

DOI: 10.18372/2310-5461.41.13535

УДК 629.78

**Будолак С. Ю.**

Дунайський факультет морського та річкового транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій  
orcid.org/0000-0003-3271-5257  
e-mail: budolack@gmail.com

**Ткаченко В. В.**

Дунайський факультет морського та річкового транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій  
orcid.org/0000-0002-9142-0515  
e-mail: tkachenkoV@gmail.com

**Гуменніков Р. В.**

Дунайський факультет морського та річкового транспорту  
Державного університету інфраструктури та технологій  
orcid.org/0000-0002-0773-4459  
e-mail: rgumenikov@ukr.net

**Шевченко А. П.**

Державний університет інфраструктури та технологій  
orcid.org/0000-0001-8892-8951  
e-mail: shevchenkoA@gmail.com

## МЕТОД СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

### Вступ

На сьогодні гостро стоїть завдання щодо розроблення моделей та методів підвищення ефективності системи управління засобів водного транспорту на основі достовірної апріорної інформації про стан комплектуючих підсистем. Варто підкреслити те, що сучасним інноваційним напрямком є впровадження інтелектуальних систем, які поєднують комп'ютерні, телекомунікаційні системи, інформаційні технології, математичне та програмне забезпечення, яке побудовано на теорії штучного інтелекту.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду експлуатації та проектування систем навігації та управління рухом суден свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності та якості шляхом використання в моделях та методах відомих апріорно техніко-експлуатаційних характеристик комплектуючих підсистем [1; 2].

Оскільки процес визначення величини уступки між складовими вартості та ефективності сис-

тем управління є достатньо складним, одержати адекватну аналітичну модель при сучасному рівні розвитку математичних методів і інтелектуалізації процесів прийняття рішень є достатньо складно.

У статті пропонується здійснити об'єктивізацію процесів прийняття рішень з використанням аналізу суб'єктивних висновків на базі нечіткої логіки і нейро-нечітких мереж.

Відомо, що одержані результати піддаються аналізу і інтерпретації. Крім того, вони складають вихідний інформаційний матеріал для проведення сценарного аналізу визначення величини уступки між складовими вартості та ефективності системи управління.

### Постановка завдання дослідження

Дослідження, що наведені у статті стосовно шляхів розвитку систем управління засобів водного транспорту показують, що найбільш перспективним напрямом удосконалення даних систем є їх комплексування, інтеграція та створення на основі такого об'єднання «інтегральних мос-

тікових систем управління». Аналіз наукових та інженерних підходів розробки та впровадження інтегрованих мостікових систем управління дозволів виявити рід системних недоліків та зауважень [3–5].

Тому актуальним є наукове завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів аналізу і синтезу системи навігації та управління рухом суден на основі апріорних оцінок технічної ефективності комплектуючих підсистем, вирішенню цього завдання і присвячена дисертаційна робота.

### Мета статті

Відповідно до наукового завдання дослідження метою статті є розроблення методу структурного синтезу системи управління засобів водного транспорту (ЗВТ) з урахуванням величини уступки між складовими вартості та ефективності системи управління.

### Дослідження використання нечіткої бази знань при формуванні величини уступки

Необхідною умовою розробки і впровадження методів нечіткого моделювання є формування структури і супроводження бази знань, яка є основною складовою частиною системи при формуванні величини уступки між складовими вартості та ефективності системи управління (СУ) ЗВТ.

Розробку бази знань пропонується здійснювати на основі трьох моделей: будови, функціонування та розвитку [5; 6]. Модель будови є теоретико-множинною моделлю і визначає склад бази знань

$$M_{\sigma} = \langle O, A_1(a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1k}), \dots, A_n(a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nk}) \rangle,$$

де  $O$  — ідентифікатор об'єкта,  $A_i(*, *, \dots, *)$  — ідентифікатор поля бази знань,  $a_{ij}$  —  $j$ -й формат  $i$ -го поля даних,  $j = \overline{1, m}$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Модель функціонування бази знань дозволяє визначити, інформація з яких полів буде використовуватись при вирішенні певних завдань. До таких завдань відносять:

- визначення найменшої вартості СУ без переходу через граничну величину ефективності;
- розрахунок параметрів ефективності СУ, якими можна пожертвувати для зменшення вартості;
- формування переліку можливих варіантів вартості СУ у відповідності до заданої ефективності системи управління ЗВТ.

Модель функціонування є інформаційною моделлю:

$$M_{\phi} = \langle P, A, \{A_{i_1}, A_{i_2}, \dots, A_{i_k}\} \rightarrow P_k, k = \overline{1, q} \rangle, \quad (1)$$

де  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_q\}$  — непорожня множина завдань,  $A$  — множина атрибутів бази знань,  $q$  — кількість завдань.

Модель розвитку формується як певний наслідок процесу розвитку інформаційно-аналітичної системи в часі, який базується на розширенні знань про величину уступки між вартістю та ефективністю СУ, експертній інформації.

Розвиток бази знань відбувається згідно паралельно-ієрархічної схеми, де її рівні є відображенням процесу вирішення вказаних вище завдань у випадках використання додаткових експертів, зміни типу та форми функцій належності, які є відображенням їх суджень.

На етапах такої схеми здійснюється послідовне уточнення розв'язків, оскільки вони орієнтовані на вирішення одного завдання декількома методами, або на вирішення певної проблеми шляхом розв'язання послідовності уточнюючих завдань.

У моделі розвитку інтегровано можливі варіанти композиції задач і методів розв'язання, а також враховується необхідність розширення, уточнення і модифікації записів у базі знань. Модель розвитку формально подамо так

$$M_p = \langle t, P_{i_1} \rightarrow P_{i_2} \rightarrow (P_{i_1}, P_{i_2}) \rightarrow \dots \\ \rightarrow (P_{i_1}, P_{i_q}), A_i^t \uparrow, A_i^t \downarrow, A_i^t \Downarrow \rangle,$$

де  $t$  — час,  $P_{i_q}$  — задачі,  $A_i^t \uparrow, A_i^t \downarrow$  — збільшення або зменшення кількості атрибутів задачі,  $A_i^t \Downarrow$  — їх змістовна модифікація.

Таким чином, розробка трійки моделей

$$\langle M_{\sigma}, M_{\phi}, M_p \rangle$$

є підґрунтям програмованого створення та супроводу бази знань для моделювання процесів визначення величини уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом судна, що дозволить реалізовувати конструктивні побудови, які будуть інваріантними до майбутніх ситуацій.

Особливостями такої бази знань є:

- відкритість для внесення інформації про нові елементи та їх вартість, що входять до системи навігації та управління рухом судна;
- гнучкість, яка передбачає додавання нових елементів і їх вилучення у випадку встановлення протиріч;
- унікальність, яка викликана зовнішніми факторами, які впливають на вартість елементів, що входять в СУ;
- системність, яка необхідна для дотримання єдиних вимог та форматів представлення вхідної, проміжної та вихідної інформації.

Значна частина факторів має суб'єктивний характер походження, що визначається:

- неповнотою даних, пов'язаною із неможливістю здійснити вимірювання в критичних умовах, а також їх втратою;
- невизначеністю, яка виникає завдяки інтервальному заданню множини значень параметрів вартості та експертним припущенням про можливі області їх зміни;
- суперечливістю висновків експертів про процес розрахунку уступки.

Інформаційним базисом моделювання є база даних, яка надалі буде перетворюватись в базу знань. При проектуванні бази даних необхідно враховувати такі аспекти:

- інформація повинна бути представлена таким чином, щоб процес розрахунків міг бути

повністю автоматизованим і вимагати мінімальної експертної присутності;

- існувала можливість оперативного внесення даних, які є початковими для прогнозування;
- передбачити облік ступеню зношеності елементів, що входять до складу СУ;
- розробити структуру баз даних таким чином, щоб в них можна було представляти нечітку інформацію.

При формуванні таблиць бази даних (див. рисунок) необхідно звернути увагу на суб'єктивізм експертів і способи верифікації отриманої нечіткої інформації.

Одним з них є визначення компетентності експертів на базі аксіоми незміщеності [5] і врахування їх висновків з відповідними ваговими коефіцієнтами.

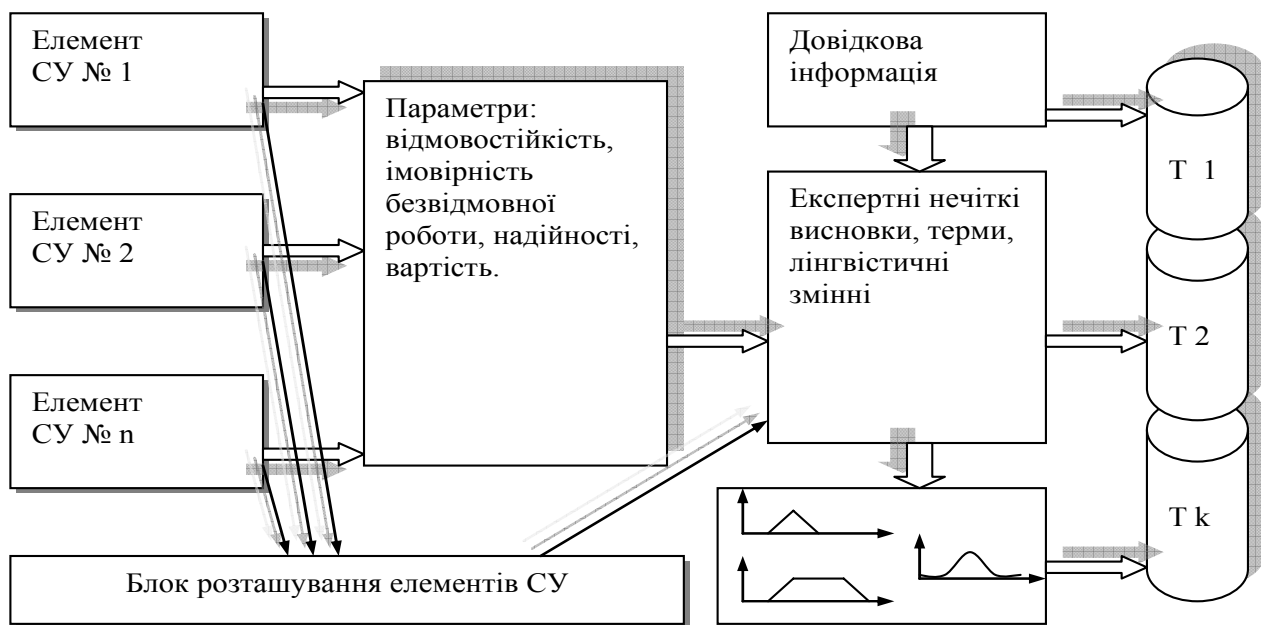


Схема формування таблиць бази знань

Нечіткі бази знань, як відомо, відображають таку структуру експертних висновків: «Якщо А, то В». При цьому і А, і В насправді є функціями належності, що визначають впевненість експерта у тому, що вхідний фактор та результуюча характеристика набувають значень із певних обмежених множин. База знань може містити значну кількість правил, що визначається деталізацією та точністю експертних припущень. Функції належності в такій базі представлені своїми параметрами, кількість яких визначається їх формою.

Традиційно використовують трикутні, трапецієподібні та дзвоноподібні функції належності.

Розрахунки в останньому випадку спрощуються, але їх одержати та верифікувати складніше.

Особливістю представлення значень факторів у вигляді трикутних або гаусівських функцій належності є необхідність врахування лише двох параметрів.

Їх застосування буде обґрунтованим, якщо експерти в одному із значень кожного фактора будуть мати максимальну впевненість.

Якщо ж виявиться, що параметр може з максимальною впевненістю експерта набувати значень в деякому інтервалі, тоді раціонально використовувати трапецієподібну функцію належності, яка визначається п'ятьма параметрами.

Таким чином, розв'язання задачі визначення виду функції належності є першим необхідним кроком препроцесінгу даних та формування нечіткої бази знань.

На наступному етапі підготовки вихідної інформації визначаємо коефіцієнти компетентності експертів, якщо вони не задані в апіорі, і заносимо їх до бази знань. У подальших розрахунках компетентність експертів відіграватиме роль вагових коефіцієнтів їх висновків.

Третій етап попередньої обробки даних полягає у визначенні протиріч у висновках експертів та розробці процедури їх нівелювання, а також у виявленні певною мірою однакових суджень та їх вилученні без втрати інформативності.

Формуванням логічних правил завершується формування нечіткої бази знань. При визначенні величини уступки між складовими вартості та ефективності системи управління, вважаються відомими гранична межа ефективності СУ та вартість елементів, що входять до складу СУ.

Зауважимо, що вартість елементів, що входять до складу СУ є змінною величиною при формуванні правил виведення. Динамічна зміна вартості елементів СУ та експертне визначення величини уступки між ефективністю та вартістю дозволяють зменшити невизначеність, зумовлену неповнотою даних та мінімізувати протиріччя експертної інформації.

Застосування нечітких баз знань дає переваги для ідентифікації величини уступки між вартістю та ефективністю СУ. Необхідною умовою подальшого ефективного використання такої бази знань є попередня обробка інформації, зокрема мінімізація невизначеності та неповноти даних, збільшення їх інформативності та зменшення протиріч в експертних оцінках за рахунок згладжування суб'єктивних суджень та виявлення некомпетентних висновків [6–8].

### Технологія експертного визначення першочергових факторів, що впливають на величину уступки між вартістю та ефективністю системи управління

Запропонувавши технологію експертного визначення пріоритетів факторів, які впливають на величину уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом судна, ми зробимо процес визначення величини уступки більш об'єктивним.

Розглянемо метод визначення першочерговості факторів на основі аналізу ієрархій та суб'єктивних висновків [7; 8].

Модель визначення таких факторів можна записати у такому вигляді:

$$R^k = h(X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k), \quad (2)$$

де  $R^k$  — рівень уступки між вартістю та ефективністю СУ на  $k$ -му кроці її проведення;  $X_k, Z_k$  — внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на вартість елементів СУ на  $k$ -му кроці визначення величини уступки;  $P_1^k, P_2^k, P_3^k$  — імовірності безвідмовної роботи системи навігації та управління рухом на  $k$ -му кроці визначення величини уступки. Визначимо пріоритети вищезазначених аргументів моделі (2) за методом аналізу ієрархій Т. Сааті. На першому етапі шляхом експертного опитування формуємо матрицю  $\Theta = \{\theta_{ij}, i, j = \overline{1,5}\}$ ,

$$\Theta = \begin{matrix} & X_k & Z_k & P_0^k & P_1^k & P_2^k \\ X_k & \theta_{11} & \theta_{12} & \theta_{13} & \theta_{14} & \theta_{15} \\ Z_k & \theta_{21} & \theta_{22} & \theta_{23} & \theta_{24} & \theta_{25} \\ P_0^k & \theta_{31} & \theta_{32} & \theta_{33} & \theta_{34} & \theta_{35} \\ P_1^k & \theta_{41} & \theta_{42} & \theta_{43} & \theta_{44} & \theta_{45} \\ P_2^k & \theta_{51} & \theta_{52} & \theta_{53} & \theta_{54} & \theta_{55} \end{matrix}$$

У матриці  $\Theta$  значення  $\theta_{ij} \in \{1, 2, \dots, 9\}$ , де

1 — означає, що  $i$ -й та  $j$ -й фактори однаково важливі;

3 —  $i$ -й фактор незначно важливіший ніж  $j$ -й фактор;

5 —  $i$ -й фактор значно важливіший ніж  $j$ -й фактор;

7 —  $i$ -й фактор явно важливіший ніж  $j$ -фактор;

9 —  $i$ -й фактор абсолютно важливіший ніж  $j$ -й фактор.

Матриця  $\Theta$  є обернено симетричною.

Вагові коефіцієнти факторів  $X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k$  визначаються як координати власного вектора матриці  $\Theta$ , який відповідає максимальному власному числу і знаходиться із системи рівнянь

$$\begin{cases} \Theta \cdot V = \lambda_{\max} \cdot V \\ v_1 + v_2 + \dots + v_5 = 1 \end{cases} \quad (3)$$

де  $V$  — відповідний власний вектор;  $\lambda_{\max}$  — максимальне власне число матриці  $\Theta$ .

Розв'язок системи (3) дозволить знайти пріоритети факторів, що впливають на формування величини уступки, для одного експерта. Безумовно, такий розв'язок є важливим інформативним фактором, якщо експерт і є особою, що приймає рішення, оскільки вона, маючи або розрахувавши кількісні дані, що визначають елементи вибору  $X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k$  зможе використовувати кількісні оцінки переваг у процесі прийняття рішень.

Розглядаючи проблему з вищого ієрархічного рівня, зауважимо, що розв'язок (3) є достатньо суб'єктивним. Його не можна використати при визначенні загальних тенденцій для формування

величини уступки між вартістю та ефективністю всіх можливих СУ, цінової політики та ефективності СУ, оскільки такий розв'язок, найчастіше, є зміщеним. Тому, запропоновану вище схему необхідно модифікувати [6–8].

Для об'єктивізації значень першочергових факторів, що впливають на величину уступки, запропоновано метод, де переваги визначаються з урахуванням висновків декількох експертів та їх компетентності. Задачу сформулюємо таким чином.

Позначимо

$(X_k, Z_k, P_1^k, P_2^k, P_3^k) = Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 = Y$  — множина факторів, які підлягають аналізу,  $(E_1, E_2, E_3, E_4, E_5) = E$  — множина експертів, які будуть оцінювати фактори та визначати їх пріоритетність. Задача експертного оцінювання полягає у впорядкуванні елементів  $Y$  за висновками експертів з  $E$ .

Метод розв'язання задачі матиме такі кроки:

Крок 1. Формуємо матриці попарних порівнянь  $\Theta_k, k = \overline{1,4}$  для кожного експерта, у яких будуть знаходитись порівняльні оцінки елементів  $Y$

$$\Theta_k = \left\{ \Theta_{ij}^k \mid k = \overline{1, n}, i, j = \overline{1, 5} \right\}.$$

Крок 2. Для констант матриці  $\Theta_k$  знаходимо власний вектор  $V_k$ , що відповідає максимально-му власному числу  $\lambda_{\max}^k, k = \overline{1, n}$ .

Крок 3. Позначимо  $\mu_{E_i}(Y_j)$  — число із  $[0,1]$ , що вказує на оцінку пріоритетності фактора  $Y_j$  експертом  $E_i, j = \overline{1,5}, i = \overline{1,4}, \mu_{E_i}(Y_j) = v_{ij}$ . Тоді висновки експерта  $E_i$  подаємо як нечітку множину  $\tilde{E}_i$ , визначену на універсальній множині  $Y$ , тобто

$$\tilde{E}_i = \left\{ \frac{\mu_{E_i}(Y_1)}{Y_1}; \frac{\mu_{E_i}(Y_2)}{Y_2}; \frac{\mu_{E_i}(Y_3)}{Y_3}; \frac{\mu_{E_i}(Y_4)}{Y_4}; \frac{\mu_{E_i}(Y_5)}{Y_5} \right\}.$$

Крок 4. Оскільки оптимальним є розв'язок, який одночасно найкращий для усіх експертів, то враховуючи положення теорії нечітких множин [6–8], знаходимо його як перетин часткових експертних висновків

$$\tilde{E} = \bigcap_{i=1}^n \tilde{E}_i = \left\{ \frac{\min_{i=1,n} \mu_{E_i}(Y_1)}{Y_1}; \frac{\min_{i=1,n} \mu_{E_i}(Y_2)}{Y_2}; \dots; \frac{\min_{i=1,n} \mu_{E_i}(Y_5)}{Y_5} \right\}. \quad (4)$$

Крок 5. Нормуючи значення, які знаходяться в чисельниках (4), одержимо об'єктивізовані пріоритетності факторів, що впливають на фор-

мування величини уступки між вартістю та ефективністю СУ.

Очевидно, що експерти, які беруть участь у процесі оцінювання пріоритетності факторів, мають різну компетентність і виникає необхідність її визначення. Існує багато підходів до розв'язання цієї задачі. Найчастіше з них використовуються два. У першому випадку рішення про компетентність експертів приймає особа, що приймає рішення на основі інформації, яка у нього є, з використанням, наприклад, методу аналізу ієрархій.

Якщо ж така інформація відсутня, то можна застосувати метод визначення компетентності експертів на основі аксіоми незміщеності [6–8]. Роль особи, що приймає рішення у другому випадку зводиться до формування тестових питань для експертів.

Оптимальний розв'язок у такому випадку знаходиться як перетин

$$\tilde{E} = \bigcap_{i=1}^n \tilde{E}_i = \left\{ \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{E_i}(Y_1))^{\alpha_i}}{Y_1}; \frac{(\mu_{E_i}(Y_2))^{\alpha_i}}{Y_2}; \dots; \frac{\min_{i=1,n} (\mu_{E_i}(Y_5))^{\alpha_i}}{Y_5} \right\}.$$

Таким чином, запропоновано технологію та проведені експериментальні дослідження є важливим кроком до вдосконалення процесу інформаційно-аналітичного забезпечення при формуванні уступки між вартістю та ефективністю СУ.

Одержані результати дозволяють здійснювати кількісні порівняння якісних факторів, що впливають на величину уступки. Ще одним важливим наслідком розробленої технології є можливість об'єктивізації процесу побудови цільової функції, що визначає величину уступки.

Змістовним висновком із експериментальних досліджень є збіжність значень пріоритетів факторів та характеристик до певних величин. Для окремих експертів такі величини мають екстремальний характер, але із збільшенням кількості експертів їх сумарні зважені оцінки вирівнюються, що свідчить про їх суб'єктивізм. Зазначимо, що запропонована технологія є важливим аспектом при визначенні величини уступки між вартістю та ефективністю СУ.

## Висновки

1. Дослідження сучасних систем управління, а також ринку комплектуючих підсистем показує, що концепція побудови заснована на використанні після модернізації існуючого в експлуатації обладнання спільно із новими сучасними системами. Тому актуальною є задача багатокритеріальної оптимізації структури СУ за відомими

характеристиками існуючих підсистем комплексів. Така задача класифікується як задача «ефективність — вартість».

2. Виконаний аналіз методів та підходів пошуку компромісу при вирішенні задачі багатокритеріальної оптимізації звернув увагу в позитивному сенсі на так званий метод послідовних поступок. Цей метод найбільш логічно та ефективно враховує як досвід особи, що приймає рішення, так й можливості аналітичних методів однокритеріальної оптимізації.

3. Ефективний метод структурного синтезу системи управління судном безаварійних подій на відміну від існуючих повинен застосовувати інтелектуалізований підхід визначення поступки між ефективністю та вартістю з використанням параметричних моделей нечітких експертних висновків на основі нейронних мереж. Застосування методу дозволяє при вирішенні завдань синтезу структури системи управління рухом судном зменшити вартість до 15 % в порівнянні з варіантами з тим самим показником ефективності, а також покращити ймовірність виконання безаварійного судноводіння приблизно на 10–12 % за умови постійного значення вартості варіанту системи.

4. Дослідження показали, що необхідною умовою розробки і впровадження методів нечіткого моделювання є формування структури і супроводження бази знань, яка є основною складовою частиною системи при формуванні величини уступки між складовими вартості та ефективності системи навігації та управління рухом судна. Розробку бази знань пропонується здійснювати на основі трьох моделей: будови, функціонування та розвитку.

5. Проведені експериментальні дослідження є важливим кроком до вдосконалення процесу інформаційно-аналітичного забезпечення при формуванні уступки між вартістю та ефективністю СУ. Одержані результати дозволяють здійснювати кількісні порівняння якісних факторів, що впливають на величину уступки. Ще одним важливим наслідком розробленої технології є можливість об'єктивізації процесу побудови цільової функції, що визначає величину уступки.

Змістовним висновком із експериментальних досліджень є збіжність значень пріоритетів факторів та характеристик до певних величин. Для окремих експертів такі величини мають екстремальний характер, але із збільшенням кількості експертів їх сумарні зважені оцінки вирівнюються, що свідчить про їх суб'єктивізм. Зазначимо, що запропонована технологія є важливим аспектом при визначенні величини уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Концепція** розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року. Міністерство транспорту України. Київ, 2001. 210 с.
2. **Алексин В. Г.**, Козырь Л. А., Симоненко С. В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс, 2009. 518 с.
3. **Богомья В. І.**, Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден. К.: ДВВП «Компас», 2012. 336 с.
4. **Кудрицька Н. В.** Транспортнодорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. Киев: НТУ, 2010. 338 с.
5. **Ансофф І.** Стратегическое управление. Сокр. пер.с англ. М.: Экономика, 1989. 244 с.
6. Гаскаров Д. В., Голинкевич Т. А., Мозгалевский А. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. М.: Советское радио, 1974. 224 с.
7. **Богомья В. І.**, Єлєзаров О. П., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О. М. за заг. ред. О. М. Тимошук. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ. ДУІТ. 2018. 305 с.
8. **Богомья В. І.**, Горбань А. В., Павленко М. А., Тимочко О. І., Тимошук О. М. За заг. ред. О. М. Тимошук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. Київ. ДУІТ, 2018. 305 с.

**Будолак С. Ю., Ткаченко В. В., Гуменніков Р. В., Шевченко А. П.**

### МЕТОД СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

*У статті наведено результати досліджень щодо шляхів розвитку систем управління суден. Аналіз експлуатації свідчить про те, що найбільш перспективним напрямом удосконалення даних систем є їх комплексування, інтеграція та створення на основі такого об'єднання «інтегральних мостикових систем управління судном». Також дослідження сучасних систем управління свідчать про те, що концепція їх побудови заснована на використанні після модернізації існуючого в експлуатації обладнання спільно із новими сучасними системами.*

Тому актуальною є задача багатокритеріальної оптимізації структури СУ за відомими характеристиками існуючих підсистем комплексів.

Аналіз наукових та інженерних підходів розроблення та впровадження інтегрованих мостікових систем управління дозволив виявити ряд системних недоліків та зауважень. Тому актуальним є наукове завдання удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів аналізу і синтезу системи управління суден на основі апріорних оцінок технічної ефективності комплектуючих підсистем. Виконаний у статті, аналіз методів та походів пошуку компромісу при вирішенні задачі багатокритеріальної оптимізації звернув увагу в позитивному сенсі на так званий метод послідовних поступок. Цей метод найбільш логічно та ефективно враховує як досвід особи, що приймає рішення, так і можливості аналітичних методів однокритеріальної оптимізації.

Також, у статті наведено особливості удосконаленого автором методу структурного синтезу системи управління засобів водного транспорту, який на відміну від існуючих застосовує інтелектуалізований підхід визначення поступки між ефективністю та вартістю з використанням параметричних моделей нечітких експертних висновків на основі нейронних мереж.

Стверджується, що реалізація отриманих в роботі результатів дозволяє проводити аналіз різних варіантів систем управління, що дозволяє провести порівняльний аналіз та визначити за критерієм ефективність-вартість найкращий варіант системи.

**Ключові слова:** модель; автоматизація; контроль; системи управління; засоби водного транспорту; експертні висновки; нейронні мережі

**Budolak S., Tkachenko V., Gumennikov R., Shevchenko A.**

## **METHOD OF STRUCTURAL SYNTHESIS OF MANAGEMENT SYSTEM OF MEANS OF WATER TRANSPORT**

*The article presents the results of research on the ways of development of ship management systems. The analysis of operation shows that the most promising direction of co-development of these systems is their integration, integration and creation on the basis of such an association of "integrated bridging control systems by the ship". Also, the research of modern control systems suggests that the concept of their construction is based on the use of modernization of existing equipment in conjunction with new modern systems.*

*Therefore, the task of multicriteria optimization of the structure of the control system according to known characteristics of existing subsystems of complexes is actual.*

*The analysis of scientific and engineering approaches for the development and implementation of integrated bridging control systems has revealed a number of systemic deficiencies and remarks. Therefore, the scientific task is to improve existing and develop new models and methods for analyzing and synthesizing the ship management system based on a priori estimates of the technical efficiency of component subsystems. The analysis of the methods and approaches of compromising the solution in the solution of the multicriteria optimization problem, performed in the article, revealed a well-known method of successive concessions.*

*This method most logically and effectively takes into account both the experience of the decision maker and the possibilities of analytical methods of one-criterion optimization.*

*Also, in the article the features of the method of structural synthesis of the system of management of means of water transport improved by the authors, which unlike the existing ones, use the intellectualized approach of determining the assignment between efficiency and cost using parametric models of fuzzy expert conclusions based on neural networks.*

*It is argued that the realization of the results obtained in the work allows to analyze the various variants of control systems, allows to carry out a comparative analysis and to determine the best value system according to the cost-effectiveness criterion.*

**Keywords:** model; automation; control; control systems; means of marine transport; expert opinions; neural networks

**Будолак С. Е., Ткаченко В. В., Гуменников Р. В., Шевченко А. П.**

## **МЕТОД СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

*В статье приведены результаты исследований о путях развития систем управления судов. Анализ эксплуатации свидетельствует о том, что наиболее перспективным направлением совершенствования этих систем является их комплексирование, интеграция и создание на основе такого объединения «интегральных мостіковых систем управления судном». Также исследования современных систем управления свидетельствуют о том, что концепция их построения основана на использовании после модернизации существующего в эксплуатации оборудования совместно с новыми современными системами. Поэтому актуальной является задача многокритериальной оптимизации структуры системы управления по известным характеристикам существующих подсистем комплексов.*

*Анализ научных и инженерных подходов разработки и внедрения интегрированных мостіковых систем управления позволил выявить ряд системных недостатков и замечаний. Поэтому актуальным является научная задача совершенствования существующих и разработки новых моделей и методов анализа, и синтеза системы управления судов на основе апріорных оценок технической эффективности комплектующих подсистем.*

*Выполненный в статье, анализ методов и подходов поиска компромисса при решении задачи многокритериальной оптимизации выявил известный метод последовательных уступок.*

*Этот метод наиболее логично и эффективно учитывает, как опыт лица, принимающего решение, так и возможности аналитических методов однокритериальной оптимизации.*

*Также, в статье приведены особенности усовершенствованного авторами метода структурного синтеза системы управления средств водного транспорта, который в отличие от существующих применяет интеллектуализированный подход определения уступки между эффективностью и стоимостью с использованием параметрических моделей нечетких экспертных выводов на основе нейронных сетей.*

*Утверждается, что реализация полученных в работе результатов позволяет проводить анализ различных вариантов систем управления, позволяет провести сравнительный анализ и определить по критерию эффективность-стоимость лучший вариант системы.*

**Ключевые слова:** модель; автоматизация; контроль; системы управления; средства водного транспорта; экспертные заключения; нейронные сети.

Стаття надійшла до редакції 15.01.2019 р.  
Прийнято до друку 22.02.2019 р.