

УДК 629.5.012:303.722.29  
DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-5-21

**О.В. Демідюк**

к.т.н., завідувач кафедри  
«Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»  
alexanderdemidiuk@gmail.com

**М.Б. Косой**

к.т.н., старший викладач  
«Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»  
michail@onu.edu.ua

**А.Ю. Заєць**

к.т.н., доцент  
«Теорія і проектування корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова»  
au.lopatnyova@gmail.ua

*Одеський національний морський університет, Одеса, Україна*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛКЕРІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ**

***Анотація.** Показана важливість та актуальність завдання визначення основних характеристик середньо та великотоннажних балкерів.*

*Поставлено мету дослідження – визначення основних характеристик судна методом Факторного аналізу статистичних даних та розробка алгоритму використання Факторного аналізу для вирішення завдань визначення основних характеристик судна на початкових етапах проектування.*

*Сформовано робочу гіпотезу дослідження, згідно з якою передбачається, що кожне з суден вибірки (бази даних по судах) спроектовано таким чином, що деякі експлуатаційні якості та/або економічні характеристики судна є оптимальними у певному сенсі. Найбільш перспективним методом цього завдання є стохастичний факторний аналіз. Цей метод дозволяє виявити кілька характеристик, що впливають на параметри всієї системи, але, очевидно, не спостерігаються.*

*Наведено результати розрахунків за запропонованою методикою. Аналіз даних показує, що судна одних розробників дійсно групуються за значенням комплексів чинників, що не суперечить висунутій гіпотезі про наявність успішних алгоритмів, якими користуються розробники проектів суден. Далі можливе застосування більш тонких механізмів оптимізації проекту за вибраними економічними та технічними параметрами.*

***Ключові слова:** проектування суден, початковий етап проектування, характеристики балкерів, Факторний аналіз, статистичні методи, метод головних компонент.*

УДК 629.5.012:303.722.29  
DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-5-21

**А.В. Демидюк**

к.т.н., заведующий кафедрой  
«Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьёва»

**М.Б. Косой**

к.т.н., старший преподаватель кафедры  
«Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьёва»

**А.Ю. Заец**

к.т.н., доцент кафедры  
«Теория и проектирование корабля им. проф. Ю.Л. Воробьёва»

*Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛКЕРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА**

***Аннотация.** Показана важность и актуальность задачи определения основных характеристик средне и крупнотоннажных балкеров.*

*Поставлена цель исследования – определение основных характеристик судна методом Факторного анализа статистических данных и разработка алгоритма использования Факторного анализа для решения задач определения основных характеристик судна на начальных этапах проектирования.*

*Сформирована рабочая гипотеза исследования, согласно которой предполагается, что каждое из судов выборки (базы данных по судам) спроектировано таким образом, что некоторые эксплуатационные качества и/или экономические характеристики судна оптимальны в некотором смысле. Наиболее перспективным методом этого класса задач является стохастический факторный анализ. Этот метод позволяет выявить несколько характеристик, влияющих на параметры всей системы, но очевидно не наблюдаемых.*

*Приведены результаты расчетов по предложенной методике. Анализ полученных данных показывает, что суда одних разработчиков действительно группируются по значению комплексов факторов, что не противоречит выдвинутой гипотезе о наличии успешных алгоритмов, которыми пользуются разработчики проектов судов. Далее возможно применение более тонких механизмов оптимизации проекта по выбранным экономическим и техническим параметрам.*

***Ключевые слова:** проектирование судов, начальная стадия проектирования, характеристики балкеров, Факторный анализ, статистические методы, метод главных компонент.*

UDK 629.5.012:303.722.29

DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-5-21

**Oleksandr Demidiuk**

p.h.d., head of a department

«Ship theory and design named after prof. J. Vorobyov»

**Michail Kosoy**

p.h.d., senior lecturer of a department

«Ship theory and design named after prof. J. Vorobyov»

**Anastasiia Zaiets**

p.h.d., assistant professor of a department

«Ship theory and design named after prof. J. Vorobyov»

## DETERMINATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF BULK CARRIERS USING FACTOR ANALYSIS

*Odessa National Maritime University, Ukraine, Odessa*

**Abstract.** *The importance and relevance of the problem of determining the main characteristics of medium and large-capacity bulk carriers is shown.*

*The purpose of the study is to determine the main characteristics of the vessel by the method of Factor Analysis of statistical data and develop an algorithm for using Factor Analysis to solve the problems of determining the main characteristics of the vessel at the initial stages of design.*

*A working hypothesis of the study has been formed, according to which it is assumed that each of the vessels in the sample (database on vessels) is designed in such a way that some operational qualities and / or economic characteristics of the vessel are optimal in some sense. The most promising method for this class of problems is stochastic factor analysis. This method allows you to identify several characteristics that affect the parameters of the entire system, but obviously not observable.*

*The results of calculations by the proposed method are presented. An analysis of the data obtained shows that the ships of the same developers are indeed grouped according to the value of the complexes of factors, which does not contradict the hypothesis put forward about the presence of successful algorithms used by ship project developers. Further, it is possible to use more subtle mechanisms for optimizing the project according to the selected economic and technical parameters.*

**Keywords:** *ship design, initial design stage, bulk carrier characteristics, Factor analysis, statistical methods, principal components methodology.*

**ВСТУП.** Проектування суден є комплексною інженерною задачею високого рівня складності. В процесі вирішення цієї задачі необхідно враховувати особливості судна, що проектується, можливі проектні обмеження, умови експлуатації, подолати об'єктивну обмеженість інформації особливо при прийнятті проектних рішень на початковій стадії проектування.

Задача проектування судна може бути зведена до задачі оптимізації характеристик судна по одному або декільком вибраним критеріям. В якості критеріїв зазвичай можуть бути використані економічні або комплексні технічні параметри [1]. Тоді після формування математичної моделі судна, що враховує в явному вигляді зазначені критерії, формується завдання мінімізації певних обраних критеріїв і визначення характеристик судна. Рішення такого завдання залежить від виду рівнянь і може бути виконано відомими чисельними методами [2; 3; 4].

**Актуальність.** Проблема визначення основних характеристик судна на початковому етапі проектування ускладнюється браком інформації, необхідної для прийняття обґрунтованих проектних рішень. Одним із шляхів, які дозволяють отримати відсутню інформацію про характеристики судна, є спосіб проектування за прототипом. Вибір прототипу або декількох найбільш прийнятних прототипів зазвичай здійснюється експертом або групою експертів на підставі наявного досвіду, знань, доступної інформації з об'єкту, який викликає зацікавленість.

Як наслідок вибір експерта базується на суб'єктивній оцінці оптимальності обраних характеристик. Спроби з'ясувати ці оптимальні якості і характеристики простим порівнянням технічних параметрів суден, як правило, не призводять до успішних результатів через дуже складну структуру взаємного впливу цих параметрів.

Тому актуальною задачею для з'ясування зв'язку досліджуваних характеристик буде використання математичних методів обробки статистичних даних.

Метою роботи є **визначення основних характеристик судна методом Факторного аналізу статистичних даних, та розробка алгоритму використання Факторного аналізу для вирішення задач визначення основних характеристик судна на початкових етапах проектування.**

**Робоча гіпотеза дослідження.** При проектуванні за прототипом доцільно використовувати дані успішних проектів сторонніх проектувальників. Передбачається, що кожен з варіантів спроектований таким чином, що деякі експлуатаційні якості і/або економічні характеристики (наразі невідомі, в силу відсутності інформації) судна оптимальні. Спроби з'ясувати ці оптимальні якості і характеристики простим порівнянням технічних параметрів суден, як правило, не приводять до успішних результатів через дуже складну структуру взаємного впливу цих параметрів.

Найбільш перспективним методом для цього класу задач є стохастичний факторний аналіз. Цей метод дозволяє виявити декілька характеристик, які впливають на параметри всієї системи, але явно не спостерігаються. Гіпотеза що лягла в основу використання цього методу полягає у тому, що оптимальність характеристик судна присутня прихованим чином і укладена в комбінації технічних

параметрів судна (безрозмірних комплексах) – визначальних факторах. Цілом логічне припущення, що судна зі схожими експлуатаційними якостями і/або економічними характеристиками мають також близькі значення визначальних факторів. Тому на першому етапі проектування поставлено завдання щодо виявлення цих визначальних факторів в результаті аналізу статистичних даних характеристик суден подібного типу.

**Задача** визначення параметрів проектного судна в першому наближенні **формулюється наступним чином:**

- на першому етапі в результаті аналізу статистичних даних суден-прототипів знайти такі комбінації спостережуваних параметрів, які дозволяють виявити характеристики і якості судна, яке проектується, оптимальні в певному сенсі;

- другий етап пов'язаний з предметним аналізом та інтерпретацією знайдених комбінацій-факторів.

Завдання ускладнюється ще й тим, що отримання вичерпної інформації з характеристик суден, таких як теоретичні креслення, криві елементів теоретичного креслення і т.п., іноді неможливо в силу комерційних чи інших обмежень. Важливе значення наявності достовірної бази знань по суднам зазначено в [5].

В якості об'єктів дослідження обрані судна для перевезення масових вантажів навалом (балкери).

Для аналізу були обрані характеристики 32 балкерів існуючих проектів, які за зростанням значення дедвейту розділяються на такі основні класи: HANDYSIZE, HANDYMAX, SUPRAMAX, PANAMAX, KAMSARMAX (larger-size Panamax bulk carrier), POST-PANAMAX та CAPESIZE. Типові значення дедвейту зазначених вище класів балкерів та порівняння їх розмірів ілюструє рисунок 1. Для створення вибіркової групи частково використані дані роботи [6]. В таблиці присутні також балкери інших типів. Ці типи походять від назв портів (KAMSARMAX (larger-size Panamax bulk carrier), DUNKIRKMAX) навігаційні обмеження яких пов'язані з характеристиками суден.

Основні характеристики суден-балкерів наведені в таблиці 1.

**Метод факторного аналізу.** Використання методу факторного аналізу ґрунтується на загальній теоремі алгебри матриць, а саме будь яку не вироджену матрицю можна представити в канонічній формі

$$M = \|b\| \cdot A \cdot \|b\|^T,$$

де  $\|b\|$  – матриця компонентів власних векторів  $M$ ;

$A$  – діагональна матриця власних чисел  $M$ . Якщо інтерпретувати  $M$  як кореляційну матрицю  $n$  параметрів статистичних даних  $X_i$ , то матриця  $A$  буде кореляційною матрицею деяких статистично незалежних величин  $F_j$ , які пов'язані із параметрами  $X_i$  лінійною залежністю

$$X_i = \sum_j b_{ij} F_j, i = 1, n \quad (1)$$



Рис. 1. Основні класи балкерів за дедвейтом [11]

Діагональні елементи  $\Lambda$  є дисперсії  $F_j$ , а матриця  $\|b\|$  є матриця коефіцієнтів  $b_{ij}$ .

В роботі прийняті наступні позначення безрозмірних параметрів

$$\left( X_1 = \frac{L}{B}, X_2 = \frac{B}{H}, X_3 = \frac{D_b}{\rho L B T}, X_4 = \frac{D_b}{\rho L B H}, X_5 = \frac{D_b - D_n}{D_b}, X_6 = \frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}, X_7 = \frac{P}{\rho g D_b V} \right)$$

Тут  $L, B, H, T$  – головні розміри судна – довжина, ширина, висота борту і середнє заглиблення відповідно, м;

$D$  – вага судна, т;

$D_b$  – вага судна при повному завантаженні, т;

$D_n$  – вага порожнього судна, т;

$P$  – потужність сумарна головної рушійної установки, кВт;

$V$  – швидкість найбільша, вуз.;

$g = 9.81$  – гравітаційна константа, м/с<sup>2</sup>;

$\rho = 1024 \text{ кг} / \text{м}^3$  – вагова щільність морської води.

Таблиця 1

Основні характеристики суден-балкерів

Номер з/п	Найменування	L <sub>нб</sub>	L <sub>пп</sub>	B	H	T	D <sub>b</sub>	D <sub>n</sub>
		м	м	м	м	м	т	т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	NORD HONG KONG	179,90	171,50	28,40	14,10	10,00	41748	9459
2	DRAGONERA	180,00	176,63	30,00	14,70	10,10	45009	10396
3	HALKI	187,00	178,02	27,80	15,60	10,90	47246	10396
4	THALASSINI AXIA	196,00	189,00	32,26	18,60	12,50	69919	11311
5	ARKADIA	197,08	189,00	32,26	18,50	12,60	68418	12070
6	AMBER CHAPION	199,85	194,50	32,26	18,50	12,70	75471	11671
7	STX ARBORELLA	199,82	192,67	32,26	19,30	12,72	70605	13065
8	SAGE AMAZON	199,99	193,74	32,26	18,50	13,30	74922	11621
9	AP LIBERTAS	225,00	217,00	32,26	19,60	14,20	87072	11859
10	GIEWONT	229,82	222,82	32,26	20,25	14,62	93377	13727
11	NIKI	253,92	241,00	40,00	21,00	14,62	117602	17602
12	OCEAN GARNET	229,20	222,00	38,00	20,70	14,90	108709	15690
13	ANANGEL DAWN	249,85	240,00	43,00	21,30	15,00	134376	20285
14	STX FREESIA	292,00	283,00	45,00	24,80	18,22	207383	26647
15	K. HOPE	330,07	321,00	57,00	25,10	18,00	285100	35100
16	MIEDWIE	190,00	182,60	23,00	14,60	10,40	39174	9190
17	IVS VISCOUNT	178,80	172,00	28,00	14,80	10,65	43757	9058
18	SPAR LYRA	190,00	183,44	32,26	17,40	12,50	65000	11600
19	TAI PROGRESS	225,00	217,00	32,26	19,50	14,10	88366	10532
18	SPAR LYRA	190,00	183,44	32,26	17,40	12,50	65000	11600
19	TAI PROGRESS	225,00	217,00	32,26	19,50	14,10	88366	10532
20	KOHYOH SAN	289,00	280,20	45,00	24,10	17,78	193802	21238
21	WORLDERA 2	189,96	182,00	32,24	16,50	11,62	59857	10950
22	MV MARILIA	190,50	183,68	32,01	16,40	11,85	59280	10640
23	BURGIA	229,00	222,00	32,26	20,25	14,62	93288	13885
24	AGRI GRANDE	229,00	225,32	32,26	20,00	14,45	95374	13408
25	BOAVISTA	229,50	222,90	38,00	20,70	14,90	108707	15630

*Продовження табл. 1*

Номер з/п	Найменування	Лнб	Лпп	В	Н	Т	Db	Dп
		м	м	м	м	м	т	т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	ABY DIVA	224,90	217,00	32,26	19,50	14,14	86824	10228
27	CORAL TOPAZ	225,00	218,00	32,20	19,80	14,23	87409	10811
28	OSMARINE	224,94	217,00	32,26	19,50	14,14	86890	10228
29	ТОРЕКА ТВR	225,00	217,00	32,26	19,60	14,27	87856	12627
30	MG SAKURA	224,95	217,00	32,20	19,15	13,84	85857	10460
31	HOUHENG 5	326,99	319,77	57,00	25,50	18,83	296699	34938
32	PACIFIC QUEEN	291,80	282,00	45,00	24,75	18,10	202617	26699

*Продовження табл. 1*

Номер з/п	Найменування	dw	V <sub>s</sub>	MCR	Трюмів	Кранів	Тип	КЗП
		т	вузл.	kW	од.	од.		С <sub>b</sub>
1	2	10	11	12	13	14	15	16
1	NORD HONG KONG	32290	13,80	6000	5	4	Handysize	0,804
2	DRAGONERA	34613	14,00	7500	5	4	Handysize	0,789
3	HALKI	36850	14,80	7800	5	4	Handysize	0,814
4	THALASSINI AXIA	58923	14,60	9960	5	4	Supramax	0,856
5	ARKADIA	55161	14,50	11620	5	4	Handymax	0,835
6	AMBER CHAPION	63800	14,48	8050	5	4	Handymax	0,877
7	STX ARBORELLA	57539	13,90	9960	5	4	open-hatch	0,834
8	SAGE AMAZON	63301	14,50	8300	5	4	Supramax	0,846
9	AP LIBERTAS	75213	14,00	8990	7	-	Panamax	0,822
10	GIEWONT	79649	14,28	11060	7	-	Kamsarmax	0,834
11	NIKI	100000	15,00	11180	5	4	Capesize	0,783
12	OCEAN GARNET	93018	14,35	12240	7	-	Large bulk	0,811
13	ANANGEL DAWN	114091	14,70	15820	7	-	Handycap	0,814
14	STX FREESIA	180736	15,00	17900	9	-	Dunkirkmax	0,838
15	K. HOPE	250038	14,95	23000	9	-	VLOC	0,812
16	MIEDWIE	29984	14,00	7800	6	3	Great Lakes	0,845
17	IVS VISCOUNT	34699	14,00	6500	5	4	Handysize	0,805
18	SPAR LYRA	53565	14,00	9480	5	4	Handymax	0,824
19	TAI PROGRESS	77834	14,00	10002	7	-	Panamax	0,840
20	KOHYOHSAN	172564	14,70	14711	9	-	Capesize/ dunkirkmax	0,811



Продовження табл. 1

Номер з/п	Найменування	dw	VS	MCR	Трюмів	Кранів	Тип	КЗП Сб
		т	вузл.	kW	од.	од.		-
1	2	10	11	12	13	14	15	16
21	WORLDERA 2	48907	14,00	7707	5	4	Handymax	0,816
22	MV MARILIA	48640	12,50	10400	5	4	Handymax	0,806
23	BURGIA	79403	14,00	11620	7	-	Kamsarmax	0,836
24	AGRI GRANDE	81966	14,00	9801	7	-	Kamsarmax	0,852
25	BOAVISTA	93077	14,30	13569	7	-	Post Panamax	0,808
26	ABY DIVA	76596	14,00	10327	7	-	Panamax	0,823
27	CORAL TOPAZ	76598	14,00	9230	7	-	Panamax	0,821
28	OSMARINE	76662	14,00	10327	7	-	Panamax/self loaded	0,816
29	ТОРЕКА TBR	75229	14,00	9699	9	-	Panamax	0,817
30	MG SAKURA	75397	14,00	9266	7	-	Panamax	0,825
31	HOUHENG 5	261761	15,20	18240	9	-	Capesize	0,803
32	PACIFIC QUEEN	175918	14,00	16871	9	-	Capesize	0,820

Прийняті до обробки параметри  $Y_i = Ln(X_i)$ , що узгоджується з основним принципом теорії розмірностей і може бути інтерпретовано як деяка якість конструкції судна, або як його експлуатаційна якість. Тоді лінійна форма (1) залежності факторів перетвориться до виду

$$Y_i = \sum_j^n b_{ij} F_j, j = 1, n \quad (2)$$

Кореляційна матриця параметрів

$$Y_i = (Y_{im}), m = 1, N,$$

де  $N$  – довжина вибірки, розраховується за формулою

$$K_Y = \frac{\|Y_{jl}\| \cdot \|Y_{jl}\|^T}{N-1} = \|b\| \cdot \frac{\|F_{jl}\| \cdot \|F_{jl}\|^T}{N-1} \|b\|^T = \|b\| \cdot K_F \|b\|^T. \quad (3)$$

Використання методу головних компонент передбачає статистичну незалежність факторів  $F_j = (F_{jm})$ , тобто  $K_F = \left\| \frac{(F_j, F_k)}{N-1} \right\|$  матиме діагональний вигляд. Тоді матриця  $K_Y$  матиме вигляд

$$K_Y = \|b\| \left\| \begin{array}{ccc} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{array} \right\| \|b\|^{-1} \quad (4)$$

Таким чином, треба знайти власні вектори та власні числа матриці  $K_Y$  методами матричної алгебри і отримати матрицю  $\|b\|$ .

У термінах теорії ймовірності та статистики діагональні елементи матриці  $K_F = \left\| \begin{array}{ccc} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{array} \right\|$  є дисперсії факторів  $F_j$ . Ранжування власних значень матриці  $K_Y$

за величиною від більшого до меншого визначає значимість впливу кожного фактора на параметри судна: чим більше власне значення  $\lambda_j$ , тобто дисперсія фактора  $F_j$ , тим він інтенсивніше впливає на значення параметра  $Y_i$  у статистичній залежності.

Методи статистичної оцінки значущості цього впливу дозволяють не брати до уваги фактори що слабо проявляються, і тим спростити та зробити доступним для огляду предметний аналіз вибірки суден. Статистичний зв'язок фактора  $F_j$  та параметра  $Y_i$  враховується оцінкою за t-критерієм Стьюдента значень їх матриці кореляцій. Статистична залежність відображається матрицею інцидентності.

Фактори  $F_i$  визначаються за формулою

$$F_{ik} = \ln \left( \prod_{l=1}^n X_{lk}^{a_{il}} \right) = \sum_{l=1}^n a_{il} Y_{lk}, \quad k = 1, N, \quad (5)$$

де  $\|a_{il}\| = \|b\|^{-1}$ .

Знайдені значення факторів для суден дозволяють зробити угруповання. Метод цього угруповання полягає в наступних кроках:

- задати інтервали зміни значень обраних факторів;
- згрупувати судна вибірки за сукупними значеннями факторів;

– вибрати найбільш численні групи і помітити для них інтервали значень факторів (численність в групі свідчить про спільну для суден групи не проявлену якість);

– якщо  $m$  – число прийнятих факторів, а  $n$  – число параметрів, і  $n > m$ , то з  $n$  невідомих величин буде лише  $(n-m)$  незалежних, інші зв'язані співвідношеннями (5) для факторів з прийнятими значеннями.

Незалежні параметри вибираються за результатами предметного дослідження, а залежні, в силу необхідності, будуть визначатися таким чином, що забезпечать деяку оптимальну якість судна.

Методи статистичного аналізу стосовно проблем проектування суден вивчені в роботах [7; 4; 5]. Дана робота виконана у відповідності зі стандартними методами факторного аналізу [8; 9; 10].

**РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ.** Розрахована матриця інцидентності вибіркової групи балкерів показана на рисунку 2.

$$\begin{pmatrix} \text{Ln}\left(\frac{L}{B}\right) & \text{Ln}\left(\frac{B}{H}\right) & \text{Ln}\left(\frac{D_b}{\rho LBT}\right) & \text{Ln}\left(\frac{D_b}{\rho LBH}\right) & \text{Ln}\left(\frac{D_b - D_n}{D_b}\right) & \text{Ln}\left(\sqrt{\frac{V^2}{g} \sqrt{\frac{P}{D_b}}}\right) & \text{Ln}\left(\frac{P}{gVD_b}\right) \\ F1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ F2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ F3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ F4 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ F5 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ F6 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ F7 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Матриця інцидентності для балкерів

Загальний вид факторів прийнятих до розгляду для балкерів описує система (11).

З таблиці інцидентності видно, при мінімальній кількості факторів найбільш інформативним буде вибір факторів  $F_4$ ,  $F_6$  і  $F_7$ . Наприклад по параметрах

$$\frac{P}{\rho g D_b V}, \frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}} \text{ та } \frac{D_b}{\rho LBT} \text{ і } \frac{D_b - D_n}{D_b} \text{ які визначаються із технічного завдан-$$

ня можна визначити геометричні характеристики  $\frac{L}{B}, \frac{B}{H}, \frac{D_b}{\rho LBH}$ .

Угрупування по  $F_4$  і  $F_6$  дає більш детальну структуру розподілу суден у вибірці.

$$\begin{aligned}
 F1 &= \text{Ln} \left( \left( \frac{P}{\rho g D_b V} \right)^{-0.83} \right); F2 = \text{Ln} \left( \left( \frac{P}{\rho g D_b V} \right)^{-0.91} \right); F3 = \text{Ln} \left( \left( \frac{P}{\rho g D_b V} \right)^{-0.24} \right); \\
 F4 &= \text{Ln} \left( \left( \frac{L}{B} \right)^{0.41} \left( \frac{D_b}{\rho L B T} \right)^{-0.11} \left( \frac{D_b - D_n}{D_b} \right)^{-0.52} \left( \frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}} \right)^{-0.3} \left( \frac{P}{\rho g D_b V} \right)^{0.22} \right) \\
 F5 &= \text{Ln} \left( \left( \frac{D_b}{\rho L B H} \right)^{0.2} \left( \frac{D_b - D_n}{D_b} \right)^{0.22} \left( \frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}} \right)^{-0.25} \right); F6 = \text{Ln} \left( \left( \frac{B}{H} \right)^{-0.2} \left( \frac{D_b}{\rho L B H} \right)^{-0.07} \left( \frac{D_b - D_n}{D_b} \right)^{0.04} \left( \frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}} \right)^{-0.25} \right); \\
 F7 &= \text{Ln} \left( \left( \frac{L}{B} \right)^{-0.07} \left( \frac{B}{H} \right)^{-0.1} \left( \frac{D_b}{\rho L B T} \right)^{0.09} \left( \frac{D_b}{\rho L B H} \right)^{0.21} \left( \frac{D_b - D_n}{D_b} \right)^{-0.07} \left( \frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}} \right)^{0.007} \left( \frac{P}{\rho g D_b V} \right)^{-0.008} \right);
 \end{aligned}$$

(6)

Таблиця 2

Групування балкерів за значеннями факторів. F4, F6

Інтервал значень факторів F4 и F6	Кількість суден у групі	Номери суден групи в вибірці
-1,07 < F4 < -0,84; 0,97 < F6 < 1,08	1	14
-0,60 < F4 < -0,37; 0,64 < F6 < 0,75	7	4; 6; 8; 12; 13; 21; 25
-0,60 < F4 < -0,37; 0,75 < F6 < 0,86	5	11; 15; 20; 31; 32
-0,37 < F4 < -0,13; 0,64 < F6 < 0,75	16	1; 2; 3; 5; 7; 10; 16; 17; 18; 19; 22; 23; 26; 28; 29; 30
-0,37 < F4 < -0,13; 0,75 < F6 < 0,86	3	9; 24; 27

Група з 5 суден з номерами 11, 15, 20, 31, 32 ілюструє працездатність прийнятої гіпотези про існування неформалізованих алгоритмів проектування. І за виключенням номера 15 (тип VLOC) представляє собою групу балкерів типу CAPESIZE.

**Алгоритм застосування методу факторного аналізу для вибору характеристик судна на початковому етапі проектування показаний на прикладі балкерів.**

За однією з таблиць угруповань суден за значеннями факторів необхідно вибрати групу суден. Попереднє вивчення характеристик суден в групах має сприяти цьому вибору. Мова йде про аналіз дедвейту, ПНО, коефіцієнту утилізації по дедвейту та інших характеристик судна, які як маркер вкажуть на групу суден розглянуті фактори (або групи факторів) яких змінюються в вузьких межах.

Наприклад, по таблиці угруповання за значеннями факторів F4, F6 встановлена група суден одного типу, для якої значення факторів лежать межах  $(-0,6 < F4 < 0,37; 0,75 < F6 < 0,86)$ . Це судна: 11, 15, 20, 31, 32. Далі, по таблиці угруповання суден по фактору F7 необхідно вибрати групу, яка містить судна, що потрапляють в обрану раніше групу. Ця група містить судна: 1, 2, 11, 15, 22, 31 і визначається нерівністю  $-0,27 < F7 < -0,26$ . Для цієї групи суден, отриманих перетином двох раніше обраних груп, а саме для суден 11, 15, 31 формулюється система нерівностей щодо безрозмірних параметрів (12).

Чотири з семи параметрів системи незалежні. Наприклад, незалежними можна вибрати геометричні характеристики  $\frac{L}{B}, \frac{B}{H}, \frac{D_b}{\rho LBH}, \frac{D_b}{\rho LBT}$ . Тоді допустимі

значення відносних потужності  $\frac{P}{\rho g D_b V}$ , швидкості  $\frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}$  і характеристики

вантажомісткості  $\frac{D_b - D_n}{D_b}$  визначаються з системи нерівностей.

$$\left\{ \begin{array}{l} e^{-0.6} \leq \left(\frac{L}{B}\right)^{0.41} \left(\frac{D_b}{\rho LBT}\right)^{-0.11} \left(\frac{D_b - D_n}{D_b}\right)^{-0.52} \left(\frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}\right)^{-0.3} \left(\frac{P}{\rho g D_b V}\right)^{0.22} \leq e^{-0.37} \\ e^{0.75} \leq \left(\frac{B}{H}\right)^{-0.2} \left(\frac{D_b}{\rho LBH}\right)^{-0.07} \left(\frac{D_b - D_n}{D_b}\right)^{0.04} \left(\frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}\right)^{-0.25} \leq e^{0.86} \\ e^{-0.27} \leq \left(\frac{L}{B}\right)^{-0.07} \left(\frac{B}{H}\right)^{-0.1} \left(\frac{D_b}{\rho LBT}\right)^{0.09} \left(\frac{D_b}{\rho LBH}\right)^{0.21} \left(\frac{D_b - D_n}{D_b}\right)^{-0.07} \left(\frac{V}{\sqrt{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}\right)^{0.007} \left(\frac{P}{\rho g D_b V}\right)^{-0.008} \leq e^{0.26} \end{array} \right. \quad (7)$$

Якщо при цьому отримані інтервали значень суперечать здоровому глузду, то слід коригувати значення незалежних величин

$$\frac{L}{B}, \frac{B}{H}, \frac{D_b}{\rho LBH}, \frac{D_b}{\rho LBT}$$

При розумному їх виборі спроектоване судно повинно потрапити в ту ж обрану групу, тобто буде судном того ж типу.

Також, незалежними можна вибрати

$$\frac{P}{\rho g D_b V}, \sqrt[3]{\frac{V}{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}, \frac{D_b - D_n}{D_b}, \frac{D_b}{\rho LBT}$$

Тоді, при дотриманні обережності у виборі їх значень, з системи

нерівностей визначаються значення  $\frac{L}{B}, \frac{B}{H}, \frac{D_b}{\rho LBH}$  так, що спроектоване судно належить тому же типу, що і судна з обраної групи.

Таблиця 3

Чисельна перевірка роботи алгоритму

-0,6 < F4 < -0,37; 0,75 < F6 < 0,86; -0,24 < F7 < -0,23										
№ судна	з виборки						розрахунок			
	L/B	B/H	C <sub>b</sub>	η <sub>dw</sub>	D/ρ LBH	$\sqrt[3]{\frac{V}{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}$	$\frac{P}{\rho g D_b V}$	D/ρ LB H	$\sqrt[3]{\frac{V}{g^3 \frac{D_b}{\rho}}}$	$\frac{P}{\rho g D_b V}$
11	6,025	1,904	0,844	0,855	0,608	0,340	0,0008	0,670	0,320	0,00077
15	5,630	2,270	0,845	0,765	0,624	0,395	0,0011	0,682	0,303	0,00060
20	6,227	1,867	0,857	0,817	0,603	0,369	0,0014	0,653	0,330	0,00070
31	5,610	2,235	0,844	0,882	0,623	0,307	0,0004	0,731	0,351	0,00041
32	6,267	1,818	0,860	0,868	0,630	0,301	0,0006	0,680	0,355	0,00060

**ВИСНОВКИ.** Використана математична теорія гарантує існування факторів, що визначаються параметрами судна, але не дає пояснень щодо їх інженерного сенсу. Відповідь на це питання потребує предметного дослідження, яке не можливе без висування певних гіпотез.

Тестовий розрахунок не спростував гіпотезу про існування неформалізованих алгоритмів проектування, основаних на власному досвіді експертів. Аналіз даних, що отримані за розробленою методикою, показує, що судна одних розробників дійсно групуються за значенням комплексів факторів, що не суперечить висунутій вище гіпотезі про наявність успішних алгоритмів, якими користуються розробники проектів суден. У випадку коли конструкторське бюро не має свого оригінального алгоритму визначення основних характеристик проектного судна на початковому етапі проектування або немає доступу до існуючих алгоритмів, використання описаної методики факторного аналізу має допомогти з визначенням основних факторів які впливають на якість проектування. Далі можливо застосування більш тонких механізмів оптимізації проекту за обраними економічними та технічними параметрами.

### СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Вашедченко А.Н. Автоматизированное проектирование судов. Л.: Судостроение, 1985. 160 с.
2. Некрасов В.А., Кабанова Н.Н. Задача функционирования судна, эксплуатирующегося на незакрепленных линиях перевозок, в проблеме его проектирования // Сб. научн. трудов НУК. № 6 (423). 2008. С. 35-40.
3. Кабанова Н.Н. Решение стохастической задачи оптимизации характеристик трампового судна // Вестник ОНМУ. № 34. 2012. С. 172-183.
4. Францев М.Э. Использование численных методов при реализации задачи параметрического проектирования композитного промышленного судна для прибрежного лова // Судостроение. № 4. 2014. С. 30-34.
5. Францев М.Э. Проектное обоснование оптимальных сочетаний характеристик массы, мощности и скорости для скоростных судов из композитов методами анализа баз данных // Транспортное строительство. № 3. 2010. С.53-59.
6. Ларкин Ю.М., Онищенко А.Ф. Особенности проектирования балкеров // Вісник Одеського національного морського університету. 2015. Вип. 3. С. 219-228.
7. Пинский А.Н. Использование статистических методов в алгоритмах автоматизированной системы проектирования // Вопросы судостроения. Серия «Проектирование». 1977. Вып. 13. С.131-140.
8. Жуковская В.М., Мучник И.Б. Факторный анализ в социально-экономических исследованиях. М.: Статистика, 1976. 153 с.

9. Ким Дж.-О., Мюллер Ч.У., Клекка У.Р., Олдендерфер М.С., Блешфилд Р.К. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989. 216 с.
10. Лоули Д., Максвелл А. Факторный анализ как статистический метод. М.: Мир, 1967. 144 с.
11. <https://mycompassair.com/part-3-vessels>

#### REFERENCE

1. Vashedchenko A.N. (1985) *Avtomatizirovannoe proektirovanie sudov [Automated ship design]. Leningrad: Sudostroenie. (in Russian).*
2. Nekrasov V.A., Kabanova N.N. (2008) *Zadacha funkcionirovaniya sudna, ekspluatiruyushegosiya na nezakreplennykh liniyakh perezozok, v problem ego proektirovaniya [The task of the functioning of a ship operating on loose lines of transportation is in the problem of its design]. Proceedings, Mikoliyv, Zbirnik naukovikh trudov NUK, vol. 6(423), pp. 35-40.*
3. Kabanova N.N. (2012) *Reshenie stohasticheskoy zadachioptimizatsii kharakteristik trampovogo sudna [Solution of the stochastic problem of optimizing the characteristics of a tramp ship]. Herald of ONMU, vol. 34, pp. 172-183.*
4. Frantsev M.E. (2014) *Ispolzovanie chislennykh metodov pri realizatsii zadachi peremetricheskogo proektirovaniya kompozitnogo promislavogo sudna dlia pribrezhnogo lova [The use of numerical methods in the implementation of the problem of parametric design of a composite fishing vessel for coastal fishing]. Sudostroenie, vol.4, pp. 30-34.*
5. Frantsev M.E. (2010) *Proektnoe obosnovanie optimalnykh sochetaniy kharakteristik massi, moshnosti i skorosti dlia skorostnykh sudov is kompositov metodami analiza bazz dannykh. [Design substantiation of optimal combinations of characteristics of mass, power and speed for high-speed vessels made of composites using database analysis methods]. Transportnoye stroitelstvo, vol. 3 pp. 53-59.*
6. Larkin Y.M., Onyschenko A.F. (2015) *Osobennosti proektirovaniia balkeroiv [Design features of bulk carriers]. Herald of ONMU, vol. 3, pp. 219-228.*
7. Pinsky A.N. (1977) *Ispolzovanie statisticheskikh metodov v algoritmakh avtomatizirovannoi sistemi proektirovaniia [Using Statistical Methods in Algorithms of Computer-Aided Design System]. Voprosi sudostroeniya, vol. 13, pp. 131-140.*
8. Zhukovskaya V.M., Muchnik I.B., (1976) *Faktorniy analiz v socialno-ekonomicheskikh issledovaniyakh [Factor analysis in socio-economic research]. Moscow: Statistika. (in Russian).*



9. *Kim Dj.-O., Muller Ch. U., Klekka U.R., Oldendorfer M.S., Bleshfield R.K. (1989) Faktorniy, discriminantniy i klasterniy analiz [Factor, discriminant and cluster analysis]. Moscow: Finansy i Statistika. (in Russian).*
10. *Louly D., Makswell A. Faktorniy analiz kak statisticheskiy metod [Factor analysis as a statistical method]. Moscow: Mir. (in Russian).*
11. <https://mycompassair.com/part-3-vessels>

*Стаття надійшла до редакції 08.02.2021*

**Посилання на статтю: Демідюк О.В., Косой М.Б., Засць А.Ю.** Визначення основних характеристик балкерів з використанням факторного аналізу // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2021. № 3(66). С. 5-21. DOI 10.47049/2226-1893-2021-3-5-21.

*Article received 08.02.2021*

**Reference a JournalArtic: Demidiuk O., Kosoy M., Zaiets A.** Determination of the main characteristics of bulk carriers using factor analysis // Herald of the Odessa national maritime university. 2021, № 3. 5-21. DOI 10.47049/ 2226-1893-2021-3-5-21.