
monitoring the parameters of a high-accuracy navigation field], *Morskaja radyoelektronika*, No. 2(52), pp. 24-27.

7. Gherasymov, S.V., Klymenko, A.M. and Pinchuk, T.A. (2010). Tekhniko-ekonomichne obgruntuvannja rozrobky (modernizaciji, zakupivli) skladnykh tekhnichnykh kompleksiv [Feasibility study on the development (modernization, procurement) of multiple technical complexes], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No.1(23), pp. 111-115.
8. Demydov, B.O., Borysenko, M.V. and Gherasymov S.V. (2014). Rozrobka vijsjkovo-ekonomichnogho pokaznyka efektyvnosti ekspluataciji perspektyvnoji peresuvnoji laboratoriji vymirjuvaljnoji tekhniki [Development of the military-economic indicator of the efficiency of the operation of a promising mobile laboratory of measuring technology], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 3(40), pp. 11-16.

Рецензент: д.т.н., професор Павліков В.В.,
Національний авіаційний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ"

УДК 629.78

Данік О.В., Дакі О.А., Коломієць О.М., Горбань А.В.

ВЕРИФІКАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕКСПЕРТНОГО ВИЗНАЧЕННЯ УСТУПКИ МІЖ ВАРТІСТЮ ТА ЕФЕКТИВНІСТЮ СИСТЕМИ НАВІГАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ РУХОМ

Аналіз сучасних систем навігації та управління судном показує, що концепція побудови цих систем заснована на використанні після модернізації наявного в експлуатації обладнання спільно з сучасними системами. Тому, актуальною є задача багатокритеріальної оптимізації структури систем навігації та управління судном за відомими характеристиками існуючих підсистем.

Результати багатоцільової оптимізації порівняно з результатами одноцільової краці. Основні відмінності полягають у визначенні області компромісів; визначенні принципу оптимальності або схеми компромісу; нормалізації критеріїв або приведенні їх до єдиного масштабу виміру.

Вирішення багатьох задач теорії проектування формалізується алгоритмом оптимізації в умовах обмежень заданими технічними характеристиками і низки невизначеностей. До невизначеностей належать насамперед багатокритеріальність – наявність багатьох показників ефективності, різномірних за фізичним змістом і за ступенем важливості. У таких ситуаціях прийнято казати про невизначеність цілей.

У статті наведено особливості верифікації технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю запропонованої системи навігації й управління рухом.

Ключові слова: синтез, багатокритеріальність, невизначеність цілей, система, навігація та управління судном

Постановка задачі у загальному вигляді. Аналіз сучасних систем навігації та управління судном (СНУР), а також ринку комплектуючих підсистем показує, що, зазвичай, концепція побудови цих систем ґрунтується на використанні після модернізації наявного в експлуатації обладнання спільно з сучасними системами. Тому, актуальною є задача багатокритеріальної оптимізації структури СНУР за відомими характеристиками існуючих підсистем. Наприклад, з N можливих систем з m характеристиками необхідно визначити склад СНУР, що задовольняє заданим критеріям, з урахуванням вдосконалення систем до моменту впровадження в СНУР.

Аналіз досліджень і публікацій. З проблеми застосування методів багатокритеріальної (векторної) оптимізації наразі є множина публікацій [1-3]. Розвиток і поширення масштабів використання методів векторної оптимізації обумовлено вимогою практичної реалізації системного підходу до вирішення завдань побудови складних транспортних систем, а також необхідністю значного підвищення в результаті економічної ефективності перевезень [4-7].

Результати багатоцільової оптимізації порівняно з результатами одноцільової є кращими. Відмінність проявляється в методології отримання оптимального розв'язання задачі. Основні відмінності полягають у: визначенні зони компромісів; визначенні принципу оптимальності або схеми компромісу; нормалізації критеріїв або приведенні їх до єдиного масштабу виміру; визначенні схеми пріоритету критеріїв або обліку ступеня важливості та інші [7-10].

Формулювання цілей (мети) статті. Таким чином, метою статті є наведення особливостей верифікації технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю запропонованої системи навігації та управління рухом.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо особливості реалізації запропонованої технології. Припустимо, що є лише один експерт. Оскільки значення матриці Ξ задаються суб'єктивно, то існує значна ймовірність того, що вони будуть погано узгодженими. Тому експерт задає лише один рядок матриці (у нашому випадку – перший), а елементи інших рядків обчислюються за формулою:

$$a_{ij} = \frac{a_{1j}}{a_{1i}}, i, j, k = \overline{1,5}. \quad (1)$$

Нехай матриця попарних порівнянь факторів така

$$\Xi = \begin{matrix} & X_k & Z_k & P_0^k & P_1^k & P_2^k \\ X_k & 1 & 1/2 & 1/3 & 1/9 & 1/8 \\ Z_k & 2 & 1 & 2/3 & 2/9 & 1/4 \\ P_0^k & 3 & 3/2 & 1 & 1/3 & 3/8 \\ P_1^k & 9 & 9/2 & 3 & 1 & 9/8 \\ P_2^k & 8 & 4 & 8/3 & 8/9 & 1 \end{matrix}$$

У матриці Ξ інтерпретація факторів є такою:

X_k – фактори, що визначають архітектурні особливості СНУР;

Z_k – фактори, що визначають інфраструктуру СНУР;

P_0^k – ймовірність виникнення позаштатної ситуації у СНУР на k -му етапі;

P_1^k – ймовірність невиконання завдання в разі позаштатній ситуації на k -му етапі;

P_2^k – ймовірність травмування внаслідок позаштатної ситуації на k -му етапі.

Розв'язуючи задачу (1), одержимо вектор пріоритетів – (0,04; 0,08; 0,13; 0,39; 0,35). У випадку, коли висновки про важливість факторів робить група експертів, формуємо множину таблиць:

$\Xi_1 =$						$\Xi_2 =$					
	X_k	Z_k	P_0^k	P_1^k	P_2^k		X_k	Z_k	P_0^k	P_1^k	P_2^k
X_k	1	1/3	1/4	1/8	1/8	X_k	1	1/4	1/4	1/8	1/9
Z_k	3	1	3/4	3/8	3/8	Z_k	4	1	1	1/2	4/9
P_0^k	4	4/3	1	1/2	1/2	P_0^k	4	1	1	1/2	4/9
P_1^k	8	8/3	2	1	1	P_1^k	8	2	2	1	8/9
P_2^k	8	8/3	2	1	1	P_2^k	9	9/4	9/4	9/8	1

$\Xi_3 =$						$\Xi_4 =$					
	X_k	Z_k	P_0^k	P_1^k	P_2^k		X_k	Z_k	P_0^k	P_1^k	P_2^k
X_k	1	1	1/5	1/9	1/9	X_k	1	1/2	1/3	1/7	1/9
Z_k	1	1	1/5	1/9	1/9	Z_k	2	1	2/3	2/7	2/9
P_0^k	5	5	1	5/9	5/9	P_0^k	3	3/2	1	3/7	1/3
P_1^k	9	9	9/5	1	1	P_1^k	7	7/2	7/3	1	7/9
P_2^k	9	9	9/5	1	1	P_2^k	9	9/2	3	9/7	1

Після розрахунків одержимо:

$$V_1 = (0,04; 0,13; 0,17; 0,33; 0,33),$$

$$V_2 = (0,04; 0,02; 0,18; 0,36; 0,40),$$

$$V_3 = (0,04; 0,04; 0,20; 0,36; 0,36),$$

$$V_4 = (0,05; 0,09; 0,14; 0,32; 0,41).$$

Таким чином, експертні висновки можна записати як нечіткі множини:

$$\tilde{E}_1 = \left\{ \frac{0,04}{X_k}; \frac{0,13}{Z_k}; \frac{0,17}{P_0^k}; \frac{0,33}{P_1^k}; \frac{0,33}{P_2^k} \right\};$$

$$\tilde{E}_2 = \left\{ \frac{0,04}{X_k}; \frac{0,02}{Z_k}; \frac{0,18}{P_0^k}; \frac{0,36}{P_1^k}; \frac{0,40}{P_2^k} \right\};$$

$$\tilde{E}_3 = \left\{ \frac{0,04}{X_k}; \frac{0,04}{Z_k}; \frac{0,20}{P_0^k}; \frac{0,36}{P_1^k}; \frac{0,36}{P_2^k} \right\};$$

$$\tilde{E}_4 = \left\{ \frac{0,05}{X_k}; \frac{0,09}{Z_k}; \frac{0,14}{P_0^k}; \frac{0,32}{P_1^k}; \frac{0,41}{P_2^k} \right\};$$

Результатом є нечітка множина

$$\tilde{E} = \left\{ \frac{0,04}{X_k}; \frac{0,02}{Z_k}; \frac{0,14}{P_0^k}; \frac{0,32}{P_1^k}; \frac{0,33}{P_2^k} \right\}.$$

Остаточний результат після формування і є значеннями уступки

$$V = (0,05;0,02;0,16;0,38;0,39).$$

Якщо припустити, що експерти мають компетентності, вказані у векторі

$$\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4) = (0,2; 0,3; 0,4; 0,1)$$

то нечіткі множини будуть такими:

$$E_1 = \left\{ \frac{0,04^{0,2}}{X_k}; \frac{0,13^{0,2}}{Z_k}; \frac{0,17^{0,2}}{P_0^k}; \frac{0,33^{0,2}}{P_1^k}; \frac{0,33^{0,2}}{P_2^k} \right\} = \left\{ \frac{0,53}{X_k}; \frac{0,66}{Z_k}; \frac{0,7}{P_0^k}; \frac{0,8}{P_1^k}; \frac{0,8}{P_2^k} \right\};$$

$$E_2 = \left\{ \frac{0,04^{0,3}}{X_k}; \frac{0,02^{0,3}}{Z_k}; \frac{0,18^{0,3}}{P_0^k}; \frac{0,36^{0,3}}{P_1^k}; \frac{0,4^{0,3}}{P_2^k} \right\} = \left\{ \frac{0,38}{X_k}; \frac{0,316}{Z_k}; \frac{0,6}{P_0^k}; \frac{0,74}{P_1^k}; \frac{0,76}{P_2^k} \right\};$$

$$E_3 = \left\{ \frac{0,04^{0,4}}{X_k}; \frac{0,04^{0,4}}{Z_k}; \frac{0,2^{0,4}}{P_0^k}; \frac{0,36^{0,4}}{P_1^k}; \frac{0,36^{0,4}}{P_2^k} \right\} = \left\{ \frac{0,28}{X_k}; \frac{0,28}{Z_k}; \frac{0,53}{P_0^k}; \frac{0,67}{P_1^k}; \frac{0,67}{P_2^k} \right\};$$

$$E_4 = \left\{ \frac{0,05^{0,1}}{X_k}; \frac{0,09^{0,1}}{Z_k}; \frac{0,14^{0,1}}{P_0^k}; \frac{0,32}{P_1^k}; \frac{0,43}{P_2^k} \right\} = \left\{ \frac{0,74}{X_k}; \frac{0,79}{Z_k}; \frac{0,82}{P_0^k}; \frac{0,89}{P_1^k}; \frac{0,91}{P_2^k} \right\}.$$

У результаті перетину множин $\tilde{E}_i, i=\overline{1,4}$ одержимо

$$\tilde{E} = \left\{ \frac{0,28}{X_k}; \frac{0,28}{Z_k}; \frac{0,53}{P_0^k}; \frac{0,67}{P_1^k}; \frac{0,67}{P_2^k} \right\},$$

або після нормування

$$E = \left\{ \frac{0,12}{X_k}; \frac{0,12}{Z_k}; \frac{0,22}{P_0^k}; \frac{0,28}{P_1^k}; \frac{0,28}{P_2^k} \right\}.$$

Таким чином, одержано вектор уступок

$$V = \{0,12;0,12;0,22;0,28;0,28\}.$$

Отже, результати експериментів вказують на значну дисперсію пріоритетів, визначених одним експертом, групою рівнокомпетентних експертів та експертів із різним рівнем компетентності. Зокрема, найбільш поляризованими є висновки одного експерта та групи експертів з однаковою компетентністю. Їх аналіз свідчить про розбіжність суджень про рівень впливу внутрішніх факторів та зовнішніх характеристик на обрання варіанту структури системи навігації та управління рухом.

Оцінка достовірності наукових результатів. Оцінимо достовірність отриманих наукових результатом через якість запропонованого в роботі методу оптимізації структури СНУР за критерієм «ефективність-вартість», так як саме він інтегрує дані результати.

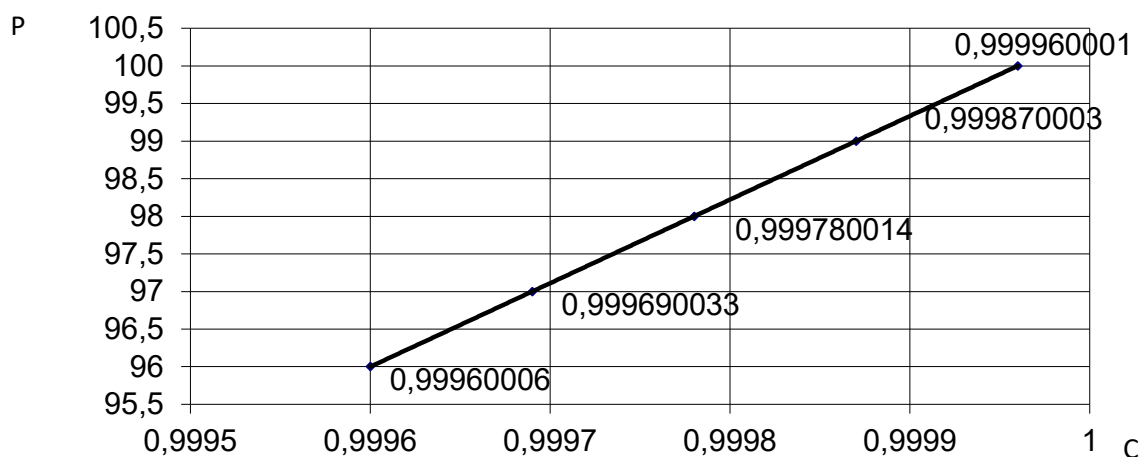
Надамо попередні розрахунки стосовно доказу актуальності теми дисертаційного дослідження. Досліджуємо ймовірність випадкового знаходження компромісного варіанта побудови СНУР, техніко-економічні характеристики якої з урахуванням можливих варіантів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Техніко-економічні характеристики

Варіанти	НК							
	СРНС		РНС		РЛС		АНО	
	PC1	CC1, %	PC2	CC2, %	PC3	CC3, %	PC4	CC4, %
1	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,9999	12,5	0,9995	12
2	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,999	12	0,99995	12,5
Варіанти	СУ							
	МП		ГП		ЕП		ОП	
	PP1	CP1, %	PP2	CP2, %	PP3	CP3, %	PP4	CP4, %
1	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,9999	12,5	0,99995	12,5
2	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,999	12	0,9995	12,5

На рисунку 1 представлені результати моделювання, які відповідають інформації в таблиці 1.

Рис. 1. Залежність ефективності СНУР від вартості $P=P(C)$

Для проведеного експерименту отримана наступна апроксимуюча залежність

$$P = -279C_n^4 + 1486,2C_n^3 - 3339,8C_n^2 + 4447,5C_n - 2214,5$$

Нелінійність функції підтверджується при моделюванні у відповідності із даними у Табл. 2,3.

Отримано вирази, відповідне функції (4.1) при даних з таблиці 2 і 3

$$P = -7,5C_n^4 - 0,0249C_n^3 + 3,4961C_n^2 - 218,85C_n + 5146,8$$

$$P = 0,0026C_n^4 - 1,0044C_n^3 + 145,41C_n^2 - 9357,6C_n + 225862$$

Результати моделювання представлені на рис.2.

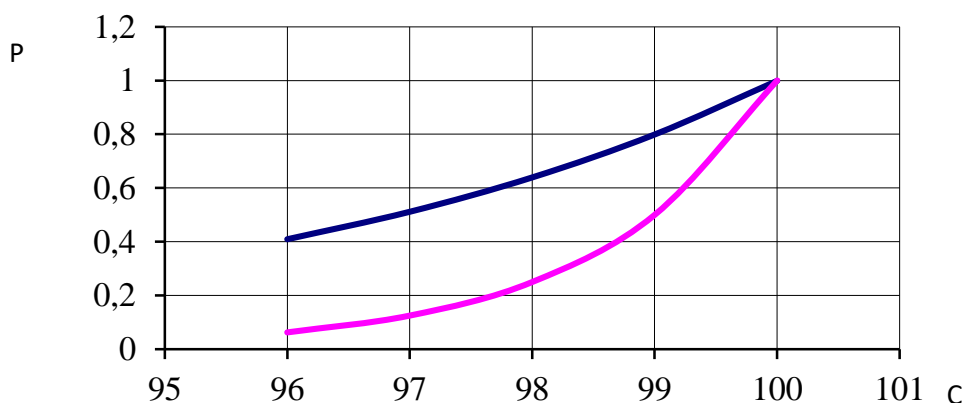
Техніко-економічні характеристики

Варіанти	Навігаційний комплекс							
	СРНС		РНС		РЛС		АНО	
	РС1	СС1, %	РС2	СС2, %	РС3	СС3, %	РС4	СС4, %
1	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,9999	12,5	0,8	12
2	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,8	12	0,99995	12,5
Варіанти	СУ							
	МП		ГП		ЕП		ОП	
	РР1	СР1, %	РР2	СР2, %	РР3	СР3, %	РР4	СР4, %
1	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,9999	12,5	0,99995	12,5
2	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,8	12	0,8	12

Таблиця 3

Техніко-економічні характеристики

Варіанти	НК							
	СРНС		РНС		РЛС		АНО	
	РС1	СС1, %	РС2	СС2, %	РС3	СС3, %	РС4	СС4, %
1	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,9999	12,5	0,5	12
2	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,999	12	0,99995	12,5
Варіанти	СУ							
	МП		ГП		ЕП		ОП	
	РР1	СР1, %	РР2	СР2, %	РР3	СР3, %	РР4	СР4, %
1	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,9999	12,5	0,99995	12,5
2	0,99995	12,5	0,99995	12,5	0,5	12	0,5	12,5

Рис. 2. Залежність ефективності СНУР від вартості при різних варіантах комплексів $P=P(C)$

Таким чином, за досить широкого діапазону зміни умовних імовірностей чітко простежується нелінійність функції $P=P(C)$. Проаналізуємо за результатами моделювання ймовірність випадкового знаходження компромісного варіанту побудови СНУР.

Позначимо: A_1, A_2, \dots, A_n – події, які полягають в тому, що варіант структури СНУР обраний; де: n – кількість можливих варіантів СНУР; l_i – кількість можливих варіантів i -того комплексу СНУР; $P(A_1), P(A_2), \dots, P(A_n)$ – ймовірності подій A_1, A_2, \dots, A_n
 Події A_1, A_2, \dots, A_n складають повну групу несумісних подій, тому

$$\sum_{i=1}^n P(A_i).$$

В результаті перерозподілу можливо два результати:

- компромісний варіант знайдений ($P \geq 0,9999$);
- компромісний варіант не знайдений ($P < 0,9999$).

Позначимо:

P_k – ймовірність того, що в разі випадкового вибору варіанта структури СНУР компромісний варіант знайдено $P \geq 0,9999$;

q_k – ймовірність того, що в разі випадкового вибору варіанта структури СНУР компромісний варіант не знайдено $P < 0,9999$.

Очевидно, що

$$P_k + q_k = 1.$$

З визначення ймовірності випадкової події слід

$$P_k = \frac{k_k}{n} \quad q_k = \frac{k_q}{n}$$

$$k_k + k_q = n$$

де: k_k – число варіантів СНУР при умові $P \geq 0,9999$; k_q – число варіантів побудови СНУР при $P < 0,9999$.

Для експерименту за умови $l_1=l_2=l_5=l_6=1$; $l_3=l_4=l_7=l_8=2$; $n=16$ результати зведені в таблицю 4. Техніко-економічні характеристики комплексів СНУР прийняті згідно з даними таблиці 4

Таблиця 4

Результати моделювання (n=16)

Діапазон P	0,99996÷ ÷0,9999	0,9999÷ ÷0,99987	0,99987÷ ÷0,99978	0,99978÷ ÷0,99969	0,99969÷ ÷0,9996
Варіанти, %	6,25	25	37,5	25	6,25

Таким чином, отримано $P_k = 0,0625$.

Залежність ймовірності випадкового рішення оптимізаційної задачі від кількості можливих варіантів вирішення показана на рис.3.

Отже, дослідження можливих варіантів побудови СНУР дає змогу зробити висновок про вкрай низьку ймовірність випадкового знаходження компромісного варіанта, який задовольняє обраним вимогам.

За

$l_1=l_2=l_5=l_6=1$; $l_3=l_4=l_7=l_8=2$; $n=16$; $P_k = 0,0625$;

$l_1=l_2=l_5=l_6=2$; $l_3=l_4=l_7=l_8=2$; $n=256$; $P_k = 0,0039$;

$l_1=l_2=l_5=l_6=2$; $l_3=l_4=l_7=l_8=3$; $n=1296$; $P_k = 0,0007716$.

Що доводить необхідність розроблення моделей і методів аналізу і синтезу СНУР за критерієм «ефективність–вартість».

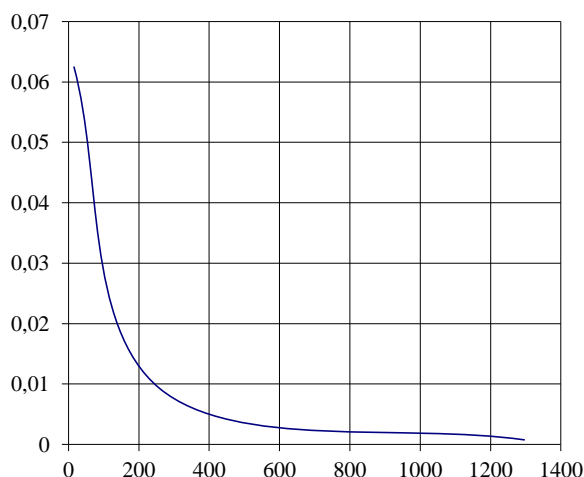


Рис. 3. Залежність ймовірності випадкового знаходження компромісного варіанту побудови СНУР від кількості варіантів

Досліджуємо ймовірність виконання завдання безаварійного судноводіння. Розглянемо ефективність будь-якого комплексу, описану виразом (1).

Співмножники кожного виразу (1) є цільовими функціями критерію ефективності комплексу й дають можливість за його основними експлуатаційними характеристиками надійності, повноти контролю, точності вирішення задач визначити ймовірність вирішення спільного завдання комплексом за різних умов зовнішнього середовища і за певного рівня впливу внутрішніх випадкових факторів. Співмножники критерію ефективності P є функцією інтенсивності відмов систем комплексу й тривалості експлуатації. Їх числове значення визначають за статистичними даними про відмови систем у процесі їх експлуатації або випробувань.

Співмножники критерію ефективності Φ залежать від величин похибки визначення вектора виміру. Зважаючи на складність функції ефективності її не можна привести до виду, зручного для дослідження на екстремум. Тому з метою спрощення пошуку екстремуму вираз слід аналізувати спочатку як функцію одного змінного, а всі інші параметри зафіксувати і надати їм можливе на практиці значення. Тоді чисельне дослідження цієї функції зведеться до простої процедури вибору максимального і мінімального значень з масиву.

Розглянемо питання формування порядку досліджуваних станів [11, 12].

У разі практичного застосування формули (1) постає питання, визначення кількості систем, які одночасно відмовили. Важливість правильного вирішення цього питання стає очевидною, якщо врахувати кількість можливих станів A комплексу залежно від загального числа систем n , порядку досліджуваних станів N , яке визначається формулою

$$A = \sum_{i=1}^N C_n^i. \quad (2)$$

де C_n^i – число сполучень з n по i ; $i = (0, 1, \dots, N)$ – кількість систем, що одночасно відмовили (превищує 20 000 для $n = 20$ и $N = 5$).

Результати розрахунку A за формулою (2) наведено в таблиці 5 та на рисунку 4.

Для вирішення питання про доцільність для розрахунку ефективності порядку досліджуваних станів N слід визначити, яку втрату точності в розрахунку ефективності ΔE дає обмеження порядку досліджуваних станів до деякого фіксованого значення N^* .

Для наочності візьмемо, що наробіток на відмову всіх систем комплексу $T_0 = 1000$ год; повнота контролю всіх систем $q = 1$; час безперервної роботи 10 год; $\Phi_i = 1$.

Кількість можливих станів

n	N						A
	0	1	2	3	4	5	
1	1	1	-	-	-	-	2
2	1	2	1	-	-	-	4
3	1	3	3	1	-	-	8
4	1	4	6	4	1	-	16
5	1	5	10	10	5	1	32
6	1	6	15	20	15	6	63
7	1	7	21	35	35	21	120
8	1	8	28	56	70	56	219
9	1	9	36	84	126	126	382
10	1	10	45	120	210	252	638
11	1	11	55	165	330	462	1 024
12	1	12	66	220	495	792	1 586
13	1	13	78	282	715	1 287	2376
14	1	14	91	364	1001	2002	3473
15	1	15	105	455	1365	3003	4 944
16	1	16	120	560	1820	4368	6885
17	1	17	136	680	2550	6 188	9572
18	1	18	153	816	3060	8568	12616
19	1	19	171	969	3876	11 628	16 664
20	1	20	190	1140	4845	15504	21 700

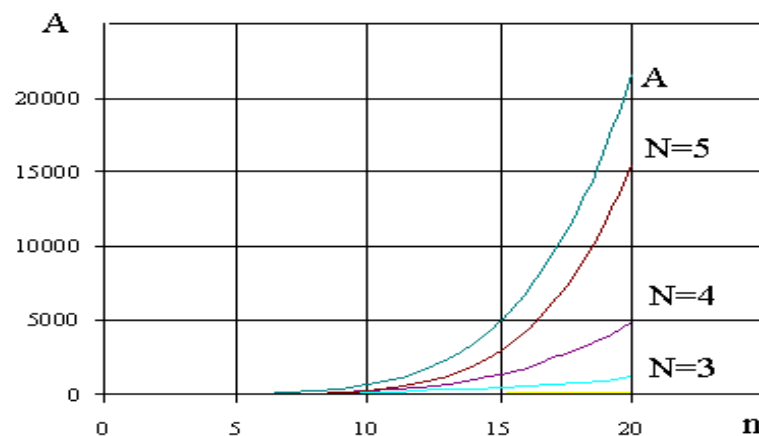


Рис. 4. Кількість можливих станів A комплексу в залежності від загальної кількості систем n, порядку досліджуваних станів N

Аналогічні розрахунки були проведені для комплексів, в які входять системи з повнотою контролю $q = 0,8$. Порівнюючи дані, можна відзначити, що при рівній втраті точності ΔE число N для $q = 0,8$ не перевищує числа N для $q = 1$.

З таблиць можна дійти таких висновків (див. рисунки 4–7): 1) кількість можливих станів комплексу визначають порядком досліджуваних станів і кількістю систем у комплексі; 2) похибка визначення технічної ефективності залежить від порядку досліджуваних станів, при цьому для забезпечення значення $\Delta E < 105$ достатньо проаналізувати порядок станів $N^* = 4$; 3) повнота контролю істотно не впливає на вибір порядку досліджуваних станів [10–12].

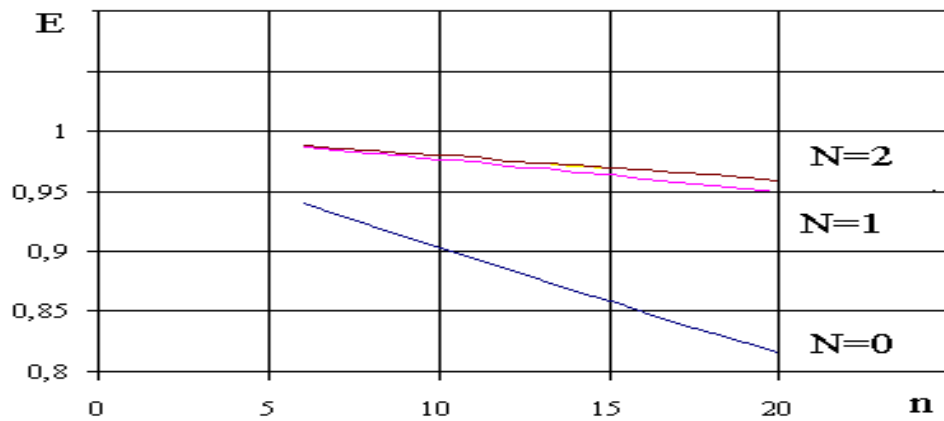


Рис. 5. Ефективність комплексу Е в залежності від загальної кількості систем n , порядку досліджуваних станів N ($q = 1$)

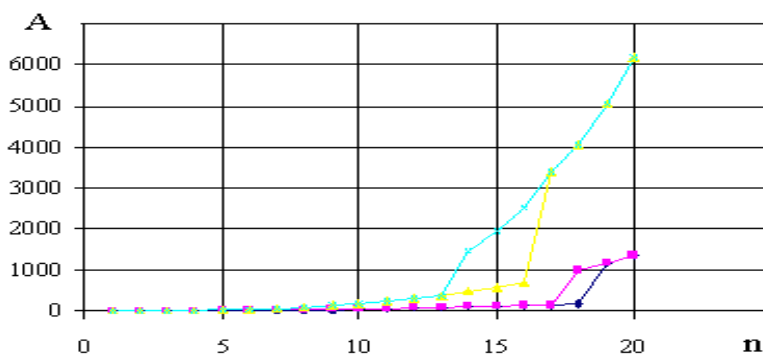


Рис. 6. Ефективність комплексу Е в залежності від загального числа систем n , порядку досліджуваних станів N ($q = 0,8$)

Якщо до складу системи входить один з можливих варіантів її комплексів, згідно з даними таблиці 5, а СНУР має такий склад:
 навігаційний комплекс (НК): супутникова радіо-навігаційна система (СРНС); радіо-навігаційна система (РНС); радіо-локаційна система (РЛС); автономне навігаційне обладнання (АНО);
 система управління (СУ): механічна підсистема (МП); гідравлічна підсистема (ГП); електрична підсистема (ЕП); обчислювальна підсистема (ОП).

Таблиця 6

Дані моделювання

Комплекс	№ варіанту комплексу				Кількість варіантів
	1	2	3	4	
СРНС(НК)	1	2	3	4	4
РНС(НК)	1	2	-	-	2
РЛС(НК)	1	2	-	-	2
АНО(НК)	1	-	-	-	1
МП(СУ)	1	2	3	-	3
ГП(СУ)	1	2	-	-	2
ЕП(СУ)	1	2	-	-	2
ОП(СУ)	1	2	3	4	4

Таким чином, можливо 768 варіантів структури СНУР. Для кожного варіанта комплексу відомо:

- кількість систем кожного комплексу;

- показники надійності всіх систем;
- глибина контролю систем;
- кількість можливих станів комплексу;
- ймовірності знаходження комплексу в кожному стані;
- точнісна ефективність кожного стану;
- ймовірність того, що комп'ютер комплексу має достатній часовий запас для вирішення поставлених завдань для кожного стану;
- вартість будь-якого варіанту комплексу СНУР;
- призначений ресурс СНУР.

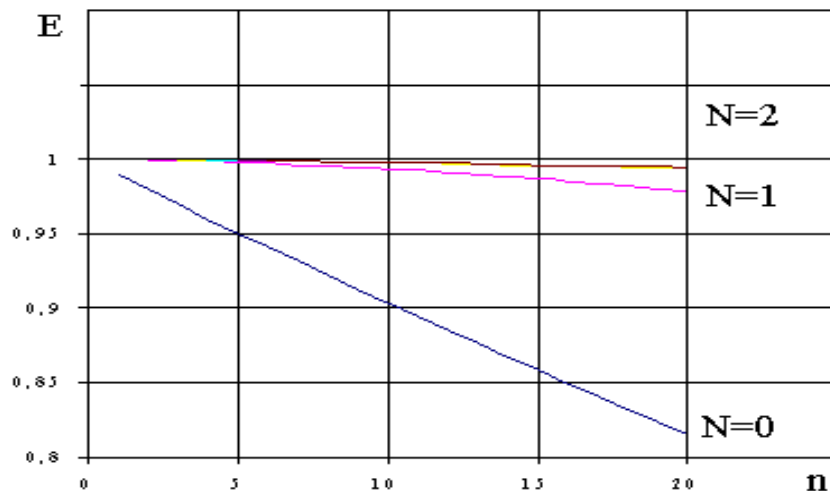


Рис. 7. Залежність A від кількості систем в комплексі з різними значеннями ΔE

В результаті математичного моделювання визначається ефективність кожного комплексу, та ймовірність виконання безаварійного судноводіння. Вартість будь-якого варіанту комплексу СНУР можливо визначити та отримати за відповідною методикою. На рис. 8 наведено результати даного моделювання, які визначили область можливих варіантів побудови структури СНУР і відповідних цим варіантам вартості СНУР.

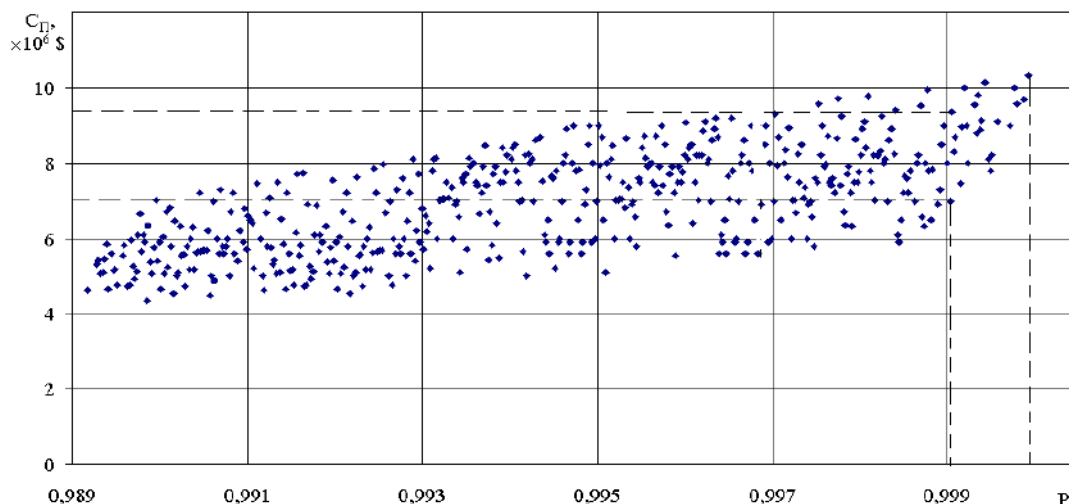


Рис. 8. Результати моделювання

Для зазначених вище даних змодельовано функціонування запропонованого в [6, 10–12] методу оптимізації структури СНУР. Комп'ютерне моделювання визначило максимальне значення показника ефективності СНУР з усіх можливих варіантів $P_{\max} = 0,99995$. Вимоги до перспективного проекту $P_{\text{зад}} = 0,999$, що дало можливість сформулювати поступку $\Delta P = 0,00095$.

За цих умов алгоритм вибрав варіант СНУР з такими параметрами: $P = 0,9993$; $C=71\ 000$ \$, що дало можливість знизити вартість системи на 15 % порівняно з варіантами, що мають однакові показники ефективності, а також підвищити ймовірність виконання безаварійного судноводіння на 10–12 % за умови постійного значення вартості варіанта системи.

Таким чином, в результаті математичного моделювання доведено високу ефективність функціонування запропонованого в роботі методу оптимізації структури СНУР за критерієм "ефективність–вартість" та відповідно достовірність отриманих наукових результатів.

Висновки. Результати експериментів вказують на значну дисперсію пріоритетів, визначених одним експертом, групою рівнокомпетентних експертів та експертів з різним рівнем компетентності. Найбільш поляризованими є висновки одного експерта та групи експертів з однаковою компетентністю. Їх аналіз свідчить про розбіжність суджень про рівень впливу внутрішніх факторів та зовнішніх характеристик на обрання варіанту структури СНУР.

Математичне моделювання засвідчило, що ймовірність того, що оптимальний варіант структури СНУР буде знайдений випадково, тобто без виконання запропонованих моделей та методів вкрай низька. Таким чином, доведено необхідність синтезу науково обґрунтованого методу оптимізації структури системи.

Обчислюючи умовну ймовірність виконання свого завдання комплексом важливо визначити принцип формування порядку досліджуваних станів. В результаті дослідження цього питання отримано, що: при рівній втраті точності ΔE число N для $q = 0,8$ не перевищує числа N для $q = 1$; кількість можливих станів комплексу визначається порядком досліджуваних станів і кількістю систем в даному комплексі; похибка визначення технічної ефективності залежить від порядку досліджуваних станів, при цьому для забезпечення значення $\Delta E < 105$ достатньо проаналізувати порядок станів $N^*=4$; повнота контролю істотно не впливає на вибір порядку досліджуваних станів.

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтвердилася математичним моделюванням методу оптимізації СНУР за критерієм «ефективність–вартість». Обрано варіант СНУР, що дає можливість знизити вартість пуску на 25,3% порівняно з іншим варіантом з тим само показником ефективності; ймовірність завдання безаварійного судноводіння поліпшена на 0,009 порівняно з іншим варіантом з тією самою вартістю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пугачев В.С. Теория случайных функций. /В.С. Пугачев// М: Физмат.изд., 1962 . – 276 с.
2. Драган Я.П. Модели сигналов в линейных системах / Я.П. Драган// К.: Наукова думка,1972. – 302 с.
3. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций / В.Д. Кудрицкий // К.:ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с.
4. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики/ А.Д. Полянин // М.: Физматлит, 2001. – 362 с.
5. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский // М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
6. Данік О.В. Відновлення суднових комплексів в умовах експлуатації/ О.В. Данік // Телекомунікаційні та інформаційні технології.– 2017. – №1(54). – С.113 – 116.
7. Балихин В.В. Технологическое обеспечение надежности/ В.В. Балихин, Д.И. Севастеев// Л.: СПб ЛТА, 2000. – 86 с.
8. Стандарт ИСО 17359-2003. Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://norm-load.ru/SNiP>.
9. ДСТУ 2864-94 Надійність техніки. Експериментальне оцінювання. Контроль надійності. Основні положення [Електронний ресурс] // Режим доступу:

<http://document.ua/nadiinist-tehniki.-eksperimentalne-ocinyuvannja.-kontrol-nad-nor8510.html>.

10. Данік О.В. Спосіб контролю рівня надійності суднових комплексів при нестабільних умовах спостережень/ О.В. Данік // Наукові записки УНДІЗ.– 2017. – №1(45). – С.104-108.
11. Коломієць О.М. Оцінювання впливу застосування інтелектуальної системи експлуатації судна на вирішення завдань безпеки / О.М. Коломієць, О.В. Данік // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2017. – № 2 (105). – С. 75 – 78.
12. Трофименко І.В. Модель прогнозування показника надійності суднових агрегатів / І.В. Трофименко, О.В. Данік, Ю.Є.Шапран // Системи озброєння та військової техніки. – 2017. – №. 3(51).– С.65–72.

Даник А.В., Даки Е.А., Коломієць О.Н., Горбань А.В.

ВЕРИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭКСПЕРТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТУПКИ МЕЖДУ СТОИМОСТЬЮ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Анализ современных систем навигации и управления судном показывает, что концепция построения этих систем основана на использовании после модернизации имеющегося в эксплуатации оборудования совместно с современными системами. Поэтому актуальной является задача многокритериальной оптимизации структуры систем навигации и управления судном по известным характеристикам существующих подсистем.

Результаты многоцелевой оптимизации по сравнению с результатами одноцелевой являются лучшими. Основные отличия заключаются в определении области компромиссов; определении принципов оптимальности или схемы компромисса; нормализации критериев или приведение их к единому масштабу измерения.

Решение многих задач теории проектирования формализуется алгоритмом оптимизации в условиях ограничений заданными техническими характеристиками и ряда неопределенностей. К числу неопределенностей относятся, прежде всего, многокритериальность – наличие многих показателей эффективности, разнородных по физическому содержанию и по степени важности. В таких ситуациях принято говорить о неопределенности целей.

В статье приведены особенности верификации технологии экспертного определения уступки между стоимостью и эффективностью предложенной системы навигации и управления движением.

Ключевые слова: синтез, многокритериальность, неопределенность целей, система, навигация и управление судном.

Danik O., Daki O., Kolomiets O. , Gorban A.

VERIFICATION OF TECHNOLOGY OF EXPERT ADJUSTMENT OF THE MEASUREMENT BETWEEN THE VALUE AND EFFICIENCY OF THE NAVIGATION AND MANAGEMENT SYSTEM OF MOVEMENT

The analysis of modern navigation and navigation systems suggests that the concept of building these systems is based on the use of modern equipment in conjunction with modern systems after the modernization of the existing equipment. Therefore, the task of multicriterion optimization of the structure of navigation systems and control of a ship by the known characteristics of existing subsystems is actual.

Multi-purpose optimization results are better than single-use results. The main differences are in determining the scope of compromises; defines the principle of optimality or the scheme of compromise; normalize the criteria or bring them to a single scale of measurement.

The decision of many problems in the theory of designing is formalized by the optimization algorithm in the conditions of constraints given by the technical characteristics and a number of uncertainties. Among the uncertainties are, above all, multicriteria - the presence of many indicators

of efficiency, heterogeneous in terms of physical content and the degree of importance. In such situations it is customary to talk about the uncertainty of purpose.

The article presents the peculiarities of verification of the technology of expert determination of the concession between the cost and effectiveness of the proposed navigation system and traffic control.

Keywords: synthesis, multicriteria, uncertainty of objectives, system, navigation and control of the ship.

REFERENCES

1. Pughachev, V.S. (1962). *Teoryja sluchajnykh funkcyj* [Theory of random functions], Fyzmat.yzd., M., 276 p.
2. Draghan, Ja.P. (1972). *Modely syghnalov v lynejnbkh systemakh* [Models of signals in linear systems], Naukova dumka, Kyiv, 302 p.
3. Kudryckyj, V.D. (2001). *Fyljtracyja, ekstrapoljacyja y raspoznavanye realizacyj sluchajnykh funkcyj* [Filtering, extrapolation, and recognition of realizations of random functions], FADA, Kyiv, 176 p.
4. Poljanyn, A.D. (2001). *Spravochnyk po lynejnum uravnenyjam matematycheskoj fyzyki* [Handbook of linear equations of mathematical physics], Fyzmatlyt, M., 362 p.
5. Ostrejkovskyj, V.A. (2003). *Teoryja nadezhnomy* [Theory of reliability], Vusshaja shkola, M., 463 p.
6. Danik, O.V. (2017). Vidnovlennja sudnovykh kompleksiv v umovakh ekspluataciji [Restoration of marine complexes under exploitation conditions], *Telekomunikacijni ta informacijni tekhnologhiji*, No.1(54), pp.113-116.
7. Balykhyn, V.V. and Sevasteev, D.Y. (2000). *Tekhnologhycheskoe obespechenye nadezhnomy* [Technological ensuring reliability], SPb LTA, Leningrad, 86 p.
8. Standart ISO 17359-2003. Kontrolj sostojanyja y dyaghnostyka mashyn. Obshee rukovodstvo [Condition monitoring and diagnostics of machines. General guide], www.norm-load.ru/SNiP.
9. DSTU 2864-94. Nadijnistyj tekhniky. Eksperymentaljne ocinjvannja. Kontrolj nadijnomy. Osnovni polozhennja [Reliability of technology. Experimental evaluation. Reliability control. Substantive condition], www.document.ua/nadiinist-tehniki.-eksperimentalne-ocinyvannja.-kontrol-nad-nor8510.html.
10. Danik, O.V. (2017). Sposib kontrolju rivnja nadijnomy sudnovykh kompleksiv pry nestabiljnykh umovakh sposterezhenj [A method for controlling the reliability of ship complexes under unstable conditions of observation], *Naukovi zapysky UNDIIZ*, No.1(45), pp.104 –108.
11. Kolomicj, O.M. and Danik, O.V. (2017). Ocinjvannja vplyvu zastosuvannja intelektualjnoji systemy ekspluataciji sudna na vyrishennja zavdanj bezpeky [Estimation of influence of application of intelligent system of operation of the vessel on solving security problems], *Standartyzacija, sertyfikacija, jakistj*, No.2(105), pp.75-78.
12. Trofymenko, I.V., Danik, O.V. and Shapran, Ju.Je. (2017). Modelj proghnozuvannja pokaznyka nadijnomy sudnovykh aghreghativ [Model of forecasting of reliability index of ship aggregates], *Systems of Arms and Military Equipment*, No.3(51), pp.65-72.

Рецензент: д.т.н., професор Богомья В.І.,
Державний університет інфраструктури та технологій