

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені адмірала МАКАРОВА

БОНДАРЕНКО ОЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ

УДК 629.5.01:629.553.01:519.863

**ОПТИМІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАФТОНАЛИВНОГО
СУДНА НА ОСНОВІ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Спеціальність 05.08.03 - механіка та конструювання суден

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук



Миколаїв -2001

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

кандидат технічних наук,

Кротов Олександр Іванович

Український державний морський
технічний університет,
доцент кафедри теорії і проектування суден

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук Соломенцев Олег Іванович, Український державний морський технічний університет Міністерства освіти і науки України, головний науковий співробітник
- кандидат технічних наук, доцент Ларкін Юрій Маркевич, Одеський державний морський університет Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри теорії і проектування корабля

Провідна установа: Одеська державна морська академія Міністерства освіти і науки України, м. Одеса

Захист відбудеться 21 січня 2002 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 Українського державного морського технічного університету за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, проспект Героїв Сталінграда, 9.

Автореферат розісланий "20" 12 2001 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради / КВАСНИЦЬКИЙ В.Ф.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми визначається:

- потребою України у забезпеченні її енергетичної незалежності. Створення власного танкерного флоту дасть змогу проводити закупівлю нафти у різних держав і тим самим позбавить від можливості енергетичної блокади зі сторони будь-кого з постачальників. Наявність танкерного флоту є також позитивним фактором і з точки зору можливості транзиту каспійської нафти через територію України;

- суттєвим впливом випадкового характеру основних економічних нормативів на показники ефективності танкера і, як наслідок, необхідністю переходу до стохастичної постановки задачі проектування. На даний час в проектуванні суден домінує детермінований підхід, у відповідності з яким усі вхідні характеристики та початкові дані вважаються незмінними. Проте більшість з них, особливо пов'язаних з умовами експлуатації, є або стохастичними, або невизначеними. Неврахування випадкового характеру таких величин призводить до того, що на початкових етапах проектування, коли приймаються принципові рішення по необхідності побудови судна, спотворюються уявлення про його істинну економічну ефективність. Проблему врахування стохастичного характеру економічних даних можна розв'язати декількома методами: на основі зведення до детермінованого еквіваленту задачі, теорії ігор, імітаційного моделювання. Але ефективність **цих** методів в літературі оцінюється неоднозначно, а складність окремих з них не дозволяє в повній мірі реалізувати їх в проектуванні суден;

- необхідністю перегляду традиційних критеріїв ефективності суден, які використовувалися при розв'язанні зовнішньої та внутрішньої задач проектування, у зв'язку з переходом до ринкових умов економіки та приватної форми власності;

- відсутністю програмних комплексів, які б на початкових етапах проектування давали б змогу, при обмеженій кількості даних, визначати основні характеристики судна, виходячи з найбільшої його ефективності. Сучасні САПР (РОПАМ, ТШВОМ) зорієнтовані на більш пізні стадії проектування і, тому не містять, як правило, підсистем розробки проекту на початкових етапах проектування;

- недостатнім вивченням питань використання імітаційного моделювання в практиці дослідницького проектування морських нафтоналивних суден. До цього часу не проведено дослідження стійкості закону розподілу критерію ефективності до типу закону розподілу початкових економічних даних, впливу типу критерію оптимізації на оптимальний розв'язок.

Таким чином, врахування випадкового характеру та неповноти даних при оптимізації характеристик нафтоналивного судна є важливою науковою задачею, вирішенню якої присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Дисертація включає результати досліджень, виконаних відповідно до державної програми "Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології" напрямок 04 в рамках науково-дослідних робіт №ДР-0197и008071 "Створення систем автоматизованого

проектування суден нового покоління" №1049 (рівень участі дисертанта - відповідальний виконавець) та ІОДР-010011006064 "Розробка теоретичних основ проектування суден нового покоління" №20.04.10 (рівень участі дисертанта - відповідальний виконавець).

Мета і задачі Досліджень. У зв'язку з недостатньою теоретичною розробкою питань використання імітаційного моделювання в проектуванні суден *метою* даної роботи було створення імітаційної моделі нафтоналивного судна і проведення на її основі досліджень по вивченню впливу недостовірності даних і типу їх закону розподілу на цільову функцію, а також узагальнення досвіду розробки і впровадження імітаційних моделей в практику проектування суден.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було розв'язати такі *задачі*:

- узагальнити методику використання імітаційного моделювання в проектуванні суден;

- розробити імітаційну модель танкера, яка б враховувала особливості проектування і сучасні вимоги міжнародних конвенцій щодо характеристик танкерів та адекватно описувала б процес його експлуатації;

- запропонувати такий метод оптимізації, який би з найменшими витратами часу і ресурсів ЕОМ давав би змогу знайти оптимальні характеристики судна;

- створити комплекс прикладних програм з імітаційного моделювання для проведення досліджень та подальшого використання в конструкторських бюро на початкових етапах проектування.

Об'єктом дослідження є морське транспортне судно для перевезення сирої нафти та нафтопродуктів.

Предмет дослідження - оптимізація характеристик танкера методом імітаційного моделювання.

Методи досліджень. Теоретичною і методологічною основою дослідження послужили роботи вітчизняних та зарубіжних вчених в галузі проектування суден та математичного програмування. Випадковий характер умов експлуатації танкера, невизначеність інформації в економічних нормативах, які використовуються при розробці нових проектів, в дисертації враховано переходом до стохастичної постановки задачі проектування суден. Для її розв'язання вибрано один із найбільш перспективних на даний час інструментів дослідження складних систем з випадковими характеристиками - імітаційне моделювання. Рівняння регресії цільової функції отримано методами планування експериментів, а пошук оптимальних характеристик судна проведено з використанням одного з алгоритмів нелінійного програмування - алгоритму Пауелла.

Наукові результати та їх новизна. В даній роботі:

- вперше застосовано апарат імітаційного моделювання для розв'язання стохастичної задачі оптимізації головних елементів танкера на ранніх стадіях проектування, що дало змогу врахувати такі особливості експлуатації сучасних танкерів, як випадковий та невизначений характер основних економічних нормативів. Для цього створено концепцію, яка узагальнює досвід використання апарату імітаційного моделювання в практиці проектування суден і розвиває його в питаннях вибору критеріїв та методів оптимізації;

- доопрацьовано відомий двохетапний метод пошуку оптимальних характеристик танкера з використанням імітаційної моделі в частині алгоритму пошуку та врахування обмежень і поширено його на новий клас систем - морські нафтоналивні судна. Координати екстремуму запропоновано знаходити методом Пауелла, а основні обмеження задачі враховувати за допомогою методу штрафних функцій;

- запропоновано критерій оцінки ефективності танкера - мінімально необхідну фрахтову ставку, який, на відміну від раніш рекомендованого нормативного критерію - питомих зведених витрат, враховує кон'юнктуру ринку, витрати судновласника на обслуговування банківського кредиту, сплату податку на прибуток;

- вперше встановлено, що тип закону розподілу випадкових величин основних економічних нормативів не впливає на оптимальні характеристики нафтоналивного судна. Даний факт є дуже важливим, оскільки дає змогу досліднику за відсутності статистичних даних приймати тип закону розподілу на основі обмеженої інформації.

Наукова новизна отриманих результатів підтверджується практично повною відсутністю наукових праць, присвячених використанню імітаційного моделювання в проектуванні нафтоналивних суден.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані автором результати мають як теоретичне так і прикладне. Теоретичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в узагальненні методики застосування в проектуванні суден імітаційного моделювання, яка може бути використана в практиці дослідницького проектування не тільки танкерів, але й інших типів морських транспортних суден. Прикладне значення результатів полягає у створенні програмних засобів для автоматизованого визначення основних характеристик нафтоналивного судна на початкових етапах проектування. Застосування даних засобів відкриває нові можливості досліджень та дозволяє суттєво покращити ефективність проектних робіт за рахунок зниження трудомісткості і тривалості розрахунків.

Розроблений комплекс програм "DsnExp" та методика проектування впроваджені та використані в науково-дослідних роботах №ДР-0197U008071 "Створення систем автоматизованого проектування суден нового покоління" №1049 і №ДР-0100и006064 "Розробка теоретичних основ проектування суден нового покоління" №20.04.10 виконаних в УДМТУ, в ДАХК "Чорноморський суднобудівний завод", у ВАТ "Чорноморсуднопроект" (як частина системи автоматизованого проектування суден "Пошук-1"), в навчальному процесі УДМТУ при виконанні курсових та дипломних проектів. Крім того, результати проведених досліджень та програмний комплекс можуть бути використані науково-дослідними інститутами, проектними організаціями, судноплавними компаніями при визначенні основних характеристик танкерів на початкових етапах проектування.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем спільно з канд.техн.наук, доцентом Кротовим О.І. було розроблено пакет прикладних програм по плануванню експериментів. Безпосередньо автором:

- створено базу даних по сучасних танкерах 1991-2000 років побудови на основі якої: отримано формули для наближеного визначення головних розмірів нафтоналивних суден, проаналізовано характеристики та особливості їх архітектурно-конструктивних типів;

- запропоновано формули для обчислення складових водотоннажності порожнем;
- розроблено імітаційну модель танкера, алгоритми та програми для оптимізації основних характеристик нафтоналивних суден;
- проведено дослідження чутливості результатів оптимізації до основних економічних нормативів, типу цільової функції, виконано порівняння результатів отриманих детермінованим методом та імітаційним моделюванням, встановлено характеристики найбільш ефективного танкера для експлуатації на лінії Одеса -Супса.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та результати дисертації, доповідались та отримали позитивну оцінку на науково-технічному семінарі кафедри "Теорії та проектування суден" УДМТУ (2001 р.), на 6-й міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини" (Україна, Харків, 6-10 грудня 1999 р.), на міжнародній науково-технічній конференції "Безпека мореплавства і її забезпечення при проектуванні і побудові суден" (Україна, Миколаїв, 25-26 вересня 2001 р.) та на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу УДМТУ в 1994-2000 рр.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 8 робіт, з них 7 у збірниках наукових праць (3 без співавторів) і 1 в збірнику доповідей міжнародної конференції.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань із 118 найменувань та п'яти додатків. Зміст дисертації викладено на 164 сторінках машинописного тексту та 58 сторінках додатків, включаючи 33 рисунки та 45 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

у вступі розкрито стан наукового завдання, обґрунтовано актуальність теми, теоретичне і практичне значення дисертації, сформульовано мету та основні задачі досліджень, показано наукову новизну роботи.

У першому розділі наведено результати аналізу стану світового танкерного флоту, особливостей архітектурно-конструктивного типу (АКТ) сучасних танкерів та основних засобів підвищення їх екологічної безпеки. Для цього здобувачем було створено базу даних по танкерах побудови 1991-2000 рр. на основі якої:

- розглянуто тенденції сучасного танкеробудування при виборі головних розмірів суден та їх співвідношень. Відзначено, що для сучасних танкерів характерним є зменшення водотоннажності порожнем, швидкості руху, відношення L/B та збільшення відношень B/T і H/T . Основним АКТ танкера (дедвейтом більше 5000 т) є однопалубне судно з баком (або без нього) і ютом (без юта), з транцевою кормою, з подвійним дном по всій довжині судна і подвійними бортами в районі вантажних танків, з кормовим розташуванням машинного відділення і ярусної надбудови. Надбудова, як правило, має прямокутну форму і розподілена на дві частини: надбудову для проживання і шахту машинного відділення з димовою трубою;
- отримано такі формули для наближеного визначення основних характеристик танкерів:

$$L_{\perp\perp} = 60,34 DW^{0,2941} \pm 16,2886; L_{\text{нб}} = 1,024 L_{\perp\perp} + 5,347 \pm 11,207;$$

$$B = 8,9281 DW^{0,33} \pm 4,630; T = 3,898 DW^{0,294} \pm 1,669; H = 5,192 DW^{0,310} \pm 3,345;$$

$$Q = 3,845 \ln(DW) - 7,58 \pm 6,512; W_{\text{ван}}/LBH = 0,0002 LBH + 0,4971 \pm 0,06436;$$

$$W_{\text{бал}}/LBH = 0,00001 LBH + 0,1648 \pm 0,06259,$$

де DW – дедвейт судна, тис.т; B – ширина судна, м; T – осадка, м; H – висота борту, м; $L_{\text{нб}}$ – довжина найбільша, м; $L_{\perp\perp}$ – довжина між перпендикулярами, м; Q – продуктивність вантажних насосів, тис.м³/год; $W_{\text{ван}}$ – місткість вантажних танків, тис. м³; $W_{\text{бал}}$ – місткість баластних танків, тис.м³; LBH – кубічний модуль, тис. м³.

Проведено огляд стану українського морського транспортного комплексу (порти, суднобудівні заводи, флот). Відзначено, що на даний час Україна не володіє ні одним великим танкером, в той час як потреби держави у імпорتنій нафті та нафтопродуктах оцінюються спеціалістами в 44,8 млн. т на рік. Враховуючи перспективи транспортування каспійської нафти в Україну зроблено висновок, що створення власного танкерного флоту для держави є нагальною задачею.

За результатами матеріалів розділу обґрунтовано АКТ танкера та отримано наближені залежності для визначення основних характеристик суден, які використано в математичній моделі та при формуванні початкової точки пошуку.

Другий розділ присвячений загальній постановці задачі, аналізу та вибору методу її вирішення.

Відзначено, що задача створення танкерного флоту є дуже складною і, як правило, вирішується на двох рівнях. Тому в практиці проектування суден прийнято розглядати дві задачі; зовнішню та внутрішню (за термінологією А.В. Бронникова). Зовнішня задача вирішується на рівні транспортного комплексу держави в цілому в результаті чого встановлюється дедвейт (вантажопідйомність), швидкість та кількість суден, проекти яких потрібно розробити.

Метою розв'язання внутрішньої задачі є визначення оптимальних характеристик судна у відповідності з визначеними на попередньому етапі дедвейтом та швидкістю руху суден. Іноді розглядають сумісно ці дві задачі, коли разом з оптимізацією головних розмірів судна та параметрів форми корпусу проводиться вибір оптимального дедвейту та швидкості руху судна.

Вказано, що як в першому, так і в другому випадку основною метою є створення високоефективного судна, здатного конкурувати на світовому фрахтовому ринку. Оскільки на основі аналізу, проведеного в роботі, встановлено, що швидкість сучасних танкерів є доволі стабільною величиною (рис.1) і практично не залежить від дедвейту, то було зроблено висновок про недоцільність її оптимізації. Тому швидкість руху (14,5 вуз) приймалася як найбільш характерна (рис.2). Дедвейт судна встановлено на основі потенційних можливостей українських нафтових комплексів та навігаційних обмежень (розділ 5).

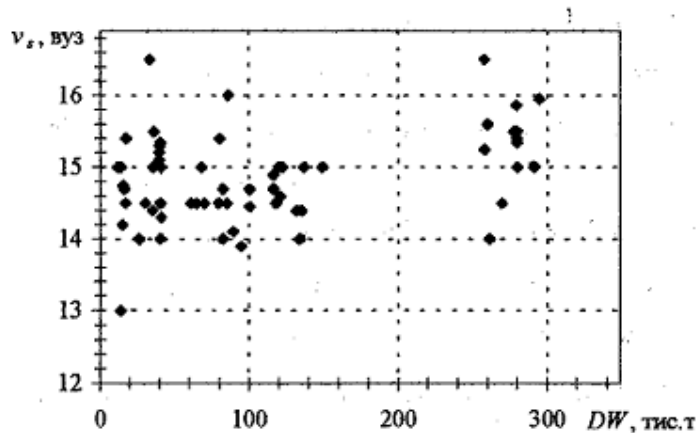


Рис.1. Залежність швидкості танкерів від дедвейту

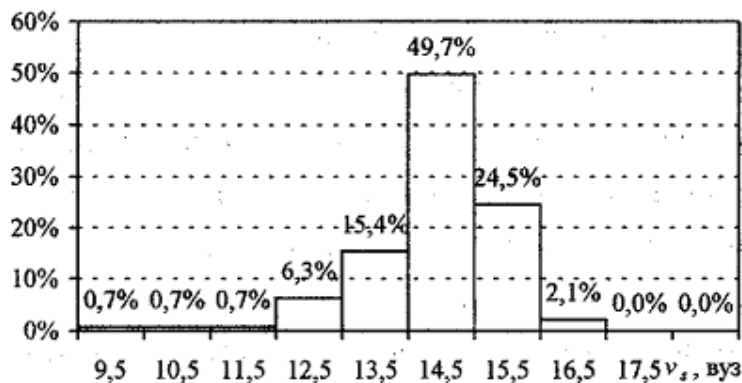


Рис.2. Розподіл танкерів 1991-2000 років побудови за швидкістю

На підставі вищевказаних міркувань зовнішня задача не розглядалася, а основну увагу в дисертації було звернено на внутрішню задачу, яка в математичній постановці зводилася до визначення такого вектору незалежних змінних $\{x\}$, при якому досягається екстремум цільової функції $f(x, U)$ та задовольняються вимоги до якостей судна:

$$\left. \begin{aligned} f(x, U) &\rightarrow \min \\ g_j(x, U) &\geq a_j, \quad j = 1, 2, \dots, k \\ x_i^{\min} &\leq x_i \leq x_i^{\max}, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \right\}$$

де U – вектор параметрів (заданих показників) судна; k – кількість обмежень задачі; a_j – норми та рівні допустимих значень якостей судна у відповідності з нормативними документами та експлуатаційними вимогами; n – кількість незалежних змінних задачі; $x_i^{\min}, x_i^{\max}$ – відповідно нижня та верхня допустима межа зміни i -ої незалежної змінної; $g_j(x, U)$ – функція j -го обмеження.

Відзначено, що критерій ефективності судна є функцією багатьох випадкових величин, причому для кожної з них можливий свій закон розподілу, і тому, до недавнього часу розв'язання подібної задачі вважалося неможливим і було причиною переходу до спрощених, детермінованих постановок.

Вказано, що зараз немає ні одного універсального методу її вирішення. Тому в роботі було проаналізовано відомі на даний час підходи до розв'язання стохастичної задачі: зведення за допомогою спеціального математичного апарату стохастичної задачі до детермінованого еквіваленту; застосування теорії ігор; застосування імітаційного моделювання. Відзначено основні переваги та недоліки кожного з них. Вказано на необхідність та доцільність розв'язання стохастичної задачі за допомогою імітаційного моделювання. Проведено стислий огляд наукових праць, присвячених застосуванню імітаційного моделювання в теорії проектування суден на основі якого зроблено висновок про те, що даній тематиці присвячена незначна кількість робіт і в жодній з них (серед відомих автору) ще не описано імітаційну модель нафтоналивного судна. Крім того, залишилося недослідженим питання впливу типу законів розподілу початкових даних на оптимум та впливу типу критерію оптимізації на оптимальні характеристики судна.

На основі матеріалів розділу було поставлено першочергові задачі дослідження.

Третій розділ присвячено побудові імітаційної моделі нафтоналивного судна. В даному розділі спочатку розглянуто теоретичні аспекти побудови імітаційної моделі та основні труднощі, що виникають при цьому. Потім наведено детальну постановку задачі оптимізації, тобто описано незалежні змінні, задані параметри проектування, критерій оптимізації, основні обмеження. За незалежні змінні задачі (вектор x) прийнято відношення довжини судна до ширини L/B , ширини до осадки B/T , висоти борту до осадки H/T , коефіцієнти загальної повноти C_b і утилізації водотоннажності за дедвейтом η_{DW} . Заданими характеристиками (вектор U) були:

клас судна, дальність і автономність плавання, кількість членів екіпажу $N_{\text{ек}}$, швидкість руху v_s , дедвейт судна DW питома маса вантажу $\gamma_{\text{ван}}$

Допустима область пошуку формується системою обмежень, яка включає 21 нерівність виду $g_j(x, U) \leq 0$. Сюди віднесено:

- двосторонні обмеження на значення незалежних змінних, які в математичній моделі замінені на односторонні: $x_i - x_i^{\min} \geq 0$; $x_i^{\max} - x_i \geq 0$;

- вимоги, обумовлені безпекою плавання і навігаційними характеристиками (виникають у зв'язку з необхідністю проходу судна каналами та заходу у мілководні порти): до максимальної ширини, осадки, довжини, вантажомісткості, мінімально допустимого значення надводного борту, нижньої межі метacentричної висоти, плавності качки, заданого дедвейту судна і параметрів діаграми статичної остійності.

Відзначено, що особливістю даної задачі є те, що кожному наборові незалежних змінних відповідає не одне, а цілий розподіл значень показника економічної ефективності судна z . У таких випадках як критерій оптимізації найчастіше приймають мінімум математичного сподівання витрат z , або максимум математичного сподівання прибутків z . Але при використанні стохастичного програмування варіанти суден, що порівнюються, можуть мати різні закони розподілу ймовірностей показника економічної ефективності. До того ж, можливі випадки, коли, наприклад, за величиною математичного сподівання один із варіантів суден вигідніший за інший, але при цьому є великий ризик отримати недопустимо низьку ефективність. Тому порівняння варіантів суден з різними розподілами показника економічної ефективності z потрібно проводити за допомогою спеціальних критеріїв: комбінації математичного сподівання $E(z)$ і середньоквадратичного відхилення $\sigma(z)$ показника економічної ефективності судна

z : $f(x, U) = E(z) \pm P^{-1} \cdot \sigma(z)$; ймовірності перевищення показником економічної

ефективності деякого заданого нормативу β : $f(x, U) = P(z > \beta) = \int_{\beta}^{+\infty} z(x) dx$; заданого

рівня забезпеченості α : $f(x, U) = p(\alpha)$, де $p(\alpha)$ таке, що $\int_{-\infty}^{p(\alpha)} z(x) dx = \alpha$.

Далі розглянуто питання вибору показника економічної ефективності судна z . Відзначено, що до недавнього часу єдиним рекомендованим показником були питомі зведеш витрати на побудову та експлуатацію судна. З формуванням в Україні ринкових відносин його використання при виборі оптимального варіанту є проблематичним і перш за все тому, що він не враховує такі витрати судновласника як сплата податку на прибуток та процентів за кредит. Зрозуміло, що основною метою діяльності судновласника в умовах ринку є отримання якомога більших прибутків. Але величина прибутків в першу чергу визначається величиною фрахтової ставки, значення якої передбачити, а тим більше спрогнозувати на перспективу практично неможливо. Тому проектувати судно на максимум прибутку в умовах невизначеності фрахтової ставки недоцільно.

Аналіз закордонних робіт, присвячених оптимізації основних характеристик суден, показав, що якогось єдиного показника економічної ефективності немає, а найчастіше в практиці закордонних досліджень використовуються такі: середньорічні експлуатаційні витрати AAC, необхідна фрахтова ставка RFR, фактор відшкодування капіталу CRF, зведена сума чистого доходу NPV т.п.

В даній роботі для оцінки економічної ефективності танкера здобувачем запропоновано використовувати необхідну фрахтову ставку, яка потрібна для відшкодування експлуатаційних витрат, оплати кредиту та податку на прибуток:

$$RFR = \frac{Y + [CR]S}{Q},$$

$$\text{де } [CR] = \frac{[CR]_1 - t/N}{1 - t} - \text{фактор відшкодування капіталу; } [CR]_1 = \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1}; Y -$$

експлуатаційні витрати, млн. у.о.; S – вартість судна, млн. у.о./рік; Q – провозоспроможність судна за рік, тис. т; t – ставка податку на прибуток, %; N – термін служби судна, років; r – еквівалентна процентна ставка.

Вибір даного показника пояснюється тим, що, по-перше, при обчисленні значення RFR не використовується фрахтова ставка, а, по-друге, знаючи необхідну фрахтову ставку, судовласник може легко обчислити свої прибутки від експлуатації судна, орієнтуючись на діючі фрахтові ставки, як різницю між діючою та мінімальною необхідною фрахтовою ставкою помноженою на кількість перевезеного вантажу та коефіцієнт, який враховує зменшення прибутку внаслідок сплати податку на прибуток.

Далі наведено опис імітаційної моделі судна. Для зручності та у відповідності з характером процесів, що відбуваються, її розподілено на два блоки: математичну модель і модель функціонування судна на лінії (рис.3).

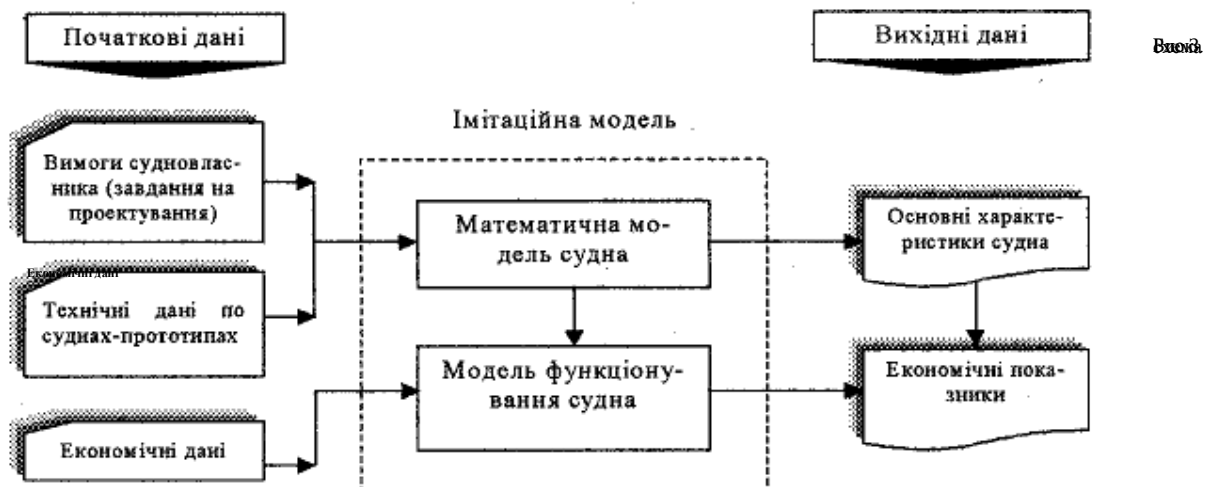


Рис.3. Блок-схема імітаційної моделі нафтоналивного судна

Основою першого блоку є математична модель судна, в якій у відповідності з початковими даними (незалежні змінні, задані параметри проектування та основні обмеження) вирішується система рівнянь проектування (плавучості, мас, місткості, ходовості, остійності, хитаючи), обчислюються головні розміри проекту та параметри форми корпусу. За своєю структурою розроблена математична модель судна нічим не відрізняється від звичайних моделей, що використовуються у детермінованих оптимізаційних задачах, але окремі її блоки мають деякі особливості. Так, наприклад, розрахунок вантажомісткості танкера проводиться з урахування наявності подвійного дна та подвійних бортів, що характерно для сучасного АКТ танкерів. Потужність головного двигуна визначається за методикою Титова І.А. Мінімальний надводний борт обчислюється за Правилами про вантажну марку суден, табличне значення базисного борту яких було апроксимовано автором. Розрахунок остійності та періоду качки судна виконується за наближеними залежностями.

Відзначено, що на сьогодні в практиці проектування танкерів практично відсутні залежності для визначення маси складових водотоннажності сучасних танкерів з подвійним дном та подвійними бортами. Оскільки дедвейт танкера в розробленій математичній моделі був величиною заданою, то розрахунок водотоннажності судна зводився до визначення маси тих розділів, які входять у водотоннажність порожнем. Тому, на основі аналізу вагомості кожного з цих розділів (за даними вітчизняних проектів танкерів), розрахунок маси судна порожнем було запропоновано проводити за такими складовими: повздовжні конструкції, поперечні перебірки, надбудова та рубки, платформи, кінцеві частини судна, місцеві конструкції, обладнання корпусу, системи, пристрої, енергетична та електроенергетична установки, озброєння, постійні рідкі вантажі, запас водотоннажності. Для кожної складової за допомогою кореляційного аналізу встановлено модуль перерахунку і запропоновано формулу для розрахунку її маси (для танкерів дедвейтом 20 - 120 тис. т).

Оснoву другого блоку складає модель функціонування судна на лінії в якій імітується на ЕОМ робота танкера, що перевозить вантажі по кільцевій лінії без завантаження у зворотному напрямку (рис.4). Імітація роботи на такій лінії полягає в послідовному переведенні його з одного стану в інше. При цьому стан судна характеризується: поточним модельним часом t , номером транспортної операції $N_{оп}$ (1 - навантаження; 2 - рух судна з вантажем, 3 - розвантаження; 4 - баластний перехід). Процес імітації розпочинається з введення таких початкових даних, необхідних для моделювання: тривалості імітації T (наприклад, календарний рік), кількості повторних прогонів моделі N , часу початку імітації $t_{поч}$, економічних нормативів і початкового номеру транспортної операції. Потім виконується послідовне моделювання основних операцій судна протягом вказаного періоду імітації. Процес повторюється N раз після чого проводиться розрахунок техніко-економічних показників ефективності судна, один з яких використовуються в критерії оптимізації.

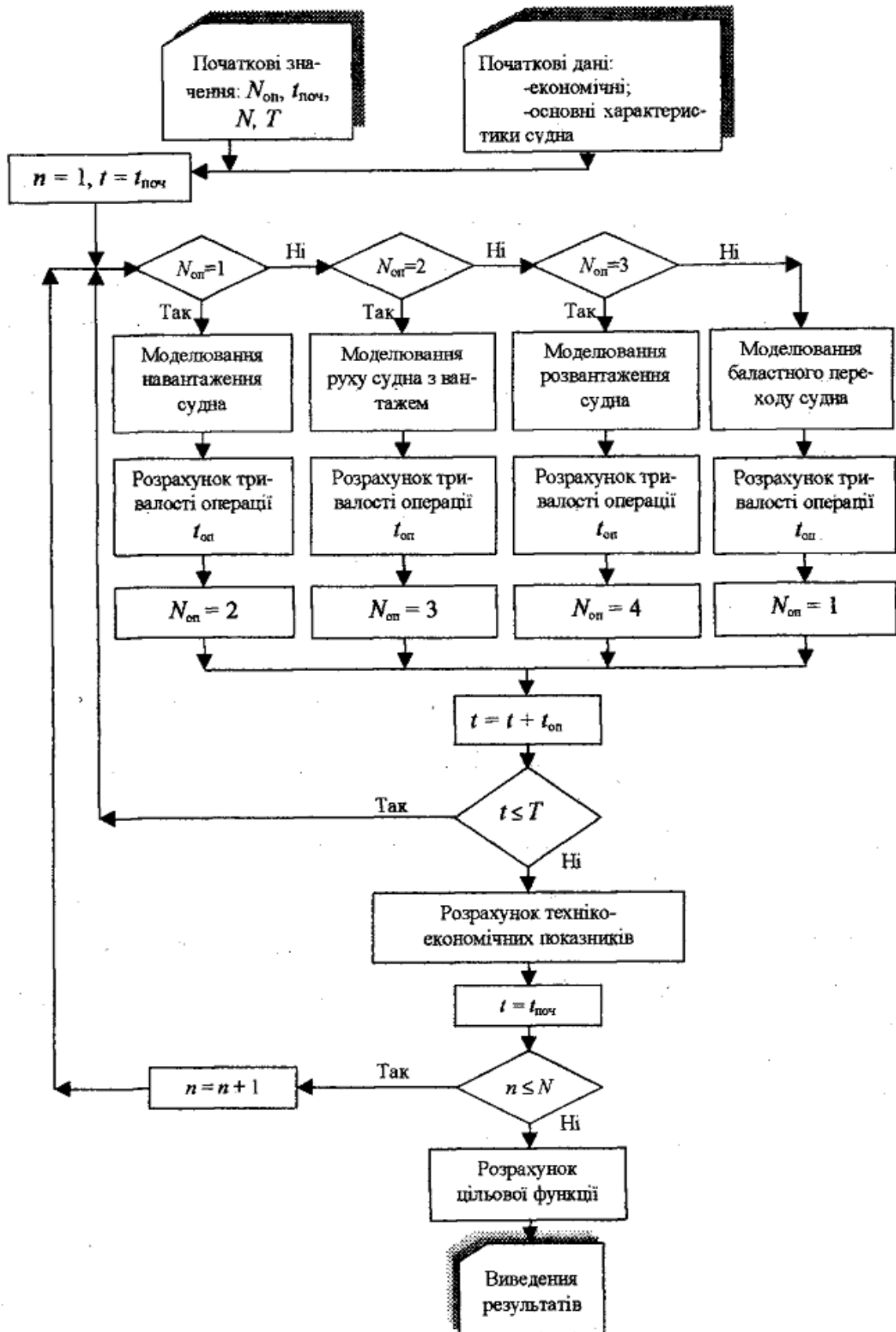


Рис.4. Блок-схема моделі функціонування судна на лінії

У четвертому розділі обґрунтовано вибір методу оптимізації основних характеристик нафтоналивного судна. Відзначено, що на даний час оптимізація з використанням імітаційних моделей може проводитися двома принципово відмінними способами: прямим та двохетапним. Внаслідок виконаного аналізу їх основних переваг та недоліків в дисертаційній роботі було запропоновано оптимізацію проводити за допомогою двохетапного методу, суть якого така. Для початкового визначення місцезнаходження оптимуму використовується апроксимація поверхні значень цільової функції поліномом першого порядку

$$f(x, U) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1, j=i+1}^n b_{ij} x_{ij} \text{ з коефіцієнтами } b_0, b_i, b_{ij}, \text{ обчисленими за}$$

результатами повного факторного експерименту.

Далі за допомогою методу штрафних функцій та оптимізаційного алгоритму Пауелла виконується серія досліджень, внаслідок якої визначається область, близька до оптимуму. В даній області ставиться експеримент по плану ротатбельного центрального композиційного уніморфного планування. Після отримання адекватного опису поверхні цільової функції у виді полінома другого

$$\text{порядку } y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1, j=i+1}^n b_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n b_i x_i^2 \text{ остаточне значення оптимуму}$$

уточнюється за допомогою канонічного аналізу, або алгоритму Пауелла.

У п'ятому розділі наведено результати перевірки адекватності та чутливості розробленої імітаційної моделі, оцінки максимальної похибки обчислень та приклади проведених на основі імітаційної моделі експериментів. Перший приклад - це визначення дедвейту танкера, який би забезпечив найбільшу ефективність судна на лінії Супса (Грузія) - Одеса. За критерій оптимізації було прийнято мінімум математичного сподівання необхідної фрахтової ставки, а серед основних експлуатаційних обмежень - обмеження максимальної осадки (12,5 м) та максимальної довжини судна (250 м). За результатами аналізу було визначено, що найбільш економічним для даної лінії є танкер дедвейтом 80 тис.т. Для перевезення нафти річним об'ємом 20 млн. т (50 % річної потреби України) необхідно 6 суден загальною вартістю в 204,852 млн. у.о.

Інший приклад - це дослідження впливу типу закону розподілу економічних нормативів на цільову функцію $P(z \geq 4,30) \rightarrow \min$. Дослідження проводилося для тих економічних нормативів, які найбільше за інших впливають на необхідну фрахтову ставку. Для цього автором було спочатку проведено серію експериментів, в результаті яких виявлені такі фактори: вартість пального, норматив витрат на заробітну плату, норматив навігаційних витрат, ставка податку на прибуток та ін. Варіюючи цими характеристиками, встановлено (див. таблицю), що тип закону розподілу істотно не впливає на цільову функцію (для даної імітаційної моделі). А це значно полегшує застосування методу імітаційного моделювання, оскільки для ймовірнісних даних, закон розподілу котрих неможливо отримати, вид його можна визначати виходячи з таких

міркувань: якщо відомий тільки інтервал зміни випадкової величини, то необхідно прийняти рівномірний розподіл, якщо до того ж вдається оцінити найбільш ймовірне значення величини - нормальний розподіл (при симетричному розташуванні найбільш ймовірного значення щодо середини інтервалу) або асиметричний β -розподіл (в протилежному випадку).

Залежність RFR від типу закону розподілу випадкової величини довжини лінії (максимальна ширина судна не обмежувалася)

Тип і параметри закону розподілу	Оптимальні значення незалежних змінних					Значення критерію
	L/B	B/T	H/T	C_b	η_{DW}	
Рівномірний (480–600)	6,0275	3,08901	1,4344	0,8599	0,8125	0,16625
Нормальний (540, 20)	6,0190	3,0786	1,4364	0,8599	0,8122	0,16927
Логнормальний (540, 20)	6,0133	3,0813	1,4363	0,8595	0,8121	0,16406
γ -розподіл (9,0, 6,667)	6,0257	3,0765	1,4348	0,8599	0,8123	0,16323
β -розподіл (2,12, 2,96)	6,0271	3,0762	1,4349	0,8599	0,8123	0,16350

Крім вищевказаних прикладів в дисертаційній роботі наведено результати експериментів, які демонструють можливості створеного комплексу програм, проведено порівняння результатів, отриманих за імітаційною та детермінованими (на рівні середніх) моделями.

У **додатках** наведено алгоритм розрахунку потужності головного двигуна, основні залежності імітаційної моделі нафтоналивного судна, аналіз алгоритмів пошуку оптимуму, формули обробки результатів повного факторного та ротатбельного центрального уніморфного планування, початкові економічні дані | та проміжні результати розрахунків, акти про впровадження результатів дисертації.

ВИСНОВКИ

1. У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі - врахування випадкового характеру та неповноти початкових даних при оптимізації характеристик нафтоналивного судна, що виявилось в переході до стохастичної постановки даної задачі та застосуванні для її розв'язання апарата імітаційного моделювання, методів планування експериментів та нелінійного програмування.

2. **Стан розглянутої в дисертації задачі** характеризується; нагальною потребою України у забезпеченні її енергетичної незалежності, відсутністю у держави власного танкерного флоту і обмеженими можливостями капіталовкладень, суттєвим впливом випадкового характеру основних економічних нормативів на показники ефективності танкера та використанням детермінованих

математичних моделей, які не можуть адекватно відобразити всю складність і різноманітність процесу експлуатації судна.

3. Основні наукові та практичні результати роботи:

- вперше застосовано апарат імітаційного моделювання для вибору оптимальних основних характеристик танкера на ранніх стадіях проектування, що дало змогу врахувати такі особливості експлуатації сучасних танкерів, як випадковий та невизначений характер основних економічних нормативів. Для цього розроблено концепцію, яка узагальнює досвід використання апарата імітаційного моделювання в практиці проектування суден і розвиває його в питаннях вибору критеріїв та методів оптимізації;

- доопрацьовано відомий двохетапний метод пошуку оптимальних характеристик танкера з використанням імітаційної моделі в частині алгоритму пошуку та врахування обмежень і поширено його застосування на новий клас систем - морські нафтоналивні судна. Координати екстремуму запропоновано знаходити методом Пауелла, а основні обмеження задачі враховувати за допомогою методу штрафних функцій;

- розглянуто питання оцінки економічної ефективності танкера в умовах ринкової економіки та приватної форми власності і за критерій цієї оцінки запропоновано прийняти мінімально необхідну фрахтову ставку, який, на відміну від раніш рекомендованого нормативного критерію - питомих зведених витрат, враховує кон'юнктуру фрахтового ринку, витрати судовласника на обслуговування банківського кредиту, сплату податку на прибуток, підприємницький ризик;

- в результаті проведених експериментів вперше встановлено, що тип закону розподілу випадкових величин основних економічних нормативів не впливає на оптимальні характеристики судна. Даний факт є дуже важливим, оскільки дає змогу досліднику за відсутності статистичних даних приймати тип закону розподілу (рівномірний, нормальний або β -розподіл) на основі обмеженої інформації (інтервалів зміни та найбільш ймовірного значення випадкової величини);

- створено базу даних по сучасних танкерах 1991-2000 років побудови на основі якої: проведено статистичну обробку та отримано залежності для наближеного визначення головних розмірів судна; проаналізовано характеристики та особливості АКТ танкерів на підставі чого вказані основні тенденції їх проектування;

- використовуючи дані по навантаженню мас та апарат кореляційного аналізу, проведено аналіз впливу основних модулів перерахунку на складові водотоннажності порожнем та запропоновано формули для розрахунку маси цих складових;

- розроблено імітаційну модель танкера, алгоритми та програми планування експериментів, оптимізації, які в сукупності утворюють програмний комплекс "DsnExp" призначений для вибору основних характеристик нафтоналивних суден на початкових етапах проектування.

4. Достовірність теоретичних та прикладних результатів і висновків дисертаційної роботи забезпечується коректною постановкою задачі, використанням для її розв'язання математичного апарату імітаційного моделювання, порівнянням та достатньо хорошим збігом результатів, отриманих автором за запропонованою методикою, з аналогічними даними технічних проектів суден, розроблених у ВАТ "Чорноморсуднопроект".

5. Рекомендації щодо використання результатів роботи. Найбільш ефективною галуззю застосування отриманих прикладних результатів, розробленої імітаційної моделі та програмного комплексу можуть бути прогностичні і попередні розрахунки, що проводяться в проектних організаціях та конструкторських бюро суднобудівних заводів при виборі головних елементів судна і для виконання яких особливо необхідне врахування фактора випадковості та невизначеності майбутніх умов експлуатації суден.

6. Рекомендації щодо подальшого розвитку задачі. Подальший розвиток розглянутої в дисертації задачі, на думку дисертанта, доцільно проводити в двох напрямках. Перший напрямок та мета подальшої роботи здобувача - це оптимізація характеристик морського транспортного судна не як окремої споруди, а як єдиної функціональної системи - нафтотермінал (порт) - судно, що дасть можливість врахувати та оптимізувати не тільки характеристики судна, але й вузькі місця в функціонуванні нафтотерміналу (кількість та характеристики причалів, темп розвантаження, об'єми резервуарів). Другий напрямок - використання сучасних досягнень науки та комп'ютерних технологій в області штучного інтелекту, а саме, експертних систем. ,

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кротов А.И., Бондаренко А.В. Применение метода статистического моделирования при исследовательском проектировании судов // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 1998. - №6 (354). - С.25-29.

2. Кротов А.И., Бондаренко А.В. Планирование имитационных экспериментов при проектировании наливных судов // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 1999. - №1 (361). - С. 11-17,

3. Бондаренко А.В. Имитационная модель нефтеналивного судна // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 1999. - №3 (363). - С.20-28.

4. Бондаренко О.В. Наближене визначення основних характеристик сучасних танкерів // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 1999, - №5 (365). - С.31-34.

5. Бондаренко О.В. Застосування методу імітаційного моделювання в проектуванні суден // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 2001. - №2 (374). - С.28-37.

6. Бондаренко О.В., Кротов О.І. Розрахунок водотоннажності порожнем при оптимізації основних характеристик нафтоналивного судна // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, - 2001. - №3 (375). - С.28-38.

7. Бондаренко А.В., Голиков В.И., Кротов А.М. Оценка достоверности результатов оптимизации характеристик танкера с использованием имитационной модели // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ. - 2001. - №5 (377). - С.96-106.

8. Кротов О.І., Бондаренко О.В. Оптимізація основних характеристик нафтоналивного судна методом імітаційного моделювання // Сучасні інформаційні та енергозберігаючі технології життєзабезпечення людини: 36. наук, праць Київського державного Університету технології та дизайну. - К.: Фада, ЛТД. -1999. - №6. - С.500-504.

Особистий внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві. В

[1] здобувачем розроблено програми генерації випадкових величин з різними законами розподілу, програми підбору теоретичних законів розподілу та отримано основні результати. В [6] здобувачем було отримано формули для розрахунку водотоннажності порожнем сучасних танкерів. В роботах [2, 8] отримано і обґрунтовано основні результати та створено імітаційну модель нафтоналивного судна. В [7] дисертантом проведено аналіз якості генераторів випадкових чисел, досліджено залежність точності розрахунків від об'єму вибірки.

АНОТАЦІЯ

Бондаренко О.В Оптимізація характеристик нафтоналивного судна на основі імітаційного моделювання. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.03 - механіка та конструювання суден. - Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2001.

Дисертацію присвячено питанню застосування імітаційного моделювання в практиці дослідницького проектування нафтоналивних суден. У дисертації розроблено імітаційну модель танкера, методику пошуку його оптимальних характеристик з використанням

рівняння регресії та планування експериментів. Запропоновано формули для визначення складових водотоннажності порожнем сучасних танкерів. Отримано регресійні залежності для визначення основних характеристик танкера. Встановлено, що тип закону розподілу випадкових економічних нормативів суттєво не впливає на оптимальні характеристики судна та цільову функцію.

Ключові слова: *Імітаційна модель, методика пошуку, основні характеристики, цільова функція, нафтоналивне судно, планування експериментів, рівняння регресії.*

АННОТАЦІЯ

Бондаренко А.В. Оптимизация характеристик нефтеналивного судна на основе имитационного моделирования. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.03 - механика и конструирование судов - Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2001.

Целью диссертационной работы является создание имитационной модели нефтеналивного судна и проведение исследований влияния неопределенности данных и типа их закона распределения на целевую функцию, а также обобщение опыта разработки и внедрения имитационных моделей в практику проектирования.

Рассмотрено состояние мирового танкерного флота и перспективы его развития. Проанализированы особенности архитектурно-конструктивного типа современных нефтеналивных судов, основные тенденции танкеростроения при выборе главных размерений судов и их соотношений. Создана база данных по танкерам постройки 1991 - 2000 годов, на основе которой получены приближенные зависимости для определения их основных характеристик. Рассмотрено состояние украинского морского транспортного комплекса и показана целесообразность создания собственного танкерного флота.

Установлено, что особенности функционирования судов в современных условиях, к числу наиболее существенных которых можно отнести нестабильность грузопотоков, цен на топливо, случайный характер продолжительности транспортных операций приводят к необходимости перехода к задачам проектирования в стохастической постановке и применения новых методов в проектировании судов. Проведен обзор известных на данное время подходов к решению подобной задачи: сведения с помощью специального математического аппарата стохастической задачи к детерминированному эквиваленту, применения теории игр, применение имитационного моделирования. Отмечены основные преимущества и недостатки каждого из них. Указано на необходимость и целесообразность решения стохастической задачи с помощью имитационного моделирования.

Рассмотрены теоретические аспекты построения имитационной модели трудности, возникающие во время данного процесса. Приведено описание имитационной модели нефтеналивного судна. Рассмотрены основные типы критериев оптимизации, применяемые в имитационных моделях. Оценку экономической эффективности нефтеналивного судна предложено производить с помощью необходимой фрахтовой

ставки. Проведен анализ прямого и двухэтапного методов оптимизации с использованием имитационной модели и сделан вывод о предпочтительности последнего. Усовершенствовано методику оптимизации с использованием уравнения регрессии и планирования экспериментов.

Изучено влияние типа закона распределения исходных вероятностных данных на результаты оптимизации, в результате чего установлено, что тип закона распределения этих данных не влияет на оптимальные характеристики судна. Проведено сравнение результатов оптимизации, полученных методом средних и имитационным моделированием, которое показало их существенное отличие. Выполнен анализ влияния экономических нормативов на результаты оптимизации. Установлен оптимальный дедвейт танкера для линии Одесса - Супса. Выполнена оптимизация основных характеристик танкера прямым и двухэтапным методами.

Ключевые слова: Имитационная модель, метод оптимизации, основные характеристики, целевая функция, нефтеналивное судно, планирование экспериментов, уравнение регрессии.

THE SUMMARY

Bondarenko O.V. Optimization of crude oil tanker characteristics on the basis of simulation modeling. - Manuscript.

The Dissertation for the scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on specialty 05.08.03 - mechanics and ships design - Ukrainian State Maritime Technical University named after admiral Makarov, Mykolaiv, 2001.

The dissertation is devoted to the problem of applying simulation modeling in the practice of research design of crude oil tankers. The tanker simulation model was designed, the technique of searching of his optimum characteristics applying the equation of regression and design of experiments was worked out. The formulas for defining light displacement component of modern tankers were suggested. Regression dependence for defining the main characteristics of a tanker was received. It is established that a type of the distribution law of casual economic specifications does not essentially influence optimum characteristics of a ship and the goal function

Key words: *Simulation model, technique of searching, main characteristics, goal function, crude oil tanker, design of experiments, equation of regression.*