

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Хом'яков Віталій Юрійович



УДК 656.614.3:073.546.2

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ
МАЛОТОННАЖНИХ СУДЕН НАВАЛОЧНИМИ ВАНТАЖАМИ**

Спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор
Савчук Віктор Дмитрович,
Національний університет «Одеська морська академія»,
професор кафедри морських перевезень.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Зайцев Володимир Васильович,
Національний університет кораблебудування ім. адмірала
Макарова Міністерства освіти і науки України,
м. Миколаїв.
завідувач кафедри морських технологій та океанотехніки.

доктор технічних наук, професор
Журавська Ірина Миколаївна,
Чорноморський національний університет ім. Петра
Могили Міністерства освіти і науки України, м. Миколаїв.
професор кафедри комп'ютерної інженерії.

Захист відбудеться 17 грудня 2021 р, о 10:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в НУ«ОМА» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зал засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці НУ«ОМА» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2, та на сайті НУ«ОМА»:
<http://onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy>

Автореферат розісланий 16 листопада 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01
д.т.н., професор



В.В. Нікольський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Раціональне завантаження судна – важлива складова організації роботи флоту, як з технічної так і з економічної точки зору. Вона повинна бути такою, щоб виключати можливість виникнення надмірної хитавиці, зміщення вантажу, пошкодження суднових конструкцій та при цьому, забезпечити оптимальне використання вантажопідйомності і вантажомісткості судна. В дійсний час, коли світовий флот поповнюється малотоннажними новобудовами, суднова адміністрація повинна бути готова до специфіки роботи при експлуатації таких транспортних одиниць.

Розпорядженням КМ України від 06.05.2009 № 671-р була затверджена «Концепція Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку суднобудування на період до 2035 р.», в якій сконцентровані нові комплексні системні рішення в технологічному вантажному процесі. Розробка інтелектуальних, більш спеціалізованих, суднових вантажних програм і систем - це один з головних напрямків по поліпшенню мультимодальних перевезень вантажів, а також перевезень малотоннажними суднами типу «коастери» та обмеженого району плавання «ріка – море». Саме тому в роботі зосереджена увага на основні проблемні аспекти та питання технології перевезення та завантаження, такі як:

- практичні проблеми експлуатації однострумних малотоннажних суден;
- проблеми нестандартного планування та розрахунку параметрів штабеля вантажу в трюмі;
- проблема коригування при плануванні та управлінні технологічним процесом виконання завантаження;
- розробка математичних моделей та доповнення до суднової вантажної програми для розрахунку морехідних якостей судна і забезпечення безпеки мореплавання.

Удосконалення методів раціонального завантаження малотоннажного судна навалочними або насипними вантажами при плануванні вантажних операцій, як одного з важливих елементів роботи судноводія обумовлює актуальність теми дисертаційної роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до постанов уряду: розпорядження КМ України від 20.10.2010 № 2174-р «Транспортна стратегія України на період до 2020 року»; рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави»; постанови КМ України від 28.01.2000 № 96 «Удосконалення функціонування державної системи забезпечення безпеки судноплавства на 2002-2006 роки»; наказу Міністерства транспорту та зв'язку України від 05.05.2007 № 360 «Концепція неперервної національної транспортної політики розвитку всіх видів транспорту на 2007–2014 роки». Наукові дослідження виконувались згідно з тематикою держбюджетних науково-дослідних робіт НУ «ОМА» «Дослідження процесів розвитку транспортних технологій морських перевезень» (№ ДР 0119U001659), в якій автор самостійно виконав дослідження по розділу 4.1

«Визначення геометричних та фізичних характеристик штабелів в трюмі при простій формі трюму».

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є забезпечення максимального використання вантажомісткості судна при перевезенні декількох вантажних партій та підвищення рівня безпеки перевезення вантажів.

Робочою гіпотезою дослідження є теза про те, що при виконанні вантажних операцій з навалочним вантажем повинна здійснюватись автоматизація розрахунку вантажного плану судна та його морехідних характеристик (посадка, остійність).

Головною задачею дослідження є оптимізація розташування штабелів вантажу у просторі єдиного трюмного модулю з метою забезпечення безпеки мореплавання. Рішення головного завдання досягається шляхом розв'язання наступних допоміжних задач:

- здійснення аналізу аварійності балкерного флоту;
- проведення порівняльного аналізу існуючих судових комп'ютерних вантажних програм;
- проведення натурних спостережень за процесом завантаження судна навалочними вантажами;
- оцінювання можливості використання додаткового програмного забезпечення для судових комп'ютерних вантажних програм;
- розробки математичної моделі для визначення конфігурації штабелю навалочного вантажу в трюмі судна;
- розробки методики визначення параметрів декількох штабелів в одному трюмі, а також координат їх центра ваги з врахуванням сформованих відкосів;
- розробки способу автоматичного контролю вантажних операцій малотоннажного судна з метою забезпечення безпеки мореплавання.

Об'єктом дослідження є процес завантаження судна декількома окремими навалочними або насипними вантажами в однотрюмний модуль.

Предметом дослідження є формування окремих штабелів навалочного вантажу при завантаженні малотоннажного однотрюмного судна.

Методи дослідження. Для розкриття поставлених у дисертаційній роботі питань були використані методи узагальнення, систематизації сучасних механізмів завантаження і формування штабелів навалювальних вантажів і порівняння для оцінки недоліків процесу. Синтез і аналіз був застосований для оцінки сучасного стану інформаційного завантаження типових вантажних планів і можливостей для їх повноцінного використання при плануванні вантажних планів. Метод статистичних спостережень дозволив виявити тенденції в специфіці роботи і коастерного флоту. Метод експертних оцінок дав можливість визначити критерії для подальшої розробки нових способів планування і завантаження штабелів вантажу на судно.

Для підготовки дисертаційної роботи використано також методи:

- а) дедукції – при здійсненні інформаційного пошуку і аналізі методів проведення вантажних операцій малотоннажного однотрюмного судна;
- б) системного аналізу – при виборі теми дисертаційного дослідження та його задач;
- в) обробки статистичних даних по результатам проведених натурних

досліджень;

г) математичного і геометричного аналізу – для розробки математичних моделей стану штабеля навалочного вантажу в трюмі судна;

д) математичного моделювання – при дослідженні технологічних процесів виконання вантажних операцій і розрахунку морехідних якостей судна.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що в роботі запропоновано новий метод завантаження судна при одночасному перевезенні декількох навалочних вантажів, який дозволяє здійснювати розрахунки морехідних якостей судна для забезпечення його безпеки мореплавання. Наукові результати дисертаційної роботи полягають у тому, що:

– вперше розроблено метод «природної сепарації» для розміщення різних фракцій навалочних вантажів в одному трюмі та удосконалення існуючих методів завантаження;

– удосконалено метод розрахунку координат центра ваги штабелів з урахуванням зміни диференту судна в процесі його завантаження для подальшого розрахунку вантажного плану;

– отримали подальший розвиток способи розміщення і контролю стану навалочних вантажів у трюмі судна.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення полягає в обґрунтуванні доцільності формування нових доповнень до суднової технічної вантажної документації флоту та використання її в якості інструкцій і рекомендацій по розрахунках основних показників вантажних планів у світовому торговому суднопластві та портах.

В цілому робота розкриває доцільність розширення експлуатаційних можливостей коастерного суднопластва в межах існуючих вантажних ринків і сформованих економічних шляхів та перевезення широкої номенклатури навалочних, насипних та інших вантажів. Це важливо для українського водного простору, особливо з урахуванням відновлення східного водного шляху, що буде сполучати Балтійське і Чорне моря по річках Дніпро, Вісла й Одер (проект ЄК-40).

Практичне значення проведеного дисертаційного дослідження визначається тим, що розроблений у дисертаційному дослідженні метод «природної сепарації», запропонований для автоматичного формування оптимального вантажного плану одотрюмного судна, може бути використаним для вдосконалення розрахунків проведення вантажних робіт в режимі реальних змін диференту, а також для розрахунку сил і моментів, діючих на судно, та його морехідних якостей після завантаження.

Практична цінність роботи полягає в тому, що отримані в роботі основні результати можуть бути використаними в практичній роботі судноплавних, стивідорних та фрахтових компаній, впроваджені на малотоннажних універсальних суднах і в навчальному процесі.

Основні результати дисертаційної роботи використані у виробничій діяльності судноплавних компаній та на малотоннажних суднах і впроваджені:

– на суднах «PLATO» (акт від 02.08.2012), «WILSON BILBAO» (акт від 25.11.2013), «WAVE» (акт від 18.10.2015), «AMBER» (акт від 08.04.2016),

«ELENA» (акт від 03.11.2016);

– в компанії ТОВ «ЛАЙТШИП МЕНЕДЖМЕНТ» (акт від 29.05.2020);

– в компанії ТОВ «Хелльманн Східна Європа Оуверсіз» (акт від 20.03.2020);

– в компанії ТОВ «ОДЕМАРА» (акт від 30.11.2020);

– в науково-дослідних роботах, які виконуються в НУ«ОМА» (акт від 24.01.2020);

– в навчальному процесі при вивченні курсантами напряму підготовки 271 «Річковий та морський транспорт» спеціалізації «Судноводіння» дисципліни «Технологія перевезення вантажів» (акт від 16.01.2020).

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати наукового дослідження, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Вони викладені в 19 роботах, з яких 7 – праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації; 10 – праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та 2 – патенти, які додатково відображають наукові результати дисертації.

В опублікованих роботах викладено наступні результати: в [1, 2, 12] продемонстровано графічні розрахунки вантажного плану з використанням методу «природньої сепарації» декількох навалочних вантажів; в [3, 17] пояснюється основна технологія завантаження коастерного судна двома варіантами формування штабелів в трюмі; в [4, 5] викладено результати експериментів завантаження однотрюмних суден різними вантажами, використовуючи спосіб оптимізації, з врахуванням зміни диференту суден; в [18, 19] запропоновано способи розміщення і контролю стану навалочних вантажів в трюмі судна; в [8, 10, 16] описується можливість прорахунків нестандартних вантажних планів однотрюмного судна при перевезенні декількох вантажів; в [9] проведено та описано експериментальне використання графічної діаграми для розрахунку висоти штабеля при завантаженні коастерного судна; в [11] проведено та описано експериментальне використання графічної діаграми для вирішення задач завантаження однотрюмного судна; в [13] описано можливість розрахунку розташування штабелів навалочних вантажів в одному трюмі враховуючи умову запобігання їх змішування; в [14] запропоновано формули для визначення похибки при розрахунку параметрів штабелів навалочних вантажів в трюмі малотоннажного судна при наявності диференту; в [6, 7, 15] запропоновано математичну модель автоматизації контролю завантаження однотрюмного судна різними навалочними вантажами, враховуючи конфігурації штабелів та форму вантажного трюму.

Здобувач використав системний підхід і здійснив інформаційний пошук по проблемі завантаження малотоннажних однотрюмних суден навалочним вантажем та забезпечення безпеки їх мореплавання, сформулював мету і задачі наукового дослідження, виконав методологічне забезпечення дисертаційної роботи. Розробив математичну модель, яка описує конфігурацію одночасно декількох штабелів навалочного вантажу в одному трюмі судна. Виконав постановку та здійснив натурні спостереження і експерименти в рейсах на коастерних судах з подальшою статистичною обробкою результатів. Запропонував алгоритми

автоматичного розрахунку вантажного плану судна з використанням методу «природної сепарації» та розробив програмний файл для інформаційного забезпечення процесу завантаження судна навалочним вантажем, удосконалив методи оптимізації завантаження балкерних суден, сформулював висновки по дисертації.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень пройшли апробацію та були схвалені на науково-методичних конференціях: професорсько-викладацького складу ОНМА «Забезпечення безаварійного плавання суден», 16–17 листопада 2011 р.; «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» 27–28 листопада 2012 р.; IV Міжнародній науково-технічній конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», 9–11 жовтня 2013 р., НУК, м. Миколаїв; науково-методичній конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека» 19–20 листопада 2013 р.; науково-технічній конференції «Енергетика судна: експлуатація та ремонт», 26–28 березня 2014 р.; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», 27–29 травня 2014 р., ХДМА, м. Херсон; науково-методичній конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні», 18–19 листопада 2014 р., ОНМА, м. Одеса; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», 26–28 травня 2015 р., ХДМА, м. Херсон; науково-методичній конференції «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні», 19–20 листопада 2015 р., НУ«ОМА», м. Одеса; науково-технічній конференції «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека», 16–17 листопада 2016 р., НУ«ОМА», м. Одеса; науково-технічній конференції «Транспортні технології морського та річкового флоту: інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація», 15–16 листопада 2018 р., НУ«ОМА», м. Одеса; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Dynamics of the development of world science», 18–20 березня 2020 р., Ванкувер, Канада.

Публікації. Основні результати дисертаційних досліджень автор опублікував в 19 наукових роботах, у тому числі: 4 статті у фахових виданнях, які рекомендовані Міністерством освіти і науки України для публікацій результатів дисертаційних досліджень; 2 патенти України на корисну модель; 1 розділ в колективній монографії; 1 стаття в зарубіжному науковому фаховому виданні; 2 статті – у зарубіжному науковому журналі; 9 робіт – у збірниках матеріалів наукових конференцій.

Структура і обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 291 с., з яких 156 с. займає основний текст дисертаційної роботи, 149 рисунків, 9 таблиць, список використаних джерел включає 110 найменувань на 12 с., додатки на 113 с.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми, сформована мета і завдання досліджень, визначені об'єкти, предмети і методи дослідження, розкрито наукову і практичну новизну отриманих результатів, та зв'язок тематики роботи із програмами наукових досліджень.

У першому розділі було виконано аналіз основних досліджень з проблеми забезпечення безпеки експлуатації малотоннажних суден. Огляд літературних джерел дозволив виділити базові напрямки вирішення головної проблеми експлуатації флоту. Зокрема, була приділена особлива увага: дослідженням розрахунків міцності корпусу малотоннажних суден, дослідження процесів оптимізації та логістики вантажних операцій таких суден та тенденції роботи флоту і ринку малотоннажних суден.

Огляд літературних матеріалів і нормативних документів показав, що проблемі забезпечення безпеки експлуатації морських суден приділяється значна увага. Вагомий внесок в дослідження проблемних питань виявлені в роботах вітчизняних авторів: Сизов В. Г., Дорогостайський Д. В., Кацман Ф. М., Козир Л. А., Бондарь В. М., Мальцев А. С., Рябченко В. К. та ін. Вони відзначали, що для вирішення таких завдань необхідно контролювати і забезпечувати допустимі значення експлуатаційних характеристик транспортних суден. Значним питанням розробки способу оптимального проведення вантажних операцій балкерних суден, з метою скорочення часу завантаження, приділена увага в роботах Цимбала М. М.

Суттєвий внесок стосовно експлуатації малотоннажних суден було здійснено Єгоровим Г. В. щодо розробки методик та особливостей проектування сучасних суден внутрішнього і морського плавання. Досить актуальним це питання постає саме сьогодні, коли проект із відновлення річкового шляху Е-40 вийшов на стадію практичної реалізації.

Огляд сучасних мас-медіа джерел, таких як інформаційне агентство «Інтерфакс-Україна» та офіційний сайт Офісу Президента України, доводять перспективний напрям розвитку нашої державної транспортної системи, що обговорювалось у жовтні 2019 р. між Президентами України та Білорусі. Одним з вагомих напрямків співробітництва двох держав є створення саме транспортного коридору по Прип'яті і Дніпру. Він пройде з Білорусі через Україну в Чорне море.

Комплексний аналіз багатьох джерел, розглянутих вище, показав, що питання планування оптимального завантаження малотоннажного однотрюмного судна, безпосереднього визначення маси вантажу та його розташування в трюмі для забезпечення морехідної безпеки судна досліджені не в повному обсязі. Тому було визначено основний напрям дисертаційного дослідження, яке передбачає вирішення проблеми удосконалення та оптимізації технології завантаження малотоннажних суден навалочними та насипними вантажами.

У другому розділі виконано вибір теми дисертаційного дослідження та її методологічного забезпечення за допомогою методу експертного оцінювання.

Використання системного підходу дозволило розробити технологічну карту дисертаційного дослідження, виконати її опис, визначити об'єкт і предмет

дослідження, сформулювати робочу гіпотезу і голову та допоміжні задачі дослідження.

Для вирішення головної задачі були сформульовані сім допоміжних задач.

Першою допоміжною задачею було передбачено проведення аналізу аварійності балкерного флоту.

Для вирішення другої допоміжної задачі було реалізовано порівняльний аналіз практичного використання існуючих судових вантажних програм та виявлення їх недоліків під час виконання рейсів.

Третя допоміжна задача дозволила оцінити практику процесів планування і виконання вантажних операцій завдяки великій кількості натурних спостережень з безпосередньою участю автора.

Для оцінки можливості використання додаткового програмного забезпечення було виконано аналіз конструктивних особливостей судна та методів завантаження. При цьому було виявлено низку факторів, що дозволили вирішити четверту допоміжну задачу.

Рішення п'ятої допоміжної задачі дозволило отримати математичну модель, що описує конфігурацію штабелю навалочного вантажу в трюмі судна, яка пропонується для розробки програмного застосунку до судових вантажних програм.

В результаті виконаних досліджень була вирішена шоста допоміжна задача, а саме, розроблена методика та програмний алгоритм, що використовує математичну модель розрахунку методом «природної сепарації».

Практичне використання розробленого програмного застосунку та інформативність основних робочих діалогових вікон програми є рішенням сьомої допоміжної задачі щодо автоматичного розрахунку та контролю вантажних операцій судна.

Рішення головної задачі дослідження – розробка методу та програмного застосунку для розрахунку завантаження судна і отримання згенерованого вантажного плану для забезпечення оптимального розміщення штабелів вантажу – виконувалось шляхом синтезу рішень допоміжних задач. На цій підставі було сформульовано наукове положення, яке узагальнює результати теоретичних досліджень.

Темою дисертаційного дослідження стало: «Удосконалення методів завантаження малотоннажних суден навалочними вантажами». Із назви теми витікає, що:

Об'єктом дисертаційного дослідження став процес завантаження судна декількома окремими навалочними або насипними вантажами в однотрюмний модуль.

Предметом дисертаційного дослідження стало формування окремих штабелів навалочного вантажу при завантаженні малотоннажного однотрюмного судна.

У третьому розділі викладено результати натурних досліджень основних питань, що формують проблематику малотоннажного флоту за темою дисертації.

Для дослідження вантажних операцій, утворення форми штабелів та навантажень (сил), які діють на корпус судна, були виконані натурні спостереження

в рейсових умовах на різних суднах з однотипною конструкцією трюму, не тільки в портах. Була врахована практика рейдового перевантаження з великотоннажних морських суден за схемою «ship-to-ship». Також прийнято до аналізу існуючі бортові програми, що впливають на можливість формування необхідного вантажного плану.

Часто спостерігалось, що при підготовці вантажного плану, коли режим роботи судна дуже інтенсивний, все зводиться до наближених розрахунків, та використання відпрацьованих архівних варіантів завантаження, що не завжди коректно чи підходить під конкретні обставини. Для «коастерів», враховуючи їх постійну роботу в обмежених акваторіях і річках, це питання вимагає додаткового врегулювання.

Рейсова практика показує, що проблематика зароджується тоді, коли мова йде про вантажі з малим питомим вантажним об'ємом. Натурні дослідження вказують на те, що наявність певної форми трюму породжує ряд особливостей, які пов'язані з завантаженням саме навалочних вантажів. Було встановлено, що чим більше розділених просторів можна сформуванати у вантажному трюмі його конструкціями, тим точніше отримаємо загальні параметри штабелю вантажу всередині нього.

Практика на вантажних терміналах Норвегії, наприклад, відзначила, що транспортерні стрічки можуть рухатися з борту на борт, а судно доводиться перетягувати вздовж терміналу або причалу. При такому завантаженні втрачається можливість точно і однозначно порахувати вантаж, шляхом візуального поділу простору трюму на різні частини або об'єми. Такі випадки потребують іншого, більш раціонального і доступного способу розрахунку вантажу.

Фактичні проблеми практики завантаження змушують шукати різні додаткові рішення стосовно управління завантаженням та розрахунку штабелів вантажів в трюмі. Це доведено на підставі проведеного практичного аналізу такого судового вантажного програмного забезпечення як: «SCHIFFKO», «LOCOPIAS» та «EASEACON», як основного розрахункового інструменту судна, який показав що:

- існують програми різної складності, але це не вирішує всіх існуючих задач щодо планування вантажних операцій;
- вантажні програми не враховують фактичні параметри навалочних вантажів;
- типові плани завантажень не застосовується практично, якщо фактичний штабель має відхилення від класичної форми завантаження;
- доцільно виконувати оновлення бортових вантажних програм;
- програми не дозволяють в повному обсязі вести постійний контроль утворення форми штабелю.

Існуючі вантажні програми не враховують зміну форм штабеля вантажу в трюмі судна, що вимагає від судоводія додаткових витрат часу щодо математичних розрахунків та збільшує похибку при розробці плану завантаження. Для удосконалення методів завантаження та перевезення навалочних вантажів автором були виконані натурні спостереження в рейсах. Сформовано їх доцільний поділ за розглядом питань вдосконалення:

1. Спостереження неповного завантаження трюму судна навалочними вантажами.

2. Спостереження завантаження трюму окремими штабелями навалочних вантажів.

Виконання автором цих рейсів дають підставу зробити наступні зауваження:

– методика поділу загальної маси вантажу на окремі штабелі спрощує вантажний процес та його розрахунки. Крім того, вона зменшує вплив помилки та похибки між запланованими та фактичними параметрами лише частини вантажу, по відношенню до всієї маси, що дає можливість завчасно виправити ситуацію.

– спостерігається тенденція стосовно вибору форми штабеля, де у більшості випадків це пряма призма з основою трикутника або трапеції. Така концепція вибору виправдовує себе простішими розрахунками, та скороченим часом для обробки інформації.

– штабелі, які мають форму конусів чи пірамідальні формування, мають вищу вірогідність до зсування.

3. Спостереження нестандартного завантаження «коастерних» суден навалочними вантажами. Практика виконання цих рейсів дає підставу сформулювати наступні особливості експлуатації суден:

– судна з трюмами де є стаціонарні нерухомі конструкції у внутрішньому просторі, такі як бімс, викликають проблеми з формуванням запланованих штабелів біля таких конструкцій та обмежують роботу берегового обладнання,

– пересувні твіндекні або зернові панелі, які є в трюмах судна, полегшують планування завантаження, але потребують додаткового часу для встановлення та прибирання цих конструкцій до місця зберігання.

Отримана практика в рейсах суден m/v «PLATO», m/v «WILSON BILBAO», m/v «ANNE DORTE», m/v «WAVE» та m/v «AMBER» дозволяє визначити і систематизувати виявлену проблематику сучасного «коастерного» флоту. Її можна викласти наступними тезами:

1. Спостерігаються надлишкові навантаження на палубу трюму та її деформація, не раціональне завантаження простору трюму, змішання вантажів або утворення не прорахованих форм штабелю, що вказує на той спектр інформації і розрахунків, які найчастіше не приймаються до уваги.

2. Малий дедвейт судна та велика вантажна потужність портів зменшує загальний час вантажних операцій до годин. Це призводить до необхідності створення умов постійного і ретельного контролю процесу проведення вантажних операцій для своєчасного внесення необхідних коректив.

3. При необхідності корегування плану завантаження, потрібно виконувати додаткові розрахунки з урахуванням фактичного положення штабелів вантажів у трюмі.

4. Відсутність можливості планувати і розраховувати довільні та складні форми штабелю, що вимагає від судноводія додаткових витрат часу для визначення їх основних параметрів для подальшого виконання розрахунків морехідних якостей судна.

5. Фактична форма простору трюму іноді представляє складну конфігурацію, розділ якої на елементарні об'єми призводить до додаткових розрахунків.

6. При плануванні форми штабелів не враховується динаміка зміни положення

корпусу судна за параметром диференту, що є досить актуальним.

7. Використання пересувних трюмних конструкцій економічно не є завжди доцільним для забезпечення умови оптимального завантаження.

8. Не враховуються обмеження та особливості вантажного обладнання портів і терміналів, що призводить до необхідності корегування вантажного плану.

9. Для ефективного використання судна необхідно розробити оптимальну послідовність виконання планових завантажень.

Зазначені тези підтверджують необхідність використання «природної сепарації» для удосконалення методів завантаження малотоннажних суден навалочними вантажами та створення програмного застосунку до існуючих судових програм, що дозволить розрахувати необхідність використання пересувних конструкцій трюму та запобігти нераціональному використанню вантажного простору.

Матеріали розділу опубліковано в статтях [1–3, 6–9, 13, 17].

У четвертому розділі розроблено математичну модель, що описує конфігурацію штабелю навалочного вантажу в трюмі судна і використана для розробки програмного застосунку до судових вантажних програм.

Враховуючи результати натурних спостережень та обставини практики використання існуючих вантажних програм, що було наведено у третьому розділі, були сформовані основні необхідні вхідні данні для планування завантаження: форма та геометричні розміри трюму; диферент на початку завантаження та його обмеження в процесі завантаження; кількість необхідних штабелів вантажу; параметри вантажу для кожного штабеля: маса, насипна щільність, кут природного укосу, можливість та умови пересипання при зміні диференту.

Таким чином, математична модель, при плануванні завантаження, надає можливість розраховувати та визначати наступне: геометричний порядок розташування штабелів вантажу; порядок завантаження цих штабелів; форму, розміри та місце розташування кожного штабелю в трюмі; координати центрів мас кожного штабелю відносно системи відліку трюму.

Отже, при плануванні розміщення декількох штабелів навалочного вантажу в трюмі, попередньо з'ясовується форма та розміри кожного штабелю в залежності від його розташування в трюмі та диференту судна при завантаженні.

На рис. 1 (верхній) показані основні випадки форми штабелів в розрізі діаметральної площини трюму, якщо трюм має форму прямокутного паралелепіпеду і штабелі вантажу мають форму прямих призм. За умов максимального використання об'єму крайні штабелі розташовані впритул до носової та кормової переборок трюму.

Для зменшення часу завантаження та розвантаження бажано виключити з цього процесу операції по переміщенню кришок трюму з однієї позиції в іншу. На рис. 2 (верхній) зображено можливі розташування штабелів, які дозволяють не переміщувати кришки в процесі завантаження. Штабелі вантажу в цих випадках можуть мати форму трикутної, чотирикутної або ж п'ятикутної призми.

Для таких випадків було отримано формули, що дають можливість обчислити об'єм штабелю такої форми за його висотою (або шириною, якщо висота штабеля

має максимальну допустиму величину – висоту трюму). З цих виразів в загальному вигляді отримані обернені залежності висоти та ширини штабелю від його об'єму, які далі використовуються при побудові плану завантаження.

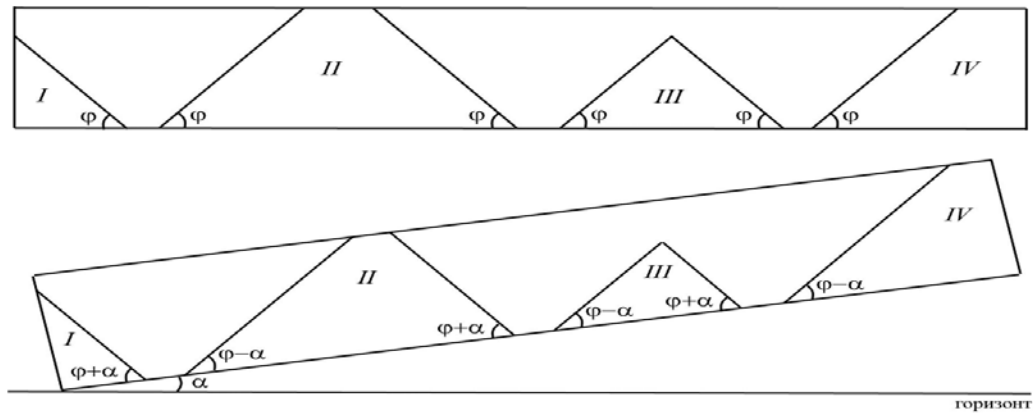


Рисунок 1 – Випадки розташування штабелів вантажу

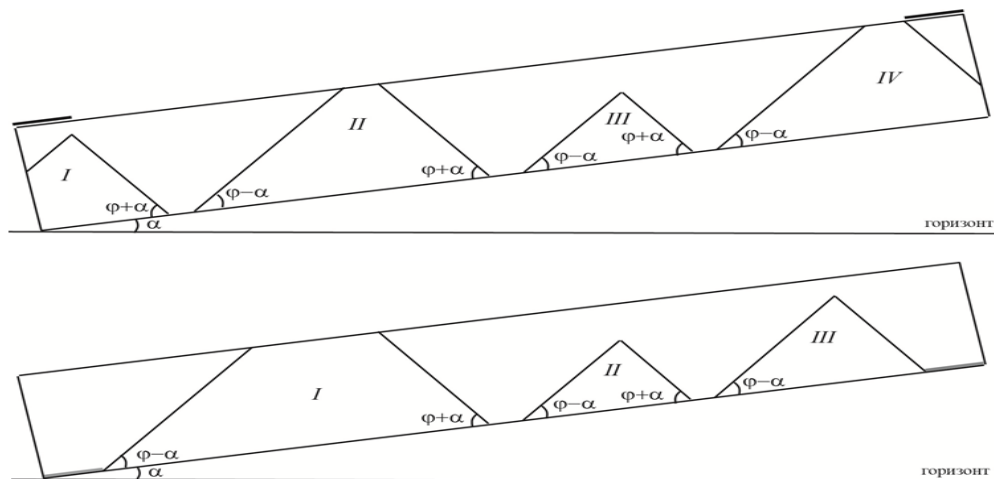


Рисунок 2 – Варіанти розташування штабелів вантажу при обмеженнях

Розглянемо, наприклад, штабель виду III, рис. 1. Зображення такого штабеля, використане для розрахунків, що наведено на рис. 3.

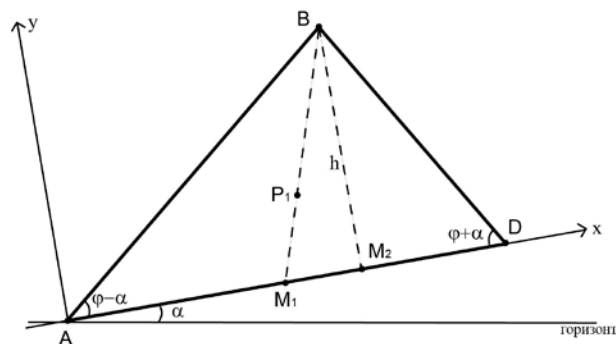


Рисунок 3 – Трикутна форма штабеля

Тут вантаж у поздовжньому перерізі має форму трикутника ABD , висота якого $BM_2 = h$. Тоді: $AD = h(w_1 + w_2)$, $S_{ABD} = \frac{1}{2}h^2(w_1 + w_2)$, де $w_1 = \text{ctg}(\varphi - \alpha)$, $w_2 = \text{ctg}(\varphi + \alpha)$.

Якщо задано масу навалочного вантажу m , його насипну густину ρ і ширину трюму d , то площа поздовжнього перерізу штабеля такого вантажу $S = \frac{m}{\rho d}$. Звідси визначаємо необхідну висоту трикутного штабеля h і його основу L :

$$h = \sqrt{\frac{2S}{w_1 + w_2}}, \quad L = AD = \sqrt{2S(w_1 + w_2)}. \quad (1)$$

Якщо розрахована в такий спосіб висота не перевищує висоту трюму H ,

$$\sqrt{\frac{2S}{w_1 + w_2}} \leq H \quad (2)$$

то штабель вантажу може мати трикутну форму.

Для розрахунку штабеля вантажу виду I (рис. 1) можемо користуватися тими ж формулами (1) – (4), поклавши в них $w_1 = 0$, або $w_2 = 0$ відповідно.

Обчислення ускладнюються, якщо форма трюму відмінна від прямокутного паралелепіпеда. Тому було виконано побудову відповідних формул для випадків наявності в кормовій частині трюму штабелів пересувних твіндеків, панелей чи переборок.

Так само виконано побудови скосів конфігурації носової частини трюму вертикальними або похилими площинами для найпоширеніших випадків трюмів, що зустрічались на практиці. Для випадків, коли в носовій частині трюму є вертикальні або похилі скоси, форма яких представлена на рис. 4, також побудовані формули, що виражають через висоту або ширину штабелю його об'єм для різних варіантів розташування.

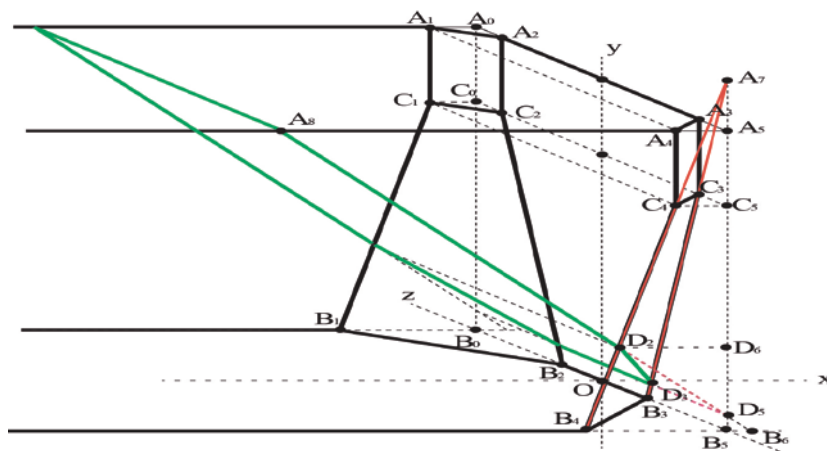


Рисунок 4 – Форма штабеля в носовій частині зі скосами

Наприклад, розглядаємо випадок, коли площина $A_7A_6B_8B_9$ перетинає

координатну площину yOz по прямій D_5D_5' , що розташована вище координатної площини xOz . Цей випадок визначається умовою $q \operatorname{tg} \varphi < h < h_p + q \operatorname{tg} \varphi$. Тоді верхня грань штабеля вантажу є шестикутником $A_8D_2D_3D_3'D_2'A_8'$. Знайдемо об'єм частини штабеля, що розташована на рисунку справа від площини $A_8A_8'B_8'B_8$. Для цього будемо розглядати цю частину, як комбінацію стандартних многогранників: трикутна призма $A_8B_8B_6A_8'B_8'B_6'$, від якої відрізані трикутна призма $D_5B_5B_6D_5'B_5'B_6'$, та дві зрізані трикутні піраміди: $B_3B_4B_5D_3D_2D_5$ та симетрична їй. Будемо використовувати позначення:

$$B_4B_5 = a; \quad B_3B_5 = b; \quad A_7B_5 = h_0; \quad C_5B_5 = h_p; \quad A_8A_5 = q.$$

$$\text{Тоді:} \quad C_5C_4 = a \left(1 - \frac{h_p}{h_0} \right), \quad B_6B_5 = h \cdot \operatorname{ctg} \varphi - q; \quad D_5B_5 = h - q \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

$$A_7D_5 = h_0 + q \cdot \operatorname{tg} \varphi - h; \quad D_3D_5 = b \left(\frac{h_0 + q \cdot \operatorname{tg} \varphi - h}{h_0} \right); \quad D_2D_6 = \frac{h_0 - h + q \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi + h_0 / a}.$$

Для трикутної призми $A_8B_8B_6A_8'B_8'B_6'$, трикутної призми $D_5B_5B_6D_5'B_5'B_6'$, трикутної піраміди $A_7B_3B_4B_5$ та трикутної піраміди $A_7D_3D_2D_5$:

$$V_1 = \frac{1}{2} h^2 d \cdot \operatorname{ctg} \varphi; \quad V_2 = \frac{1}{2} (h \cdot \operatorname{ctg} \varphi - q)^2 d \cdot \operatorname{tg} \varphi; \quad V_3 = \frac{1}{6} a \cdot b \cdot h;$$

(3)

$$V_4 = \frac{(h_0 + q \cdot \operatorname{tg} \varphi - h)^3}{\operatorname{tg} \varphi + h_0 / a} \cdot \frac{b}{6h_0}. \quad (4)$$

Позначимо кут лівого скату насипу через ψ , а довжину верхньої горизонтальної грані через l . Для лівої частини штабеля маємо:

$$V_5 = \frac{h^2 d \cdot \operatorname{ctg} \psi}{2}; \quad V_6 = hld. \quad (5)$$

Отже, для штабеля в цілому, враховуючи ліву частину:

$$V_{SH} = V_1 - V_2 - 2V_3 + 2V_4 + V_5 + V_6. \quad (6)$$

Отримані вирази мають досить складний вид і тому для них обернені залежності в загальному вигляді не будувалися. Замість цього обернена задача розрахунку розмірів штабелю за його об'ємом розв'язується, в таких випадках, чисельно методом дихотомії.

При формуванні штабелів, для кожного з них, визначається номер штабеля вантажу і номер у черзі завантаження. Таким чином, необхідно прорахувати $N = (n!)^2$ варіантів розрахунку вантажних планів. Всі обчислення виконуються в середовищі «Scilab», в якому також побудовані відповідні застосунки до суднової вантажної програми.

При завантаженні штабелю його геометричні характеристики залежать від диференту судна, на який, в свою чергу, впливають штабелі, що були завантажені раніше. Щоб урахувати зміну диференту судна в ході завантаження при

забезпеченні оптимального плану вантажних операцій, доводиться прораховувати розташування і форму штабелів вантажів як при різному порядку їх геометричного розташування, так і залежно від порядку формування штабелів. Планування виконується в три етапи.

На першому етапі для сталого диференту, що відповідає початку завантаження, розраховуємо геометричні параметри штабелів, перевіряємо можливість розміщення їх в трюмі, визначаємо відстані між штабелями, розташування в трюмі кожного штабелю, координати його центра мас та горизонтальний момент.

На другому етапі розраховуємо максимальний та мінімальний очікувані диференти після завантаження кожного штабелю, щоб передбачити пересипання його відкосів при завантаженні наступних штабелів. Перевіряємо виконання обмежень по диференту при завантаженні.

Для обчислення диферентів в процесі завантаження враховуються гідростатичні характеристики судна. Також визначаються залежності осадок від маси та горизонтального моменту. Такі залежності будуються на основі гідростатичних таблиць у вигляді апроксимуючих поліномів двох змінних четвертого-п'ятого ступеню. Коефіцієнти поліномів отримують методом найменших квадратів.

Якщо гідростатичних таблиці відсутні або не повні за інформативністю, то за допомогою суднової бортової вантажної програми будуємо 40–60 точок, що відповідають таким залежностям і по цим точкам розраховуємо апроксимуючі поліноми.

На третьому етапі розраховуємо геометричні параметри кожного штабеля, враховуючи його пересипання в процесі завантаження, уточнюємо відстані між штабелями, розташування штабелів у трюмі та координати їх центрів мас.

По результатам розрахунків обираємо оптимальний план завантаження за відповідної умови оптимізації. На практиці, це є звичайно максимізація відстані між штабелями при виконанні всіх необхідних обмежень.

Для системного підходу створено блок-схему роботи алгоритму та програми, що показано на рис. 5. Для спрощеного пояснення роботи алгоритму, блоки попередніх підрахунків показано червоним кольором, а перший етап – зеленим, другий – жовтим і третій – синім кольором відповідно.

В цьому розділі, також, проведено оцінку похибок результатів проведених розрахунків при неточності найбільш варіативних вхідних даних: насипної густини та кута природного укосу. Розглянута можливість уточнення цих даних в ході завантаження.

Отже, для розв'язання задачі розміщення в трюмі малотоннажного судна вантажів методом «природної сепарації» розроблені математична модель та застосунок, які дозволяють:

1. Розподілити сумарну масу вантажу, як окремим штабелем з певними обмеженнями, так і декількома штабелями, вирішуючи при цьому питання оптимізації розташування штабелів навалочних вантажів в трюмі методом «природної сепарації» з урахуванням динаміки судна та властивостей вантажів.

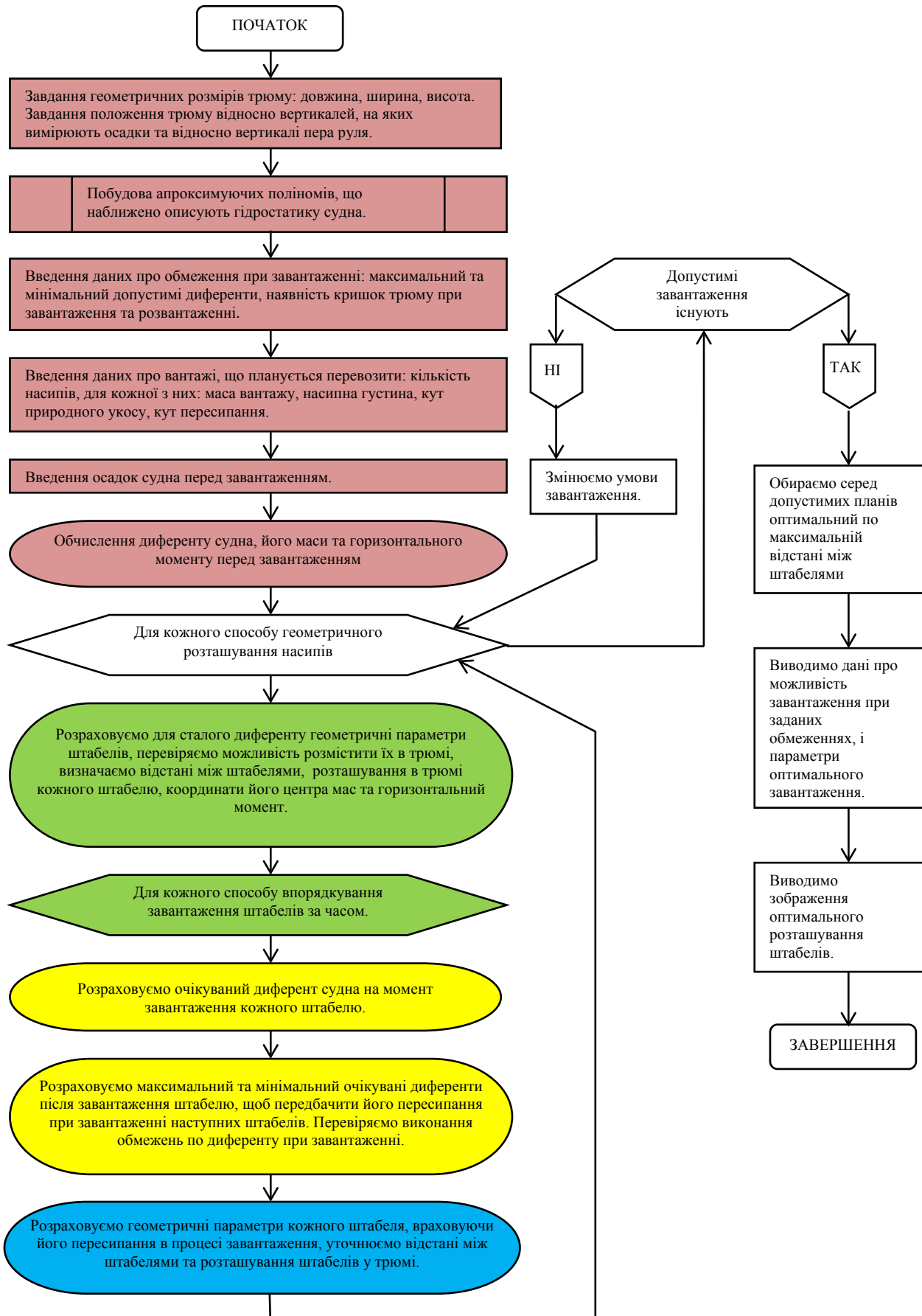


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму та програми

2. Описати конфігурацію штабелів та здійснити розрахунки параметрів плану розміщення вантажів і визначити: планові точки завантаження; форми штабелів та їх розміри з урахуванням зміщення штабелів відповідно змінам кутів нахилу палуби трюму в процесі завантаження.

3. В середовищі «Scilab» перевірити, як в автоматичному режимі – по максимуму відстаней між штабелями, так і в ручному режимі, всі допустимі способи завантаження та обрати серед них оптимальний. Це дає можливість вважати рішення більш безпечним та виправданим для здійснення завантаження в запланований спосіб.

4. Полегшити роботу судноводію, скоротити витрати часу на етапі складання вантажного плану, мінімізувати похибки в його розрахунках.

5. Здійснювати перевезення різних навалочних вантажів в одному трюмі без їх змішування та забезпечити максимальну економічну ефективність експлуатації судна.

6. Внести доповнення у вантажні програми «коастерного» флоту, при перевезенні різних навалочних вантажів.

Зміст розділу опубліковано в статтях автора [4, 5, 10–12, 14–16].

У п'ятому розділі описано та представлено результати перевірки адекватності розробленої математичної моделі і можливість її практичного використання на борту суден разом з офіційними судовими бортовими програмами.

Пояснено практичне використання розробленого програмного застосунку середовища «Scilab» для розрахунку вантажного плану одотрюмного судна. Представлено інформативність всіх робочих діалогових вікон програми та їх активних і інформаційних елементів та таблиць. До основних з них належать:

Вікно «Розміщення вантажів в трюмі», де судноводій редагує дані, які стосуються геометричних розмірів трюму та початкової інформації умов завантаження. Після редагування, при натисканні активної зеленої кнопки «Задати кількість штабелів», з'являються таблиці «Відомості про вантаж», «Обмеження при завантаженні», а також дві нові активні кнопки «СТАРТ АВТО» і «СТАРТ наближено». Ними обираємо два основних варіанти наступного режиму роботи програми (рис. 6). В першому випадку прискорюється пошук оптимального рішення щодо конфігурацій штабелів та процесу завантаження. У другому – судноводій буде сам перебирати різні варіанти, та приймати найбільш зручний при конкретних обставинах планування. При натисканні зазначених активних елементів (кнопок) з'являються вікна: «Геометричні характеристики насипів» та «Графічні зображення вантажів».

Вікно «Геометричні характеристики насипів» буде відображати інформацію щодо характеристик штабелів вантажів у верхній таблиці. Але початковий розрахунок виконується без урахування змін диференту судна при завантаженні. Тому інформація елемента «Відстань між штабелями» має попередній характер. Таблиця «Інформація про осаді та диферент» показує динамічні зміни положення корпусу судна на кожному етапі завантаження та покроковий сценарій реалізації вантажного плану. Знак «-» в цій таблиці означає положення до корми (рис. 7).

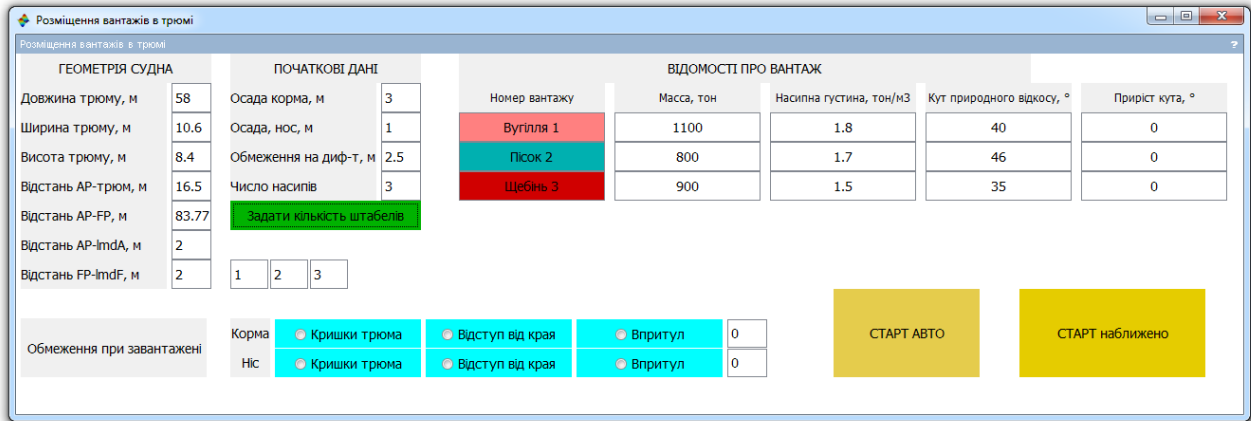


Рисунок 6 – Вікно «Розміщення вантажів» після основного редагування

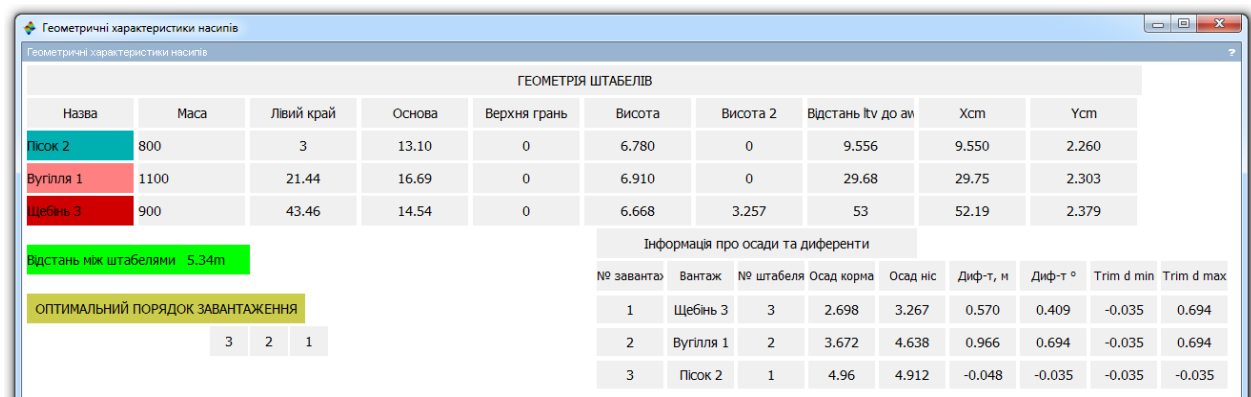


Рисунок 7 – Інформаційне вікно геометричних характеристик штабелів

Вікно «Графічні зображення вантажів» є спрощеним видом діаметральної площини, де ліва частина є кормовою, а права – носовою. Це зображення вантажного плану у масштабі і доповнює фактичну картину сформованих штабелів у просторі вантажного приміщення. Масштабування графічного зображення виконується автоматично. Позначки на осях виконані у метрах, а системою відліку є кормова переборка трюму та його палуба (рис. 8).

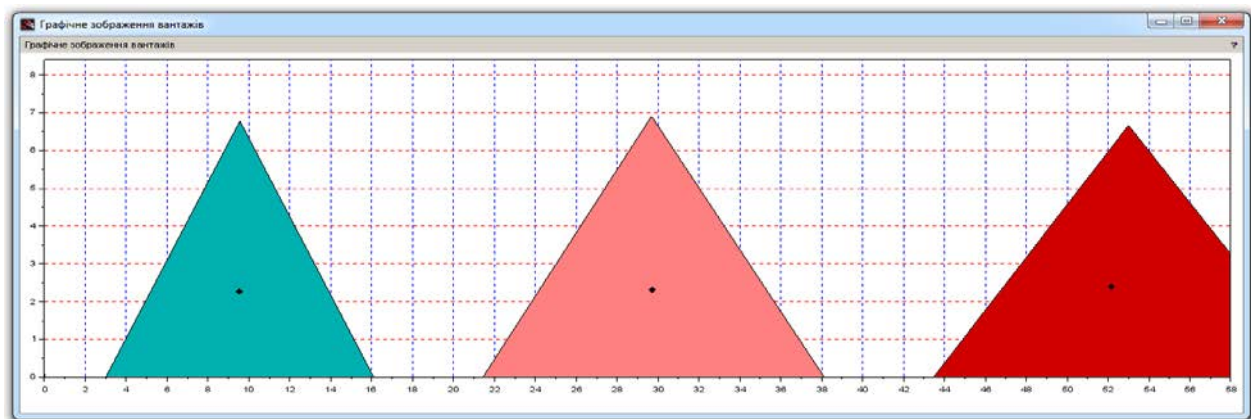


Рисунок 8 – Інформаційне вікно графічного зображення вантажів

Поява останніх двох вікон означає, що розрахунок завершено, а результат показано судноводію.

За рахунок створеної програми на основі математичної моделі, обрана концепція вирішення комплексного питання організації та планування вантажних операцій малотоннажного однотрюмного судна, з урахуванням всіх умов. Вона доступно та професійно подає зручну форму обробки даних та матеріалу кінцевих показників. Алгоритми розрахунків та методика, що створені для вирішення низки зацікавлених питань завантаження суден, відповідають потребам інтенсивності роботи існуючого флоту, та враховують можливості інформаційних і комп'ютерних систем, що є на борту.

Також у цьому розділі було підтверджено визначення конфігурації та параметрів штабелів методом «природної сепарації», використовуючи результати розробленого програмного застосунку «Scilab» та математичної моделі, що описана в розділі 4, на борту суден: m/v «WILSON BILBAO», m/v «WAVE» та m/v «ELENA».

1. На борту m/v «WILSON BILBAO» було реалізовано перевірку можливості альтернативного вантажного плану судна методом «природної сепарації» для двох партій вугілля.

На момент виконання цього рейсу, автором було запропоновано використати, існуючу на той момент, версію програмного застосунку «Scilab», щоб протестувати її у реальних умовах експлуатації судна. Для цього була використана відповідна необхідна інформація стосовно вантажу разом з: насипною щільністю ($1/1,47 \text{ м}^3/\text{т} = 0,68 \text{ т}/\text{м}^3$) та практичним кутом природнього відкосу двох партій, що приблизно дорівнює 40° . На практиці необхідну задачу було вирішено шляхом використання елемента «Відступ від краю» при ручному режимі прорахунку 5-7 варіантів для отримання результату 3,35 м. При цьому за початкові данні було прийнято осадки судна, наведені у його бортовому програмному файлі та обмеження для диференту не більше 2 м.

Отримане чисельне значення – 3,35 м дало автору змогу раціонально розташувати в трюмі два штабелі, які максимально рівновіддалені один від одного та від країв трюму. Такий план мав наступні переваги: по-перше, відстані, що більші 3,3 м безпечніші на випадок зсуву будь-якого відкосу; по-друге, вантажі розташовані так, що не мають зони контакту а ні до льяльних колодязів, а ні до кормової переборки трюму; по-третє, екіпаж судна не витрачав час на встановлення додаткової переборки у порту завантаження.

2. На борту m/v «WAVE» було реалізовано практичні розрахунки вантажного плану за допомогою створеної програми середовища «Scilab» для двох партій добрива на основі аміачної селітри.

Слід зазначити, що для цього судна автором було створено програмний застосунок, який має додаткові параметри: «Укоси довжини» та «Укоси ширини» у вікні програми «Розміщення вантажів в трюмі». Ці параметри створено для більш детального опису геометричної форми та відповідних розмірів трюму.

Конструктивні особливості судна було враховано при роботі з елементом «Обмеження при завантаженні» де була обрана та встановлена опція «Відступ від

краю» для обох кінцевих частин трюму. Такий вибір пояснюється тим, що 3 м є достатньою довжиною від переборок і реалізує обмеження прямого контакту вантажу з кришками льяльних колодязів при перевезенні вантажів під час сильної кильової хитавиці. В цьому рейсі було встановлено обмеження на диферент у 2,5 м, який є граничним, але дозволяє рухатися крану для закриття люку на випадок атмосферних опадів.

Практичний результат автоматичного розрахунку отримано у вигляді кінцевого вікна результатів, де інформація елемента «Відстань між штабелями» дорівнювала 3,13 м і була досить адекватною та безпечною для фактичного виконання вантажного плану. Фінальні результати положення корпусу, що були отримані за допомогою «Scilab», наступні: кормова осадка – 4,89 м, носова – 4,63 м, що повністю влаштувало адміністрацію судна, а план був прийнятий для виконання.

Автором, було помічено незначне відхилення фактичної форми штабелів вантажу від теоретично розрахованих. Це пов'язано з можливою точністю роботи вантажного терміналу та людського фактора. Але ці відхилення не призвели до суттєвих змін положення корпусу та остійності судна. Крім того, як і передбачалось, відкоси штабелів мали середню фактичну відстань між собою 2,9 м, а з інших кінцевих боків біля 3 м, що виправдовує використання програмного застосування.

3. На борту m/v «ELENA» було реалізовано практичне визначення фактичних параметрів штабелів за методом «природної сепарації» згідно з рейсовим завданням для завантаження трьох партій кварцового піску «Granusil».

Автором було запропоновано варіант, який спочатку розраховує судно без маси баласту за допомогою судової бортової програми. Це необхідно для отримання осадок і, як наслідок, диференту – початкові умови. Стан судна без баласту мав початковий диферент майже 5 м на корму. Початкові осадки при цьому становлять -0,33 м для носа та 4,55 м для корми.

Також було враховано геометричні обмеження стосовно особливостей трюму судна. Оскільки твіндечні панелі знаходились у кормі, а кришки трюму під час завантаження не можна було рухати, було використано елемент «Обмеження при завантаженні», де були встановлені відповідні опції. Так, штабель в кормовій частин будемо вимагати розмістити таким чином, щоб він не досягав складованих там твіндеків – «Відступ від краю» дорівнює 5 м. Штабель в носовій частині розміщаємо за умови завантаження без зайвого перекладення кришок трюму, тому – «Кришки трюму» дорівнює 6м.

Після чого, наведені початкові дані було використано для файлу програми «Scilab», що дозволяє вирішувати питання завантаження методом «природної сепарації».

Для цього, аби частково урахувати відкачку залишків баласту протягом завантаження, за ініціативою капітана, було прийняте рішення для використання режиму розрахунку «СТАРТ наближено», оскільки він дає змогу максимально ефективно зачистити баласт протягом завантаження, коли судно має достатній диферент для роботи інжектором. Враховуючи вищесказане та можливості наступного кроку, автором обрано режим «Автоматичний вибір» саме для цього випадку. Оскільки тоді буде враховано порядок обраний вручну, що задано у

клітинках початкового вікна «Розміщення вантажів» на початку, для виконання оптимізації по порядку завантаження вантажів з метою максимальної відстані між штабелями.

Отримавши, у завершальному вікні «Геометричні характеристики насипів», відповідь розрахунків помічаємо, що по-перше завантаження трьома окремими штабелями можливе і відстань між штабелями становить 1,32 м, що достатньо з урахуванням можливих похибок. По-друге, було наведено розміри кожного з штабелів, та порядок їх завантаження. Позиціонування штабелів в трюмі відбувається за відліком їх координат положення центру ваги від кормової переборки, враховуючи систему відліку шпангоутів та шпаций. Отже, кінцевий графічний розрахунок застосунку «Scilab» надав всі необхідні параметри, що необхідно для перевірки на офіційній судновій вантажній програмі запланованого завантаження

Останнім кроком, після цього, було виконано перевірку на бортовій вантажній програмі стану судна на основі використання показників, що було згенеровано спеціальним застосунком «Scilab», для отримання офіційних фактичних показників остійності та міцності корпусу судна для виконання рейсового завдання.

Кінцевий результат розрахунків всіх основних параметрів судна, після закінчення процесу завантаження, разом з показниками остійності був схвалений судновою адміністрацією і відповідав всім чартерним та погодним умовам, що дало змогу забезпечити безпеку мореплавання та виконати рейсове завдання.

У наслідку адекватного практичного використання математичної моделі та практичного експериментального завантаження суден методом «природної сепарації», що подано у цьому розділі, автором було запропоновано основну ідею формування корисної моделі та запатентовано «Спосіб розміщення навалювальних вантажів в трюмі судна» та «Спосіб контролю розміщення навалочних вантажів в трюмі судна».

Запропонована автором корисна модель стосується морських вантажних суден і способів попередження зміщення навалочних вантажів в трюмі судна. Частина змісту розділу 5 було наведено у відповідних літературних джерелах [18, 19].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі міститься теоретичне дослідження та нове рішення науково-практичної задачі удосконалення методів завантаження малотоннажних суден навалочними і насипними вантажами, забезпечення морехідної безпеки судна.

Питання вдосконалення методів оптимізації завантаження та визначення основних параметрів штабелів навалочних або насипних вантажів в трюмі стають все більш актуальними, особливо при зростанні норм вантажних робіт для малотоннажних суден, які можуть бути повністю завантажені за декілька годин.

В результаті досліджень розроблено математичні моделі і розрахункові схеми технологічних процесів завантаження малотоннажних одотрюмних суден навалочними і насипними вантажами. Моделі адаптовані до інженерних розрахунків та базуються на наступних основних результатах дослідження:

1. Виконано системне вивчення і дослідження процесів формування штабелю навалочного або насипного вантажу у трюмі під час завантаження, в залежності від кута природного укосу і його вплив на подальшу реалізацію вантажного плану судна та забезпечення остійності і безпеки мореплавання.

2. Виконано аналіз програмних можливостей існуючих суднових бортових вантажних програм, який показав, що найбільш придатними вони є для штучно-тарних вантажів. Також було виявлено, що повноцінні розрахунки навалочних вантажів з різною формою штабелю виконати неможливо. Тому, вперше запропоновано метод «природної сепарації» та одночасного перевезення на судні навалочних вантажів з запобіганням їх змішування.

3. Для запропонованого методу було розроблено алгоритм та математичну модель розрахунків форми та положення штабелів навалочного вантажу в трюмі судна. Модель адаптована до інженерних розрахунків і базується на фактах встановлених при виконанні натурних спостережень при завантаженні коастерних малотоннажних суден «WILSON BILBAO», «WAVE» та «ELENA» одночасно різними партіями навалочних вантажів при різних портових умовах.

4. Розроблено метод розрахунку завантаження малотоннажного судна, визначення складної геометричної фігури штабелів декількох навалочних вантажів в одному трюмі та подальший розрахунок координат їх центра ваги і зміни форми вантажу на будь якому етапі завантаження та фактичному диференті судна, дозволяє оперативно прогнозувати можливі виникнення ризику змішання різних вантажів.

5. Встановлено, що програмний застосунок може бути використаний для будь-якого судна, як додаткове програмне забезпечення, або бути інтегрованим з бортовими програмами для полегшення планування вантажних операцій.

6. Верифікація розробленої математичної моделі методу «природної сепарації» була підтверджена в реальних рейсах на борту суден «WILSON BILBAO», «WAVE» та «ELENA».

7. Розроблено та запатентовано «спосіб розміщення» та «спосіб контролю розміщення» навалочних вантажів в трюмі судна, який включає розрахунок розподілення мас різних вантажів відповідно до поправки по зміщенню вантажу відносно диференту судна.

8. Дослідження, які були проведені в рейсових умовах та в портах при виконанні вантажних операцій, підтвердили достовірність і високу ефективність наукових результатів та заходів спрямованих на удосконалення методів завантаження малотоннажних коастерних суден навалочними та насипними вантажами.

Дисертаційна праця використана у виробничій діяльності судноплавних компаній та на малотоннажних суднах, а також впроваджена в науково-дослідних роботах, які виконуються в НУ«ОМА» та в навчальному процесі курсантів. Таким чином, результати дисертаційної роботи у вигляді розроблених математичних моделей і розрахункових схем технологічних процесів, на основі запропонованого методу «природної сепарації», дають змогу забезпечити максимальне використання вантажомісткості малотоннажних суден при перевезенні декількох вантажних партій та підвищити рівень безпеки перевезення вантажів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Хомяков В. Ю., Савчук В. Д. Загрузка судна типа «Коастер» навалочным грузом с использованием метода «Естественной» сепарации. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії* : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2014. – №1 (10). – С. 64–70. (фахове видання)
2. Хомяков В. Ю. Пошаговая загрузка навалочным грузом т/х «Plato». *Судовождение* : Сб. научн. трудов / ОНМА, Выпуск 24. – Одесса : «ВидавІнформ», 2014 – С. 171–177. (фахове видання)
3. Хомяков В. Ю., Савчук В. Д. Применение метода пошаговой загрузки судов типа «Коастер» навалочными грузами. *Проблеми Техніки* : науково-виробничий журнал / ОНМУ, Выпуск 2/2014 – Одесса : «Фірма «Інтерпрінт», 2014 – С. 43–48. (фахове видання)
4. Хомяков В. Ю., Савчук В. Д. Расчет координат центра тяжести штабеля груза при дифференте малотоннажного судна. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова*. – СПб.: ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова, 2016. – Вып. 1(35). – С. 36–45. (міжнародне фахове видання)
5. Хомяков В. Ю., Савчук В. Д. Способ загрузки малотоннажного однотрюмного судна несколькими видами навалочных грузов. *Судноводіння* : Зб. наук. праць / НУ«ОМА», Вип. 27. – Одеса : «ВидавІнформ», 2017 – С. 194–201. (фахове видання)
6. Хом'яков В. Mathematical model of taking into account changes in geometric and physical characteristics of bulk cargo stacks in the process of loading a light vessel. *Міжнародний незалежний науковий журнал*, № 27 2021 VOL.1 – Krakow: 2021 – С. 32–36. (міжнародне фахове видання)
7. Хом'яков В. Mathematical model of taking into account the configuration of the hold when compiling the cargo plan of the vessel type «coster». *Міжнародний незалежний науковий журнал*, № 29 2021 – Krakow: 2021 – С. 52–63. (міжнародне фахове видання)

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Хомяков В.Ю. Перевозка на судах типа «коастер» одночасно декількох видів вантажів. *Забезпечення безаварійного плавання суден* : матеріали наук.-метод. конф., м. Одеса, 16-17 лист. 2011 р. Одеса, 2012. С. 121–123.
9. Хомяков В.Ю. Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «Коастер». *Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека* : матеріали наук.-метод. конф., м. Одеса, 19-20 лист. 2013 р. Одеса, 2014. С. 65–67.
10. Хомяков В.Ю. Использование метода «естественной» сепарации при загрузке судна навалочным грузом. *Енергетика судна: експлуатація та ремонт* : матеріали наук.-техн. конф., м. Одеса, 26-28 бер. 2014 р. Одеса, 2014. С. 59–62.

11. Хомяков В.Ю. Диаграмма графического расчета массы навалочных грузов при перевозке с «естественной» сепарацией. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2014)* : збірка матеріалів VI міжнар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 27-29 травня 2014 р. Херсон, 2014, С. 147–148.

12. Хомяков В.Ю. Использование метода «Естественной» сепарации при перевозке навалочных грузов. *Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні* : матеріали наук.-метод. конф., Одеса, 18-19 лист. 2014 р. Одеса, 2014. С. 96–98.

13. Хомяков В.Ю. Расчет расположения штабелей навалочных грузов в трюме «Коастера». *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2015)* : збірка матеріалів VII між нар. наук.-практ. конф., м. Херсон, 26-28 травня 2015 р. Херсон. 2015. С. 127–129.

14. Хомяков В.Ю. Определение погрешности при расчете параметров штабеля навалочного груза в трюме малотоннажного судна. *Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні* : матеріали наук.-метод. конф., м. Одеса, 19-20 лист. 2015 р. Одеса, 2016. С. 81–87.

15. Хом'яков В.Ю. Автоматизація контролю завантаження одотрюмного судна навалочними вантажами. *Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека* : матеріали наук.-техн. конф., м. Одеса, 16-17 лист. 2016 р. Одеса, 2017. С. 166–171.

16. Хом'яков В.Ю. Технологічні особливості завантаження малотоннажного одотрюмного судна «WAVE». *Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавання, перевезення, автоматизація* : матеріали наук.-практ. конф., м. Одеса, 15-16 лист. 2018 р. Одеса, 2018. С. 302–304.

17. Хом'яков В. Ю. Завантаження одотрюмного судна навалювальним вантажем з використанням методу природної сепарації. *Принципи розвитку організації морських перевезень в сучасних умовах міжнародного судноплавання* : Колективна монографія за ред. Л.Л. Ніколаєвої. Одеса, 2020. С. 153–163.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

18. Спосіб розміщення навалювальних вантажів в трюмі судна : пат. 107604 Україна. № у 2016 00313 ; заявл. 14.01.2016 ; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 11. 6 с.

19. Спосіб контролю розміщення навалочних вантажів в трюмі судна : пат. 114118 Україна. № у 2016 09903 ; заявл. 26.09.2016 ; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4. 6 с.

АНОТАЦІЯ

Хом'яков В. Ю. Удосконалення методів завантаження малотоннажних суден навалочними вантажами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 «навігація та управління рухом» (271 – Річковий та морський транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2021.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-прикладної задачі удосконалення технології завантаження малотоннажних коастерних суден навалочними і насипними вантажами, забезпечення належних морехідних якостей і безпеки їх мореплавання.

Було встановлено, що питання розрахунку маси і розміщення вантажів в одному трюмі окремими штабелями досліджені не в повному обсязі.

Проаналізовано недоліки сучасних вантажних програм, що використовуються судноводіями для планування вантажних операцій та розрахунку вантажного плану. Розглянуто конфігурації трюмів існуючого коастерного флоту, особливості їх завантаження окремими штабелями вантажу з урахуванням певних обмежень.

Автором враховано сучасні можливості та потужності портів і портових вантажних комплексів і терміналів при практичних розрахунках рейсових завдань та умов чартерів на різних суднах. Натурні спостереження дали змогу прийняти необхідне рішення для розв'язання поставленої задачі.

Проведено обґрунтування основного напрямку дисертаційного дослідження, яке передбачає створення методу «природної сепарації» штабелів вантажів при одночасному перевезенні в одному трюмі.

В запропонованій математичній моделі, яка враховує конфігурацію вантажного відсіку та форму об'єму штабелів вантажу, використані судові гідростатичні таблиці та побудовано функції в вигляді апроксимуючих поліномів двох змінних, що виражають масу судна та його горизонтальний момент через два аргументи: носову та кормову осадки. Модель адаптована до інженерних розрахунків і базується на фактах, які встановлені автором при виконанні натурних спостережень під час завантаження коастерних малотоннажних суден «WILSON BILBAO», «WAVE» та «ELENA» одночасно різними партіями навалочних вантажів та при різних портових умовах. Модель реалізована пакетом математичних обчислень «Scilab».

Розроблено та запатентовано «спосіб розміщення» та «спосіб контролю розміщення» навалочних вантажів в трюмі судна, який включає розрахунок розподілення мас різних вантажів з врахуванням їх зміщення при диференті судна. Спосіб дозволяє прораховувати можливість завантаження судна різними вантажами, запобігаючи їх змішуванню, та розраховувати морехідні якості судна, використовуючи судові вантажні програми.

Головним результатом дисертаційної роботи є розробка методики розрахунку розміщення окремих штабелів вантажів з використанням запропонованого методу «природної сепарації» на будь-якому етапі завантаження та фактичному диференті судна, що дозволяє удосконалити методи завантаження малотоннажних суден навалочними вантажами.

Дисертаційна праця використана у виробничій діяльності судноплавних компаній та на малотоннажних суднах, а також впроваджена в науково-дослідних роботах, які виконуються в НУ«ОМА» та в навчальному процесі курсантів. Таким чином, результати дисертаційної роботи у вигляді розроблених математичних моделей і розрахункових схем технологічних процесів, на основі запропонованого методу «природної сепарації», дають змогу забезпечити максимальне використання

вантажомісткості малотоннажних суден при перевезенні декількох вантажних партій та підвищити рівень безпеки перевезення вантажів.

Ключові слова: коастер, метод природної сепарації, вантажні операції, оптимізація і контроль завантаження одотрюмного судна, вантажний план малотоннажного судна.

ANNOTATION

Khomyakov V. Improvement of bulk cargo loading methods for low-displacement vessels. Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation in support of candidature for a candidate of engineering sciences (Ph.D.) degree on specialty 05.22.13 – Navigation and traffic control (271 – River and sea transport). – National University «Odessa Maritime Academy», Odessa, 2021.

The Dissertation is devoted to the decision of a scientific and applied problem of improvement of bulk cargo loading methods for low-displacement coastal vessels, ensuring proper navigability as well as safety of their navigation.

It was revealed that the issues of calculating of weight and placing cargo in one hold by several separate stacks were investigated not in full.

The weaknesses of modern cargo programs used by navigators for planning cargo operations and calculating the cargo plan were analysed. The work provides consideration of holds configurations of the existing coaster fleet, the features of their loading with individual cargo piles, taking into account certain restrictions.

The author has taken into account the modern capabilities and capacities of ports as well as port cargo complexes and terminals in practical calculations of sailing directions and charter conditions on different vessels. Field studies allowed to pin down the necessary solution for the operating objective.

The justification of the principal direction of the thesis research, providing for the creation of a «natural separation» method for piles of cargo in case of simultaneous transportation in one hold was provided.

The proposed mathematical model that takes into account the configuration of the cargo section and the shape of the volume of cargo piles, uses ship hydrostatic tables and provides functions in the form of approximating polynomials of two variables expressing the light mass and its horizontal moment through two arguments: draft at forward perpendicular and draft at after perpendicular. The model is adapted for engineering calculations and is based on the facts established by the author when performing field studies when loading simultaneously at low-displacement coastal vessels «WILSON BILBAO», «WAVE» and «ELENA» of different batches of bulk cargo and in the different port conditions. The model is implemented using the «Scilab» mathematical calculations package.

The «placement method» and the «placement control method» for bulk cargo in a vessel's hold were developed and patented, including the calculation of the weight distribution of different cargoes according to the amendment for the cargo displacement

relative to the trim of the vessel. The method allows calculating the possibility of loading the vessel with various cargoes, preventing their mixing, as well as to calculate the vessel's navigability using ship cargo programs.

The main result of the dissertation is the development of a calculation procedure for the placement of individual piles of cargo at any loading step and any actual trim difference, using «natural separation», which allows improving the bulk cargo loading methods for low-displacement coastal vessels.

The results of the dissertation work were applied in the production activities of ship-owning companies and on low-displacement boats, as well as were introduced in research works represented at the NU «OMA» and also in the educational process when studying by cadets. In this regard, the results of the thesis work in a form of the developed mathematical and analytical models of operating procedures based on the proposed natural separation method gives the possibility to maximize the use of the load capacity of low-tonnage vessels when transporting several cargo consignments, as well as to increase the safety of cargo transportation.

Keywords: coaster (coastal vessel), natural separation method, cargo operations, optimization and loading control of a single-hold vessel, cargo plan of a low-displacement vessel.

Підписано до друку 11.11.2021.
Формат 60x84/16. Папір офсет. Ум. друк. арк. 1,52
Тираж 100 пр. Замовлення № И21-11-27

НУ «ОМА», центр «Видавінформ»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8, корп. 7
Свідоцтво ДК № 1292 від 20.03.2003
Тел./факс +38 (048) 793-24-50
+38 (048) 793-24-51
e-mail: publish@onma.edu.ua