

Бабкін Георгій Володимирович

Старший науковий співробітник, ORCID: 0000-0001-06303-0993

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Миколаїв

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ
ОРГАНІЗАЦІЙНОЇ СТРУКТУРИ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО
ПІДПРИЄМСТВА ЗІ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ПІНО**

***Анотація.** На сьогодні є завдання серійного виробництва типових засобів морської робототехніки з вузькоспеціалізованим призначенням. Сформульовані основні критерії створення цих засобів. Розглянуто процес економіко-математичного моделювання створення засобів морської робототехніки на основі структурно-функціональної моделі. На підставі початкових параметрів, з використанням бази даних і методів класифікації засобів морської робототехніки, виконано генерацію початкових вимог для подальших етапів роботи. На початковому етапі процесу створення комплексу виконано оптимізацію витрат всіх видів ресурсів проекту. Розроблена економіко-математична модель є основою для автоматизації управління проектами створення засобів морської робототехніки для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів. Запропонована економіко-математична модель дозволяє виконати оцінювання ефективності засобів морської робототехніки на початкових етапах виконання проектних робіт.*

***Ключові слова:** підводна техніка; морські роботи; підводний потенційно небезпечний об'єкт; проектно-орієнтоване підприємство; економіко-математичне моделювання*

Постановка проблеми

Світова практика створення засобів морської робототехніки (ЗМР) показала, що це досить наукомісткий і дорогий процес. Кожен, новостворюваний зразок такої техніки, вимагає лави досліджень, пов'язаних з умовами експлуатації устаткування і тих цілей і завдань, які ставляться перед цим видом устаткування. В основному кожен зразок ЗМР це унікальний технічний виріб, одиничного виробництва, що призначений для виконання цілого спектру виробничо-технологічних завдань.

На сьогодні ставиться завдання про серійне виробництво типових ЗМР, з вузькоспеціалізованим призначенням. Причому основними критеріями створення цих ЗМР є їх мінімальна ціна і терміни створення.

Завдання і функціональне призначення економіко-математичних моделей (ЕММ), на підставі початкових параметрів, з використанням бази даних і методів класифікації ЗМР, виконати генерацію початкових вимог для подальших етапів роботи, на початковому етапі процесу створення комплексу, виконати оптимізацію витрат всіх видів ресурсів проекту.

**Аналіз останніх досліджень
і публікацій**

Загальна класифікація ЕММ здійснюється на підставі більше десяти базових ознак [3]. Розвиток економіко-математичних досліджень значно ускладнив проблему класифікації моделей, які використовуються. З появою нових типів ЕММ і нових ознак для їх класифікації сформувався процес інтеграції моделей в складніші, модульні структури.

Враховуючи економічні процеси, в дослідженні яких застосовуються ЕММ, розрізняють моделі виробництва, споживання, формування і розподілу доходів, трудових ресурсів, фінансових зв'язків і ціноутворення.

Нині активно створюються ЕММ для аналізу економічного стану і потенціалу крупних корпорацій, промислових підприємств, товарів широкого споживання, банківських структур, страхових компаній і підприємств, що займаються виробництвом [1; 2; 5-11]. Проте, в області наукомістких одиничних виробництв, якими є процеси створення ЗМР, дотепер ЕММ не набули застосування. Пов'язано це з тим, що створення економіко-математичної моделі для разової роботи є економічно недоцільним. Оскільки останніми роками серійному виробництву ЗМР приділяється велика увага у зв'язку з необхідністю оснащення такими комплексами підрозділів ДСНС і ВС

України, питання розробки ЕММ створення і вживання ЗМР стає актуальним.

Мета статті

Розробка економіко-математичної моделі створення засобів морської робототехніки для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів як основи для автоматизації управління проектами їх створення.

Виклад основного матеріалу

Зазвичай для досліджень використовуються структурні або структурно-функціональні моделі. Це аргументується тим, що для планування та управління велика увага приділяється взаємодії складових підсистем проекту.

В загальному вигляді економіко-математичне моделювання виконується у декілька етапів [4]:

- постановка економічної проблеми ті її якісний аналіз. На даному етапі виділяються основні властивості об'єкта моделювання, вивчається його структура та основні залежності його елементів, формується гіпотеза щодо опису поведінки та розвитку об'єкта;

- побудова математичної моделі, виконується формалізація економічної проблеми та викладення її у математичному вигляді. Враховуються усі параметри та змінні, як екзогенні так і ендогенні (екзогенні – змінні, які задаються поза моделлю, відомі раніше; ендогенні – змінні, які визначаються за ходом розрахунків за допомогою моделі);

- математичний аналіз економіко-математичної моделі при якому з'ясовуються загальні властивості моделі, виконується доказ існування рішення;

- підготовка вхідних даних моделі, з використанням методів теорії вірогідності та математичної статистики;

- підготовка алгоритмів рішення задачі, складання програм для виконання розрахунків на ЕОМ та проведення безпосередньо самих розрахунків;

- аналіз результатів моделювання, перевірка адекватності та повноти результатів моделювання, виконується зіставлення теоретичних висновків та чисельних результатів.

Сучасні виробничі процеси протікають в умовах технічних та економічних ризиків. Їх можна урахувати, враховуючи параметри організаційної структури виробничих процесів, які мають відхилення від середніх значень. Необхідно урахувати можливі значення параметрів та визначити їх вплив на основні вихідні дані проекту.

Процес створення ЗМР для знешкодження ППНО має не тільки якісний, а і кількісний характер. Кількість варіантів досягнення мети зростає за рахунок використання різноманітних технічних рішень або їх поєднання. Необхідні характеристики створюваного ЗМР, які визначають його ефективність застосування, можна отримати за рахунок використання різних матеріалів, конструкцій, обладнання тощо.

Використання для створення ЗМР складних комплектуючих засобів, зростання витрат на науково-дослідні, дослідно-конструкторські та проектні роботи ставить проект створення ЗМР для знешкодження ППНО на один рівень з продукцією суднобудівної та авіаційної промисловостей.

У ході реалізації проекту постійно виникає проблема багатоваріантності рішень, які відрізняються за характеристиками та вартості. Техніко-економічне обґрунтування потрібно для вибору оптимального варіанта, який буде відповідати прийнятним критеріям.

У ході виконання обґрунтування кожен виріб може бути описаний набором характеристик, які визначають властивості ЗМР у цілому, його експлуатаційні дані та інші технічні характеристики, за сукупністю яких визначається вигляд проєктованого об'єкта.

В ході виконання техніко-економічного аналізу та обґрунтування робіт кожен ЗМР може бути описано сукупністю характеристик, які можна поділити на дві групи:

- експлуатаційні характеристики (ЕХ), які визначають експлуатаційні властивості ЗМР, до яких належать швидкість руху, максимальна глибина занурення, геометричні розміри, маса та ін.;

- параметри технічних рішень (ПТР), під якими маються на увазі механічні характеристики матеріалів, відносна змочена поверхня та ін.

Сукупність ЕХ та ПТР визначають загальну конфігурацію ЗМР. З досвіду проєктування ЗМР різного призначення можна зробити висновок, що закласти усі експлуатаційні характеристики ЗМР заздалегідь неможливо. Вони пов'язані певними залежностями і тому заданий набір характеристик може бути таким, що не реалізовується. Можна задати окремі елементи ЕХ на початку проекту при цьому забезпечувати інші характеристики у заданих рамках.

Є група характеристик, задавання яких достатньо для проєктування ЗМР, але додання до неї хоча б ще одного параметра робить її несумісною. Усі ЕХ можна поділити на дві підгрупи:

- базові ЕХ, яких достатньо для визначення останніх характеристик ЗМР, що створюється;

- проектні ЕХ, які визначаються у ході проєктування ЗМР за базовими характеристиками.

Кожен ЗМР, що створюється, може бути заданий набором значень незалежних ЕХ, який може бути записаний у вигляді вектора:

$$\bar{x}_6 = \begin{Bmatrix} H \\ v \\ L \end{Bmatrix}.$$

Набор ПТР записується у вигляді вектора:

$$\bar{y} = \begin{Bmatrix} \Omega \\ \Sigma \xi \\ \eta \\ \rho_M \\ \sigma_M \\ E \end{Bmatrix}.$$

Основне завдання економіко-математичного моделювання буде полягати у пошуку вектора ПТР при заданому векторі ЕХ, який буде визначати максимум або мінімум функції, яка характеризує якість варіанта проекту ЗМР.

Якщо прийняти показник економічної ефективності у якості єдиного, його можна описати лише двома величинами:

$$\bar{x} = \bar{x}_{opt}, \text{ якщо } \begin{cases} W(\bar{x}) = \max_{\bar{x}}; \\ C(\bar{x}) \leq C_3; \end{cases}$$

$$\bar{x} = \bar{x}_{opt}, \text{ якщо } \begin{cases} W(\bar{x}) \geq W_3; \\ C(\bar{x}) = \min_{\bar{x}}; \end{cases}$$

де W – рівень функціональної ефективності; \bar{x} – вектор експлуатаційних характеристик; C – показник, який характеризує витрати ресурсів на створення та експлуатацію ЗМР.

Оскільки ефективність та вартість ЗМР залежать від швидкості його руху та глибини занурення, можна записати:

$$W = W(x_1, x_2);$$

$$C = C(x_1, x_2),$$

де $x_1 = v$ – швидкість руху ЗМР; $x_2 = H$ – глибина занурення ЗМР.

Накладаючи на функції $C(\bar{x})$ та $W(\bar{x})$ умови безперервності, отримаємо:

$$\frac{dW}{dx_1} = \frac{\partial W}{\partial x_1} + \frac{\partial W}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_1} = 0,$$

де $\frac{dW}{dx_1}$ – повна похідна від W по x_1 .

Умова екстремуму функції $C = C(x_1, x_2)$ при (x_1^0, x_2^0)

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC}{dx_1} &= \frac{\partial C}{\partial x_1} + \frac{\partial C}{\partial x_2} \frac{\partial x_2}{\partial x_1} = 0; \\ \frac{dC}{dx_2} &= \frac{\partial C}{\partial x_2} + \frac{\partial C}{\partial x_1} \frac{\partial x_1}{\partial x_2} = 0. \end{aligned} \right\}$$

Якщо точка оптимуму відповідає умові:

$$W(\bar{x}) - W_0 = W(x_1, \dots, x_n) - W_0 = 0,$$

то справедливо:

$$\frac{\frac{\partial C}{\partial x_1}}{\frac{\partial C}{\partial x_2}} = - \frac{\frac{\partial W}{\partial x_1}}{\frac{\partial W}{\partial x_2}}$$

у точці (x_1^0, x_2^0) екстремуму функції $C(\bar{x})$, частинна похідна функцій $C(\bar{x})$ та $W(\bar{x})$ повинні бути пропорційними.

Позначаючи коефіцієнт пропорційності через λ , записуємо:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial x_1} + \lambda \frac{\partial W}{\partial x_2} &= 0; \\ \frac{\partial C}{\partial x_2} + \lambda \frac{\partial W}{\partial x_1} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Отримуємо функцію

$$L(x_1, x_2, \lambda) = C(x_1, x_2) + \lambda[W(x_1, x_2) - W_3],$$

де W_3 – необхідний рівень функціональної ефективності; L – функція Лагранжа; λ – множник Лагранжа.

Використання функції Лагранжа підкреслює перевагу вибору в якості критерію економічної ефективності показника величини витрат, порівняно з максимізацією рівня функціональної ефективності при фіксованих витратах.

Необхідно задавати такі ЕХ та ПТР, які будуть забезпечувати більшу економічну ефективність реалізації програми створення ЗМР у цілому. При цьому функція Лагранжа буде мати вигляд:

– для першого ЗМР

$$L_1 = W(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) + \lambda C(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n) - C_3;$$

– для другого ЗМР

$$L_2 = C(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n) + \lambda W(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n) - W_3,$$

де \bar{x}_1 та \bar{y}_1 – вектори ЕХ та ПТР для першого ЗМР; \bar{x}_2 та \bar{y}_2 – для другого ЗМР.

Оскільки витрати на створення окремої системи ЗМР залежать від ЕХ та ПТР саме цієї системи, можна записати:

$$C(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n) = C_1(\bar{x}_1, \bar{y}_1) + C_2(\bar{x}_2, \bar{y}_2) + \dots + C_n(\bar{x}_n, \bar{y}_n)$$

показник витрати ресурсів може бути представлено у вигляді суми витрат по кожній системі ЗМР.

Під час проектування ЗМР зазвичай наводять планування завдань, для яких він створюється. При цьому визначається одна задача, яку буде розв'язувати ЗМР. Враховуючи це, розглянемо функцію Лагранжа для обох критеріїв.

Розглядаючи показник $W_n(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n)$ як параметр, умова оптимальності усієї системи в цілому:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L_i}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial C_i(\bar{x}_i, \bar{y}_i, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n)}{\partial x_{ij}} + \\ + \lambda \frac{\partial W[W_i(\bar{x}_i, \bar{z}), W_n(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{z})]}{\partial x_{ij}} = 0; \\ j = 1, 2, \dots, \sum_{i=1}^n m_i; \\ \frac{\partial L_i}{\partial \lambda} = W[W_i(\bar{x}_i, \bar{z}), W_n(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{z})] - W_3 = 0, \end{aligned} \right\}$$

де x_{ij} – елемент i -ї підсистеми; W_3 – рівень ефективності усієї системи; $\sum_{i=1}^n m_i$ – загальна кількість ЕХ усієї системи.

Перший доданок першого рівняння є функцією x_{ij} , тоді у лівій частині рівняння отримаємо ряд доданків, з яких лише один не дорівнює нулю. Решта доданків дорівнюють нулю, оскільки $C_{ki}(\bar{x}_k, \bar{y}_k)$ при $k \neq i$ не залежить від \bar{x}_i . Оскільки $W_n(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_n, \bar{z})$ розглядається як параметр, що має фіксоване значення, вираз який диференціюється буде функцією лише \bar{x}_i .

Умова оптимальності ЗМР може бути записана

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L_i}{\partial x_{ij}} = \frac{\partial W(\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_n, \bar{z})}{\partial x_{ij}} + \\ + \lambda \frac{\partial C(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \dots, \bar{x}_i, \bar{y}_i, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n)}{\partial x_{ij}} = 0; \\ j = 1, \dots, m_i; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = C(\bar{x}_1, \bar{y}_1, \dots, \bar{x}_i, \bar{y}_i, \dots, \bar{x}_n, \bar{y}_n) - C_3 = 0, \end{aligned} \right\}$$

Розподіл завдань та визначення рівня взаємодії між підсистемами залежать від їх можливостей. Тому при зростанні функціональної ефективності кожна з них буде виконувати функції інших елементів або буде порушена взаємодія. У разі такого формулювання задачі може бути лише визначений рівень витрат на кожен підсистему.

Оптимізація має вигляд послідовного наближення. Необхідно задатись деяким набором способів взаємодії між підсистемами і для кожної з них виконується оптимізація з метою мінімізації показника витрат. При більш детальному розгляді задачі оптимізації, коли у якості підсистеми розглядаються складові кожного елемента ЗМР, приймаються додаткові обмеження.

Зазвичай варіюють не тільки кількісним параметром, а і якісною характеристикою створюваної системи або підсистеми. Порівняння різних варіантів за питомими показниками можливо

лише у випадку, коли цей показник не залежить від параметра, що варіюється. Це можливо лише коли при зміні параметра, що варіюється, корисний ефект та витрати змінюються пропорційно один одному. Умовою використання питомих показників за інтервалом (x_1, x_2)

$$\frac{C(x)}{W(x)} = \text{const при } x_1 \leq x \leq x_2.$$

Умови екстремуму цільової функції при обмеженнях, які накладаються на рівень функціональної ефективності $W(x_1, x_2, \dots, x_n) = B$ будуть записані у вигляді системи рівнянь, що отримані з умови екстремуму функції Лагранжа

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_1} = \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} - \lambda \frac{\partial [W(x_1, \dots, x_n) - B]}{\partial x_1} = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial x_2} = \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2} - \lambda \frac{\partial [W(x_1, \dots, x_n) - B]}{\partial x_2} = 0; \\ \dots \\ \frac{\partial L}{\partial x_n} = \frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n} - \lambda \frac{\partial [W(x_1, \dots, x_n) - B]}{\partial x_n} = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = W(x_1, \dots, x_n) - B = 0, \end{aligned} \right\}$$

звідки

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} = \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2}} = \dots \\ &= \dots = \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}} \end{aligned}$$

враховуючи це, та внаслідок $W(x_1, x_2, \dots, x_n) = B$, отримуємо

$$\frac{dC(x_1, \dots, x_n, B)}{dx_i} = \lambda \left(\frac{\partial W}{\partial x_i} \frac{dx_i}{dB} + \dots + \frac{\partial W}{\partial x_n} \frac{dx_n}{dB} \right).$$

Підставляючи отриманий результат у вираз

$$\begin{aligned} \frac{C(x_1, x_2, \dots, x_n)}{W(x_1, x_2, \dots, x_n)} &= \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} = \\ &= \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_2}} = \dots = \frac{\frac{\partial C(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}}{\frac{\partial W(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_n}} = \lambda \end{aligned}$$

отримуємо

$$\frac{C(x_1, x_2, \dots, x_n)}{W(x_1, x_2, \dots, x_n)} = \frac{dC(x_1, \dots, x_n, B)}{dx_i} \Big|_{\bar{x} = \bar{x}_{opt}}$$

Таким чином, питомий показник відношення витрат до корисного ефекту має сенс коефіцієнта Лагранжа.

Показник витрат враховує витрати усіх видів ресурсів: трудових, фінансових та матеріальних. При проектуванні ЗМР, у зв'язку з великим обсягом наукомістких робіт, жорстке обмеження термінів відсутнє, тому доцільно усі елементи показника ресурсів, що витрачаються, висловлювати у ціннісному вимірі.

Оскільки показник ресурсів об'єднує витрати, які робляться в різний час та переслідують різні цілі, їх доцільно групувати, класифікувати за характером, призначенням та періодом здійснення. Зазвичай витрати групують відповідно до етапів життєвого циклу.

Вартість розробки ЗМР поділяється на дві великі стадії – науково-дослідну роботу (НДР) та дослідно-конструкторську роботу (ДКР). У формуванні витрат на розробку ЗМР враховується, що сам процес розробки являє собою багатоетапну роботу, в ході якої виконується низка окремих НДР та ДКР як самим виконавцем, так і іншими організаціями за його замовленням.

До вартості розробки ЗМР включають:

1. Матеріали, основні й допоміжні, покупні напівфабрикати і вироби з урахуванням транспортно-заготівельних витрат;

2. Витрати на установки, стенди, макети та інше обладнання, необхідне для розробки проекту або НДР та ДКР, що виконуються для забезпечення цього проекту, а також витрати на експлуатацію цього обладнання. У тому випадку, якщо обладнання створюється або купується тільки для одного проекту, НДР або ДКР, вартість його повністю відноситься на проект. В іншому випадку в собівартість роботи включаються тільки амортизаційні відрахування;

3. Основна і додаткова заробітна плата науково-технічного персоналу і відрахування на соціальне страхування;

4. Витрати на науково-технічну інформацію, включаючи ліцензії та патенти, придбані за кордоном;

5. Оплата контрагентських робіт;

6. Інші витрати: оплата послуг інших організацій, витрати з оренди та ін.;

7. Накладні витрати.

Частка витрат на розробку ЗМР не є фіксованою і залежить від багатьох факторів. Зокрема при зростанні геометричних розмірів вона знижується і навпаки при зростанні складності ЗМР вона також зростає, при цьому витрати на розробку можуть перевищувати вартість побудови ЗМР.

Неоднаковість характеру фінансування, труднощі у виборі вимірника, який би переконливо характеризував конструктивну складність і новизну проекту, створює серйозні перешкоди в збиранні

однорідного статистичного матеріалу, який міг би лягти в основу моделі витрат на розробку. Тому для прогнозування цієї техніко-економічної характеристики проектованого об'єкта користуються орієнтовними оцінками, ставлячи її в залежність від вартості головного об'єкта:

$$C_p = k_p C_2,$$

де C_p – вартість головного зразка; k_p – коефіцієнт ступеня новизни та складності розробки, який визначається експертною оцінкою.

Вартість головного зразка ЗМР у загальному вигляді буде

$$C_2 = a_1 x_1 + a_2 x_2 \dots + a_n x_n,$$

де x_1, \dots, x_n – експлуатаційні характеристики ЗМР; a_1, \dots, a_n – статистичні коефіцієнти, які залежать від особливостей ЗМР.

Припустимо, що у ході рішення задачі можливо виготовити задану кінцеву продукцію в об'ємі a^* , а об'єм продукції, якої не вистачає складає Δa . Тоді вектор розміру нових виробничих потужностей для забезпечення необхідного випуску продукції:

$$\Delta p = Bq\Delta a,$$

де B – матриця коефіцієнтів повних витрат учасників проекту на виробництво продукції; q – вектор пропорцій випуску кінцевої продукції.

Виражаючи відношення вартості модернізації та розширення виробничої потужності на одиницю виробничої потужності i -го учасника проекту, об'єм обладнання, який необхідно для модернізації та розширення виробничої потужності, можна розрахувати:

$$\Delta F_{ki} = \gamma_{ki} \Delta p_i, i \in M,$$

де γ_{ki} – матриця коефіцієнтів, які є частиною обладнання учасників проекту k у загальній вартості обладнання i -го учасника проекту; M – матриця-вектор учасників проекту.

Враховуючи обсяг робіт, які необхідно виконати, вартість обладнання для модернізації та розширення виробничих потужностей учасників проекту:

$$C_o = \sum_{r \in I_p} \sum_{k \in I_r} v_{rki}^c \Delta F_{ki},$$

де I_p – множина типів модернізацій; I_r – множина підприємств, які виконують роботи з модернізації.

Вартість підготовки кадрів, які потрібні для реалізації проекту кожним учасником та для комплектування груп обслуговуючого персоналу ЗМР, змінюється залежно від потрібного завантаження виробничої потужності та динаміки підготовки та введення в експлуатацію готових виробів.

З урахуванням специфіки та багатопрофільності потрібних кадрів, загальна вартість їх підготовки буде мати вигляд:

$$C_k = \sum_{m=1}^L w_{mi} d_{mi} \zeta_{mi},$$

де d_{mi} – час на підготовку кадрів за m -м фахом у i -го учасника проекту; w_{mi} – вартість одного часу підготовки кадрів за m -м фахом у i -го учасника проекту; ζ_{mi} – кількість кадрів, що готуються за m -тим фахом у i -го учасника проекту.

Вартість засобів, які необхідні для запуску виробництва та виходу на плановий рівень виробництва, залежить від різних умов, у яких здійснюється діяльність учасників проекту.

Тоді, загальна сума грошових коштів, які потрібні кожному учаснику проекту буде:

$$C_m = \sum_{i=1}^{T_i} Z_i(t);$$

$$C_m = \sum_{i=1}^{T_i} Z_i(t),$$

де T_i – час виходу i -го учасника проекту на плановий рівень виробництва.

Загальна сума витрат має вигляд

$$C = C_p + C_o + C_k + C_m,$$

де C_p – вартість розробки ЗМР; C_o – вартість обладнання для модернізації та розширення виробничих потужностей учасників проекту; C_k – вартість підготовки кадрів; C_m – вартість засобів, які необхідні для запуску виробництва та виходу на плановий рівень виробництва.

Висновки

Розроблена економіко-математична модель як основа для автоматизації управління проектами створення засобів морської робототехніки для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів.

Запропонована економіко-математична модель дозволяє виконати оцінювання ефективності засобів морської робототехніки на початкових етапах виконання проектних робіт.

Список літератури

1. Бреслав, Л.Б. Технично-економическое обоснование средств освоения Мирового океана /Л.Б. Бреслав. – Л.: Судостроение, 1982 (Техника освоения океана).– 240 с.
2. Давнис, В.В. Адаптивные модели: анализ и прогноз в экономических системах: монография / В. В. Давнис, В. И. Тинякова. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2006 (Воронеж) . – 353 с.
3. Замков, О.О. Математические методы в экономике / О.О. Замков, А.В. Толстопятенко, Ю.Н. Черемных – М.: МГУ им. Ломоносова. – Издательство "ДИС", 1998. – 368 с.
4. Колемаев, В.А. Математическая экономика / В.А. Колемаев – М.: ЮНИТИ, 1998. – 240с.
5. Коробов, П.Н. Математическое программирование и моделирование экономических процессов / П.Н. Коробов– М.: ДНК, 2006. – 376 с.
6. Красс, М.С. Математика в экономике. Математические модели и методы / М.С. Красс, Б.П. Чупрынов – М.: Финансы и статистика, 2007. – 544 с.
7. Кундышева, Е.С. Экономико-математическое моделирование / Е.С. Кундышева – М.: Издательский дом Дашков и К, 2008. – 423 с.
8. Левицкий, Е.М. Адаптивные экономические модели / Е.М. Левицкий ; ред. Ю.А. Чижов ; АН СССР, Сиб.отд-ние.– Новосибирск: Наука.Сиб.отд-ние, 1981, 221 с.
9. Лукашин, Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие / Ю.П.Лукашин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 414 с.
10. Романов Б.А. Математическая модель реализации производственного проекта группой предприятий Аудит и финансовый анализ 2.2007 [Электронный ресурс] – <http://www.auditfin.com/fin/2007/2/Romanov/Romanov%20.pdf>
11. Стратегическое управление организационно-экономической устойчивостью фирмы: Логистикоориентированное проектирование бизнеса / А.Д. Канчавели, А.А. Колобов, И.Н. Омельченко и др.; под ред. А.А. Колобова, И.Н. Омельченко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 600 с.

Стаття надійшла до редколегії 17.04.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. К.В. Кошкін, Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Миколаїв.

Бабкин Георгий Владимирович

Старший научный сотрудник, ORCID: 0000-0001-06303-0993

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ППО

Аннотация. На сегодняшний день ставится задание о серийном производстве типовых средств морской робототехники, с узкоспециализированным назначением. Сформулированы основные критерии создания этих средств. Рассмотрен процесс экономико-математического моделирования создания средств морской робототехники на основе структурно-функциональной модели. На основании начальных параметров, с использованием базы данных и методов классификации средств морской робототехники, выполнена генерация начальных требований для последующих этапов работы, на начальном этапе процесса создания комплекса, выполнена оптимизация расходов всех видов ресурсов проекта. Разработанная экономико-математическая модель служит основой для автоматизации управления проектами создания средств морской робототехники для обезвреживания подводных потенциально опасных объектов. Предложенная экономико-математическая модель позволяет выполнить оценивание эффективности средств морской робототехники на начальных этапах выполнения проектных работ.

Ключевые слова: подводная техника; морские работы; подводный потенциально опасный объект; проектно-ориентированное предприятие; экономико-математическое моделирование

Babkin George

Senior staff scientist, ORCID: 0000-0001-06303-0993

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikilaev

MATHEMATICAL MODELING OF FUNCTIONING OF ORGANISATIONAL STRUCTURE IN A SPECIALISED COMPANY DEALING WITH NEUTRALISATION OF PDUO

Abstract. At present time there is a need to establish full-scale production of standard models of single-purpose sea robotics. The key criteria of the models design are established. The article also covers the process of economic and mathematical modeling of how the stated models should be designed on the basis of a structural and functional model. With the use of the initial criteria as well as the database and classification methods for sea robotics, it makes it possible to generate the initial requirements for further stages of work. At an early stage of the complex development, it also makes it possible to optimize the costs of all the project resources. The economic and mathematical model serves as the basis for the project management to be made automatic in the field of sea robotics design aimed to neutralise potentially dangerous underwater objects (PDUO). The economic and mathematical model enables one to assess the efficiency and effectiveness of sea robotics during the early stages of design work.

Keywords: underwater equipment; sea robotics; potentially dangerous underwater object; design company; economic and mathematical modeling

References

1. Breslav, L.B. (1982) *Technical and economic grounds for the means used to explore the ocean.* Leningrad, USSR: Shipbuilding, 240
2. Davnis, V.V. & Tinyakova, V.I. (2006) *Adaptive models: analysis and forecast in economic systems: monograph.* Voronezh, Russia: Voronezh. State university, 353
3. Zamko, O.O., Tolstopyatenko, A.V. & Cheremnykh, Yu.N. (1998) *Mathematical methods in Economics.* Moscow, Russia: Lomonosov MSU. "DIS", 368
4. Kolemeyev, V.A. (1998) *Mathematical Economics.* Moscow, Russia: UNITY, 240
5. Korobov, P.N. (2006) *Mathematical programming and modeling economic processes.* Moscow, Russia: DNK, 376
6. Kras, M.S. & Chuprynov, B.P. (2007) *Mathematics in Economics. Mathematical models and methods.* Moscow, Russia: Finances and Statistics, 544
7. Kundyshcheva, E.S. (2008) *Economic and mathematical modeling.* Moscow, Russia: Publishing House Dashkov & Co, 423.
8. Levitskiy, E.M. (1981) *Adaptive economic models.* Edited by Yu.A. Chizhov. Novosibirsk. USSA: Nauka. Siberian dep., 221
9. Lukashin, Yu.P. (2003) *Adaptive methods for time series short-term forecasting: course book.* Moscow, Russia: Finances and Statistics, 414
10. Romanov, B.A. *Mathematical model on project implementation by a group of companies. [electronic source].* – <http://www.auditfin.com/fin/2007/2/Romanov/Romanov%20.pdf>
11. Kanchavelli, A.D., Kolobov, A.A., Omelchenko, I.N. & at. al. (2001) *Strategic management of organisational and economic sustainability of a business: Designing your business with logistics in mind.* Edited by A.A. Kolobov, I.N. Omelchenko. Moscow, Russia: Bauman MSTU, 600.

Посилання на публікацію

- APA Babkin G. (2015). *Mathematical modeling of functioning of organisational structure in a specialised company dealing with neutralisation of PDUO.* *Management of Development of Complex Systems*, 22 (1), 19 – 25. [dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4342.9843](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4342.9843)
- ГОСТ Бабкін Г.В. Математичне моделювання функціонування організаційної структури спеціалізованого підприємства зі знешкодження ППНО [Текст] / Г.В. Бабкін // Управління розвитком складних систем. – 2015. – № 22 (1). – С. 19 – 25. [dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4342.9843](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4342.9843)