

**Бойко А. П.,**канд. техн. наук, доцент кафедри  
комп'ютерної інженерії,  
ЧНУ ім. Петра Могили,  
angboyko@mail.ru**Бондаренко А. В.,**канд. техн. наук, доцент  
кафедри теорії та проектування суден,  
Національний університет кораблебудування  
ім. Адмірала Макарова,  
м. Миколаїв, Україна,  
Oleksandr.Bondarenko@nuos.edu.ua

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК СУДЕН З МАЛОЮ ПЛОЩЕЮ ВАТЕРЛІНІЇ

*У статті наведено схему пошуку оптимальних характеристик за допомогою генетичного алгоритму. Доведено ефективність генетичного алгоритму перед традиційними методами оптимізації шляхом тестування на стандартних функціях.*

*Практичне значення виконаної роботи полягає у розробці програмного забезпечення для визначення оптимальних характеристик суден з малою площею ватерлінії.*

**Ключові слова:** оптимізація; математична модель; цільова функція; глобальний оптимум; генетичний алгоритм; екстремум; тестова функція; нелінійне програмування.

Відродження і розвиток швидкісного пасажирського флоту – один із способів задоволення зростаючих потреб у внутрішніх і міждержавних пасажирських перевезеннях в Чорноморському регіоні, поповнення державного бюджету України. Використання для вирішення цих завдань суден з малою площею ватерлінії (СМПВ) представляється дуже доцільним, оскільки це дозволить забезпечити стабільність виконання розкладу, високу комфортність при менших енерговитратах.

Але нині досвід проектування і будівництва СМПВ в Україні практично відсутній. Тому питання вибору оптимальних характеристик СМПВ на ранніх стадіях розробки проекту є актуальним.

Математична модель проектування СМПВ є екстремальною задачею наступного виду:

$$\begin{cases} F(x) \rightarrow \max, \\ G_i(x) \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ H_j(x) = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k, \\ x \in R_n \end{cases}$$

де  $F(x)$  – цільова функція;  $G_i(x)$  – обмеження типу нерівностей;  $H_j(x)$  – обмеження типу рівностей;  $R_n$  –  $n$ -розмірна векторна множина;  $m$  – кількість обмежень типу нерівностей;  $k$  – кількість обмежень типу рівностей;  $x$  – вектор незалежних змінних (характеристик судна, що підлягають оптимізації).

В якості цільової функції для пошуку оптимальних характеристик СМПВ запропоновано використати критерій у наступному вигляді:

$$F(x, C) = M[\Pi_E] \cdot P \rightarrow \max,$$

$$F(x, C) = M[\Pi_E] \cdot (1 - P) \rightarrow \min,$$

де  $M[\Pi_E]$  – операція математичного очікування показника економічної ефективності;  $P$  – вірогідність виконання завдання;  $\Pi_E$  – показник економічної ефективності судна.

Задача визначення оптимальних характеристик судна з малою площею ватерлінії носить нелінійний стохастичний характер і має ряд особливостей, пов'язаних з особливостями проектуванням суден даного типу [1, 2]. Вона має властивості, що істотно затрудняють її рішення: велика кількість незалежних змінних, алгоритмічно задана цільова функція, яка виявляється складною нелінійною функцією багатьох випадкових величин, наявність обмежень у вигляді рівностей і нерівностей.

А як відомо, якщо розмірність простору пошуку велика, то це, з одного боку, призводить до різкого зростання кількості обчислень цільової функції, а з іншої – до великих витрат часу, необхідного для одноразового обчислення ЦФ. В результаті пряме рішення оптимізаційної задачі класичними методами теорії оптимізації пов'язане з великими труднощами,

вимагає величезних витрат машинного часу і не дає гарантовано оптимального рішення або взагалі не застосовні.

Для вирішення подібних багаторозмірних (багато-параметричних) задач можна, по-перше, застосувати методи зменшення розмірності задач, або, по-друге, вирішувати багаторозмірну задачу з використанням спеціальних алгоритмів, які працюють з великою кількістю змінних.

Перший підхід використовує відомий в математичному моделюванні прийом – декомпозицію складної структури, що дозволяє розбити початкову задачу на ряд задач меншої складності, що вимагають простіших алгоритмів. При цьому для пошуку глобального оптимуму будується ітераційна схема послідовного рішення окремих задач, кожна з яких вирішується за допомогою різних пошукових методів нелінійного програмування, можливих рішень (наприклад, покоординатного спуску), що ґрунтуються на переборі, або методів, що використовують аналіз рельєфу функції (різні варіанти градієнтних методів [3]). Для того, щоб знайти глобальний оптимум необхідно міняти стартову точку, хоча і це не гарантує його знаходження.

Останніми роками, з появою потужних обчислювальних засобів були розроблені нові ефективні способи оптимізації. Це велика кількість варіантів нейромережових алгоритмів, еволюційні, генетичні алгоритми та тому подібне. У нашому випадку зручно вирішувати поставлену задачу з використанням другого підходу, а саме, генетичного алгоритму (genetic algorithms).

**Метою** даної роботи є розробка програмного комплексу, який використовує генетичний алгоритм для оптимізації характеристик таких складних інженерних споруд, як судно з малою площею ватерлінії.

Генетичний алгоритм (ГА) – це проста модель еволюції в природі, реалізована у вигляді комп'ютерної програми. У генетичному алгоритмі використовуються аналоги механізму генетичного спадкоємства і природного відбору.

Уперше подібний алгоритм був запропонований в 1975 році Джоном Холландом (John Holland) в універ-

ситеті Мічігану [4]. Він дістав назву «Репродуктивний план Холланда» і ліг в основу практично усіх варіантів генетичних алгоритмів. Основна термінологія ГА представляє в спрощеному вигляді термінологію еволюційної біології.

Основні відмінності генетичних алгоритмів від традиційних методів пошуку екстремумів наступні [5, 6]:

1. Генетичні алгоритми працюють з кодами, в яких представлений набір параметрів, які безпосередньо залежать від аргументів цільової функції. Причому інтерпретація цих кодів відбувається тільки перед початком роботи алгоритму і після завершення його роботи для отримання результату. В процесі роботи маніпуляції з кодами відбуваються незалежно від їх інтерпретації, код розглядається просто як бітовий рядок.

2. Для пошуку оптимуму генетичний алгоритм використовує декілька точок одночасно (популяцію), а не переходить від точки до точки, як це робиться у традиційних методах. Це дозволяє здолати один з їх недоліків – небезпеку попадання в локальний екстремум цільової функції, якщо вона не є унімодальною, тобто має декілька таких екстремумів.

3. Генетичний алгоритм в процесі роботи не використовує ніякої додаткової інформації, що підвищує швидкість роботи. Єдиною інформацією може бути область допустимих значень параметрів і цільової функції в довільній точці.

4. При пошуку оптимуму генетичний алгоритм розраховує тільки цільову функцію, а не її похідні або іншу додаткову інформацію.

5. У генетичному алгоритмі застосовуються як імовірнісні правила для породження нових точок аналізу, так і детерміновані правила для переходу від одних точок до інших.

Робота генетичного алгоритму є ітераційним процесом, який триває до тих пір, поки не виконається критерій припинення пошуку. Схема пошуку оптимального значення цільової функції в генетичному алгоритмі включає наступні кроки [7, 8, 9, 10]: (рис. 1).

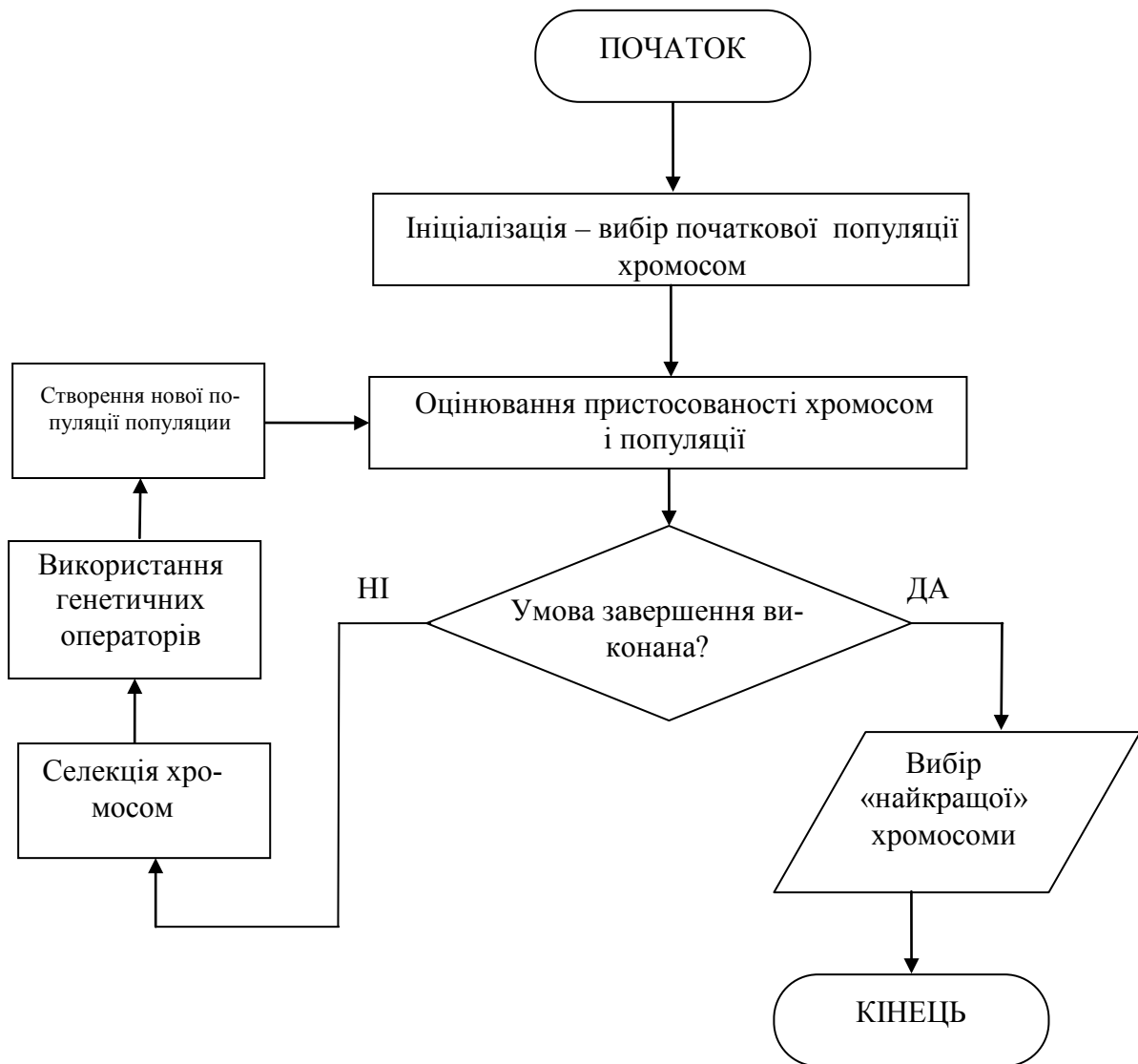


Рис. 1. Блок-схема роботи генетичного алгоритму

На першій ітерації формується початкова «популяція» (сукупність варіантів проектних рішень). Далі для кожної «особи» (рішення задачі) обчислюються значення функції пристосованості, за величиною якої визначається найкраща «особа». Потім ГА генерує нову «популяцію» з використанням генетичних операторів відбору, схрещування, мутації і стратегії елітизму (при необхідності). Для нової «популяції» проводиться оцінювання значення функції пристосованості і так далі. Процес повторюється до тих пір, поки не буде виконана одна з умов завершення пошуку.

Критерієм зупинки пошуку може служити:

1. Задана кількість поколінь або сходження популяції.
2. Завершення деякого заданого часу виконання.
3. Досягнення числом поколінь певної кількості ітерацій.

Сходженням називається стан популяції, коли усі рядки знаходяться в області деякого екстремуму і майже однакові. Таким чином, сходження популяції означає, що досягнуте рішення близьке до оптималь-

ного. Підсумковим рішенням задачі може служити найбільш пристосована особа останнього покоління.

Ефективність роботи ГА визначається вибором параметрів «генетичних» операторів (селекції, мутації, схрещування), а також ряду інших характеристик (розмір популяції, кількість поколінь до зупинки і тому подібне). Показниками ефективності ГА служать надійність, швидкість, кількість ітерацій. У зв'язку з тим, що ГА є стохастичною процедурою, оцінка його ефективності здійснюється усереднюванням по багатократних прогонах.

Для перевірки ефективності генетичного алгоритму у порівнянні з традиційними методами нелінійного програмування (метод Пауелла) авторами була проведена серія досліджень на задачах знаходження оптимуму 20 стандартних функцій з обмеженнями і без обмежень. Деякі результати цього дослідження представлено в табл. 1. Ці задачі мають «незручні», з точки зору алгоритмів оптимізації, властивості (множинні локальні екстремуми, незначна відмінність значень цільової функції в точках локальних екстремумів і так далі). Порівняльний аналіз ефективності генетичного

алгоритму і методу Пауелла виконувався за такими критеріями як надійність, швидкість, кількість ітерацій. Надійність – це відношення кількості прогонів, в яких був знайдений оптимум, до загальної кількості тестових (стандартних) прогонів. Швидкість – серед-

ня кількість обчислень цільової функції до першого виявлення екстремуму, тобто фактичні витрати на пошук. Кількість ітерацій – це середня кількість обчислень цільової функції до виявлення екстремуму.

Таблиця 1

Результати тестування генетичного алгоритму і методу Пауелла на стандартних функціях

Найменування функції	Формула	Min/Max	Кількість змінних	Надійність, %		Швидкість, с		Кількість ітерацій	
				ГА	МП	ГА	МП	ГА	МП
Функція Розенброка	$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} (100(x_{i+1} - x_i)^2 + (1 - x_i)^2)$	Min	20	20	80	26	82	4421	3266
Функція Растрігіна	$f(x) = 10n + \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i))$	Min	10	90	20	1,9	4,4	686	207
Функція Швевеля	$f(x) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i \sin(\sqrt{ x_i }))$	Min	2	100	30	0,5	0,43	206	48
Функція Михалевича	$f(x) = -\sum_{i=1}^n (\sin(x_i) \sin^{20}(\frac{1}{n} x_i^2))$	Min	5	70	14	1,3	2	503	282
Функція Де Йонга 1	$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	Max	20	100	100	2,7	4,8	793	219
Посилочний ящик	$f(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2 x_3$	Min	3	100	80	11,5	1,3	3506	156

Результати тестування ГА і методу Пауелла показали високу надійність і швидкість знаходження оптимуму генетичним алгоритмом для більшості тестових функцій.

Для вирішення задачі оптимізації проектних характеристик СМПВ авторами був допрацьований генетичний алгоритм в плані обліку обмежень і пристосування до рішення завдань проектування. Зокрема, для обліку обмежень запропоновано використати динамічні штрафні функції: з кожним поколінням величини штрафів змінюються, в першому - вони мінімальні і з кожним подальшим поколінням збільшуються.

Реалізація генетичного алгоритму у вигляді розробленого авторами програмного комплексу для оптимізації характеристик пасажирських СМПВ наведена на рис. 2. У представленому вікні програми в динаміці показаний процес знаходження оптимального значення цільової функції, зміна значень незалежних змінних і ступень виконання обмежень. В результаті роботи оптимізаційної програми були отримані основні характеристики пасажирського СМПВ. Результати виводяться у зручному для користувача виді, згруповані залежно від виду характеристик. Деякі результати роботи програмного комплексу представлені на рис. 3 та рис. 4.

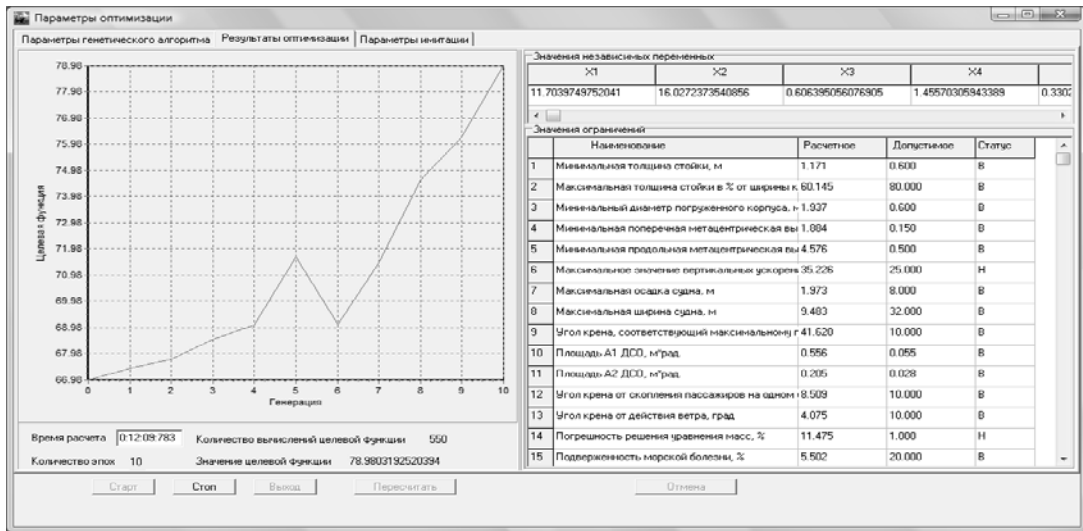


Рис. 2. Інструментальне середовище оптимізації характеристик судна з малою площею ватерлінії

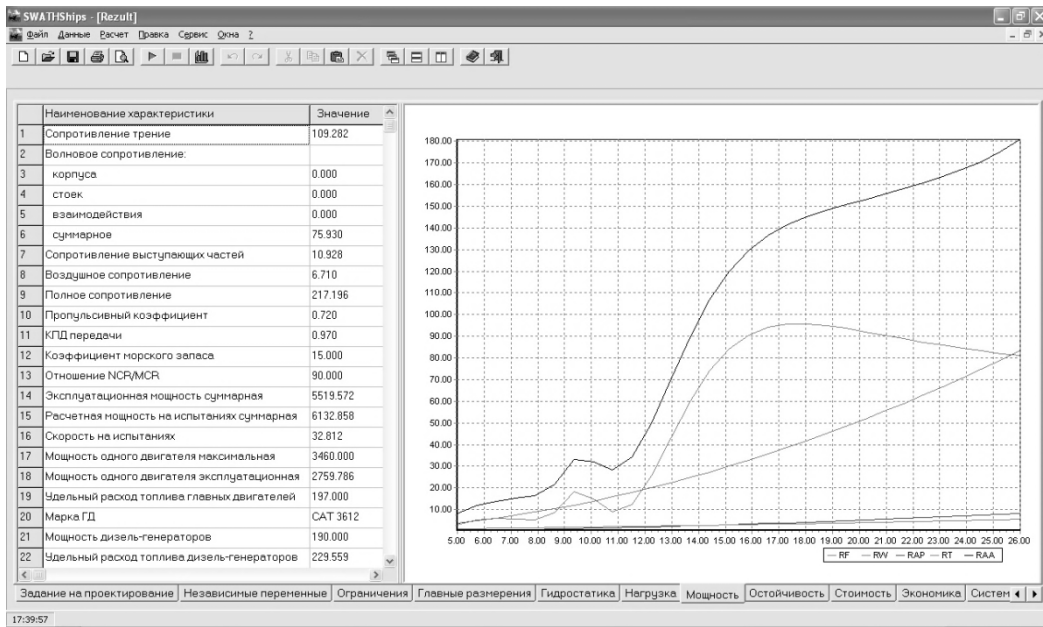


Рис. 3. Результати розрахунку опору та потужності головних двигунів

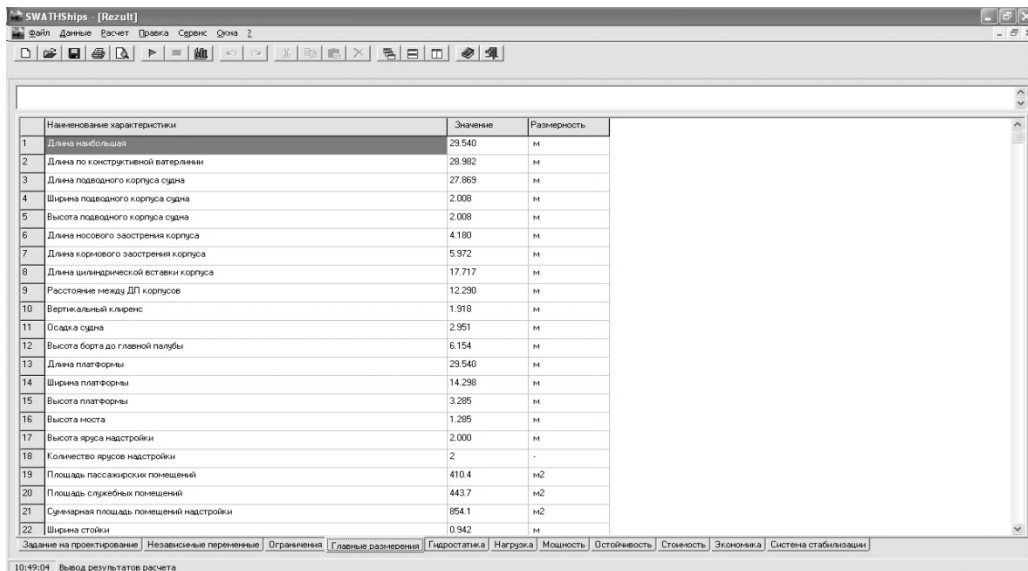


Рис. 4. Результати розрахунку геометричних характеристик СМПВ

У результаті можна зробити наступні висновки:

- генетичний алгоритм має більшу ефективність для вирішення складних оптимізаційних задач у порівнянні із традиційними методами оптимізації;
- застосування ГА для знаходження оптимальних характеристик пасажирських СМПВ дозволяє досить швидко і точно вирішувати поставлену задачу;

– створена авторами комп'ютерна програма визначення оптимальних характеристик СМПВ представляє практичний інтерес і може бути використана у роботі проектних організацій.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко А. П. Особенности постановки задачи проектирования судна с малой площадью ватерлинии / А. П. Бойко // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2009. – № 1(424). – С. 22–26.
2. Dubrovskiy V. Small Waterplane Area Ships / V. Dubrovskiy, K. Matveev, S. Sutulo. – Fair Lawn : Backbone Publishing Co., 2007. – 255 p.
3. Банди Б. Методы оптимизации: Вводный курс / Б. Банди [пер. с англ.]. – М. : Радио и связь, 1988. – 127 с.
4. Holland J. H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence / J. H. Holland. - London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
6. Chambers D. L. The Practical Handbook of Genetic Algorithms Vol. 1. Applications. / D. L. Chambers. – Boca Raton : CRC Press, 2001. – 520 p.
7. Вороновский Г.К. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Харьков, ОСНОВА, 1997. – 112 с.
8. Maneerpan K. Genetic Algorithms (GAs) Based Optimisation of FRP Composite Plated Grillages in Ship Structures / K. Maneerpan, R. A. Shenoi, J. I. R. Blake, H. K. Jeong // Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Part A : International Journal of Maritime Engineering. – 2007. – Vol. 149. – P. 1–9.
9. Yang Y. S. Discrete Optimum Design of Ship Structures by Genetic Algorithm / Y.S. Yang, G.H. Kim, W.S. Ruy // Transactions of SNAK, 1994. – Vol. 31, № 4. – P. 147–156.
10. Boulougouris E.K. Application of genetic algorithm to structural optimisation of high speed craft / E.K. Boulougouris, A. D. Papanikolaou, G. Zaraphonitis // International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, 26–30 Sept. 2005. – Lisboa, 2005. – P. 450–455.

**А. П. Бойко,**

Черноморский национальный университет  
им. Петра Могилы,

**А. В. Бондаренко,**

Национальный университет  
кораблестроения им. Адм. Макарова,  
г. Николаев, Украина

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОВ С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ВАТЕРЛИНИИ

*Задача определения оптимальных характеристик судов с малой площадью ватерлинии носит нелинейный стохастический характер и имеет ряд особенностей, связанных со спецификой проектированием судов данного типа. Для ее решения предлагается использовать генетический алгоритм, который позволяет улучшить процесс проектирования благодаря более эффективному исследованию пространства поиска.*

*В статье приведена схема поиска оптимальных характеристик с помощью генетического алгоритма. Доказана эффективность генетического алгоритма по сравнению с традиционными методами оптимизации путем тестирования на стандартных функциях.*

*Практическое значение выполненной работы заключается в разработке программного обеспечения для определения оптимальных характеристик судов с малой площадью ватерлинии.*

**Ключевые слова:** оптимизация; математическая модель; целевая функция; глобальный оптимум; генетический алгоритм; экстремум; тестовая функция; нелинейное программирование.

**A. P. Boyko,**  
Petro Mohyla Black Sea National University  
**O. V. Bondarenko,**  
The Admiral Makarov National University  
of Shipbuilding,  
Mykolaiv, Ukraine

## **APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM FOR OPTIMIZATION OF CHARACTERISTICS OF SMALL WATERLINE AREA TWIN HULL SHIPS**

*The problem of determination of the optimal characteristics of small waterline area twin hull (SWATH) ships is a stochastic nonlinear in nature and has a number of features related to the peculiarities of the design of vessels of this type. It is recommended to use a genetic algorithm to improve the design process through more effective research of the search space. Genetic algorithms are search algorithms based on principles similar to the principles of natural selection and genetics.*

*The article presents the scheme of the search for optimal characteristics using genetic algorithm. The effectiveness of genetic algorithm over traditional optimization methods through the standard test functions is well-proved. The implementation of a genetic algorithm in the form of the developed software to optimize the description of small waterline area twin hull ships is described.*

*Practical value of the work performed is to develop the software to determine optimal characteristics of small waterline area twin hull ships.*

**Key words:** *optimization; mathematical model; objective function; global optimum; genetic algorithm; extremum; test function; nonlinear programming.*

**Рецензенти:** Д. Т. Н., проф. **М. П. Мусянко;**  
К. Т. Н., доц. **І. М. Журавська.**

© Бойко А. П., Бондаренко А. В., 2016

*Дата надходження статті до редколегії 05.09.16*