні судна, як видно з графіків, робота системи стабілізації починає надавати позитивний вплив на його остійність. У разі максимального хвилювання морської поверхні, що дорівнює $0,5$ м різниця між кутами неконтрольованого крену судна при роботі системи і без неї становила вже $0,2$ градуса. Аналіз графічних результатів малюнка 4.6 однозначно показує, що нижня межа хвилювання морської поверхні, при якій необхідно починати використовувати систему розбивки паразитних повітряних обсягів в центральних баластних танках судна повинна становити не менше ніж $0,35$ метра. У зазначеному діапазоні хвилювання морської поверхні вплив висоти хвилі на неконтрольовану качку судна заново починає підкорятися лінійним законом.

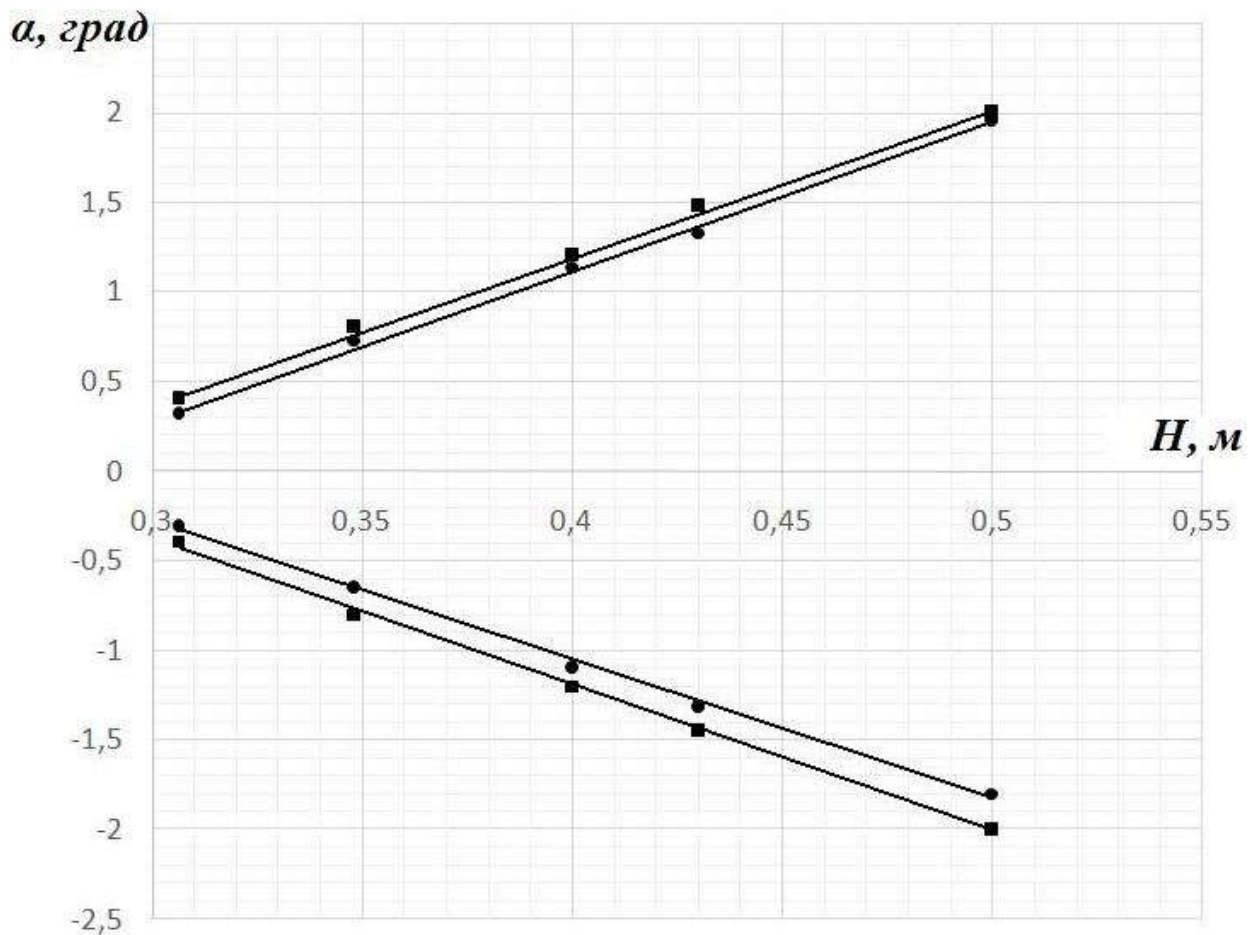


Рисунок 4.6 – Неконтрольований кут крену судна при висоті морської хвилі в діапазоні від $H=0,3$ м до $H=0,5$ м.

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

На малюнку 4.7 показані результати вимірювань неконтрольованого кута крену судна при сильному хвилюванні морської поверхні. В цьому разі висота хвилі знаходиться в діапазоні від $H=0,56$ м до $H=1$ м. У цьому випадку зростання величини хвилювання морської поверхні також підпорядковується лінійному закону.

Як видно на малюнку 4.7 розбіжність між апроксимуючими прямими, що описують природну качку судна і його неконтрольований крен при роботі системи розбивки паразитних повітряних обсягів в центральних баластних

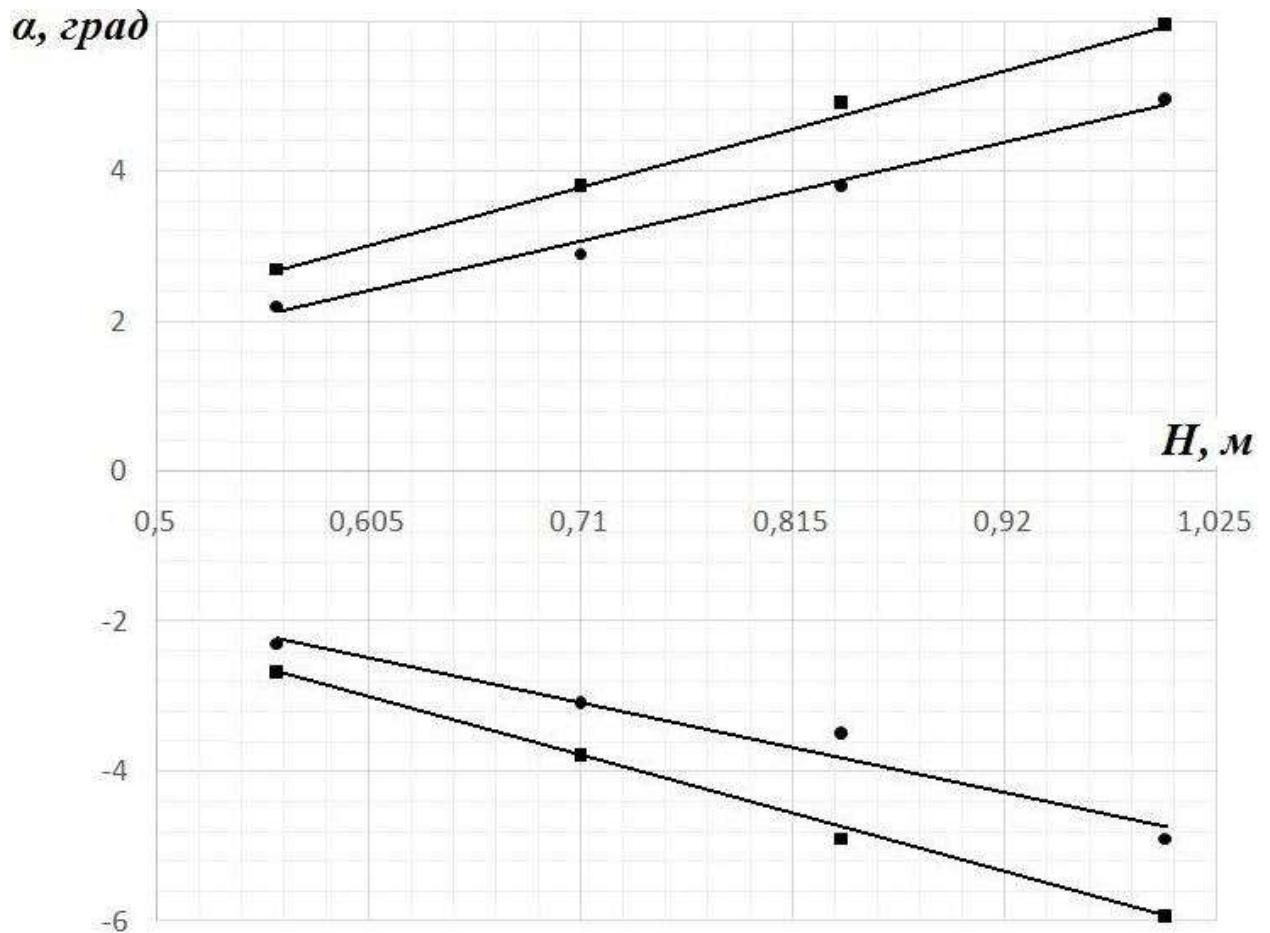


Рисунок 4.7 – Неконтрольований кут крену судна при висоті морської хвилі в діапазоні від $H=0,56$ м до $H=1$ м.

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

танках судна стає при такому хвилюванні дуже істотною. Так, при висоті хвилі, що дорівнює 0,56 метра максимальна різниця неконтрольованих кутів крену судна становила 0,5 градуса. При висоті хвилі в 1 метр вона починає складати вже 1,05 градуса. У процентному співвідношенні така різниця кутів становить 52,38%.

Зведені у єдину номограму графічні результати, що описують поведінку судна при діапазоні зміни висоти хвилювання морської поверхні від $H=0,1$ м до $H=1$ м показані на малюнку 4.8. Всі чотири криві, були отримані шляхом статистичної обробки результатів вимірювань. Вони являють собою

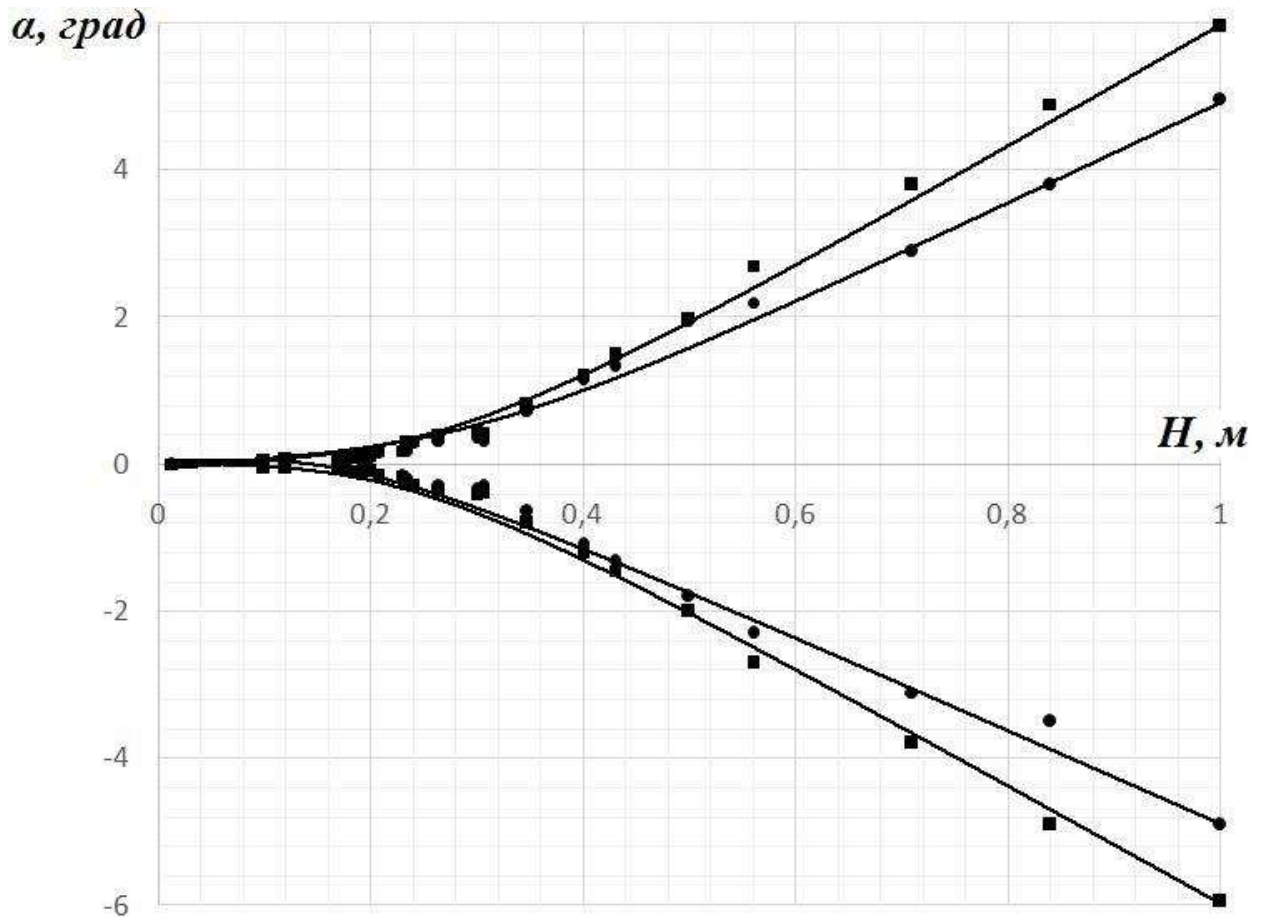


Рисунок 4.8 – Неконтрольований кут крену судна при висоті морської хвилі в діапазоні від $H = 0,1$ м до $H = 1$ м.

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

номограму якості роботи системи стабілізації крену судна за рахунок видалення з суднових баластних танків паразитних повітряних обсягів.

Графічний аналіз просторового розташування чотирьох (двох верхніх і двох нижніх) апроксимаційних кривих показує, що між ними проглядається незначна асиметрія. Вона проявляється в зміщенні відносно один до одного позитивних і негативних значень кутів неkontrolьованої хитавиці судна. Ця різниця викликана умовами його обтікання, коли під час проведення замірів хвиля, що набігала на корпус судна надавала завищений силовий вплив тільки на один з бортів судна. У більшості випадків, під час проведення

експериментів таким бортом був правий, що на рис. 4.8 відповідає позитивним значенням кута неконтрольованого крену судна.

В результаті комплексної оцінки всіх даних вимірювань поведінки суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT на хвилюванні була виконана оцінка ефективності розробленої системи усунення повітряних обсягів всередині баластних танків. Одним з основних критеріїв ефективності і якості роботи розробленої системи може виступати рівень неконтрольованої хитавиці судна під час топінговки (стовідсоткового заповнення) центральних суднових баластних танків під час занурення палуби судна під рівень морської поверхні.

Зведені результати виконаних вимірювань, що описують рівень неконтрольованої хитавиці судна, показані на загальному графіку малюнка 4.9. Як видно на приведених двох кривих ефективна різниця кутів кренування під час хитавиці судна при стандартному режимі його експлуатації і при хитавиці з використанням роботи системи усунення повітряних пробок всередині баластних танків збільшується з ростом хвилювання морської поверхні.

Дисбаланс в крені судна при малому та сильному хвилюванні між собою відрізняється дуже сильно. До рівня висоти морської хвилі в діапазоні від 0,1 до 0,35 м, який для суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT 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 загального часу баластування суднових танків. Починаючи з рівня висоти морської хвилі, що перевищує значення 0,35 м розроблена система привносить значний внесок в підвищення безаварійної роботи судна. Аналіз графіків на рис. 4.9 показує, що кут розбіжності між двома експериментальними кривими постійно збільшується.

У числових показниках рівень хитавиці судна на хвилюванні відрізняється при висоті хвилі в 0,3 м на 0,12 градуса, при висоті хвилі 0,6 м

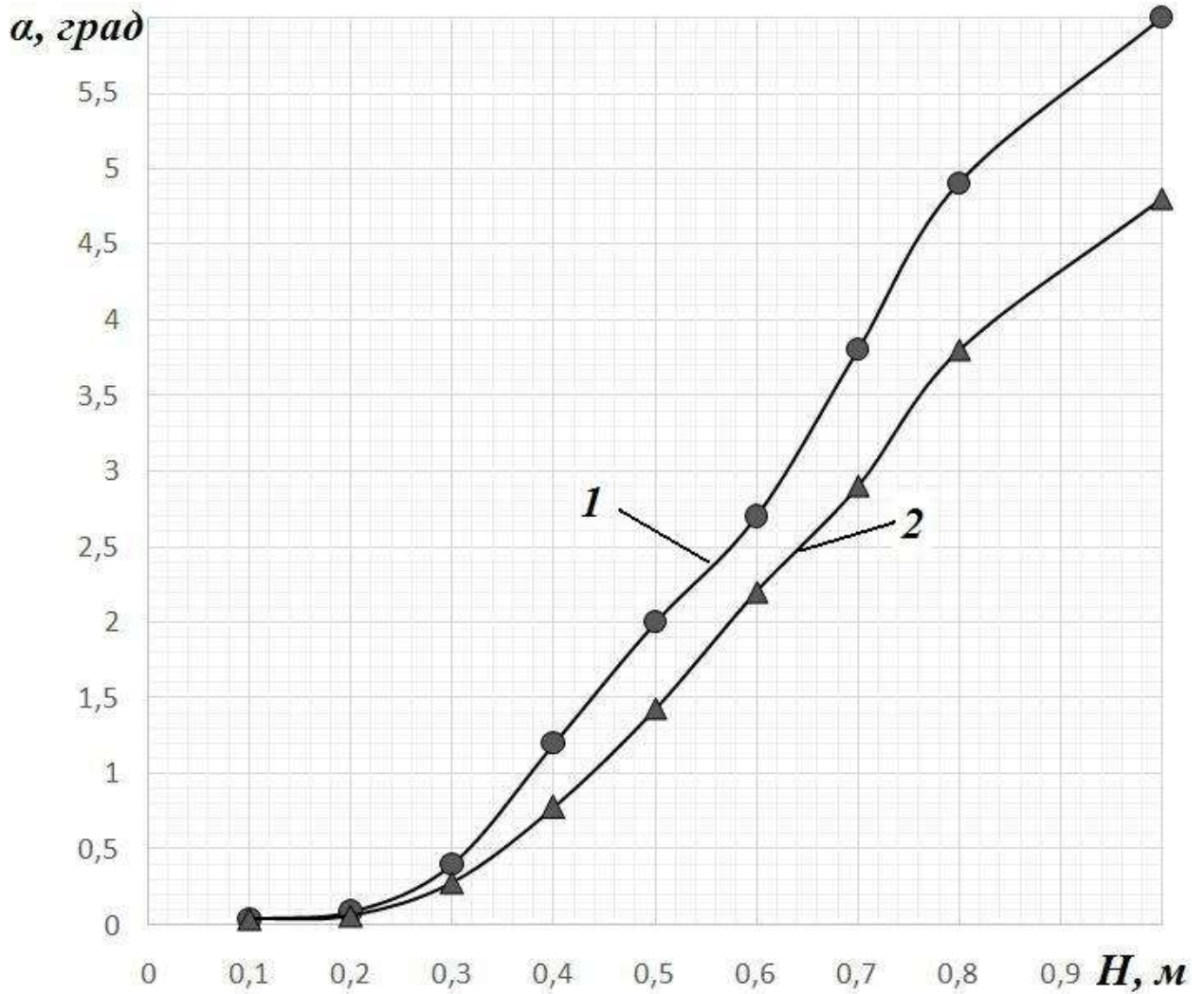


Рисунок 4.9 – Оцінка ефективності роботи системи усунення повітряних обсягів всередині баластних танків суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLEHEAVY-LIFT

1 – робота судна на хвилюванні без системи;
 2 – робота судна на хвилюванні з системою.

на 0,65 градуса, а при 1 метрі на 1,2 градуса. Всі дані, відображені на малюнках 4.4–4.9, є результатами великої серії натурних вимірювань при різних кутах постановки судна до морської хвилі. Залежно від розмірів судна і режиму його експлуатації їх конкретні чисельні показники можуть змінюватися в кожному конкретному випадку, але загальні якісні результати будуть завжди залишатися незмінними.

4.4 Висновки по розділу 4

1. При русі всередині баластного танка великого за обсягом паразитного повітряного міхура, а відповідно і маси води за ним, виникає проблема збільшення його приєднаної маси. Вона незмінно виявляється в зростанні неконтрольованого кута крену судна. Найпростішим і надійним способом усунення негативних наслідків від цього руху може бути поділ повітряного обсягу на ряд дрібних і відокремлених один від одного повітряних бульбашок, або повне його знищення на остаточній стадії топінговки суднових баластних танків.

2. Розглянуто чотири варіанти процесу руйнування паразитного повітряного міхура в умовах роботи суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT: механічне подрібнення за рахунок використання системи решіток, створення протитиску в області руху повітряного міхура, руйнування міхура повітряними струменями підвищеного тиску і барботування поверхні баластної води в місці розташування повітряного міхура.

Найбільшу ефективність показав третій варіант науково-технічного вирішення поставленого завдання. При реалізації такого процесу все паразитне повітря може бути вилучено з суднових баластних танків у штатному режимі, який відповідає випадку відсутності, як хитавиці судна, так і хвилювання морської поверхні.

3. Робота системи забезпечувалася штатними судновими компресорами. Основна спрямованість експериментів, виконаних на судні Heavy-Lift Target, була сфокусована на вимірюванні показників, що впливають на неконтрольований крен судна.

4. 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 величину, що дорівнює 12 %.

5. Робота системи 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 занурення судна до 1,5 градусів, відповідних зануренню судна з експлуатацією системи руйнування паразитного повітря всередині баластних танків судна.

6. У разі дуже малого хвилювання морської поверхні, коли висота хвилі знаходиться в діапазоні від $H = 0,2$ м до $H = 0,3$ м використання системи розбивки паразитних повітряних обсягів в центральних баластних танках судна також не є обов'язковим. При розглянутих умовах хвилювання морської поверхні різниця кутів неконтрольованого крену судна становить при максимальному хвилюванні рівному 0,3 м величину всього 0,075 градуса.

7. Нижня межа хвилювання морської поверхні при якій необхідно починати використовувати систему розбивки паразитних повітряних обсягів в центральних баластних танках судна повинна становити 0,35 метра.

8. Одним з основних критеріїв ефективності і якості роботи розробленої системи може виступати рівень неконтрольованої хитавиці судна при баластуванні центральних судових танків під час занурення палуби судна під рівень морської поверхні.

9. 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 обсягу 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 1 метрі на 1,2 градуса.

РОЗДІЛ 5.
ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СИСТЕМИ ВИДАЛЕННЯ
ПАРАЗИТНОГО ПОВІТРЯ НА СУДНАХ ПОГРУЖНОГО
ТИПУ SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT

5.1 Основні характеристики суднових систем OCTOPUS і CARGOMASTER

Всі без винятку судна погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT комплектуються двома керуючими судновими системами OCTOPUS і CARGOMASTER. Головне призначення їх спільної роботи полягає в [78–81]:

- наданні інформації щодо поведінки на хвилюванні судна в ході вантажно-розвантажувальних операцій;
- вимірі основних конструктивних і механічних показників корпусу судна в ході його руху;
- отриманні і обробці інформації, яка необхідна для коригування курсу судна при зміні кліматичних або погодних умов;
- контролі рівня баластної води в танках судна, а, отже, занурення і диференту самого судна.

На суднах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT автоматизована система управління OCTOPUS здійснює постійний моніторинг і порівняння показників остійності і динамічного навантаження на корпус судна з різними критеріями і прогнозами погоди, а також хвилювання морської поверхні [82].

Відповідно до документації виробника, яка описує її роботу система OCTOPUS відповідає за [78–81]:

- безперервний моніторинг стану корпусу судна на хвильовому навантаженні з прогнозом найближчих змін в залежності від характеристик хвилювання;
- наданні прогнозованих значень показників роботи судна в залежності від змін навігаційної обстановки в районі його плавання;
- безперервну деталізовану оцінку курсу судна і його оптимізацію в залежності від поведінки судна і навантажень на його корпус в умовах морського хвилювання;
- надання плавскладу об'єктивних оціночних характеристик для підтримки в прийнятті рішень щодо безпечної навігації і уникнення аварійних коливань судна.

Основними результатами її роботи є чіткі дані по рекомендованому напрямку руху судна. Курс судна автоматично прокладається таким чином, щоб динамічне навантаження (від вітру і від морської води) на судно, а отже і на вантаж, що ним транспортується, була мінімальною.

При вимірюванні динамічних навантажень на корпус судна робота системи OSTOPUS заснована на використанні набору датчиків деформації, які встановлюються уздовж всього корпусу зі змінним кроком від 0,5 до 1,5 метра. Приклад таких двох датчиків показаний на малюнку 5.1. Їх головним призначенням є вимір зсувних зусиль і згинальних моментів, що виникають на корпусі судна.

Система інтегрованих в загальну комп'ютерну мережу датчиків деформації в комбінації з автоматизованим програмним комплексом системи OSTOPUS безпосередньо пов'язані з керуючими системами головного містка судна.

З використанням супутникового зв'язку інформація щодо погодних умов і хвилювання морської поверхні, яка обробляється системою управління OSTOPUS, постійно надходить від зовнішніх берегових джерел.

Система управління OSTOPUS при експлуатації судна завжди працює в комбінації з другої системою – CARGOMASTER. Вона також є



Рисунок 5.1 – Датчики динамічних навантажень системи OCTOPUS

автоматизованою і управляється центральним комп'ютером з містка судна. В ході своєї роботи система CARGOMASTER постійно надає наступну інформацію:

- заміри розподілу баластної води всередині всіх баластних танків судна;
- вимірювання остійності судна;
- заміри прогину корпусу судна;
- заміри вигину корпусу судна.

Два останніх параметри визначаються поточними динамічними навантаженнями на різні елементи корпусу судна і безперервно вимірюються за допомогою датчиків, які встановлені вздовж усього корпусу судна з кроком від 0,5 до 2,7 метра.

Оскільки наявність води в баластних танках судна визначає такі його основні характеристики, як диферент, остійність і керованість то до її контролю пред'являються підвищені вимоги [84]. З цієї причини в кожному з баластних танків судна для системи CARGOMASTER встановлюється не один, а два датчики. Один з них робочий, а другий резервний на випадок аварії. З цієї ж самої причини в системі CARGOMASTER використовується два

керуючих комп'ютери – один постійно працюючий, а другий знаходиться в режимі очікування.

При роботі суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT найбільш високі вимоги пред'являються до них в тому випадку, коли проводяться операції завантаження і вивантаження. У цьому випадку через необхідність мати точні відомості про остійність судна і його диферент системи OCTOPUS і CARGOMASTER починають працювати в спільному режимі. В цьому випадку керуючої стає система OCTOPUS, а всі сигнали, які виробляються датчиками системи CARGOMASTER обробляються в сукупності з сигналами від датчиків системи OCTOPUS.

5.2 Удосконалення технології заповнення або відбору води з баластових танків

В даний час на всіх судах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT всередині баластних танків використовується стандартна за своїм конструктивним виконанням гідравлічна система подачі баластної води [83, 87]. Недосконалість її головних конструктивних елементів – всмоктувальних клапанів і їх розташування всередині баластних танків в невеликому ступені також зумовлює появу паразитних обсягів надлишкового повітря. Приклад вхідної частини всмоктувального клапана показаний на малюнку 5.2 [93], а його основні розміри, які змінюються в залежності від пропускної здатності клапана, зведені в таблицю 5.1 [83].

Розташування клапанів по всій площині суднових баластних танків, як це показано чорними точками на схематичному малюнку 5.3, здійснюється за принципом одиничної розстановки клапана на дні кожного танка. Як видно на кресленні в геометричному розташуванні клапанів допущена одна

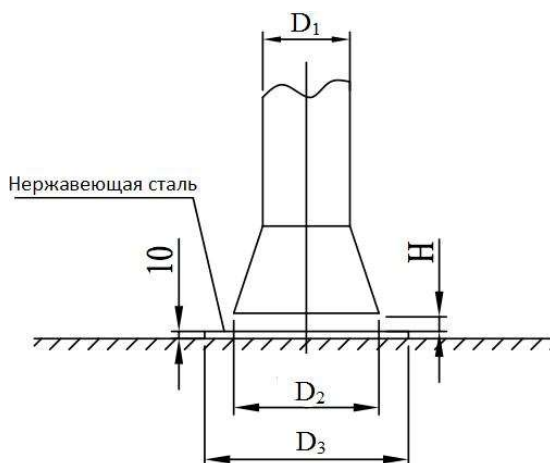


Рисунок 5.2 – Вхідна частина клапана подачі і відбору води [93]

Таблиця 5.1

Характерні розміри вхідної частини всмоктувальних клапанів

Діаметр отвору			Висота зазору
D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	H , мм
100	250	350	20
300	500	700	50
400	700	900	60
	Овал з фокусами 500 x 900	Овал з фокусами 700 x 900	
500	100	1200	65

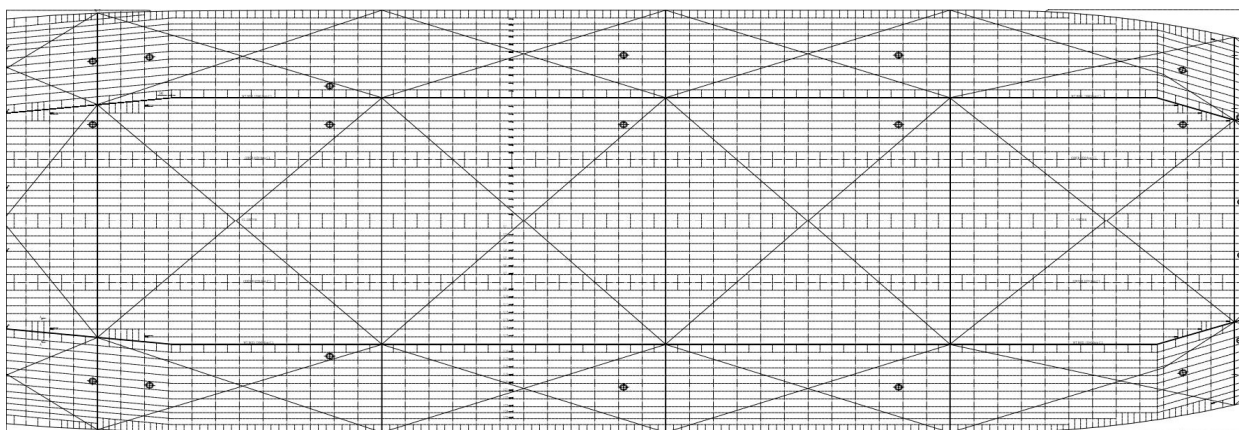


Рисунок 5.3 – Компонування клапанів подачі води всередині
центральної баластних танків судна

конструктивна помилка. Вона безпосередньо відображається результатами проведених досліджень і пов'язана зі здатністю повітря збиратися в паразитні обсяги і бути локально присутнім в кутових зонах танків. З цієї причини при подачі баластної води під рівень, тобто при заповненні баластного танка водою вище всмоктувального клапана в цілісному обсязі води з'являється точкове джерело дрібнодисперсних бульбашок повітря. Ці повітряні пухирці по мірі свого підйому вгору починають піддаватися взаємному об'єднанню в цілісний обсяг і змінюють всю структуру рухомого вгору потоку [103]. В ході свого руху до верхньої частини танку вони переходять від псевдоожиженого кластера до пухирчастих об'ємів або медузоподібних структур (див. Розділ 2, рис. 2.3) [104].

Згідно обробленої технічної документації різних суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT було встановлено, що при використанні в їх роботі компресорних систем діаметри повітряних трубопроводів для баластних танків відрізняються в залежності від їх розташування і складають наступні значення: носові та кормові танки – 400 або 500 мм, центральні танки – 600 мм, дренажні танки 850 мм.

Аналогічним чином розподіляються діаметри для подачі або відбору баластної води: носові та кормові танки – 300 або 400 мм, центральні танки – 300 або 400 мм, дренажні танки 500 або 850 мм.

На підставі розрахункового аналізу цих цифр було отримано висновок про дуже сильно завищену пропускну спроможність всіх трубопроводів. Якщо при проведенні розрахунків в якості початкових даних використовувати номінальні або реальні значення витрат баластної води і повітря то діаметри, прораховані за методиками проектування [5, 7, 24, 61, 67, 71, 101, 105, 115] складних гідравлічних трубопроводів або пневматичних мереж відповідають значенням менше на 30–40%. Такий завищений запас пропускну здатності гідравлічних ліній надає можливість проведення конструктивних змін судових технологічних схем подачі баластної води [59].

Для поліпшення операцій заповнення або відбору води з баластних танків відповідно до розробленої методики необхідно виконати наступні операції:

1. Лінія введення баластної води в танк від суднового магістрального трубопроводу повинна розглядатися, як точка найвищого напору, тобто початок розподільного трубопроводу в окремо взятому баластному танку.

В цьому випадку початковими значеннями робочих параметрів є:

– тиск трьох баластних насосів, що працюють за схемою паралельного підключення – одного основного і двох допоміжних

$$H = H_I + H_{II} + H_{III} \quad (5.1)$$

– витрата баластної води, що представляє собою сумарну витрату від трьох насосів, що працюють за схемою паралельного з'єднання

$$Q = Q_I + Q_{II} + Q_{III} \quad (5.2)$$

2. Подачу води в баластний танк необхідно здійснювати за допомогою складного трубопроводу, який повинен розташовуватися на дні танка. Точки виходу для подачі води повинні розставлятися в центральній частині танка таким чином, щоб на кожні 15% його площі припадало не менше однієї точки введення. При цьому смуга, що відокремлює точки подачі води від стінок танка повинна становити не менше 10% і не більше ніж 30% від довжини стінки. Основний принцип компонування такого трубопроводу показаний на схематичному малюнку 5.4. Максимальне число місць подачі води повинно обмежуватися таким правилом – на один квадратний метр площі танка за вирахуванням чотирьох смуг по 10% від відповідних довжин має припадати не більше однієї точки введення.

3. Розрахунок складного роздаткового трубопроводу повинен проводитися за правилами розрахунку складної кільцевої мережі. Ці правила

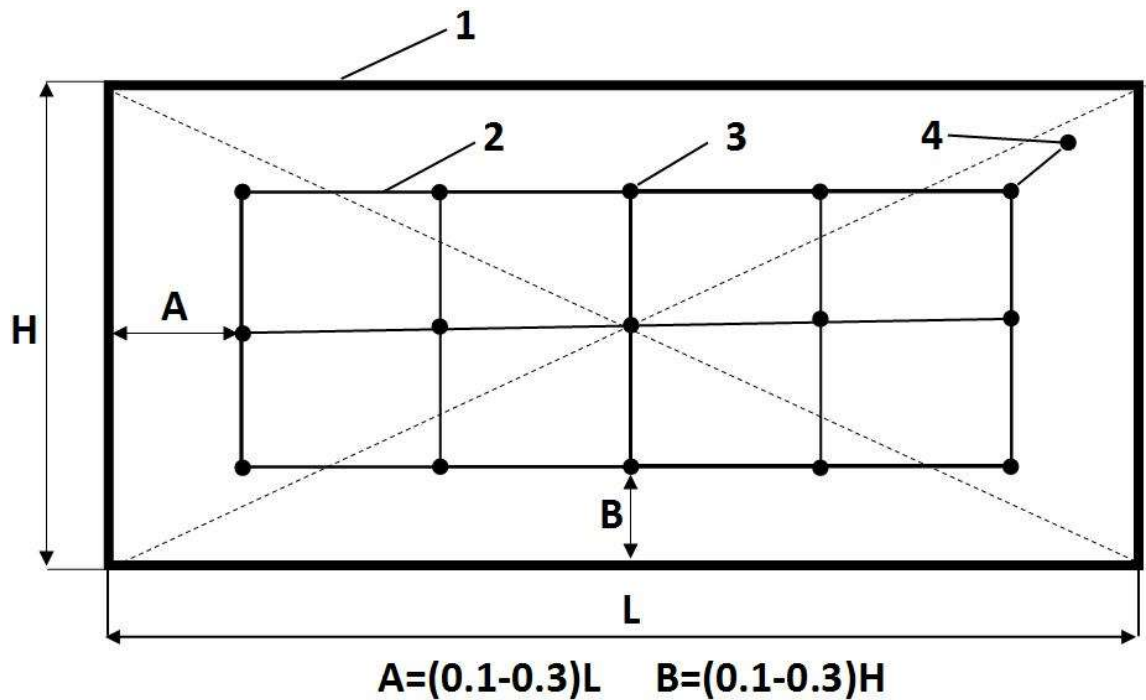


Рисунок 5.4 – Компонування трубопроводу роздачі баластної води

- 1 – баластний танк;
- 2 – роздатковий трубопровід;
- 3 – точка подачі баластної води;
- 4 – стандартний вхід баластної води в танк.

детально розглянено в роботі [5]. В такому розрахунку в якості вихідних даних по напору і витраті на початку трубопроводу повинні використовуватися значення, які відповідають точці стандартного входу баластної води в танк (точка 4 на рис. 5.4).

4. Складний кільцевий трубопровід на дні баластних танків повинен працювати в поєднанні з поточними результатами вимірів суднових систем управління OSTOPUS і CARGOMASTER. В цьому випадку гідравлічна характеристика кожної мережі в окремо взятому баластному танку, що заповнюється, повинна регулюватися в залежності від зміни сумарної характеристики баластних насосів. Робота насосів повинна визначатися поточними значеннями кутів крену і диференту судна, і хвилювання морської поверхні. Величина зміщення робочої точки при роботі трьох баластних

насосів на мережу повинна відповідати діапазону зміни витрати як в більшу, так і в меншу сторону на величини від 10 до 20%.

5. З моменту початку заповнення баластних танків водою обидві суднові системи управління OCTOPUS і CARGOMASTER повинні використовувати показання ультразвукових датчиків рівня. Розстановка цих датчиків повинна здійснюватися на позначці найвищої плескатої поверхні баластного танка. Це має бути його підволок, або рівень верхніх поперечних стрингерів.

Технологічна схема розташування датчиків показана на малюнку 5.5.

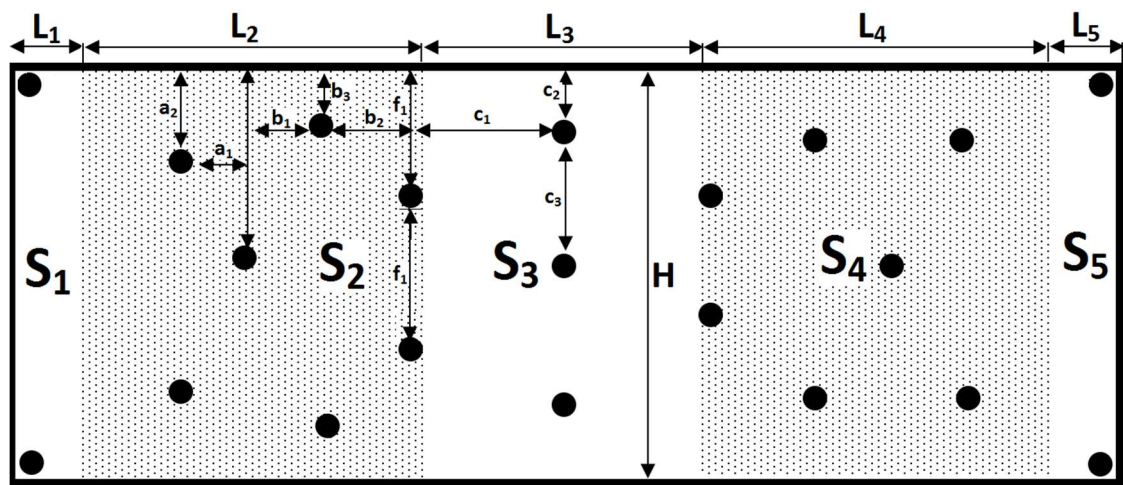


Рисунок 5.5 – Схема розташування ультразвукових датчиків рівня баластної води

Для найбільш якісної роботи системи виміру рівня води і положення паразитних пухирцевих обсягів повітря на її поверхні датчики відповідно до розробленої технологічної схеми необхідно розташовувати за наступним алгоритмом:

1. Вся поверхня танка розбивається на п'ять ділянок, кожна з яких (крім центральної) симетрично відображається на рівнозначну щодо поперечної осі симетрії танка.

Чисельні значення цих площ відповідно дорівнюють:

$S_1 = 10\%$ від сумарної площі з довжиною L_1 ;

$S_2=30\%$ від сумарної площі з довжиною L_2 ;

$S_3=20\%$ від сумарної площі з довжиною L_3 ;

$S_4=30\%$ від сумарної площі з довжиною L_4 ;

$S_5=10\%$ від сумарної площі з довжиною L_5 .

2. На кожній з цих ділянок розташовуються місця установки датчиків в наступному порядку:

а) площа S_1 і S_5 по два датчики – в кутових зонах баластного танка на відстанях по 1 м від бічної і поздовжньої стінок;

б) приймається, що лінія відліку геометричних відстаней для всіх інших датчиків по ширині танка збігається з лінією симетрії танка по його ширині, тобто знаходиться посередині площі S_3 .

в) площа S_2 і S_4 по сім датчиків з нерівномірним кроком по ширині і довжині танка. Відповідно до рис. 5.5 геометричні розміри місць установки в загальному вигляді повинні визначатися таким чином:

$$a_1 = 0.2L_2;$$

$$a_2 = (0.2 \text{ або } 0.3)H;$$

$$b_1 = 0.3L_2;$$

$$b_2 = 0.35L_2;$$

$$b_3 = (0.15 \text{ або } 0.2)H;$$

$$f_1 = 0.3H.$$

г) площа S_3 повинна містити три датчики рівня, які розставляються по осі симетрії у відповідності з наступними розмірами:

$$c_1 = 0.5L_3;$$

$$c_2 = (0.15 \text{ або } 0.2)H;$$

$$c_3 = (0.3 \text{ або } 0.35)H.$$

У всіх співвідношеннях, наведених в пунктах в) і г), в якості величини H використовується ширина баластного танка. Менші значення числових

коефіцієнтів беруться при малих значеннях величини H , а великі відповідно при великих.

д) остаточні датчики рівня, які необхідно розташовувати нижче поздовжньої осі симетрії баластного танка, розміщуються в дзеркальному відображенні по ідентичних співвідношеннях з відліком від поздовжньої осі симетрії.

Заповнення баластних танків водою при наявності конструктивної можливості необхідно пов'язувати з роботою суднової компресорної системи. Залежно від рівня коливання води в баластному танку, які безпосередньо визначаються за допомогою ультразвукових датчиків рівня рух паразитних обсягів повітря можуть компенсуватися шляхом постійного регулювання тиску в танку. Це можливо робити шляхом подачі або відбору стисненого повітря під тиском. У цьому випадку за рахунок зменшення неконтрольованої хитавиці судна може бути підвищена стабільність його ходу.

При проведенні операцій, пов'язаних з спливанням судна, розроблена система по використанню замкнутої гідравлічної кільцевої мережі з великою кількістю точок-джерел буде також надавати позитивний вплив на неконтрольовану качку судна. У технологічних операціях, коли необхідно з баластних танків вивантажувати воду, буде відсутнім виникнення вертикального вихору, який в даний час завжди призводить до некерованої закрутки потоку води, що відбирається по всій висоті рідини в баластному танку.

5.3 Основні технічні параметри системи подачі струменів під тиском

Основний принцип усунення неконтрольованої хитавиці судна за рахунок руйнування паразитних повітряних бульбашок усередині баластних танків ґрунтується на використанні системи подачі повітряних струменів під

тиском [52]. Така система повинна бути універсальною незалежно від схеми заповнення баластних танків або конструктивних особливостей споруди судна.

На стадії проектування системи руйнування паразитних повітряних бульбашок усередині суднових танків завжди необхідно формулювати три її основні параметри:

- час дії струменя, тобто кількість фаз пневматичного удару по поверхні баластної води в танку;
- кількість повітря, що йде на створення цих струменів і заповнення всієї системи подачі повітря під тиском, тобто сума витрат повітря у всіх струменях з об'ємом повітропроводів всієї суднової пневматичної системи;
- величину ударного тиску на виході з соплових насадок всередині довільно взятого баластного танка.

Всі інші показники, а також конструктивне виконання системи подачі повітря і вибір матеріалів для її виготовлення залежать від трьох перерахованих параметрів.

Використання розробленої системи усунення паразитних повітряних обсягів в баластних танках судна підмовляє подачу струменя повітря з форсунки на поверхню повітряного міхура. В цьому випадку з точки зору автоматизації процесу можливе використання двох технологічних підходів – розподілена або вибіркова подача повітряних струменів.

У першому випадку, при розподіленій подачі струменів всередину танка, весь процес повинен відбуватися дискретно з однаковими часовими інтервалами. Час роботи системи руйнування паразитних повітряних обсягів також повинен мати чіткі обмеження. У кожен фіксований момент часу подача з форсунок повітряних струменів при заповненні танка на 95% буде здійснюватися по всьому контуру допоміжної системи. Повітряні потоки повинні подаватися на поверхню баластної води незалежно від просторового розташування повітряного міхура по відношенню до стінок танка.

Ступінь дискретності роботи повітряних форсунок в першу чергу визначається початковим паразитним об'ємом повітря. На малюнку 5.6 приведена графічна залежність швидкості роботи системи в залежності від початкового об'єму паразитного повітря.

Використання розподіленої системи передбачає:

- установку чіткого часу спрацьовування автоматично керованих клапанів системи подачі повітря під тиском;
- встановлення початкового паразитного обсягу повітря всередині баластного танка;

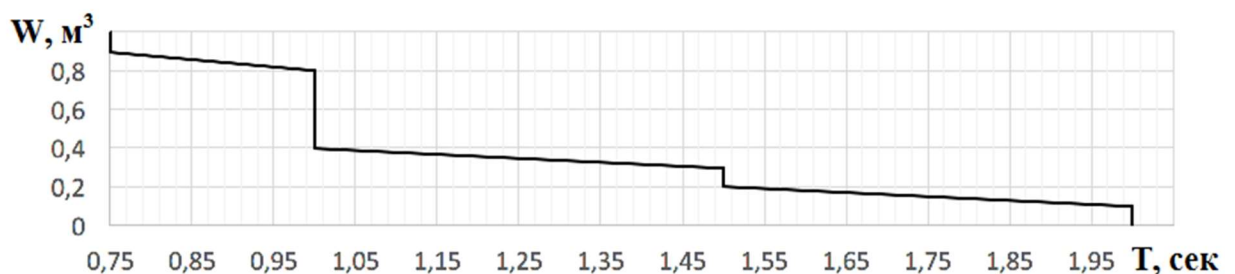
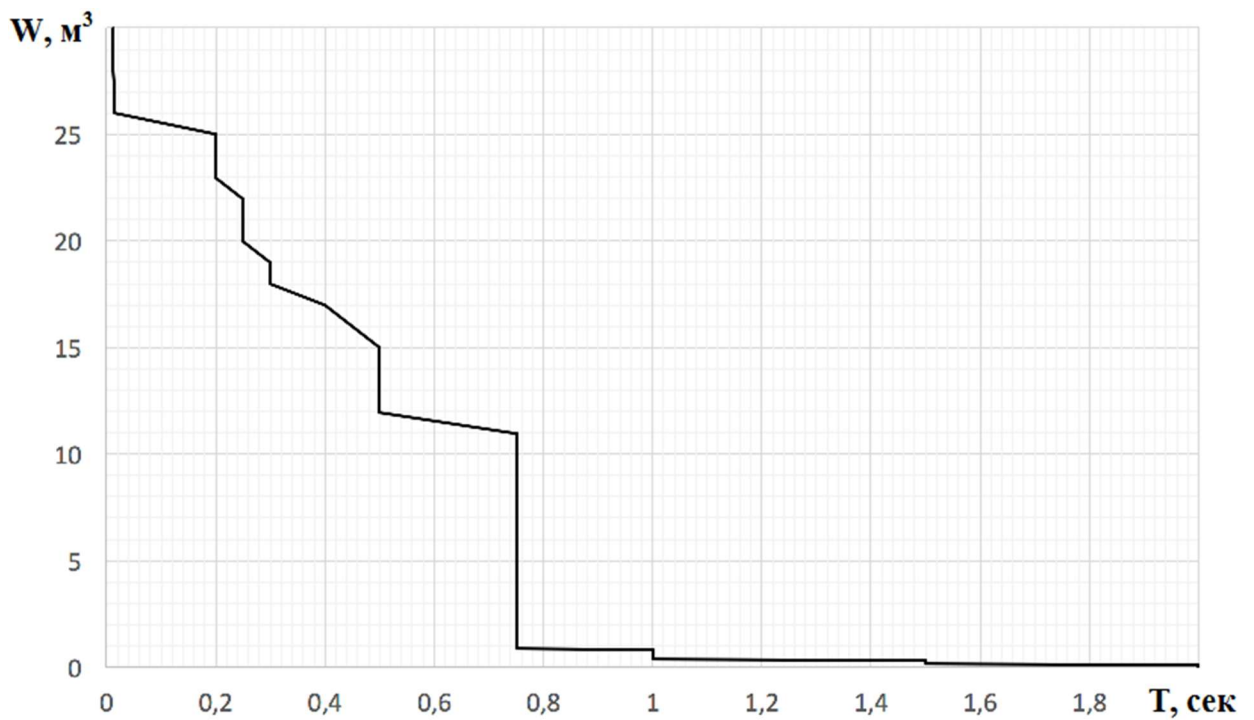


Рисунок 5.6 – Вплив обсягу паразитного повітря на ступінь дискретності подачі струменів під тиском

– постійний контроль ступеня наповнення баластних танків до їх повного опресування.

Час дії струменів при руйнуванні паразитних повітряних обсягів може змінюватися в залежності від кута атаки потоку, що використовується в системі. З урахуванням того, що його величина обмежена чисельним діапазоном від 1 до 15 градусів величина часу роботи струменів повинна обмежуватися значеннями від 0,01 до 2 секунди. Детальні числові значення часу пневматичного удару, які були встановлені емпіричним шляхом наведені в таблиці 5.2.

При проведенні експериментів пневматичний удар у всіх баластних танках створювався однаково – на вхідній ділянці повітряної лінії в кожному танку встановлювався автоматично керований соленоїдний електромагнітний клапан марки FP03P, виробник «Bifold Group».

Таблиця 5.2

Характеристики пневматичного удару

Кут атаки $\alpha, ^\circ$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Час Т, сек	2	2	1.8	1.8	1.6	1.6	1	0.7	0.4	0.2	1	0.5	0.4	0.2	0.01

Характеристики цього клапана, такі [97]:

- час відгуку на включення менше 100 мсек;
- час відгуку на вимикання менше 70 мсек;
- температурний діапазон від $-40\text{ }^\circ\text{C}$ до $90\text{ }^\circ\text{C}$;
- робочий тиск від 0.1 до 3,5 МПа.

При розробці нових конструктивних схем для інших суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT вибір марки клапана не є принциповим. Наведені технічні характеристики і матеріали з яких вони

виготовлені підтримуються більшістю виробників суднового допоміжного обладнання [116].

Вибір оптимальних витрат повітря під тиском обмежений такими складовими як:

- продуктивність суднової компресорної системи (сумарний робочий об'єм всіх компресорів);
- обсяг всіх пневматичних ліній (пневматичних акумуляторів, трубопроводів для подачі повітря уздовж корпусу судна і пневматичних ліній всередині всіх баластних танків);
- відстань, на якому струмені повинні зберігати свій тиск з можливістю проникнення робочої ділянки фронту струменя до межі контакту паразитних пухирців з баластною водою.

Визначальним правилом в цьому випадку може бути підтримка максимального нормативного значення обсягу повітря, що подається, в кількості не більше 1% від обсягу танка за весь період роботи системи.

Під час експлуатації суден погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT основні проблеми з ростом величини некерованої хитавиці судна виникають в разі наповненості загального обсягу баластних танків на 60% і більше. З цієї причини система подачі струменів повітря під тиском повинна використовуватися, починаючи тільки з цього рівня заповнення баластної води по висоті танка.

Величина ударного тиску є найважливішим параметром в роботі системи, оскільки саме за рахунок сили реакції струменя з баластною водою відбувається руйнування повітряного міхура з паразитних повітрям. Ударний тиск при роботі системи завжди є величиною змінною. Він залежить від таких факторів, як: хвилювання морської поверхні, ступінь заповнення баластного танка, кількість і сумарний обсяг паразитних повітряних бульбашок в кожному танку, кутів контрольованого і неконтрольованого крену судна, його диференту і т. п., а також від технології занурення судна під воду, що використовується.

З урахуванням хвилювання морської поверхні ударний тиск повинен контролюватися автоматично. В цьому випадку сумарна регуляторна характеристика компресорної системи повинна координуватися із значенням кута крену і положенням палуби судна (його диферентом), щодо рівня морської поверхні [1]. У міру затоплення судна тиск ударних струменів необхідно плавно зменшувати.

Верхня межа ударного тиску при роботі системи в самих несприятливіших умовах при об'ємних розмірах паразитних повітряних обсягів від 10 м^3 і більше повинна складати $0,7 \text{ МПа}$.

Нижня межа в разі руйнування повітряних паразитних обсягів до значень менше $0,2 \text{ м}^3$ повинна становити $0,1 - 0,2 \text{ МПа}$.

Як приклад на малюнку 5.7 показана графічна залежність між величиною необхідного тиску P , МПа в струменях і обсягом W , м^3 одиночного паразитного міхура, який повинен піддаватися руйнуванню. Слід відзначити,

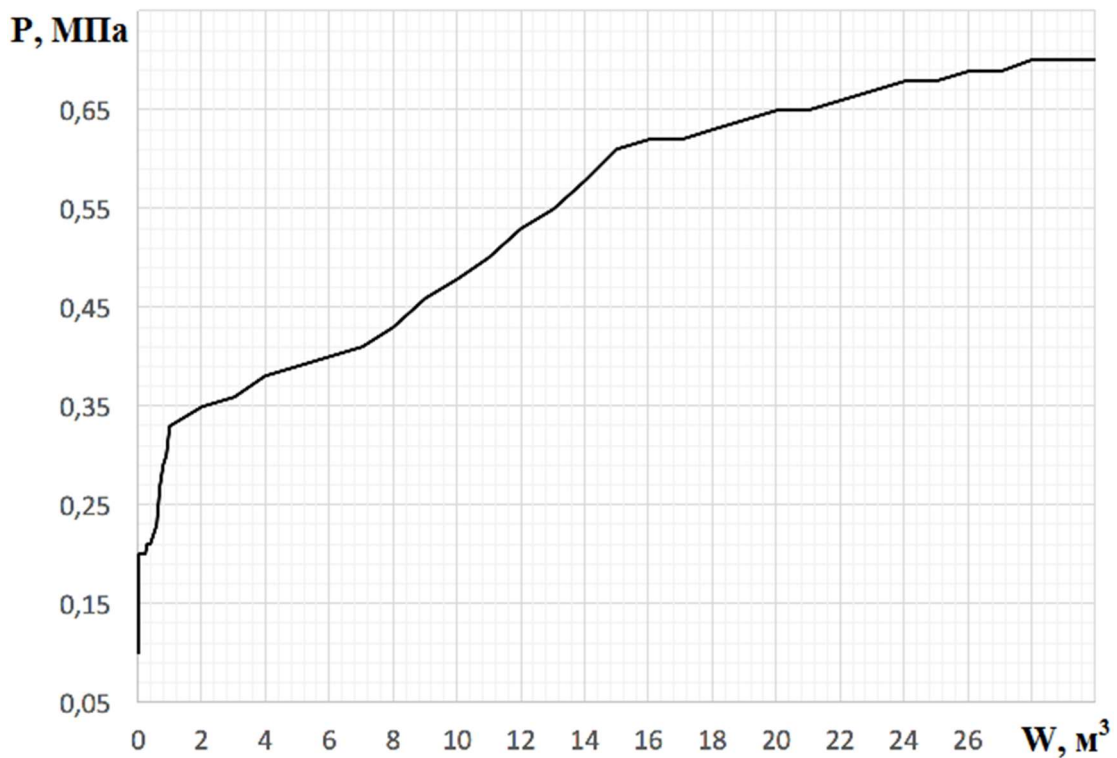


Рисунок 5.7 – Регульовальна характеристика для роботи суднової компресорної системи

що наведена регулювальна характеристика не є універсальною. Вона була побудована в умовах роботи судна Heavy–Lift Target.

У загальному вигляді регулювальна характеристика не може бути побудована, оскільки вона безпосередньо визначається конструкцією судна, зокрема розмірами і кількістю його баластних танків.

Вся робота системи руйнування паразитних повітряних бульбашок повинна бути побудована з урахуванням технології затоплення судна. Для всіх суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT вона є ідентичною тільки в спільних операціях, але відрізняється по виду прийнятого на борт вантажу.

Будь–яка вантажна операція з судном починається з заповнення всіх баластних і паливних танків, до отримання необхідного остаточного занурення навантаження на рівний кіль (для судна Heavy–Lift Target ця величина складає 22 метри). Після заповнення завжди перевіряються поздовжні навантаження. Це робиться для того, щоб не було перевантажень корпусу по зсувним зусиллям і моментам, що вигинають, тобто в нормі повинні знаходитися місцева і загальна міцність [85, 88].

На прикладі судна Heavy–Lift Target, принципова схема баластних танків якого показана на малюнках 1.5–1.6, руйнування паразитних повітряних обсягів необхідно робити в такий спосіб:

1. Використання ударних струменів необхідно починати з центральних баластних танків судна. Початковими танками повинні бути ті, які знаходяться на кормі, а остаточними ті, які знаходяться на носі судна.

2. Після руйнування паразитних повітряних бульбашок і повного заповнення танка 6–С баластної водою його повітряний клапан перекривається. Підставою для закриття повітряного клапана 6–С має бути поява води в дренажному танку (на рис. 1.4–1.5 не показаний).

3. Процес закриття повітряного клапана танка 6–С повинен дублюватися відкриттям повітряного клапана танка 5–С.

4. Заповнення баластної водою всіх наступних центральних танків, тобто до танка 1–С необхідно здійснювати аналогічним чином.

Специфічною особливістю процесу заповнення танків 2–С і 1–С є контроль рівня води в танку. Ці танки не мають повітряних клапанів і контроль їх наповненості може бути уніфікований шляхом використання ультразвукових датчиків рівня. Також може використовуватися традиційний метод – перелив води на бак через випускні вентиляційні патрубки.

5. Після заповнення всіх центральних танків одним з бортових танків робиться крен судна на 1–1,5 градусів. Перевага борту, що обирається, повинна ґрунтуватися на наступному правилі: при зануренні судна на хвилюванні, опускатися вниз повинен той борт, який знаходиться вище над рівнем морської води.

Під час зміни крену судна робота системи руйнування паразитних повітряних бульбашок повинна координуватися з роботою кренометрів в ЦПУ і центрі управління вантажними операціями.

Технологія усунення паразитного повітря залишається після зміни крену судна незмінною з послідовністю процесу від корми судна в його носову частину.

6. Одним із способів контролю правильності процесу баластування всіх центральних танків судна з використанням системи руйнування паразитних обсягів повітря є рівень води в обох судових кормових дренажних танках (на рис. 1.5–1.6 не показані). Верхня межа заповнення кожного з цих танків повинна доходити тільки до 85 % від величини їх обсягів.

При досягненні цього рівня заповнення необхідно процес баластування центральних танків судна зупинити і включити в роботу дренажні насоси для відкачування води з цих танків за борт судна. Тривалість такого процесу завжди збільшується з ростом глибини занурення судна і навпаки.

7. Після повної топінговки всіх центральних танків судна, що відповідає повному закритті всіх повітряних клапанів центральних танків судна і їх

опресуванню (герметичному закриттю всіх люкових отворів і клапанів) необхідно заповнювати бортові танки.

Для уникнення передчасного відходу палуби судна під рівень поверхні морської води під час баластування бортових танків диферент судна необхідно підтримувати на рівні не менше трьох метрів. Також необхідно утримувати крен судна по одному з бортів в діапазоні від 1 до 1,5 градусів.

8. Особливу увагу при наборі баластної води в бортові танки судна має пред'являтися до роботи системи видалення паразитних обсягів повітря в тому випадку, коли вантажна палуба занурюється під воду. В цьому випадку крен судна необхідно вирівняти і довести ступінь заповнення бічних танків судна до 98%. Диферент судна під час цієї операції необхідно витримувати на колишньому рівні – до трьох метрів.

9. Процес роботи системи при баластуванні бортових танків має свої технологічні особливості, оскільки завжди повинен супроводжуватися креном судна на 0.5 градусів на протилежний борт (наприклад, лівий з урахуванням рис. 1.5–1.6). З цього ж борту у напрямку від корми судна до його носової частини з танків під номерами від 6–Р до 1–Р по черзі необхідно видаляти паразитний повітря.

10. При закінченні процесу топінговки одного з бортів крен судна виросте від 0,5 градусів до діапазону від 1,2 до 1,5 градусів. У цей момент необхідно за допомогою баластування верхніх танків змінити крен судна на протилежний борт (правий) і повторити всю технологію топінговки борту в ідентичному порядку.

11. За аналогією з процесом баластування центральних танків судна контроль за якістю роботи системи з видалення паразитних обсягів повітря необхідно здійснювати за допомогою попередньо звільнених дренажних танків судна. Вода в ці танки може потрапляти через повітропроводи. При досягненні верхньої межі заповнення кожного з цих танків (85% від величини їх обсягів) в роботу також необхідно включити дренажний насос з зупинкою

основного процесу топінговки суднових танків, що розташовані по бокам судна.

12. Ключовими відмітками глибини занурення судна є – 15 метрів занурення кормової частини судна і 15 метрів занурення носової частини судна. У першому випадку сигнал повинен надійти в ЦПУ машинного відділення, а в другому – в ЦПУ машинного відділення і на центральний місток судна з повідомленням вахти про проходження відміток занурення.

13. У процесі затоплення або спливання судна, крім контролю за рівнем води у всіх баластних танках судна за допомогою ультразвукових датчиків рівня системи руйнування паразитних обсягів повітря необхідно з використанням тензометричних датчиків суднових систем управління OCTOPUS і CARGOMASTER постійно контролювати показники місцевої і загальної міцності корпусу і палуби судна .

З урахуванням проведених замірів часу процесу баластування всіх палубних танків судна Heavy–Lift Target під час його багаточисельних операцій занурення було встановлено, що в середньому весь процес обмежений діапазоном 90–120 хвилин. При цьому під час будь–яких баластних операцій величина оптимального тиску, що розвивається баластними насосами в загальній лінії подачі повинна відповідати діапазону від 0,23 до 0,28 МПа.

14. При прийомі вантажу на борт судна, коли він вже знаходиться над посадковим палубним вантажним оснащенням, з усіх танків судна відсмоктується за борт однакова кількість води. При спливанні під час прийому вантажу необхідно постійно вирівнювати крен і диферент судна з перевіркою на місцеву і загальну міцність всіх елементів палуби і корпусу.

15. Процес спливання судна необхідно здійснювати в порядку, що є аналогічним описаному вище до тих пір, поки судно не вийде на осадку, при якій, згідно з розрахунковими даними вантаж повинен сісти на палубне оснащення.

5.4 Алгоритм комбінованої роботи розробленої системи зі штатними судновими системами контролю стану судна OCTOPUS і CARGOMASTER

Використання розробленої системи усунення паразитних обсягів повітря в баластних танках судна підмовляє впровадження додаткової системи автоматичного управління в уже задіяні на судні системи контролю стану судна OCTOPUS і CARGOMASTER. Таке завдання є окремим, оскільки на рівні програмного забезпечення розроблена система видалення надлишкового повітря з баластних танків судна повинна використовувати інтерфейс, аналогічний штатним датчикам системи OCTOPUS.

Взаємне інтегрування двох систем може бути виконано на програмному рівні в блоках управління системи автоматичного управління [1]. Основною системою, чий сигнали є керуючими повинна бути система OCTOPUS. Сигнали, які виробляються її датчиками хитавиці судна щодо рівня морської поверхні і датчиками деформації корпусу судна в результаті силових навантажень з зовнішньої сторони судна повинні комбінуватися з сигналами ультразвукових індикаторів рівня баластної води.

У розробленій системі подачі стисненого повітря мінімальна кількість ультразвукових датчиків рівня встановлюються в баластних танках становить п'ять одиниць – чотири датчика в кутових зонах і п'ятий в центральній точці танка. Максимальне число датчиків визначається площею поперечного перерізу танка і може доходити до дев'ятнадцяти одиниць. З цієї причини сигнали, що виробляються датчиками рівня води в танку, для системи OCTOPUS повинні осереднюватися по середній величині незаповненого баластною водою обсягу.

Загальний вигляд алгоритму, що є керуючим, і який був розроблений для спільної технологічної схеми роботи двох суднових систем показаний на малюнку 5.8.

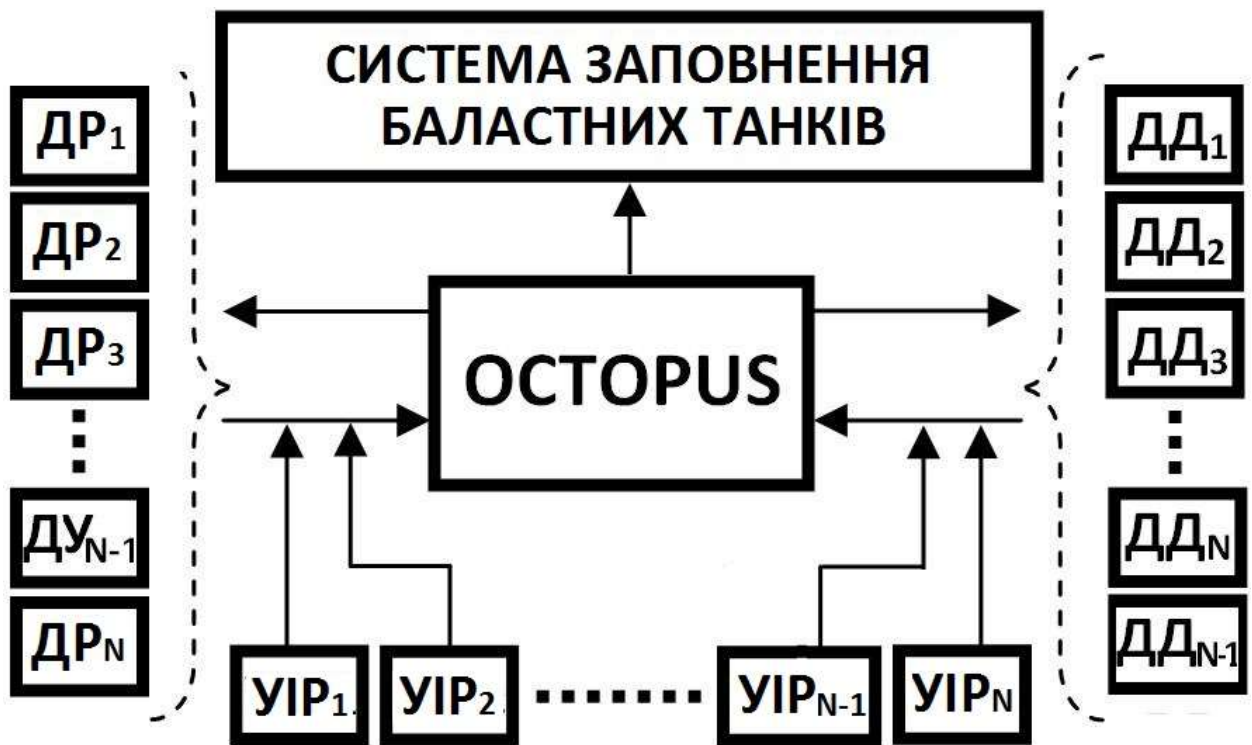


Рисунок 5.8 – Принципова схема інтеграції системи ОСТОРУС з розробленою системою подачі стисненого повітря

Принцип його функціонування полягає у виконанні наступних операцій:

- всі операції по вимірюванню основних параметрів і управління судновими допоміжними механізмами здійснюються при заповненні кожного баластного танка ідентично і незалежно від його розташування, черговості заповнення і технологічного призначення;
- контрольний блок–системи ОСТОРУС повинен постійно працювати в штатному режимі;
- на додаток до сигналів, які виробляються двома стандартними типами датчиків системи ОСТОРУС, а саме датчиками рівня судна під час хитавиці (на рис. 5.8 позначені як ДР) і датчиками деформації корпусу судна (на рис. 5.8 позначені як ДД) додається третій сигнал, який виробляється ультразвуковими індикаторами рівня (на рис. 5.8 позначені як УІР);
- після обробки всіх сигналів для кожного баластного танка, що заповнюється визначається:

- а) надлишковий обсяг повітря;
- б) рівень води, тобто ступінь заповнення танка;
- в) час, необхідний для подачі стисненого повітря на руйнування паразитного повітряного міхура;
- г) місце поточного розташування паразитного повітряного міхура.

Оскільки суднові системи контролю стану судна OSTOPUS і CARGOMASTER дублюють одна одну, то інтегрування розробленої системи з видалення паразитних повітряних обсягів базується на наступному виконавчому алгоритмі їх спільної роботи:

1. На першій стадії, коли сигнали надходять від усіх датчиків в системі OSTOPUS виконується аналіз масиву тих даних, що відповідають деформації корпусу судна і його хитамиці. Ця стадія контрольного опитування датчиків здійснюється до початку роботи баластної системи занурення або спливання судна.

2. Усі сигнали і результати їх обробки, які надходять від датчиків дублюються в системі CARGOMASTER.

На цій стадії розроблена система є тільки частиною загальної системи збору необхідних даних про стан судна і рівні заповнення суднових танків баластною водою.

3. На другій стадії, яка починається з моменту баластування судна, проводиться збір і обробка сигналів від всіх датчиків (ДР, ДД, УІР) з отриманням інформації про швидкість наповнення баластних танків судна.

На цій стадії за допомогою програмного забезпечення систем OSTOPUS і CARGOMASTER проводиться постійна оцінка градієнта зміни хитамиці судна при конкретно взятому значенні його занурення і ступеня наповненості баластних танків судна.

4. На третій стадії, яка відповідає наповненості баластних танків на величину більше 60% проводиться порівняння двох обсягів.

Перший обсяг відповідає поточному обсягу вільного простору в кожному баластному танку, що заповнюється.

Другий обсяг відповідає робочому простору, який повинен відповідати випадку ідеального заповнення. Цей випадок має місце при відсутності хитавиці і такій витраті баластної води, що відповідає поточному значенню сумарної витрати баластних насосів або повітряних компресорів, що працюють.

5. На четвертій стадії система OCTOPUS визначає кількість паразитного обсягу повітря всередині кожного баластного танка. Для можливості контролю якості процесу занурення судна всі дані дублюються в системі CARGOMASTER.

На цій стадії розроблена система видалення паразитних обсягів повітря використовується в повноцінному режимі. У разі необхідності з контролера системи OCTOPUS на усі автоматично регульовані клапани системи подачі стисненого повітря подається керуючий сигнал, а контролер системи видалення паразитного повітря постійно визначає тривалість спрацювання клапанів.

Запропонований алгоритм спільної роботи трьох суднових систем є універсальним оскільки його використання є циклічним, і залежить при відсутності стрибків у деформаціях корпусу судна тільки від показань датчиків рівня води в баластних танках. Цей алгоритм може бути використаний на всіх судах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT незалежно від їх конструктивного виконання та кількості баластних танків.

На підставі вимірів, проведених системами OCTOPUS і CARGOMASTER було встановлено, що інтегрування розробленої системи видалення паразитних обсягів повітря в умовах роботи судна 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 %. Відповідний акт наведено в Додатку 2.

5.5 Монтаж системи усунення паразитного повітря з баластних трюмів судна

При зануренні або спливанні судна головне деформаційне навантаження, пов'язане з моментом, що вигибає і поздовжніми напруженнями на корпус судна в основному несуть тільки центральні баластні танки. На них припадає основне навантаження при зміні диференту судна.

Бічні баластні танки в основному беруть участь тільки в тих операціях, які відносяться до регулювання крену судна. З цієї причини при необхідності економії коштів усі трубопроводи розробленої системи усунення паразитного повітря з баластних танків можуть монтуватися тільки в центральних судових баластних танках. Установка системи у всіх баластних танках доцільна тільки в тих випадках, коли до неконтрольованого крену судна пред'являються підвищені вимоги.

При переході від танка до танка всі монтажні операції залишаються незмінними в силу ідентичності допоміжних елементів (труб, фітингів, ультразвукових датчиків рівня і т. і.), що використовуються.

Основні технологічні вимоги до монтажу системи усунення паразитного повітря з баластних танків судна полягають в наступному:

- джерелом тиску і подачі стисненого повітря повинна бути штатна компресорна система судна і всі з'єднання, повітропроводи, герметики і т.п., повинні вибиратися відповідно до основних робочих характеристик (головною характеристикою є максимальний або піковий тиск) цієї системи;
- система подачі стисненого повітря під тиском повинна бути щільною, а матеріали, що використовуються при її виготовленні повинні допускати можливість її експлуатації в повністю зануреному стані, тобто під водою;
- різниця між максимально допустимим і робочим тиском в системі подачі стисненого повітря повинна бути не нижче величини, що дорівнює 30%.

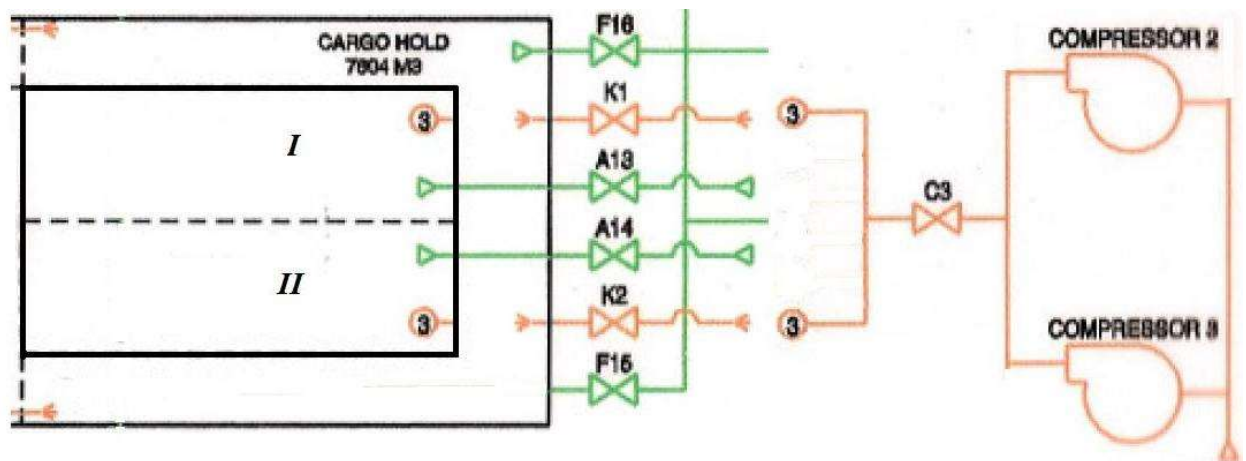


Рисунок 5.10 – Спрощена схема обслуговування компресорами
центральної танків судна Heavy–Lift Transshelf

Другий компресор відповідає резерву і запускається в разі необхідності різкого збільшення витрати або, що значно рідше – в аварійних ситуаціях.

Два центральних баластних танка, що є першими по ходу повітряного трубопроводу на рис. 5.10 позначені, як I і II. За своєю конструкцією вони є повністю ідентичними і з цієї причини в подальшому буде розглядатися тільки верхній баластовий танк під номером I.

Подача стисненого повітря проводиться від компресора 2 через вентиль C3 по повітряному трубопроводу 3 безпосередньо в баластний танк I. Як видно на схемі вхідна ділянка повітряної лінії знаходиться в кутовій частині баластного танка. Трубопровід подачі стисненого повітря зазвичай заварюють у підволоки баластного танка таким чином, щоб його вихідний перетин збігався з підволоками танка. На більшій частині суден погрузного типу SEMI–SUBMERSIBLE HEAVY–LIFT діаметр трубопроводу подачі стисненого повітря становить 300 мм.

Видозміна системи передбачає використання загального введення стисненого повітря в танк з можливістю його безпосередній точкової подачі в штатному місці підключення повітряної труби і з подальшою витратою, що буде розподілена по всій площі танка. У цьому випадку передбачається

використання варіанту механічного з'єднання, показаного на схематичному малюнку 5.11.

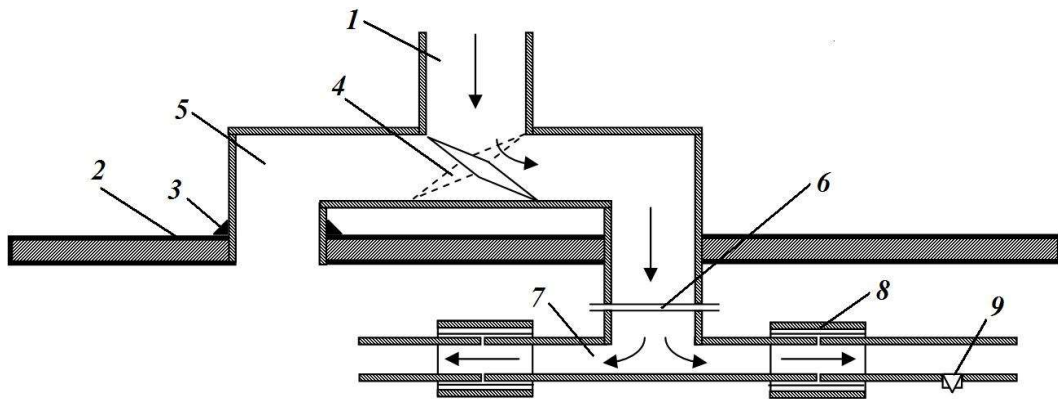


Рисунок 5.11 – Технологія з'єднання елементів повітряної системи всередині баластного танка

1 – магістральний повітряний трубопровід; 2 – верхня стінка баластного танка; 3 – зварні шви; 4 – шиберна поворотна засувка; 5 – підвідний повітряний канал; 6 – фланцеве з'єднання; 7 – роздатковий складний трубопровід; 8 – муфтове з'єднання; 9 – повітряна форсунка.

Від магістрального повітряного трубопроводу 1 потік повітря може потрапити в танк 2. Цей танк з ним з'єднаний за допомогою зварного з'єднання 3 в такий спосіб: поворот шиберної засувки 4 (на рис. 5.11 показані два крайні положення) регулює напрямок руху повітря або в штатний підвідний повітряний канал 5 або в систему складного внутрішнього трюмного роздаткового трубопроводу 7.

На самому початку повітропровід 7 з'єднується з підвідним каналом 5 за допомогою фланцевого з'єднання 6. Такий вид з'єднання необхідно використовувати з метою легкого обслуговування системи і можливості регулювання висоти підвісу при операціях по її монтажу на підволоку баластного танка.

Робота шиберної заслінки 4 безпосередньо визначається системою автоматизованого управління від суднових систем OSTOPUS і CARGOMASTER. В залежності від суднових технологічних потреб система автоматизованого управління повинна працювати в двох режимах. Перший режим відповідає штатному заповненню суднового танка баластної водою. Другий режим повинен використовуватися на стадії остаточної топінговки суднового баластного танка, коли в системі відпрацьовується сигнал на поворот шиберної засувки, для використання розробленої системи усунення паразитних обсягів повітря.

Усередині кожного баластного танка монтаж всіх складових елементів складного роздаткового повітряного трубопроводу 7 повинен проводитися за допомогою муфтових з'єднань 8. У цьому випадку допускається легка зміна конфігурації отриманого на виході повітряного трубопроводу і можливість регулювати довжину його окремих ділянок довільним чином. Усередині трубопроводів за допомогою нарізного сполучення передбачається монтаж повітряних соплових форсунок 9.

Конструктивне виконання соплової форсунки 9 може бути різним, але найбільш простими і економічно доцільними є використання звичайних соплових конусних форсунок. Рекомендовані значення вхідного діаметра таких соплових насадок лежать в діапазоні від 15 до 10 мм, а вихідного діаметра в діапазоні від 7 до 3 мм. Приклад конусного сопла і способу його кріплення детально розглянуто в роботі [51] і показаний на малюнку 5.12.

До монтажу складного роздаткового трубопроводу 7 пред'являється ряд окремих вимог. Розташування його ліній може виконуватися за схемою або рівномірного покриття площини баластного трюму або за схемою розстановки зі змінним кроком.

Будь-яке судно погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLEHEAVY-LIFT практично завжди на етапі занурення або спливання не перебуває у чіткому

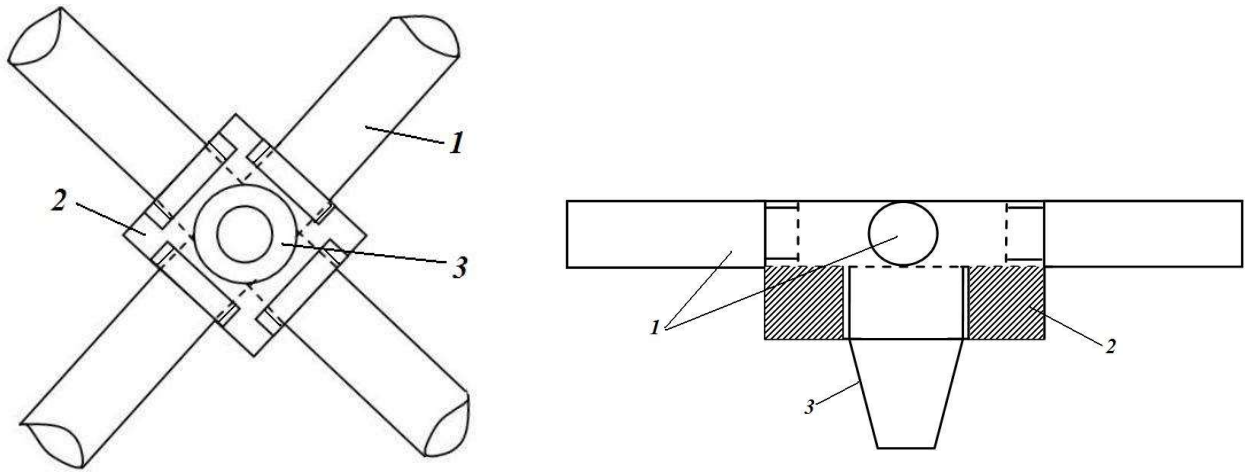


Рисунок 5.12 – Схема випускного отвору [51]

1 – повітряний трубопровід, 2 – муфтове з'єднання, 3 – конічне сопло.

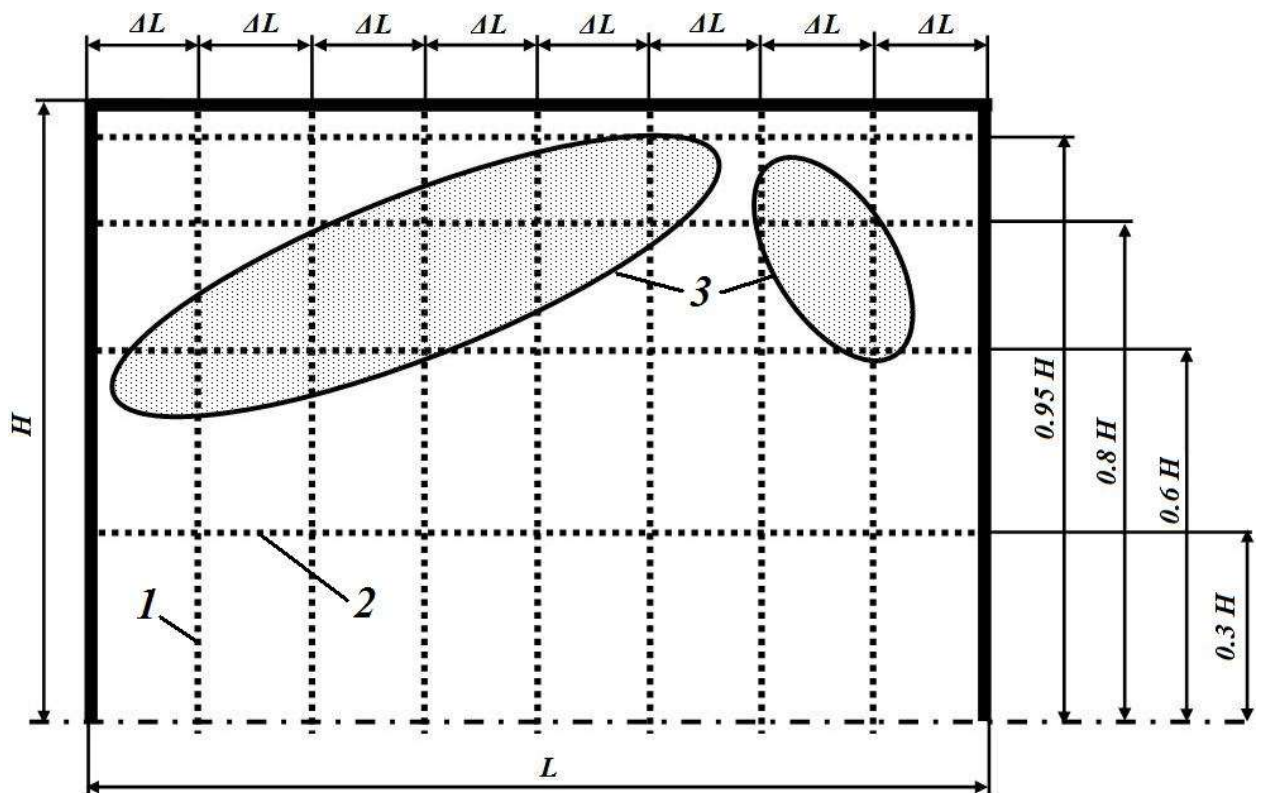


Рисунок 5.13 – Схема підключення системи усунення паразитного повітря з баластних танків судна

1 – поперечний повітряний трубопровід; 2 – поздовжній повітряний трубопровід; 3 – паразитні повітряні бульбашки.

горизонтальному положенні. З цієї причини перша схема – використання рівномірного розподілу соплових форсунок може призводити до збільшення часу топінговки баластних танків.

Варіант використання другої схеми – монтажу роздаткового трубопроводу з нерівномірним розподілом прямолінійних ділянок по ширині танка є кращим. Через більш високу ймовірність зсуву міхура в сторону одного з бортів роздавальні гілки повітряних трубопроводів повинні з'єднуватися один з одним зі згущенням у бік бортів. Як це показано на малюнку 5.13 при ширині танка H місця рекомендованої установки чотирьох допоміжних ліній повинні бути рівними відповідно $0,3H$, $0,6H$, $0,8H$ і $0,95H$.

При використанні загальної довжини танка L можна під час розстановки в поздовжньому напрямку (від корми до носа) використовувати рівномірний крок ΔL . Його величина не є нормативною і визначається загальною довжиною баластного танка. Рекомендовані значення величини такого кроку повинні відповідати діапазону від $0,01L$ до $0,15L$. Малі значення відповідають великим значенням довжини танка L (понад 100 м) і навпаки.

5.6. Висновки по розділу 5

1. На усіх судах погрузного типу SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT всередині баластних танків використовується стандартна за своїм конструктивним виконанням гідравлічна система подачі баластної води. Недосконалість її головних конструктивних елементів – клапанів, що всмоктують і їх одиночно точкове розташування всередині баластних танків в процесі їх топінговки частково зумовлює появу паразитних обсягів повітря.

2. На підставі розрахункового аналізу діаметрів суднових гідравлічних ліній і трубопроводів для баластних танків встановлено, що для реальних значень витрат баластної води і повітря їх значення завищені на 30–40%.

Такий підвищений запас по витратній здатності гідравлічних ліній надає можливість проведення конструктивних змін суднових технологічних схем подачі баластної води і повітря.

3. З метою зниження неконтрольованого кута крену судна в системі заповнення водою баластних танків судна доцільно використовувати мережеву подачу води по всій площині баластного танка, а не використовувати принцип одного або двох впускних отворів. У цьому випадку особливу увагу необхідно приділити питанню про вибір трубопроводів, які використовуються для такого подання. Крім розрахунку діаметра, що забезпечує підтримку номінальних витрат важливим, також є питання про матеріали, що застосовуються.

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

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

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

ВИСНОВКИ

Дисертаційне дослідження містить нове рішення актуальної науково-технічної задачі, яка 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 усунення 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 дисертаційних дослідженнях, є:

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

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

3. Встановлено, що при своєму руйнуванні значна зміна обсягу паразитного повітря від 2 до 3,5 раз відповідає часовому діапазону 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 (водо-повітряного) потоку в баластному танку, що призводить до

подальшої зміни основних робочих характеристик судна - його остійності, кута неконтрольованого кренування і т.і.

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 в ударному струмені перестає позначатися. Починаючи з величини умовної межі часу, що дорівнює 4,5 хвилини, для руйнування повітряних об'ємів потрібно 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 %. 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 OSTOPUS і CARGOMASTER.

Для технологічної схеми їх спільної роботи розроблені 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 поставленим науковим завданням 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 бути використані 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 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизация судовых систем. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://new.abb.com/marine/systems-and-solutions/automation-and-marinesoftware/advisory>.
2. Аксютин Л.Р. Борьба с авариями морских судов от потери остойчивости. – Л.: Судостроение, 1986. – 160 с.
3. Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. –М.: Мир, 1990. в 2 т.
4. Афанасьев К. Е., Григорьева И. В. Исследование эволюции пространственного газового пузыря в идеальной несжимаемой жидкости// Тезисы доклада, Материалы конференции «Вычислительные технологии 98». – Новосибирск, 1998, Режим доступа: <http://www.ict.nsc.ru/ws/CT98/>.
5. Башта Т. М., Руднев С. С. и др. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы. –М.: Машиностроение. 1982.– 423 с.
6. Биркгоф Г., Сарантанелло Э. Струи, следы, каверны. –М.: Мир, 1964.– 444 с.
7. Бородавкин П. П., Березин В. Л., Шадрин О. Б. Подводные трубопроводы. –М.: Недра, 1979 г. – 415 с.
8. Брюханов О. Н. Шевченко С. Н. Тепломассообмен. Высшее образование. –М.: Издательство Инфра. 2012. –500 с.
9. Будов В. М. Судовые насосы: Справочник. – Л.: Судостроение, 1988. – 432 с.
10. Бурмака И. А., Король А. Я, Любенко С. С, Сауляк С. В. Теория и устройство судна. Одесса: ОНМА, 2012. – 225 с.
11. Вамболь С. О., Міщенко І. В., Кондратенко О. М. Технічна механіка рідини і газу. Х.: НУЦЗУ, 2016. – 300 с.
12. Ван–Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. – М.: Мир. 1986 – 184 с.

13. Винников В. А., Каркашадзе Г. Г. Гидромеханика. – М.: МГГУ, 2003. – 302 с.
14. Гельфанд Б. Е., Губин С. А., Когарко С. М. и др. Разрушение воздушных пузырьков в жидкости ударной волной. / Доклады АН СССР, 1975.–Т. 220 №4. – с. 802–804.
15. Гельфанд Б. Е., Губин С. А., Нигматулин Р. Н., Тимофеев Е. И. Влияние плотности газа на дробление пузырьков ударными волнами. / Доклады АН СССР. – 1977.– Т. 235.– №2. с. 292 –294.
16. Григорьева И. В. Исследование эволюции пространственного газового пузыря в идеальной несжимаемой жидкости. Вестник Кемеровского государственного университета, Выпуск 4.– Кемерово, 2000, С. 123–128.
17. Гудилко Р.Г. Математическое моделирование особенностей движения струйных потоков. // Гудилко Р.Г., Малахов А.В., Стрельцов О.В., Бендеберя Ф.А., Палагин А.Н. // Матеріали II–ї Всеукраїнської науково–практичної конференції молодих учених і студентів “Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості”, – Івано–Франківськ: Івано–Франківськівський технічний університет нафти і газу, 2015 – 265 С.
18. Датчики уровня. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.vega.com/en/Company/Technology/Ultrasonic-level-measurement>.
19. Датчики уровня. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Mobrey%20Documents/IP117.pdf>. 2015, Rosemount Measurement Limited.
20. Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Овчаренко Ф. Д. и др. Вода в дисперсных системах. – М.: Химия. 1989. –288 с.
21. Дерягин Б. В., Зорин З. М., Чураев Н. В. Смачивание водой твердых гидрофильных поверхностей. / Вода в дисперсных системах. – М: Химия, 1989. – с. 210–228.

22. Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М. Поверхностные силы. – М.: Наука, 1985. – 399 с.
23. Дейнего Ю.Г. Эксплуатация судовых механизмов и систем. – М.: Моркнига, 2008. – 238 с.
24. Дмитриев Г. П., Махарадзе Л. И., Гочиташвили Т. Ш. Напорные гидротранспортные системы. – М.: "Недра", 1991. – 304 с.
25. Емельянов Н. Ф. Устройство, конструкция и элементы теории судна. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2002. – 141 с.
26. Жидов И. Г., Мешков Е. Е., Попов В. В., Рогачёв В. Г., Толшмяков А.И. Образование вихревого кольца при всплывании большого пузыря в воде. ПМТФ, № 3, 1977, с.75–78.
27. Зайченко В. Н., Слободянюк И. А. Поверхностные явления на электролитических газовых пузырьках и мгд-эффект при электролизе воды в магнитном поле. Хімія, фізика та технологія поверхні. Т. 7, No 1, 2016. с. 35–43.
28. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. – М. Машиностроение, 1992. – 672 с.
29. Измерительные инструменты. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://hg-instrument.com/3-1-ultrasonic-level-transmitter/219755>.
30. Измерительные приборы. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.taylor-hobson.com/products.html>.
31. Кедринский В. К. Особенности динамики газового пузырька в жидкости. ПМТФ. – Новосибирск: Наука. – 1967. – №3. с. 120–125.
32. Киселев С. П., Руев Г. А., Трунев В. М., Фомин В. М., Шавалиев М. Ш. Ударно-волновые процессы в двухкомпонентных и двухфазных средах. – Новосибирск: ВО "Наука". 1992. – 261 с.
33. Конструктивные элементы судовых систем. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://helpiks.org/6-37657.html>.
34. Контрольно-измерительные приборы. Электронный ресурс. Режим

доступа : <http://www.emerson.com/en-us/automation/mobrey>.

35. Контрольно–измерительные приборы. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://taylor-hobson.ru/katalog-produktcii/avtokollimator-ultra.html>.
36. Константінов Ю. М., Гіжа О. О. Технічна механіка рідини і газу. – К.: Вища школа, 2002. – 277 с.
37. Корнилов Э. В., Бойко П. В., Голофастов Э. И. Гидравлические системы судовых механизмов. – Одесса: Негоциант, 2008. – 376 с.
38. Корнилов Э. В. Вспомогательные механизмы и судовые системы. Справочник. Одесса: Негоциант, 2009. – 290 с.
39. Корнфельд М. Упругость и прочность жидкостей. М.–Л.: Государственное издательство технико–теоретической литературы, 1951. – 106 с.
40. Кудинов, А. А. Техническая гидромеханика. – М.: Машиностроение, 2008. – 368 с.
41. Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. М.: Наука. 1973. – 416 с.
42. Лаврівський З. В., Мандрус В. І. Технічна механіка рідин та газів. – Львів: Видавництво «СПОЛОМ», 2004. – 198 с.
43. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 6. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986. 736 с.
44. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука. – 1973. – 847 с.
45. Лэмб Г. Гидродинамика. Гос. изд–во технико–теоретической лит–ры. М.–Л. 1947. 928 с.
46. Малахов А. В. Система стабилизации судов типа HEAVY-LIFT / Малахов А. В., Палагін А. Н. // Матеріали 7–мої Міжнародної науково–практичної конференції “Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування СЕУТТОО–2016”, – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2016 – 259 С.

47. Малахов А. В. Изучение процесса разрушения движущихся воздушных каверн внутри заполненных балластных танков судов погружного типа SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT / Малахов А. В., Палагин А. Н., Гудилко Р. Г., Малахова Д. О. // Матеріали науково-технічної конференції “Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт”, Частина 1. – Одеса: НУ “ОМА”, 2017, — 279 С.
48. Малахов А. В. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков судов погружного типа / Малахов А. В., Палагин А. Н. // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Транспорт: механічна інженерія, експлуатація, матеріалознавство ТМІЕТ–2017”, – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2017 – 153 С.
49. Малахов А. В. Моделирование процесса разрушения воздушных пузырей при заполнении замкнутых объемов / Малахов А. В., Палагин А. Н., Маслов И. З. // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2017. – № 2(61). – С. 76–83.
50. Мартынов А. А. Основы теории надежности и диагностики. – Новосибирск: НГАВТ, 2009. – 108 с.
51. Маслов И. З. Повышение эффективности эксплуатации судов дноуглубительного флота с помощью использования метода гидродинамического размыва грунтовой пульпы в трюмах судов. Дис. на соискание уч. степени канд. тех. наук. Киев. 2016. 146 с.
52. Маслов І. З. Підвищення надійності експлуатації морських суден за рахунок застосування гідроаеродинамічних процесів / Маслов І. З., Палагін О. М. // Матеріали VII-мої Всеукраїнської науково-практичної конференції ”Сучасні підходи до високоефективного використання засобів транспорту”, – Ізмаїл: ДІ НУ “ОМА”, 2016 – 262 С.
53. Материаловедение и технология металлов: учебник для вузов; под ред. Г. П. Фетисова. –М.: Высшая школа, 2007. –862 с.

54. Мешков Д. Е., Мешков Е. Е., Сиволгин В. С. Исследование влияния объема всплывающего пузыря на характер течения. Вестник Саровского ФизТеха, №8, –2005г., с. 68–73.
55. Мешков Е. Е, Невмержицкий Н. В., Рогачёв В. Г., Янилкин Ю. В. О возможной роли масштабного фактора в проблеме турбулентного перемешивания. Труды международной конференции V Харитоновские тематические научные чтения, Саров, 17–21 марта 2003 г, под редакцией А. Л. Михайлова, с. 415–418.
56. Мешков Е. Е. Неустойчивость границы раздела двух газов, ускоряемой ударной волной. Изв. АН СССР, МЖГ. № 5, 1969, с. 151–158.
57. Мирам А. О. Павленко В. А. Техническая термодинамика. Тепломассообмен. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2016. – 346 с.
58. Михайлов В. С. Повышение квалификации судовых механиков. – Николаев: Барви України КГАВТ, 2009. – 384 стр.
59. Моргунов А. П. Надежность технических устройств. – Омск: ОИВТ, 2013. – 191 с.
60. Никитин А. М. Управление технической эксплуатацией судов. – СПб: Политехнический университет СПб, 2006. – 360 с.
61. Овчинников И. Н. Судовые системы и трубопроводы. –Л.: Судостроение, 1971. – 296 с.
62. 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.
63. Палагин А. Н. Технологическая схема системы баллаستировки судов погружного типа SEMI-SUBMERSIBLE HEAVY-LIFT. Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – № 4(59). – с. 230–241.
64. Палагин А. Н. Метод устранения воздушных пробок внутри балластных танков. Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – № 27 (5). – с. 109–113.

65. Пастоев И. Л., Еленкин В. Ф. Гидравлика. – М.: МГГУ, 2005. – 65 с.
66. Рябченко В. К., Кучер Ю. П. Устройство судна. – Одесса: Феникс, 2006. – 118 с.
67. Сазонов Р. М., Еременко В. С. Бесканальные трубопроводы. Расчет и проектирование. – Киев: «Будівельник», 1985. – 95 с.
68. Самарский А. А., Николаев Е. С. Методы решения сеточных уравнений. – Москва: Наука, 1978. – 592 с.
69. Саранин В. А. Равновесие жидкостей и его устойчивость. – М.: Институт компьютерных исследований. 2002. – 144 с.
70. Сахно К. Н., Дженкова Р. В. Анализ экономической эффективности новых технологий при изготовлении труб судовых систем. Астраханский Государственный технический университет. Инженерный вестник Дона № 1, 2016. с. 58–72.
71. Светлицкий В. А. Механика трубопроводов и шлангов. – М.: Машиностроение, 1982. – 280 с.
72. Севик М., Парк С. Дробление капель и пузырьков в турбулентном потоке. Труды американского общества инженеров механиков. Теоретические основы инженерных расчетов. Сер. Д., 1973. – №1. с. 122–129.
73. Сиволгин В. С., Мешков Д. Е. Разработка методики проведения крупномасштабного подводного эксперимента на малой лабораторной модели. Вестник Саровского ФизТеха. №7, 2004, с. 46–50.
74. Сизов В. Г. Теория корабля. – Одесса: Феникс, 2008. – 459 с.
75. Сизов Г. Н. Аристов Ю. К. Лукин Н. В. Судовые насосы и вспомогательные механизмы. – М.: Транспорт. 1982. – 303 с.
76. Си–Дии Ю. Некоторые аналитические аспекты динамики пузырьков. Труды американского общества инженеров механиков. Теоретические основы инженерных расчетов. Сер. D, 1965. – №4. – с. 157–174.
77. Солодовниченко М. Б., Томсон В. П. Технические средства мониторинга транспортных средств. – СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2006. – 50

с.

78. Судовая система Octopus. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www02.abb.com/global/abbzh/abbzh251/>
79. Судовая система Octopus. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://thedigitalship.com/news/item/2391-octopus-order-for-dockwist>.
80. Судовая система Octopus. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.heavyliftpf.com/news/amarcon-completes-dockwise-order.html>.
81. Судовая система Octopus. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.messe.no/ExhibitorDocuments/76960/378/Octopus%20v5.pdf>
82. Судовые системы. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.elcon-altai.ru/stati/sovremennyye-sudovyye-sistemy-i-tendenczii-ix-razvitiya>.
83. Судовые трубопроводы. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.uni-bell.org/blogs/technical-blog/safe-pressure-testing-installed-pipelines>.
84. Толшин В. И. Автоматизация судовых энергетических установок. – М.: Транслит. 2006. – 304 с.
85. Теория устройства судна. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://sea-library.ru/teorija-ustroystva-sudna.html>
86. Уоллис Г. Одномерные двухфазные течения. – М.: Мир. 1972. – 436 с.
87. Устройство судна. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://seaspirit.ru/shipbuilding/ustrojstvo-sudna/detali-sudovyx-sistem.html>
88. Устройство судов. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://seaspirit.ru/shipbuilding/ustrojstvo-sudna/konstrukciya-korpusa-morskix-sudov.html>
89. Фока А. А. Судовой механик. Справочник. Том 2. – Одесса: Феникс. 2010. – 1032 с.
90. Фрумкин А. Н. О явлениях смачивания и прилипания пузырьков. Журнал физической химии. 1938: – Т. 12.–№ 4.– с. 337 –345.

91. Харлашин П. С., Яценко А. Н. Исследование характеристик движения пузырька при продувке жидкости нейтральным газом. Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки. Вип. № 20. 2010 р. с. 53– 57.
92. Халипа В. М., Вамболь С. О., Міщенко І. В., Прокопов О. В. Технічна механіка рідини і газу. – Х.: НУЦЗУ, 2012. – 224 с.
93. Чиняев И. А. Судовые вспомогательные механизмы. Учебник для вузов водного транспорта – М.: Транспорт, 1989.– 295с.
94. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://hhtlab.ru/Ru/pop-articles.html>
95. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://boskalis.com/about-us/dockwise.html>
96. Электронный ресурс. Режим доступа:
<https://www.youtube.com/watch?v=yvOKu6QPwt8>
97. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.bifold.co.uk>
98. Электронный справочник по свойствам веществ, используемых в теплоэнергетике. ИВТ РАН–МЭИ. 2003. – Режим доступа:
<http://thermophysics.ru/triptych/modules/Es/Es/>
99. Anderson K. G., Sundaresan S. and Jackson, R. Instabilities and the formation of bubbles in Fluidized beds. J. Fluid Mech.,1995. p. 327–366.
100. 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.
101. Berge S., Engseth A., Fylling I. “Handbook on design and operation of flexible pipes,” Tech. Rep. STF70 A92006, FPS 2000, Flexible Risers and Pipes, NTN Research Program, Stavanger, Norway, 1992.
102. Best J. R. The Kelvin impulse: application to cavitation bubble dynamics. J. Aust. Math. Soc. Ser. B30, 1988, p. 127–146.
103. Birkhoff G. Stability of Spherical Bubbles. Quarterly of Applied Mathematics, 1956. –Vol. 13. № 4. p. 451 –453.

104. Blake J. R., Gibson D.C. Growth and collapse of a vapor cavity near a free surface. *J. Fluid Mech.* 1981. Vol. 111, p. 123–140.
105. Bruschi R., Vitali L., Marchionni L., Parrella A., Mancini A. Pipe technology and installation equipment for frontier deep water projects. *Ocean Engineering*, Volume 108, November 2015, p.369–392.
106. Chorin Alexandre J., Jerrold E. Marsden, I. G. Currie. A mathematical introduction to fluid mechanics. *Fundamental mechanics of fluids*. –New York; Basel: Marcel Dekker, Inc., 2003. – 525 p.
107. Glicksman L. R., Hyre M. R. and Farrell P. A. Dynamic similarity in fluidization. *Int. J. of Multiphase flow*, 1994. Vol. 20, p. 331–386.
108. Geldart, D. Types of gas fluidization. *Powder Technology*, 1973. Vol. 7, N. 285. p. 114–125. Types of gas fluidization Types of gas fluidization
109. Grace, J. R. Contacting modes and behavior classification of gas–solid and other two–phase suspensions. *Can. J. Chem. Eng.* 1986. Vol. 64, p. 353–363.
110. Li. J. Euler–Lagrange simulation of flow structure formation and evolution in dense gas–solid flows. Enschede, 2002. 212 p.
111. Li J., Kwauk M. Exploring complex systems in chemical engineering –the multi–scale Methodology. *Chem. Eng. Sci.*, 2003. Vol. 58, p. 521–535.
112. Malahov A., Gudilko R., Palagin A., Maslov I. Efficiency improvement of ships operation by water–fuel emulsion using. *East–European Journal Of Enterprise Technologies*. Vol. 3/8 (81) 2016. p. 48–53.
113. Malahov A., Improvement of ship ballasting system / Malahov A., Palagin A., Maslov I., Gudilko R. // *Технологический аудит и резервы производства*.- 2017. № 4/1 (36). – С. 25- 29.
114. Massey Bernard. *Mechanics of Fluids*. – London and New York: Taylor&Francis, 2006. – 709 p.
115. Mohinder L., Nayyar P.E. *Piping Handbook*. Seventh Edition, Mc Graw–Hill Education, 2000. – 2482 p.
116. PVC pipeline. Электронный ресурс. Режим доступа:

https://www.unibell.org/application/files/5914/5939/1633/Air_Testing_of_Installed_PVC.pdf

117. Richtmyer R.D. Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids. Commun. Pure Appl. Math. V. 13, 1960, 297 p.
118. White Frank M. Fluid mechanics. McGraw–Hill Series in Mechanical Engineering. – Boston [etc.]: WCB/McGraw–Hill, 2001. – 826 p.

Додаток 1

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи
Палагіна О. М. в учбовий процес Національного університету
"Одеська морська академія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Національного

університету "Одеська морська академія"



Ю.Н. професор

О.М.Шемякін

2018 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження Палагіна Олександра Миколайовича на тему "Совершенствование системы выгрузки балластной воды на погружных морских судах" у навчальному процесі НУ "Одеська морська академія"

Ми, що нижче підписались, начальник навчального відділу Національного університету "Одеська морська академія" Пархоменко М.М. та завідувач кафедри суднових допоміжних установок Національного університету "Одеська морська академія" к.т.н., доцент Козьмініх М.А. склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Палагіна Олександра Миколайовича на тему "Совершенствование системы выгрузки балластной воды на погружных морских судах" впроваджені у навчальному процесі кафедри суднових допоміжних механізмів, а саме:

- у лекційних заняттях з дисципліни "Суднові допоміжні установки, палубні та вантажні системи", яку читають курсантам 2-го курсу електромеханічного факультету.

- у лекційних заняттях з дисципліни "Загальносуднові системи, їх експлуатація і управління", яку читають курсантам 2-го курсу судномеханічного факультету.

Начальник навчального відділу

НУ "ОМА"

Пархоменко М.М.

Завідувачкафедрою СДУ

к.т.н., доцент

Козьмініх М.А.

Додаток 2

Акт впровадження результатів наукових досліджень
дисертаційної роботи А. Н. Палагіна
на судні "Target" компанії Dockwise–Boskalis



Rosmolenweg 20, 3356 LK Papendrecht
PO Box 43, 3350 AA Papendrecht
The Netherlands

To Whom It May Concern:

ACT

About implementation of scientific research results the thesis of
A. Palagin on the m/v "Target" of the company Dockwise- Boskalis

This certificate was compiled based on the results of testing the
compressor system developed by A. Palagin. During the operation of
the vessel, the following was established:

1. The level of uncontrolled rolling of the vessel during topping of
the central ballast tanks during the immersion of the deck under the
water was reduced from 2 to 1.5 degrees when sea surface waves
were 0.5 meters,
2. The time of topping tank (filling tanks by 100%) that were serviced
by the new compressor system differed from the time of the standard
operation to fill them by 2%.
3. The OCTOPUS system in cooperation with the CARGOMASTER
system recorded that the load on the hull during the immersion
operation was reduced by 3.4% compared to the usual dive.

m/v Target
Port of registry: Willemstad
IMO No : 8617933
Flag: Curacao
Type of vessel: Submersible Heavy Lift
GRT : 42515 mt
Main engine : MAN B&W 6S70 MC 13365 KW
Generators: 3 x MAN B&W 6L28/32H 1200 KW each

Ch. Engineer

Chief Engineer
m.v. Target
IMO Number 8617933

Master

V. Shevlyakov

Superintendent

V. Kardashov



23/F 246 Queen's Rd East
Wanchai Hong Kong
Tel: +852-2863 6111
Fax: +852-2861 2419
www.angloeasterngroup.com



Переклад з англійської мови на українську мову

Translated from English into Ukrainian

ANGLO-EASTERN SHIP MANAGEMENT LTD (АНГЛО-СХІДНА ЗАКРИТА АКЦІОНЕРНА КОМПАНІЯ З УПРАВЛІННЯ СУДАМИ)

DOCKWISE(ДОКВАЙЗ)

Boskalis(Боскаліс)

Росмоленберг 20, 3356 LK Папендрехт

Абонементна поштова скринька 43,

3350 AA Папендрехт

Нідерланди

До відома всіх зацікавлених осіб:

ПОСТАНОВА

Щодо практичної реалізації наукової розробки наукової роботи А. Палагіна у відношенні моторного судна "Target" компанії Dockwise-Boskalis(Доквайз-Боскаліс).

Це письмове підтвердження було складено на підставі результатів тестування компресорної установки, розробленої О. Палагіним. Під час експлуатації судна, було встановлено наступне:

1. Рівень неконтрольованого накопчення судна під час набивання центральних баластових танків(процедура закінчення навантаження танків) під час занурення палуби під воду було зменшено від 2 до 1,5 градусів, коли морська поверхнева хвиля складала 0,5 метра.
2. Час заповнення резервуарів (заповнення резервуарів на 100%), що обслуговувалися новою компресорною установкою, відрізнявся від часу виконання стандартної операції, щоб заповнити їх на 2%.
3. Система OSTOPUS, у співпраці з системою CARGOMASTER, зафіксувала, що навантаження на корпус в процесі занурення зменшилось на 3,4% порівняно зі звичайним пірнанням під воду.

Моторне судно "Target"

Порт реєстрації: Віллемстад

номер IMO: 8617933

Флаг: Кюрасао

Тип судна: Судно занурювального типу для перевезення важких вантажів

Брутто-реєстровий тоннаж: 42515 метричних тонн

Головний двигун: MAN B&W 6S70 MC 13365 Кіловат

Генераторні установки: 3 x MAN B&W 6L28/32H 1200 Кіловат кожний

Старший механік: /підпис/ О. Палагін

Капітан судна: /підпис/ В. Шефляков

Суперінтендант: /підпис/ В. Кардашов

Печатка:

Старший механік

Моторне судно "Target"

Номер IMO: 8617938

Кругла печатка:

RJLL

MV TARGET (МОТОРНЕ СУДНО "TARGET")

КАПІТАН СУДНА

ВІЛЛЕМСТАД

НОМЕР IMO: 8617938

23/поверх 2/48 Магістральна вулиця (Queen's East(Kaifu 1st))

Ваньчай, Гонконг

Номер телефону: +852-2863-6111

Факс: +852-2861-2419

www.angloeasterngroup.com

This document is translated from English into Ukrainian by me, Interpreter Galytska-Zhemchuzhnykova Diana Volodymyrivna.

Переклад тексту українською мовою з англійської мови виконав перекладач Галицька-Жемчужникова Діана Володимирівна.

місто Оде-

Galytska

Galytska-Zhemchuzhnykova D. B.

-са, Україна, дванадцятого квітня дві тисячі вісімнадцятого року.

Я, Грусва О.В., приватний нотаріус Одеського міського нотаріального округу, засвідчую справжність підпису перекладача Галицької-Жемчужникової Діани Володимирівни, який зроблено у моїй присутності.

Особу перекладача встановлено, його дієздатність та кваліфікацію перевірено.

Зареєстровано в реєстрі за № 3250

Стягнуто плати згідно з ст. 31 Закону України «Про нотаріат»

Приватний нотаріус

О.В. Грусва



Всього прощито, пронумеровано та скріплено печаткою два (2) аркуші