Одеська національна морська академія

Васьков Юрій Юрійович   
  
 УДК 628.12.001

* **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ**
* **НАВАЛЮВАЛЬНИХ СУДЕН**

Спеціальність 05.22.16 – Судноводіння

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Одеса - 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеській національній морській академії Мiнiстерства освiти i науки України

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор Цимбал Микола

Миколайович, декан факультету морського

судноводіння Одеської національної морської академії

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор Сизов Віктор

Григорович**,** професор кафедри теорії устрою судна

Одеської національної морської академії

кандидат технічних наук Сафін Ігор Вікторович,

директор представництва компанії “Ві-Шипс” в

Україні, м. Одеса

**Провідна установа**: Національний університет кораблебудування ім. адм.

Макарова Мiнiстерства освiти i науки України (м.

Миколаїв).

Захист відбудеться “19” травня 2005 р. о 10.00 годині на засіданні

спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Одеській національній морській академії за адресою 65029 м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зал засідання вченої ради

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеської національної морської академії 65029 м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2.

Автореферат розісланий \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 2005 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради,

д. т. н., професор Голіков В.А.

**ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми**. Ефективна робота морських суден можлива лише при забезпеченні навігаційної і морехідної безпеки. Необхідний рівень морехідної безпеки значною мірою визначається коректним завантаженням судна. До вантажних операцій навалювальних суден пред'являються підвищені вимоги в частині забезпечення загальної подовжньої міцності, що обумовлює особливос-ті технології їх проведення. Вантажні операції навалювальних суден виконую-ться спільно з баластними у декілька етапів згідно з судновими стандартними технологічними схемами. При нестандартних завантаженнях, наприклад, одно-часно декількох сипких вантажів з різними питомими вантажними об'ємами або металу, виникає необхідність самостійного розрахунку технологічної схеми проведення вантажних операцій, що не передбачене судновою вантажною документацією.

Тому, виникаюча необхідність планувати для навалювальних суден процес проведення вантажних операцій, мінімізуючи кількість етапів і визначаючи характеристики для кожного з них, не допускаючи втрати морехідності судна в процесі всього періоду вантажних операцій, визначає актуальність і перспективність дисертаційної тематики.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисерта-ційної роботи пов'язана з держбюджетною науково-дослідницькою роботою "Удосконалення методів безпечного судноводіння в складних умовах плавання", N ДР 0103U006406, в якій автору належить самостійно виконаний розділ.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розробка методу оптимі-зації вантажних операцій навалювальних суден.

При дослідженні прийнята гіпотеза про те, що існує множина допустимих стратегій завантаження навалювального судна, задовольняючих заданим обмеженням, серед яких є оптимальна по вибраному критерію.

Головною задачею дослідження є розробка методу синтезу алгоритму (імітаційної моделі), що дозволяє зробити вибір оптимальної стратегії завантаження навалювальних суден. У дисертаційному дослідженні головна задача представлена трьома складовими задачами:

1. Формалізація процесу проведення вантажних операцій в термінах теорії до-

слідження операцій.

2. Створення процедури формування множини допустимих завантажень судна.

3. Розробка способу синтезу оптимальної стратегії завантаження навалюваль-

них суден.

Об'єктом дослідження є морехідна безпека суден, а предметом дослідження – забезпечення морехідної безпеки навалювальних суден на етапі їх завантажен-ня.

У дисертаційній роботі застосовані методи:

* теорії дослідження операцій при аналітичному описі процесу проведення вантажних робіт;
* теорії корабля;
* теорії математичного програмування для формування процедури мінімізації числа етапів проведення вантажних операцій;
* лінійного програмування для розробки способу оптимального розміщення заданої кількості вантажу у вибраних трюмах;
* моделювання для розробки імітаційної моделі завантаження навалювально-го судна.

**Наукова новизна одержаних результатів**. Проведені в діссертації наукові дослідження підтвердили гіпотезу про те, що існує множина допустимих стра-тегій завантаження навалювального судна, задовольняючих завданим обмежен-ням, серед яких є оптимальна по вибраному критерію стратегія.

Розроблено метод формування оптимальної стратегії завантаження навалю-вальних суден, який відрізняється тим, що залежно від питомого вантажного об'єму і кількості вантажу дозволяє сформувати оптимальний розподіл вантажу по трюмах з урахуванням вимог морехідної безпеки.

Наукова новизна дисертаційної роботи міститься в наступних результатах:

1. Вперше одержана процедура формування множини допустимих завантажень судна.

2. Вперше одержаний спосіб синтезу оптимальної стратегії завантаження судна.

3. Вдосконалений аналітичний опис процесу проведення вантажних операцій судна шляхом використовування методів теорії дослідження операцій.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практична значимість прове-деного дисертаційного дослідження визначається тим, що запропонований в ро-боті метод формування оптимальної стратегії завантаження судна може бути використаний не тільки для автоматичного планування вантажних операцій балкерів, але і для інших типів суден.

Практична цінність роботи полягає у тому, що одержані в роботі алгоритми, програми та імітаційна модель, які описують спосіб вибору оптимальної стра-тегії завантаження навалювальних суден по заданих значеннях питомого ван-тажного об'єму вантажу і його загальної кількості, можуть бути використані і упроваджені на судах, в першу чергу навалювальних, для забезпечення їх море-хідної безпеки; у берегових підрозділах планування завантаження суден і в уч-бовому процесі.

**Особистий внесок здобувача.** Всі теоретичні і експериментальні результати і розробки, одержані в дисертації, виконані здобувачем самостійно без спів-авторів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційних досліджень доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ОНМА в період 2002-2004 років, а робота в цілому пред-ставлена на науково - технічній раді ОНМА.

**Структура роботи.** Робота складається з вступу, п'яти розділів, чотирьох додатків, повний об'єм роботи 236 стор., містить 48 мал. і 40 табл., список літе-ратури 100 найменувань.

**ОСНОВНИЙ ЗМІСТ**

**Перший розділ** дисертації містить результати аналізу літературних джерел, присвячених проблемі забезпечення морехідної безпеки суден при їх проекту-ванні, споруджені та експлуатації. В розділі також обґрунтовано вибір основних напрямів дисертаційного дослідження.

Аналіз літературних джерел виявив основні тенденції в вирішенні проблеми забезпечення морехідної безпеки суден. Достатньо широко досліджені питання остійності суден, включаючи її оцінку для специфічних типів вантажів (катанки навалом), опис сучасних пакетів для обчислення параметрів остійності, втрати остійності в специфічних умовах плавання. Детально досліджене питання остій-ності накатаних суден в критичних ситуаціях, була вивчена також остійність двокорпусних танкерів і розроблені рекомендації по забезпеченню її в процесі вантажних і баластних операцій. Запропоновані конструктивні заходи для збіль-шення остійності за допомогою спеціальних поплавців, також розроблені мето-ди імовірного розрахунку остійності пошкодженого судна.

В літературі одержали висвітлення питання визначення посадки судна з ура-хуванням додаткових факторів, які не вказані у вантажній документації, запропоновані практичні міри по поліпшенню непотопляємості суден.

Значна частина публікацій присвячена проблемі забезпечення містної і зага-льної подовжньої і поперечної міцності корпусу судна. Приводяться методи розрахунку міцності корпусу аварійного судна, висвітлені вимоги по забезпеч-ченню міцності суден, що перевозять небезпечні вантажі, розглянуті методи розрахунку міцності судна з урахуванням накопичених пошкоджень і втомних дефектів. До досліджень цього напрямку відносяться і врахування експлуатацій-них чинників при оцінці показників міцності. Ряд робіт присвячено окремим ви-падкам застосування методу кінцевоелементного розрахунку міцності просторо-вих суднових конструкцій, включаючи дію сил інерції і гравітації. Розглянуте застосування методу статистичних випробувань для розрахунку появи пошкод-жень суднових конструкцій. Запропонований метод модуль-елементів для роз-рахунку міцності корпусу, який виключає недоліки оболонкової моделі. У робо-тах також приведені експериментальні дослідження міцності суден, вплив хви-льової вібрації і слемінгу на міцність корпусу судна, використовування магніт-них методів для вимірювання істинної величини пластичних деформацій. Час-тина робіт присвячена методам контролю міцності корпусу судна, в них описа-на оптико-волокіна система з датчиками механічних напруг корпусу для опти-мального завантаження і розміщення баласту, а також показані переваги вико-ристання інтегруючих датчиків в системах контролю механічних напруг корпу-су судна.

Питання забезпечення морехідної безпеки суден шляхом коректної організа-ції вантажних операцій не знайшли належного освітлення в існуючій літературі, незначне число публікацій присвячене організації завантаження навалювальних суден, питанням кріплення вантажу і перевезення цементу.

Проведений аналіз виявив недостатній рівень досліджень забезпечення море-хідної безпеки суден шляхом їх оптимального завантаження, що, з урахуванням великої складності планування вантажних операцій навалювальних суден для нестандартних випадків, визначило напрям досліджень по темі дисертації. Тому як основний напрям дисертаційного дослідження вибрані найактуальніші аспек-ти проблеми оптимального завантаження навалювальних суден, при якому для вантажу з довільним значенням питомого вантажного об'єму мінімізується чис-ло етапів проведення вантажних робіт і забезпечується морехідний стан судна.

**Другий розділ** дисертаційної роботи присвячений опису методологічного забезпечення наукового дослідження, в ній зроблено обґрунтування вибору напряму дисертаційного дослідження у області забезпечення морехідної безпеки судна шляхом оптимізації його вантажних операцій, визначена мета дослідження, сформульована головна задача роботи і розглянуті методи її рішення. Структура методологічного забезпечення дисертації представлена у вигляді технологічної карти дослідження. Вироблена декомпозиція головної задачі роботи на три незалежні складові, і в результаті їх рішення по кожній задачі одержано науковий результат. Три наукові результати спільно з результа-тами експерименту дозволили виробити оцінку практичної значущості і цінності дисертації. Сформульовано наукове положення, яке є узагальненням теоретич-них результатів дослідження. В останньому підрозділі викладено короткий опис методики проведення дисертаційного дослідження, з обґрунтуванням застосу-вання коректних методів для вирішення кожної із задач.

**У третьому розділі** одержано аналітичний опис процесу вантажних операцій навалювальних суден і в загальному вигляді вироблена постановка задачі по їх оптимальному завантаженню. Показано, що як обмеження приймаються лімі-туючі вимоги по посадці, остійності і міцності судна, а як критерій оптималь-ності вибирається або час проведення вантажних операцій, який належить міні-мізувати, або кількість вантажу, що приймається на судно, яка повинна забез-печити максимальне завантаження судна. При заданій кількості вантажу мінімі-зації підлягає число етапів завантаження судна, добиваючись прийому максима-льної його кількості на кожному етапі, що еквівалентно вибору критерієм опти-мальності часу проведення вантажних операцій.

Стратегія завантаження судна u (попередній вантажний план) характеризуєть-ся такими основними параметрами, що підлягають численному визначенню: число етапів завантаження судна ; сукупність трюмів і танків на кожному з етапів, які задіяні у вантажних і баластних операціях і кількість підлеглого обробці вантажу для кожного з трюмів, а також баласту для кожного з танків; швидкості зміни вантажу і баласту на кожному з етапів.

Рішення згаданих оптимізаційних задач передбачається знайти, базуючись на використанні методів дослідження операцій. Множина можливих станів судна S з погляду проведення вантажних операцій визначається простором, розмірність якого являється сумою + параметрів морехідності і виробничих пара-метрів. Причому граничні значення допустимої множини M визначаються гра-ничними значеннями параметрів  і , які регламентуються як вимогами класифікаційних організацій, так і реальними фізичними обмеженнями.

В свою чергу, стратегія u є операцією, що характеризується не тільки проце-сом зміни кількості вантажу  і баласту , але і значеннями моментів ,  і , визначаючих посадку і остійність судна. При цьому також відбува-ються зміни перерізуючих сил  і згинаючих моментів . Задаючись гра-ничними значеннями m\* параметрів m, що фігурують в обмеженнях оптиміза-ційної задачі і використовуючи зворотне перетворення , можна знайти гра-ничні значення u\* параметрів стратегії , що дозволить задати множину до-пустимих стратегій завантаження U.

З другого боку, сам критерій оптимальності K також залежить від параметрів стратегії завантаження , тобто K=(). Отримання оптимальної стратегії завантаження , при якій досягається екстремум критерію K, зводиться до ви-користання одного з методів математичного програмування, адекватно описую-чого початкову постановку задачі. При цьому повинні бути виявлені аналітичні залежності між параметрами множини станів судна і характеристиками стратегії завантаження судна.

Постановка задачі оптимального завантаження навалювальних суден в роботі виконана з використанням методів дослідження операцій.

Рівень ефективності вантажних операцій судна оцінюється з допомогою мож-ливості поставки на судно кожним з вантажних пристроїв тих або інших типів вантажу, що формалізується матрицею B, і доступності конкретних трюмів суд-на для вантажних пристроїв, що характеризується матрицею C. Сумісний облік матриць B і C дозволяє оцінити можливість завантаження i-го трюму судна j-м типом вантажу, при цьому можна врахувати, якими вантажними пристроями це виконується. Матриця D, що характеризує можливість завантаження трюмів су-дна різними типами вантажів, визначається при перемножуванні матриць B і C.

Для формування моделі визначені переліки вхідних некерованих  і керова-них змінних , вихідних змінних  і технологічних параметрів Z, докладний перелік яких приведений в роботі.

Сукупність вхідних керованих змінних  визначає структуру стратегії за-вантаження . Вихідні змінні  характеризують морехідний стан судна.

Для побудови моделі в роботі спочатку одержані відображення F вхідних ке-рованих  і некерованих  змінних, а також технологічних параметрів Z у вихідні змінні , для чого використовувалися аналітичні залежності з теорії ко-рабля. Потім, другим етапом, виявлені функціональні залежності показників ефективності  від вхідних, вихідних змінних і технологічних параметрів.

**Четвертий розділ** присвячений розгляду методу формування множини допу-стимих стратегій проведення вантажних операцій навалювальних суден і вибо-ру оптимальної. Розглядається два критерії оптимальності і їх зв'язок з парамет-рами стратегії проведення вантажних операцій. Як перший критерій вибраний час проведення вантажних операцій , причому:

max {max [], max []}.

Згідно цього критерію оптимальною є мінімаксна стратегія, що мінімізує суму максимальних інтервалів часу, кожен із який визначає тривалість відповідного етапу проведення вантажних операцій.

Другим критерієм оптимальності вибрана сумарна вага, прийнятого в резуль-таті завантаження кількості вантажу . Очевидною є залежність цього крите-рію оптимальності від параметрів стратегії проведення вантажних робіт. Оскіль-ки цей критерій оптимальності є адитивним, то його величина визначається су-мою ваги вантажів, прийнятих на кожному з етапів завантаження судна, тобто справедливе співвідношення:

= .

Розглянуто умову існування множини допустимих стратегій проведення ван-тажних операцій, яка враховує, щоб кількість вантажу, заявленого до заванта-ження, не перевершувала вантажопідйомності судна, а сумарний об'єм вантажу не перевершував вантажомісткість судна, тобто:

D = ++ ≤  і ) ≤ .

Істотною є можливість переміщення вантажу з берега на борт судна з ураху-ванням розстановки вантажних пристроїв. По загальному об'єму вантажу і міс-цевої міцності можна визначити мінімальну необхідну кількість трюмів для прийому вантажу. Якщо кількість стовпців матриці D, що містять тільки ну-льові елементи, більше мінімального необхідного числа трюмів, то кількість і розміщення вантажних пристроїв не забезпечує завантаження судна запланова-ним вантажем. Це можна відобразити умовою відповідності:

D ⇒ .

Якщо попередні умови дотримуються, то надалі умова існування множини допустимих стратегій проведення вантажних робіт вимагає пошуку меж цієї множини, а потім аналіз меж дасть змогу зробити висновок про його існування. Для цього необхідно знайти аналітичні залежності, що дозволяють визначити граничні значення параметрів множини допустимих стратегій проведення ван-тажних операцій, перш за все, з урахуванням обмежень по морехідному стану судна (посадці, остійності і міцності).

Аналіз аналітичних залежностей параметрів морехідного стану судна від па-раметрів стратегії проведення вантажних операцій показав, що доцільно спо-чатку знаходити граничні значення моментів ,  і , задовольняючих обмеженням по морехідному стану судна, а потім знаходити граничні значення параметрів множини допустимих стратегій проведення вантажних операцій. По-тім межі множини допустимих стратегій проведення вантажних операцій коре-гуються з урахуванням виробничих обмежень.

У роботі одержані вирази для граничних значень моментів  і , задово-льняючих обмеженням по морехідному стану судна. Граничні значення момен-ту  позначені через  нижня межа і через  верхня, і для них одержані вирази:

 = ;

 = min(,),

де  - нижня межа по обмеженню диференту;

 - верхня межа по обмеженню диференту;

 - верхня межа по забезпеченню загальної подовжньої міцності судна.

У роботі позначені верхня  і нижня  межі моменту  і одержані нас-тупні співвідношення:

= ;

 = min(, , , , ), D∈[,],

де  і  - нижня і верхня межі моменту , при яких досягаються

гранично-допустимі значення початкової метацентричної висоти h;

 - межа моменту , що враховує обмеження на величину переки-

даючого моменту ;

 - межа моменту , відповідна граничному значенню кута крену

, при якому досягається максимальне плече ;

 - межа моменту , яка враховує обмеження на величину максима-

льного плеча ;

 - граничне значення моменту , відповідне обмеження на вели-

чину кута заходу діаграми статичної остійності.

У роботі приведені аналітичні вирази для перерахованих граничних значень моментів  і .

Наступним етапом дослідження є встановлення зв'язку параметрів стратегії проведення вантажних операцій з граничними значеннями моментів  і , що дозволить виявити граничні значення параметрів множини допустимих стратегій проведення вантажних операцій. Оскільки стратегія проведення ван-тажних операцій як визначальний параметр має кінцеве число етапів, то, перш за все, необхідно, щоб в кінці кожного k-го етапу проведення вантажних робіт судно знаходилося в допустимому морехідному стані, тобто моменти ,  і  для кінцевого стану кожного з етапів завантаження знаходилися в допустимих межах:

∈ [,]; = 0; ∈ [,].

У роботі показано, що моменти ,  і  зв'язані з параметрами мно-жини допустимих стратегій проведення вантажних операцій і виражаються нас-тупними співвідношеннями:

= + + ;

==+ ; (k = 1,……)

==+ + ,

де k – порядковий номер етапу;

- приріст вантажу в i-м трюмі набору  на j-м етапі;

- приріст баласту в i-м танку набору  на j-м етапі;

, , , ,  - моменти порожнього судна і його запасів;

, ,, - координати центру тяжкості вантажу в i-м трюмі набору

 на j-м етапі;

, ,, - координати центру тяжкості баласту в i-м танку набору

 на j-м етапі.

Виходячи з приведених аналітичних виразів, в роботі одержана система рів-нянь для визначення граничних значень  приймаємого до трюму вантажу за умови, що до кінця кожного етапу наперед відома кількість наявного баласту і проведення вантажних операцій проводиться без крену судна:

= ,

= ,

 ≤  - ,

де  і  - приведені граничні (верхні або нижні) статичні моменти, зна-

чення яких відомі;

 - коефіцієнт, що дорівнює 1 при завантаженні і -1 – при вивантаженні;

 і  - допустима кількість вантажу на початок етапу.

У роботі одержані явні вирази для визначення граничних значень приросту вантажу у разі одночасної обробки одного, двох і трьох трюмів. На рис. по-казана область допустимих значень змінних ,  і  у разі обробки трьох трюмів. У загальному випадку, якщо області допустимих значень змінних  не є порожніми, то виникає задача оптимального завантаження з урахуванням вибраного критерію оптимальності.

Для розробки методу формування оптимальної стратегії проведення вантаж-них операцій передбачається, що на етапі приймається один тип вантажу, на поточному k-му етапі обробляється набір трюмів  загальною кількістю n і на-бір баластних танків . Початкова кількість вантажу в кожному з оброблю-ваних трюмів , а питомий вантажний об'єм - . Тому задача записується в наступному вигляді:

(1) → max ,

(2) ≤ ,







О



 



 + +=  - 



Рис. Допустима область при обробці трьох трюмів

(3) ≥ ,

(4)  ≤ ,

(5)  ≥ ,

(6)  ≤  - ,

(7) (+)≤, ( i = 1- n )

(8) (+) ≤ . ( i = 1- n )

У даному записі: (1) - вираз для критерію оптимальності, (2) - (5) обмеження по допустимому морехідному стану судна, (6) – обмеження по допустимій кіль-кості вантажу, що приймається, (7) – вимога по вантажомісткості трюму і (8) – умова допустимості навантажень по вимогах місцевої міцності. Причому - об'єм i-го трюму, а - максимальна допустима по міркуваннях місцевої міц-ності кількість вантажу, який можна прийняти в i-й трюм.

Аналіз структури задачі показує, що дана задача є задачею лінійного програ-мування, оскільки цільова функція (критерій оптимальності) і обмеження задачі лінійні. На закінчення розділу показана можливість рішення даної задачі симп-лекс-методом і стисло описана схема рішення.

**П'ятий розділ** містить результати імітаційного моделювання завантаження навалювального судна. Спочатку в розділі розглянута процедура формування множини наборів трюмів мінімальної кількості, здатних вміщати пред'явлений до прийому вантаж. Така ситуація має місце у разі прийому вантажу з невелики-ми значеннями питомого вантажного об'єму, крім набору трюмів максимальної довжини  можуть існувати набори меншої довжини, які вміщають весь лімі-тований вантаж.

У роботі показано, що найбільш переважними є мінімальні базові набори, що містять мінімальну кількість трюмів, здатних вміщати запропоновану до переве-зення кількість вантажу. У свою чергу, мінімальні базові набори трюмів, що мають однакову їх кількість, характеризуються сумарним невикористаним об'є-мом трюмів, що входять в набір. За інших рівних умов найбільш переважним приймається мінімальний базовий набір трюмів, який має мінімальний сумар-ний невикористаний об'єм, оскільки це гарантує мінімальний ризик зсуву ванта-жу при перевезенні.

Після вибору мінімального набору трюмів слід розробити перевірку допусти-мості його завантаження з урахуванням вимог забезпечення морехідной безпеки судна. З цією метою в роботі запропонований спосіб проведення такої перевір-ки, який передбачає перевірку величини моменту , визначаючого макси-мальну початкову остійність судна, і моментів  і , які лімітують ве-личину і знак диференту судна.

У роботі розроблена поетапна процедура оптимального завантаження судна у разі допустимості вибраного набору трюмів, причому формування мінімального числа етапів завантаження досягається шляхом прийому максимальної кілько-сті вантажу на кожному етапі. Вказана процедура використовує симплекс-ме-тод, причому задача в стандартній формі має такий вигляд:

z - =0,

+ =-,

-=-,

+=-,

 - = -,

+ = min{, }.

 + = ,

 + = ,

……………….

 + = ,

……………….

+ =,

де  min{, }, причому 0≤≤1;

 - водотоннажність судна на початок j-го етапу;

- вага баласту, що зливається протягом j-го етапу;

 - кількість вантажу в i-м трюмі, одержана для кінцевого допустимого

стану;

 і  - максимально допустимий диферент і питомий диферентуючий

момент на 1 см.

-, - - залишкові і надмірні змінні.

У початковій симплекс-таблиці як базові змінні вибирались залишкові і над-мірні змінні -, -.

У завершальній частині розділу приведені результати імітаційного моделю-вання завантажень балкера «Скай Джемені», що має вісім вантажних трюмів. Для цього була використана його вантажна документація, включаючи гідроста-тичні таблиці, інформацію по остійності, міцності і стандартним завантажен-ням, і розроблена комп'ютерна програма на базі теоретичних результатів робо-ти. Ця програма і явилася реалізацією імітаційної моделі.

Програма дозволяє по заданих значеннях осідання судна і питомого вантаж-ного об'єму вантажу визначити загальну кількість вантажу, що приймається, і за допомогою симплекс-методу знайти варіанти його розміщення в допустимих мінімальних наборах трюмів, і якщо їх декілька, визначити невикористаний об'єм завантажених трюмів. Запропоновані варіанти розміщення вантажу задовольняють існуючим вимогам по посадці судна, його остійності і загальної подовжньої міцності.

Імітаційна модель дозволяє для запропонованого варіанту завантаження суд-на визначити середнє осідання, диферент, початкову метацентричну висоту, по-будувати діаграму статичної остійності, знайти максимальне плече поновлю-ючого моменту і кут крену, на якому він досягається, а також кут заходу. Про-грама також контролює величини згинаючих моментів і перерізуючих сил. Така функція програми дозволяє гарантувати коректність варіантів розподілу ванта-жу, що розраховуються нею, по трюмах.

Моделювання проводилося в два етапи. Спочатку моделювалися стандартні завантаження з питомим вантажним об'ємом вантажу рівним 0,36, 0,41, 0,45, 0,75, 1,00, 1,10, 1,26, 1,28, 1,30, 1,33, 1,40, 1,55 і 1,80, інформація про які міс-титься у вантажній документації.

Імітаційне моделювання показало високу збіжність параметрів стандартних завантажень з параметрами відповідних моделюючих завантажень, які розрахо-вані пропонованим в роботі методом. При цьому співпадають мінімальні набори трюмів, як для стандартного, так і модельного варіантів для кожного із значень питомого вантажного об'єму. Кількість вантажу, що приймається, практично однакова для стандартного і модельного варіантів.

Перевагою пропонованого в роботі методу виявилося те, що при моделюванні завантажень судна з питомим вантажним об'ємом від 0,45 до 1,10 включно, кожному стандартному варіанту завантаження судна імітаційна модель формувала декілька модельних варіантів (від двох до чотирьох). Причому для питомого вантажного об'єму 1,10 програмою були сформовані два варіанти завантаження не у вісім, як у разі стандартного завантаження, а в сім трюмів, чим досягається значне скорочення вільного об'єму в завантажених трюмах і, отже, забезпечується вищий рівень морехідної безпеки.

На другому етапі імітаційна модель генерувала завантаження судна вантажем, питомий вантажний об'єм якого відмінний від стандартних завантажень, а кількість є довільною. Були змодельовані завантаження судна повним вантажем для значень питомого вантажного об'єму рівних 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,2, 1,3, 1,5, 1,6, і 1,7. Для всіх розглянутих значень питомого вантажного об'єму існують допустимі варіанти завантаження в мінімальні набори трюмів. Причому для завантаження з питомим вантажним об'ємом 0,80 існує шість допустимих варіантів, а для значення питомого вантажного об'єму 0,90 – три варіанти.

В цілому імітаційне моделювання показало коректність і ефективність розробленого в роботі методу завантаження навалювальних суден.

**ВИСНОВОК**

У дисертації одержане теоретичне узагальнення і нове рішення задачі підви-щення морехідної безпеки суден в процесі експлуатації. Це рішення полягає в розробці методу проведення вантажних операцій навалювальних суден, який залежно від кількості вантажу і його питомого вантажного об'єму дозволяє оп-тимально розмістити вантаж, виконуючи вимоги по посадці, остійності і міц-ності судна.

В результаті проведеного дисертаційного дослідження одержані такі основні наукові результати:

1. Вперше одержана процедура формування множини допустимих завантажень судна, забезпечуючих збереження параметрів морехідного стану судна в зада-них межах.

2. Вперше одержаний спосіб синтезу оптимальної стратегії завантаження суд-на, мінімізуючий ризик зсуву вантажу при його перевезенні і забезпечуючий прийом максимальної кількості вантажу на кожному етапі завантаження.

3. Вдосконалений аналітичний опис процесу проведення вантажних операцій судна шляхом використовування методів теорії дослідження операцій, що доз-воляє застосувати оптимізаційні методи теорії для розробки способів оптимального завантаження навалювальних суден.

Практична значущість виконаної роботи визначається тим, що одержаний ме-тод формування оптимальної стратегії завантаження судна може бути викорис-таний не тільки для балкерів, але і для інших типів суден. Її практична цінність полягає у тому, що одержані в роботі алгоритми, програми і імітаційна модель можуть бути використані і упроваджені на суднах, в першу чергу навалюваль-них, для забезпечення їх морехідної безпеки; у берегових підрозділах планування завантаження суден; в учбовому процесі підготовки судноводіїв і при підвищенні їх кваліфікації.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в статтях:

1. Васьков Ю.Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций

навалочных судов // Судовождение. – № 6. – 2003. – С. 40 – 45.

2. Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов // Судовождение. – 2004. - № 7. – С. 3 - 9.

3. Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. Расчет границ множества допустимых страте-гий проведения грузовых операций навалочных судов // Судовождение. – 2004. - № 8. – С. 22 - 31.

4. Цымбал Н..Н., Васьков Ю.Ю. Выбор оптимального варианта проведения грузовых операций навалочных судов. // Автоматизация судовых технических средств. – 2004. – № 9. – С. 103 – 107.

У другій публікації автору належить процедура розрахунку граничних значень статичних моментів, що задовольняють вимогам забезпечення морехідної безпеки.

У третій статті автору належать аналітичні вирази, що описують допустимі області параметрів стратегії завантаження судна при одночасному завантаженню одного, двох і трьох трюмів.

У четвертій публікації автору належить опис оптимізаційної задачі завантаження судна в термінах лінійного програмування.

**АННОТАЦИЯ**

Васьков Ю.Ю. Оптимизация процесса грузовых операций навалочных судов. – Рукопись. Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук. Специальность 05.22.16 – Судовождение. Одесская национальная морская академия, Одесса, 2005 г.

Диссертационная работа посвящена актуальной проблеме обеспечения море-ходной безопасности судов на этапе эксплуатации путем оптимизации их гру-зовых операций.

К грузовым операциям навалочных судов предъявляются повышенные требо-вания в части обеспечения общей продольной прочности, что обуславливает особенности технологии их проведения. Грузовые операции навалочных судов производятся совместно с балластными в несколько этапов согласно имеющи-мися на судна стандартными технологическими схемами. При нестандартных загрузках, например, одновременно нескольких сыпучих грузов с различными удельными погрузочными объемами или металла, возникает необходимость са-мостоятельного расчета технологической схемы проведения грузовых операций, что не предусмотрено судовой грузовой документацией.

Поэтому, возникающая необходимость планировать для навалочных судов процесс проведения грузовых операций, минимизируя количество этапов и определяя характеристики для каждого из них, не допуская потери мореходнос-ти судна в процессе всего периода грузовых операций, определяет актуальность и перспективность диссертационной тематики.

В работе определено главное направление возможного решения задачи орга-низации оптимальных грузовых операций навалочных судов в общем виде, за-ключающееся в использовании методов математического программирования. Для формализации задачи было произведено аналитическое описание процесса проведения грузовых работ судна методами теории исследования операций, при этом была определена размерность задачи, произведены выбор показателей эф-фективности (критериев оптимальности) и разработка модели, представленная перечнями входных управляемых и неуправляемых переменных, выходных пе-ременных и технологических параметров, с формализацией связей между ука-занными переменными.

Произведена формализация понятия стратегии загрузки навалочного судна (предварительного грузового плана), и найдены аналитические выражения зави-симости величины критериев оптимальности от параметров стратегии загрузки. В работе получена процедура формирования множества допустимых загрузок судна, каждая из которых удовлетворяет требованиям обеспечения допустимых значений параметров посадки, остойчивости и прочности судна.

Для выбора наилучшей стратегии загрузки из множества допустимых в дис-сертации разработан способ синтеза оптимальной стратегии загрузки судна, ко-торый позволяет сформировать стратегию загрузки, используя минимально воз-можное число грузовых трюмов, минимизируя количество этапов загрузки пу-тем приема максимального количества груза на каждом этапе. С этой целью в работе был получен способ выбора минимального перечня трюмов для приема заданного к погрузке количества груза, обеспечивающего минимальный риск смещения груза при перевозке.

Корректность основных теоретических результатов была проверена с помощью имитационного моделирования, для чего был сформирован алгоритм имитационной модели, на базе которого разработана компьютерная программа. Выполнено имитационное моделирование загрузок т/х «Скай Джемени» и получена хорошая сходимость параметров стандартных и соответствующих моделируемых загрузок судна.

Ключевые слова: мореходная безопасность, навалочное судно, оптимальная загрузка, посадка, остойчивость, прочность, симплекс-метод.

**АНОТАЦІЯ**

Васьков Ю.Ю. Оптимізація процесу вантажних операцій навалювальних су-ден. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Спеціальність 05.22.16 – Судноводіння. Одеська національна морська академія, Одеса, 2005 р.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі забезпечення морехід-

ної безпеки суден на етапі експлуатації шляхом оптімізації їх вантажних опера-цій. З урахуванням специфіки вантажних операцій навалювальних суден в робо-ті розглянуте питання оптимізації їх процесу завантаження. Для формалізації задачі 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. У роботі одержана процедура формування множини допустимих завантажень судна, кожне з яких задовольняє вимогам морехідної безпеки. Розроблено спосіб синтезу оптимальної стратегії завантаження судна, який дозволяє сфор-мувати завантаження, використовуючи мінімальне можливе число вантажних трюмів, мінімізуючи кількість етапів завантаження шляхом прийому максима-льної кількості вантажу на кожному етапі. Коректність основних теоретичних результатів була перевірена за допомогою імітаційного моделювання, і одержа-на добра збіжність параметрів стандартних завантажень т/х «Скай Джемені» і відповідних модельованих завантажень судна.

Ключові слова: морехідна безпека, навалювальне судно, оптимальне заванта-ження, посадка, остійність, міцність, симплекс-метод.

**THE SUMMARY**

Vaskov Y.Y. Optimization of cargo operations of bakers. It is Manuscript. Ph.D. Dissertation. Specialization – 05.22.16 - Navigation. Odessa National Maritime Academy, Odessa, 2005.

Dissertation work is devoted to the issue of the day of providing nautical safety of

vessels on the stage of exploitation by optimization their cargo operations. Taking into account the specific of cargo operations of bakers the question of optimization of their process of loading is considered in work. For formalization of task analytical description of process of conducting of loading works of ship by the methods of theory of operations analysis was created. Formalization of concept of strategy of load of loading ship is produced, and analytical expressions of dependence of size of criteria of optimum from the parameters of strategy of load are found. Procedure of forming of great number of possible loads of ship is got in work, each of which suits nautical safety. The method of synthesis of optimum strategy of load of ship, which allows to form the load, is developed, using minimum the possible number of cargo holds, minimizing the amount of stages of load by the reception of maximal amount of cargo on every stage. Correctness of basic theoretical results was tested by the imitation design, and good сoincidence of parameters of the standard loads m/v «Skay Dzhemeny» and proper designed loads of ship is got.

Keywords: nautical safety, loading ship, optimum load, landing, stability, durability, symplex-method.