

УДК 656.61.052.484

DOI: 10.31653/2306-5761.38.2025.128-140

APPLICATION OF OBJECT-ORIENTED APPROACH TO FORMING A SHIP CARGO PROGRAM

ЗАСТОСУВАННЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНОЇ ПРОГРАМИ СУДНА

L. L. Nikolaieva , D.Sc., professor, O. V. Haichenia , Ph.D., associate professor

Л. Л. Ніколаєва, д.е.н., професор, О. В. Гайченя, к.т.н., доцент

National university "Odesa maritime academy", Ukraine

Національний університет "Одеська Морська Академія", Україна

ABSTRACT

The work analyzes methods for implementing a software product that synthesizes a ship's cargo program addressing both direct and inverse loading problems. Preparing and calculating a preliminary cargo plan is critical to seaworthiness; consequently, modern vessels employ computer cargo programs to design such plans and evaluate safety. Ships also carry documentation enabling manual calculation via interpolation tables and graphs. Yet on older ships, cargo software may be inoperable or absent, making manual planning cumbersome. Using an object-oriented approach, we argue that an effective cargo program should comprise two modules that synthesize a ship object and a cargo object. We highlight the need for object-oriented mathematical descriptions of the vessel and cargo, mapped into a computer database derived from ship cargo documentation. We further propose constructing a vector of seaworthiness criteria computed from this database. We present results from developing a module that records essential information on cargo spaces, their positions relative to the hull, and principal ship characteristics. This module supports structured data entry, consistency checks, and future expansion to optimization routines. Overall, the study motivates a database-centric, object-oriented architecture for cargo planning that can operate independently of legacy software, standardize source data, and enable synthesis, evaluation, and eventual automation of preliminary cargo plans under diverse operational conditions.

Keywords: ship's maritime safety, object-oriented approach, ship's cargo program, cargo plan, ship's mathematical model, database, ship's documentation, seaworthiness.

АНОТАЦІЯ

Робота аналізує методи впровадження програмного продукту, що синтезує вантажну програму судна для розв'язання прямої й оберненої задач завантаження. Підготовка та розрахунок попереднього вантажного плану критично важливі для мореходності; відтак сучасні судна використовують комп'ютерні вантажні програми для складання таких планів і оцінювання безпеки. На судах також є документація для ручних розрахунків з використанням інтерполяційних таблиць і графіків. Втім, на старих судах програмне забезпечення може бути непрацездатним або відсутнім, що істотно ускладнює ручне планування. Використовуючи об'єктно-орієнтований підхід, обґрунтовується, що ефективна вантажна програма має складатися з двох модулів, які синтезують об'єкт «судно» та об'єкт «вантаж». Підкреслюється необхідність об'єктно-орієнтованих математичних описів судна й вантажу, відображених у комп'ютерну базу даних, сформовану на основі судової вантажної документації. Додатково пропонується формування вектора показників мореходності, що обчислюється за цією базою даних. Подано результати розроблення модуля для внесення

ключової інформації про вантажні приміщення, їхнє положення відносно корпусу та основні характеристики судна. Модуль підтримує структуроване введення даних, перевірки узгодженості й подальше розширення до оптимізаційних процедур. Загалом дослідження обґрунтовує базоцентричну, об'єктно-орієнтовану архітектуру вантажного планування, здатну працювати незалежно від застарілих програм, уніфікувати вихідні дані та забезпечувати синтез, оцінювання і подальшу автоматизацію попередніх вантажних планів за різних умов експлуатації.

Ключові слова: морська безпека судна, об'єктно-орієнтований підхід, вантажна програма судна, вантажний план, математична модель судна, база даних, суднова документація, морехідність.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Підготовка та розрахунок попереднього вантажного плану судна є відповідальною операцією, яка визначає морехідну безпеку судна, тобто відповідність параметрів посадки, остійності та міцності корпусу судна їх допустимим значенням. Про важливість зазначеної операції свідчить той факт, що всі сучасні судна мають комп'ютерні вантажні програми, що дозволяють проводити моделювання судна (скласти попередній вантажний план) і оцінювати рівень її морської безпеки. Крім цього, на кожному судні є документація для розрахунку попереднього вантажного плану вручну, що містить необхідні інтерполяційні таблиці та графіки. Вантажні комп'ютерні програми розробляються відповідними фірмами під наглядом класифікаційного суспільства, які видають сертифікат відповідності програми існуючим вимогам.

Однак існує ряд ситуацій, коли скористатися вантажною програмою взагалі неможливо, наприклад, при експлуатації старих (субстандартних) суден, на яких вантажна програма перестала працювати або взагалі відсутня. У такому разі складання попереднього вантажного плану судна за судовою документацією істотно ускладнюється. Враховуючи, що на судні обов'язково є документація для складання попереднього плану вантажу, доцільна розробка комп'ютерного пакета, що дозволяє синтезувати вантажну програму судна, що володіє властивістю вибору оптимального варіанту завантаження. При наявності такого програмного продукту оператор вводить необхідну інформацію із судової вантажної документації для формування бази даних комп'ютерної вантажної програми. Після завершення введення вихідних даних відбувається ініціалізація другого модуля програми, який, використовуючи сформовану базу даних, генерує власно вантажну програму, що дозволяє вирішити як пряму, так і зворотну задачу завантаження судна. Очевидно, розробка методів, що дозволяють реалізувати пропонований програмний продукт, є актуальним і перспективним науковим напрямком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частини загальної проблеми

В роботі [1] відзначається, що пошкодження конструкції судна призводить до втрати його граничної міцності. Пошкодження може виникнути внаслідок зіткнення або посадки на міліну. Необхідно оцінити структурну цілісність судна після зіткнення або посадки на міліну. Це робиться для відповідності вимогам до проектування конструкції судна.

Метою цього дослідження є аналіз впливу пошкоджень, завданих конструкції одно- та двокорпусних суден, на граничну міцність конструкції судна. В ньому було встановлено граничну міцність балки корпусу судна після пошкодження внаслідок зіткнення або посадки

на міліну за допомогою числового підходу. У цьому дослідженні взято зразок поперечного перерізу судна, а саме одно- та двокорпусного балкера. Моделювання пошкоджень днища та бортових перерізів судна внаслідок зіткнень та посадок на міліну враховується для визначення впливу пошкоджень, застосованих до одно- та двокорпусних суден.

Новий спосіб формалізації гібридних систем у моделях управління процесом розвантаження суден зумовлений значним збільшенням контейнерних перевезень у всьому світі за останнє десятиліття розглянуто в роботі [2]. Зростання контейнеропотоку є основною причиною постійної модернізації портів контейнерних терміналів, а вдосконалення технології розвантаження вантажів є найбільш перспективним при використанні тих методів, які дозволяють отримати максимальні результати з точки зору швидкості обробки вантажів.

Ця проблема є предметом статті, в якій проведено аналітичний огляд технологій обробки контейнерів, що існують у світових портах, сформульовано їх ключові показники ефективності та показано, як використання централізованої гібридної системи управління, що базується на динаміці дискретних подій, може призвести до підвищення прибутковості порту. Розроблена концепція гібридної системи управління дозволяє врахувати такі особливості процесу розвантаження суден, які досі не розглядалися.

У статті [3] представлено розробку системи вимірювання водотоннажності для мало масштабних фізичних моделей пришвартованих суден, спрямованої на отримання даних для оцінки амплітуд зміщень та визначення того, чи перевищують вони заздалегідь визначені експлуатаційні межі. Система, яка поєднує камери та інерційні датчики, фіксує шість ступенів свободи, що дозволяє вимірювати хвилювання, коливання, качку, ривки, крен та диферент.

Розроблену систему спочатку протестували, ізолюючи кожен ступінь свободи для аналізу, а згодом застосували до масштабної моделі причалу портів терміналів з пришвартованим балкером, що піддається впливу хвиль. Масштабні моделі портів терміналів пройшли ретельну перевірку протягом багатьох років досліджень і розробок. Для оцінки реакції системи вимірювання переміщень, отримані за допомогою розробленої системи, порівнювали з комерційною системою, широко відомою для вимірювання рухів твердого тіла, системою Qualisys®.

Як зазначається в роботі [4] сучасні технології забезпечують оптимізацію, управління та автоматизацію роботи порту та логістичних процесів, отже, вони створюють ефективний прогрес, який зміцнює позиції порту серед морських спільнот. Якщо цього недостатньо, вони також покращують інтеграцію керівних органів для стандартизації та гармонізації формальностей звітності.

Порти зазнали особливих труднощів під час пандемії COVID-19. Портів підприємства, які динамічно впроваджували інноваційні рішення, зберегли свої позиції на ринку. Це означає, що інновації – єдиний спосіб зберегти високі позиції в міжнародній економіці. Метою дослідження є представлення огляду портів технологій, яке базується на літературі.

В роботі [5] зазначається, що технологічні інновації дають можливість створювати так звані «розумні порти». Однак, питання вибору технологій та способів їх впровадження залишається складним. Дослідницька проблема, представлена у статті: чи є постійне впровадження та реалізація концепції інтелектуальних портів незворотною тенденцією, що визначає напрямок розвитку сучасних морських портів.

Метою статті також є аналіз проєктів, впроваджених у портах Північного та Балтійського морів, які послідовно впроваджують концепцію «розумного порту». У статті використовується метод аналізу – переважно поточного аналізу та перспективного аналізу.

Робота [6] присвячена актуальній проблемі забезпечення морехідної безпеки суден на етапі експлуатації шляхом оптимізації їх вантажних операцій. З урахуванням специфіки

вантажних операцій навалювальних суден в роботі розглянуте питання оптимізації їх процесу завантаження.

Для формалізації задачі оптимального завантаження в статті [7], було виконано аналітичний опис процесу проведення вантажних робіт судна методами теорії дослідження операцій. Формалізовано поняття стратегії завантаження навалювального судна, і знайдені аналітичні вирази залежності величини критеріїв оптимальності від параметрів стратегії завантаження. а в роботі [8] одержана процедура формування множини допустимих завантажень судна, кожне з яких задовольняє вимогам морехідної безпеки, а також розроблено спосіб синтезу оптимальної стратегії завантаження судна, який дозволяє сформулювати завантаження, використовуючи мінімальне можливе число вантажних трюмів.

У роботах [9, 10] показано принцип створення методу синтезу вантажної програми судна, що використовує раніше сформовану базу даних і процедури імітаційного моделювання. Описано порядок розрахунку і виводу параметрів мореплавства судна.

Розглянуто формалізацію завантаження судна як багатовимірною процесу і постановка оптимізаційної задачі.

Показано, що оптимізаційна задача є задачею лінійного програмування, оскільки цільова функція, що визначає критерій оптимальності, і обмеження задачі є лійними залежностями.

У роботі [11] показаний принцип розробки методу оптимального завантаження суден генеральними вантажами з урахуванням їх укладання і кріплення. Розглянуті особливості завантаження суден генеральними вантажами, зокрема вимога до сумісності партій генерального вантажу, урахування ротації портів, вимоги до місцевої міцності і міцності вантажного місця при багаторівневому укладанні партії вантажу.

Аналітична процедура урахування обмеження по укладанню генерального вантажу в трюм і спосіб імітаційного моделювання укладання генерального вантажу в заданому трюмі стандартної форми за допомогою тривимірного відображення укладання вантажу і трюму засобами комп'ютерної графіки запропоновані в статтях [12, 13].

В роботі [14] розглянуто спосіб формалізації сил, діючих на вантаж при качанні судна. Для ізольованих диференціальних рівнянь руху судна одержані аналітичні вирази складових бортового кильового і вертикального качання судна, за допомогою яких одержані вирази для кутових і лінійних прискорень, а в статті [15] визначено сумісний вплив сил інерції качання судна і сили тяжіння на вантаж, що перевозиться, одержані їх проекції на осі суднової системи координат і представлено аналітичний вираз для розрахунку максимального значення горизонтальної проекції сил, що впливають на вантаж.

Задачу оптимізації завантаження контейнеровоза, яка передбачає оптимізацію завантаження судна перед кожним його переходом. як критерій оптимальності пропонується вага баласту, що приймається, яка повинна бути мінімізованою сформульовано в роботі [16].

В публікації [17] приведено результати комп'ютерного моделювання залежності максимальної сили інерції бортового качання від розміщення контейнерів у вантажному приміщенні судна. Досліджено завантаження судна партіями контейнерів з урахуванням ротації портів, одержано аналітичні залежності.

В роботі [18] розглянуто питання урахування доступності партій контейнерів, які вивантажуються, при формуванні укрупненого тензору завантаження судна. Отримано умови доступності партій, які вивантажуються, і запропоновані процедури реалізації цих умов. Запропоновано метод формування теоретичного тензору завантаження судна і його перетворення в реальний тензор.

Процедуру відображення плану розташування контейнерів у вантажних приміщеннях судна з допомогою імітаційної програми запропоновано в роботах [19, 20], причому крім відображення контейнерів вибраного бею також виводиться інформація про їх порядкові номери. Представлено результати імітаційного моделювання завантаження судна «Скай Джемені», яке виконує рейс із заходом в п'ять портів і перевозить чотири партії вантажу. Для кожного із чотирьох завантажень судна показано розташування контейнерів по вантажним приміщенням і визначені параметри посадки, остійності і загальної поздовжньої міцності.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою дослідження є аналіз можливостей розробки методів для реалізації програмного продукту, що дозволяє синтезувати вантажну програму судна, яка вирішує пряму та зворотну задачу завантаження.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для вирішення поставленої задачі необхідно, в першу чергу, розробити математичну модель судна M_v , як завантаження об'єкта, і здійснити формалізацію M_c , завантаження в термінах математичної моделі судна. Якщо множину параметрів морехідності судна, що характеризують його посадку, остійність і загальну поздовжню міцність позначимо M_k , то елементи цієї сукупності є функціями іншого проміжної множини M_n . У свою чергу M_n є відображенням елементів M_v і M_c . Зверніть увагу на наступні обставини: розглянуті категорії M_v , M_c , M_n і M_k не всі є векторами або множинами, так як об'єднують деякі характеристики, що мають різну природу. Так, модель судна M_v повинна включати чисельні характеристики, наприклад, вага судна, його максимальну вантажопідйомність, кількість вантажних приміщень і т.п., однак вона містить вантажні приміщення, які є складними об'єктами і характеризуються формою, що відображає їх архітектуру. Модель судна включає також розподіл його ваги по довжині судна, яке не належить до перерахованих характеристик. При формалізації вантажу, крім таких численних характеристик, як загальний вантажний обсяг, для генерального вантажу необхідно формувати поняття партії вантажу, що містить одиницю вантажу, з якої складається партія. Одиниця вантажу, у свою чергу, має визначену форму, вагу, габарити та положення центру тяжкості. Тому для опису математичної моделі судна M_v і вантажу M_c доцільно використовувати об'єктно-орієнтований підхід.

Відповідно до цього підходу об'єкт характеризується деякими властивостями і методами, при яких властивостях може бути різна природа, наприклад, тип трюму, що відображає його форму, і тип резервуара за визнанням його застосування (баластний, для важкого палива і т.п.), при чому вказані характеристики є властивостями одного об'єкта.

Якщо об'єкт M_v , що є математичною моделлю судна, явним видом не містить методів, описуючи можливі його зміни, то об'єкт M_c , що представляє формалізацію вантажу, містить метод розділення партії вантажу на частини.

Вантажні операції, що представляють собою розміщення вантажу по вантажному приміщенні, баласту по баластним танкам і запаси по іншим танкам, є об'єктом більш високого рівня $M_{v,c}$, який успадковує властивості і методи об'єктів M_v і M_c (такий об'єкт можна назвати «завантажене судно»). Однак виявляються і його індивідуальні методи, які стосуються процедури розміщення вантажів, баласту і запасів. Оцінка морехідності судна M_k

є вектором, компоненти якого представляють параметри посадки, остійності та міцності. Сукупність проміжних змінних M_n містить характеристики, описуючі властивості об'єкта $M_{v,c}$ (наприклад, статичні моменти M_x , M_y , M_z і т.п.). У першому наближенні M_n можна розглядати як вектор, хоча деякі його компоненти є діаграмами (статичної та динамічної остійності).

Отже, вектор проміжних характеристик M_n є функцією від властивостей об'єктів M_v і M_c , тобто $M_n = F_1(M_{vc})$, вихідний вектор оцінки морехідності M_k судна визначається вектором M_n - $M_k = F_2(M_n)$.

Таким чином, формація завантаження судна з оцінкою показників морехідності передбачає розробку методів об'єктно-орієнтованого математичного опису судна M_v і вантажу M_c , синтезу об'єкта «завантажене судно» $M_{v,c}$, пошуку відображень F_1 і F_2 .

Відображення F_1 , яке зв'язує вектор проміжних змін M_n з об'єктом $M_{v,c}$, представлене у вигляді таблиць і графіків, розміщених у судовій вантажній документації («Інформації капітану про остійність судна» та ін.), а відображення F_2 представляє собою сукупність аналітичних залежностей і прийомів, що дозволяють з компонентів вектора M_n отримати компоненти вектора M_k . Доцільним є рішення поставленої задачі в два етапи:

- розробити метод $\mathfrak{Z}_1$ об'єктно-орієнтованого математичного опису судна M_v та відображення F_1 , які повинні бути представлені у вигляді комп'ютерної бази даних $\mathfrak{R}$, при чому вихідна інформація для такої бази даних наявна в судовій вантажній документації;
- створити метод $\mathfrak{Z}_2$, що включає об'єктно-орієнтоване математичне описування вантажу M_c , відображення F_2 , а також за допомогою бази даних $\mathfrak{R}$ спосіб синтезу об'єкта $M_{v,c}$ та формування вектора оцінки морехідності судна M_k . Формалізацію завантаження судна з оцінкою показників морехідності, реалізована у вигляді методів $\mathfrak{Z}_1$ і $\mathfrak{Z}_2$, показано на рис. 1.

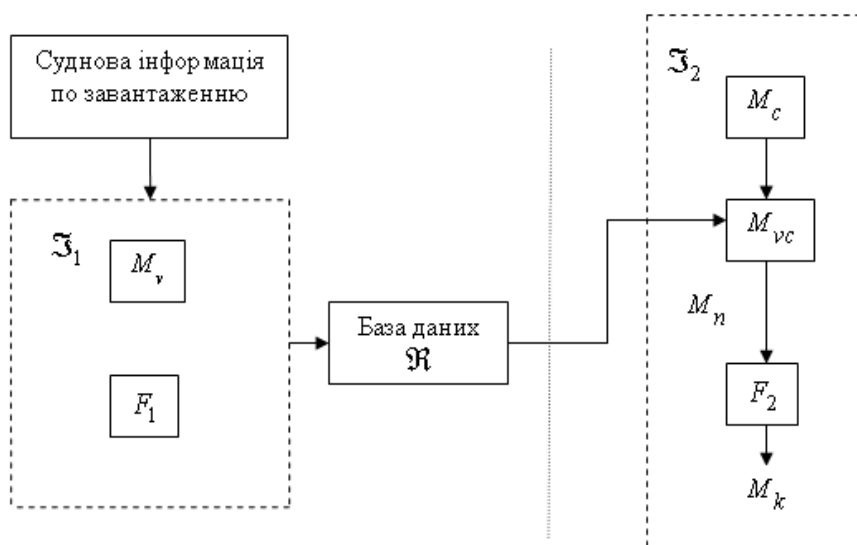


Рис. 1. Методи формалізації завантаження судна

Для конкретного судна метод $\mathfrak{Z}_1$ формування бази даних $\mathfrak{R}$ використовується один раз. Метод $\mathfrak{Z}_2$ потрібен для кожного завантаження, в якому повинні міститися процедури вирішення прямої та зворотної задачі розміщення вантажу, баласту та запасів. Розглянуті методи повинні бути реалізовані у вигляді окремих комп'ютерних програм, складових один програмний пакет.

Після розробки такого пакета програмного забезпечення, його можна розмістити на сайті та надати послуги через інтернет користувачів, які потім потребують у вантажній програмі (вантажним помічникам, суперкарго тощо), які спочатку один раз виготовляють налаштування пакету за вихідним джерелом інформації, а регулярно використовуються при кожній завантаженні, так як база даних, сформована для кожного з файлів, зберігається на сайті.

Один із завдань формування бази даних є введенням інформації про судові вантажні приміщення, яка дозволить відобразити вантажні приміщення в графічному вигляді в двох- і трьохмірних проекціях для можливого моделювання укладки генерального вантажу. В результаті аналізу судові вантажні приміщення, з позицією їх опису, були розділені на два класи: стандартні та складні. До стандартних приміщень віднесено ті, форма яких може бути описана кінцевим числом характеристик, що включає габарити приміщень і наявність на судні баластних танків. Всього запропоновано до опису п'ять типів стандартних вантажних приміщень, форма яких показана на рис. 2.

Була проведена розробка модуля комп'ютерної програми, що дозволяє вводити його у вихідну базу даних, необхідну інформацію про вантажні приміщення судна.

Так, для наведених п'яти типів стандартних трюмів для третього і п'ятого типу параметрів трюму необхідно ввести максимально сім. Найменше число параметрів: довжину, ширину і висоту потрібно при введенні другого типу трюму.



Рис. 2. Типи стандартних вантажних приміщень

Модуль передбачає вибір типу трюму, для чого необхідно лівою кнопкою миші «натиснути» кнопку із зображенням початкового типу трюму. На рис. 3 показано, що зроблений вибір третього типу трюму, при цьому виводиться на екран його зображення з позначенням розмірів.



Рис. 3. Вибір третього типу стандартного трюму

За допомогою лінії прокрутки у верхній частині екрана та кнопкою з назвою розміру вибирається потрібний параметр і вводиться його значення, яке вказується на відповідній кнопці, при зміні розмірів зображення трюму в правій цій нижній частині екрана, як показано на рис.3.

Після введення в базу даних інформації про архітектуру судових вантажних приміщень необхідно вказати їх положення відносно корпусу судна, а також його основні характеристики.

Положення вантажних приміщень визначаються координатами їх центру тяжіння X_i , Y_i і Z_i , в судовій системі координат. Так як центи тяжіння вантажних приміщень розташовані в діаметральній площині судна, то $Y_i=0$, і необхідно ввести лише значення X_i і Z_i . За допомогою спеціального програмного модуля передбачено введення довжини, ширини судна (рис.4), максимального водотоннажності та водотоннажності порожнем.

Програмний модуль також дає можливість вводу вказаних координат трюмів X_i , Z_i , та їх обсягу, як показано на рис. 5. При чому при введенні координати X_i на зображенні судна відбувається зміщення трюму по довжині судна.

При введенні згаданої інформації слід скористатися клавішами з назвою трюмів і лінійної прокрутки, попередньо вибрав кнопку введеної величини. У разі необхідності для кожного із трюмів є можливість введення залежно від об'єму і аплікати центру тяжіння від висоти заповнення трюму вантажем.

GaychForm

L = 195,15 m

ВВЕДІТЬ L СУДНА

X hold Z hold V hold OK

hold 1
X=
Z=
V=

hold 2
X=
Z=
V=

hold 3
X=
Z=
V=

hold 4
X=
Z=
V=

hold 5
X=
Z=
V=

x 100 x 1

L BW dH B Do Dmx Xg Zg

Рис. 4. Введення довжини судна

GaychForm

FORE AFT

X hold Z hold V hold OK

hold 1
X= 72,405
Z= 11,16
V= 2951

hold 2
X= 42,575
Z= 10,21
V= 3208

hold 3
X= -7,425
Z= 10,02
V= 2409

hold 4
X= -38,42
Z= 11,26
V= 2713

hold 5
X= -73,42
Z= 10,64
V= 2241

x 100 x 1

L 195,15 BW 1 dH 2,55 B 26,39 Do Dmx Xg Zg

Рис. 5. Введення координат центру тяжіння і об'єму трюмів

Розглядуваний програмний модуль забезпечує можливість введення координатного центру тяжіння судна в порожньому стані, тобто абсиси і аплікати, що показано на рис. 6.

Рис.6. Введення координат центру тяжіння судна порожнем

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

В роботі обґрунтовано доцільність застосування об'єктно-орієнтованого підходу до формування вантажної програми судна. Показано, що оптимальною є двомодульна архітектура: (а) модуль формування бази даних судна на основі штатної вантажної документації; (б) модуль синтезу «завантаженого судна» та оцінювання показників морехідної безпеки (посадки, остійності та поздовжньої міцності).

Розроблено та апробовано модуль комп'ютерної програми для введення параметрів вантажних приміщень (у т.ч. типізованих «стандартних» трюмів) із можливістю їх графічного відображення у 2D/3D і подальшого використання в розрахунках.

Реалізовано функціонал введення основних характеристик судна та просторового позиціонування вантажних приміщень (пр., координати центру тяжіння), що забезпечує уніфіковане наповнення бази даних для подальших розрахунків та моделювання.

Запропонований підхід створює підґрунтя для вирішення як прямої, так і зворотної задач завантаження на базі єдиної структури даних, що у перспективі дає змогу інтегрувати методи оптимізації та імітаційного моделювання.

Подальші роботи доцільно зосередити на: (i) розширенні модуля введення даних для баластних і допоміжних танків; (ii) формалізації алгоритмів перетворення таблично-графічних даних документації у проміжні розрахункові величини; (iii) впровадженні та верифікації оптимізаційних процедур для розв'язання зворотної задачі завантаження на реальних кейсах.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] M.Z. Muis Alie, A. Ardianti, J. Juswan, T. Rachman, A. Alamsyah, N. Indah and Aulia N.S. "Ship Hull Construction Analysis to the Ultimate Strength Considering Damages", *TransNav*,

- the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 19, no. 2, doi:10.12716/1001.19.02.21, pp. 515-521, 2025.
- [2] L.L. Nikolaieva., T.Y. Omelchenko and O.V. Haichenia. "New Approach In Models for Managing the Vessel Unloading Process", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 18, no. 4, doi:10.12716/1001.18.04.11, pp. 847-862, 2024.
- [3] R. de Oliveira Bezerra, J.C.de Melo Bernardino, and R Esferra.. "Displacement Measurement System for Small-Scale Vessels Berthed in Physical Models of Port Terminals". *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 18, no. 1, doi:10.12716/1001.18.01.17, pp. 169-175, 2024.
- [4] J. Kosiek, A. Kaizer, A. Salomon and A. Sacharko. "Analysis of Modern Port Technologies Based on Literature Review", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 15, no. 3, doi:10.12716/1001.15.03.22, pp. 667-674, 2021.
- [5] A. Karaś, "Smart Port as a Key to the Future Development of Modern Ports", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 14, no. 1, doi:10.12716/1001.14.01.01, pp. 27-31, 2020.
- [6] Ю.Ю. Васьков, " Деякі питання оптимізації вантажних операцій навалочних суден" , *Судноводіння*, Вип. 6, С. 40 – 45, 2003.
- [7] М.М. Цимбал, Ю.Ю. Васьков, "Формування оптимізаційної задачі проведення вантажних операцій навалочних суден ", *Судноводіння*, Вип. 7, С. 3 - 9, 2004.
- [8] М.М. Цимбал, Ю.Ю. Васьков, "Розрахунок меж безлічі допустимих стратегій проведення вантажних операцій навалочних суден", *Судноводіння*, Вип. 8, С. 22 - 31, 2004.
- [9] М.Ю. Соколов, " Метод формування вантажної програми судна з використанням раніше створеної бази даних ", *Судноводіння*, Вип. 18, С. 169 - 172, 2010.
- [10] М.Ю. Соколов, "Методи оптимізації завантаження суден", *Судноводіння*, Вип. 20,. С. 221 - 225, 2011.
- [11] А.О. Чепок, "Вибір типів генеральних вантажів під час моделювання їх укладання у вантажні приміщення судна ", *Судноводіння*, Вип. 17, С. 233-238, 2009.
- [12] А.О. Чепок, "Відображення параметрів посадки, остійності та загальної поздовжньої міцності у вантажній комп'ютерній програмі судна", *Судноводіння*, Вип.19, С. 163-169, 2011.
- [13] А.О. Чепок, "Розробка процедури відображення укладання генерального вантажу у трюмах судна ", *Судноводіння*, - Вип. 20. С. 146-149, 2011.
- [14] Е.А. Власенко, "Визначення максимального значення горизонтальної складової сил інерцій, що діє на вантаж при хитах судна", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI (18), Issue: 158, - С. 80-84, 2018.
- [15] Е.А. Власенко, "Залежність сил інерції бортової качки від моменту інерції судна щодо поздовжньої осі ", *Austria - science*, Issue: 23, С. 54 – 60, 2019.
- [16] Е.А. Власенко, "Допустиме завантаження контейнеровоза", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI (22), Issue: 186, С. 87 - 94, 2018.

- [17] Е.А.Власенко, Е.В.Калініченко, М.М. Цимбал, "Імітаційне моделювання завантаження контейнеровозу", *Austria - science*, Issue: 26, С. 43 - 49, 2019.
- [18] М.М. Цимбал, "Формування тензора завантаження контейнеровозу у разі проведення вантажних операцій у кількох портах", *Судноводіння*, Вип. 29, С. 35-41, 2019.
- [19] М.М. Цимбал "Розрахунок рейсового вантажного плану контейнеровозу", *Судноводіння*, Вип. 30, С. 14 – 20, 2020.
- [20] М.М. Цимбал, "Формування плану завантаження контейнеровозу", *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*, Вип. 2(17), С. 14 - 20, 2020.
- [21] М.М. Цимбал, "Планування завантаження контейнеровозу у разі проведення вантажних операцій у кількох портах", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII (27), Issue: 224, С. 71 - 73. 2020.

REFERENCES

- [1] M.Z. Muis Alie, A. Ardianti, J. Juswan, T. Rachman, A. Alamsyah, N. Indah and Aulia N.S. "Ship Hull Construction Analysis to the Ultimate Strength Considering Damages", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 19, no. 2, doi:10.12716/1001.19.02.21, pp. 515-521, 2025.
- [2] L.L. Nikolaieva., T.Y. Omelchenko and O.V. Haichenia. " New Approach In Models for Managing the Vessel Unloading Process", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 18, no. 4, doi:10.12716/1001.18.04.11, pp. 847-862, 2024.
- [3] R. de Oliveira Bezerra, J.C.de Melo Bernardino, and R Esferra. "Displacement Measurement System for Small-Scale Vessels Berthed in Physical Models of Port Terminals". *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 18, no. 1, doi:10.12716/1001.18.01.17, pp. 169-175, 2024.
- [4] J. Kosiek, A. Kaizer, A. Salomon and A. Sacharko. "Analysis of Modern Port Technologies Based on Literature Review", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 15, no. 3, doi:10.12716/1001.15.03.22, pp. 667-674, 2021.
- [5] A. Karaś, "Smart Port as a Key to the Future Development of Modern Ports", *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 14, no. 1, doi:10.12716/1001.14.01.01, pp. 27-31, 2020.
- [6] Yu.Yu. Vaskov, "Some questions about the optimization of cargo operations of bulk vessels", *Sudovozhdenie*, Vyp. 6, pp 40 – 45, 2003.
- [7] N.N. Tsimbal, Yu.Yu. Vaskov, "Formation of the optimization task of carrying out cargo operations of bulk vessels", *Shipping&Navigation*, Issue 7, pp. 3 - 9, 2004.
- [8] N.N. Tsimbal, Yu.Yu. Vaskov, "Calculation of the limits of the set of allowable strategies for carrying out cargo operations of bulk vessels", *Shipping&Navigation*, Issue 8, pp. 22 - 31, 2004.
- [9] M.Yu. Sokolov, "The method of forming the ship's cargo program using the previously created database ", *Shipping&Navigation*, Issue 18, pp. 169 - 172, 2010.
- [10] M.Yu. Sokolov, "Methods of optimizing the loading of vessels", *Shipping&Navigation*, Issue 20, pp. 221 - 225, 2011.
- [11] A.O. Chepok, "Selection of general cargo types when modeling their stacking in the ship's cargo spaces", *Shipping&Navigation*, Issue 17, pp. 233-238, 2009.

- [12] A.O. Chepok, "Display of landing parameters, stability and overall longitudinal strength in the ship's cargo computer program", *Shipping&Navigation*, Issue 19, pp. 163-169, 2011.
- [13] A.O. Chepok, "Development of a procedure for displaying general cargo in the ship's holds", *Shipping&Navigation*, Issue 20, pp. 146-149, 2011.
- [14] Ye.A. Vlasenko, "Determination of the maximum value of the horizontal component of the inertial forces acting on the cargo when the ship rolls", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI (18), Issue: 158, - pp. 80- 84, 2018.
- [15] Ye.A. Vlasenko, "Dependence of the forces of inertia of the side duck on the moment of inertia of the vessel relative to the longitudinal axis", *Austria - science*, Issue: 23, pp. 54 – 60, 2019.
- [16] Ye.A. Vlasenko, "Permissible loading of a container ship", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VI (22), Issue: 186, pp. 87 - 94, 2018.
- [17] Ye.A. Vlasenko, E.V. Kalinichenko, M.N. Tsimbal, "Simulated modeling of loading a container ship", *Austria - science*, Issue: 26, pp. 43 - 49, 2019.
- [18] M.N. Tsimbal, "Formation of the loading tensor of a container ship in case of carrying out cargo operations in several ports", *Shipping&Navigation*, Issue 29, pp. 35-41, 2019.
- [19] M.N. Tsimbal, "Calculation of the voyage cargo plan of the container ship", *Shipping&Navigation*, Issue 30, pp. 14 – 20, 2020.
- [20] M.N. Tsimbal, "Container ship loading planning in case of carrying out cargo operations in several ports", *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*, VIII (27), Issue: 224, pp. 71 - 73. 2020.