

**Слонов М.Ю.**

Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка

**ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ ПІДХІД ДО СТРУКТУРНОГО  
УДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ: НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС**

У статті розглянутий підхід до кількісного оцінювання впливу окремих ланок на процес та результати навчання. Він дає змогу розглянути навчальний процес як складну ієрархічну систему, виявити напрями актуального удосконалення та необхідні чи зайві зв'язки між окремими його ланками. Це допоможе більш свідомо підійти до формулювання вимог щодо побудови такої складної системи, як вищий навчальний заклад. Як рішення пропонується розподіл рівнів функціональної відповідності між окремими ланками за умовою досягнення мети навчального процесу при його мінімальній умовній вартості. Запропоновано та обґрунтовано функціонально-вартісний алгоритм оцінювання відповідності складників навчального процесу вимогам державного замовника на підготовку фахівців. Він базується на передбаченні поліноміальної залежності між умовною вартістю та функціональною відповідністю кожної ланки. Складається система рівнянь, що описує функціональні та вартісні співвідношення між ланками системи. Вирішення системи потребує з'ясування величини емпіричних констант поліноміальних складників, визначення величини заданої ймовірності виконання задач навчання, а також безпосередньо вирішення системи рівнянь із локалізації вартісних екстремумів. Значення емпіричних констант обираються за алгоритмом визначення пріоритету при попарному порівнянні складників матриці суміжності. Задана ймовірність виконання задачі навчання передбачає нормальний закон розподілу щільності ймовірності правильного засвоєння студентами навчального матеріалу. Вирішення системи рівнянь із визначенням вартісних екстремумів здійснене за допомогою метода множників Лагранжа та ітераційних розрахунків. Результати розрахунків підтверджують першочерговість покращення методичного й матеріально-технічного забезпечення кафедр та самостійної підготовки студентів, але за обов'язкової професійної компетентності викладачів, тобто в термінах цієї статті – необхідного рівня їх функціональної відповідності.

**Ключові слова:** навчальний процес, вартісна модель, складна ієрархічна система, функціонально-вартісні розрахунки, функціональна відповідність, апроксимуючі функції.

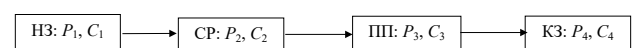
**Постановка проблеми.** Основні засади функціонування системи вищої освіти у нашій державі загалом та у вищих навчальних закладах силових структур визначено на законодавчому рівні [1; 2]. У відповідній нормативній літературі за якісними показниками викладено вимоги та рекомендації стосовно основних норм, сторін організації та здійснення навчального процесу (НП). Але можуть бути запропоновані і кількісні підходи до оцінювання впливу окремих ланок на процес та результати навчання.

Одним із таких підходів може вважатися розроблення функціонально-вартісного алгоритму (ФВА) навчання студентів у вищих навчальних закладах. Використання такого алгоритму спрямоване не на отримання конкретних, фізично обґрунтованих показників. ФВА сприятиме усвідомленню слабких ланок НП як складної системи, виявленню необхідних чи зайвих зв'язків між окремими ланками, тобто більш свідомо підійти до формулювання вимог щодо побудови

такої складної системи, як вищий навчальний заклад.

Сутність підходу до складання ФВА в цьому випадку наведена нижче. НП у вищих навчальних закладах здійснюється в таких організаційних формах: навчальні заняття (НЗ), самостійна робота студентів (СР), практична підготовка (ПП), контрольні заходи (КЗ). Відповідно, НП як складна система містить чотири послідовних ланки, кожна з яких характеризується своєю функціональною відповідністю  $P_i$  та умовною вартістю  $C_i$ .

Загальну структурну схему такої системи наведено на рис. 1.



**Рис. 1. Структурна схема форм навчально-виховного процесу**

Вважатимемо, що функціональну відповідність ланки відображає ймовірність виконання нею навчального завдання. Умовна вартість ланки визначається заходами із забезпечення повноти,

змісту та рекомендованої послідовності реалізації НП, тобто з виконання освітньо-професійної програми підготовки (ОПП) студента, та відповідністю рівня підготовленості випускника освітньо-кваліфікаційній характеристиці (ОКХ).

Як рішення будемо шукати розподіл рівнів функціональної відповідності між окремими ланками за умовою досягнення мети НП при його мінімальній умовній вартості.

Такий розподіл у разі поліноміальній залежності між умовною вартістю та функціональною відповідністю кожної ланки є рішенням системи рівнянь [3]:

$$\begin{cases} C_{\Sigma}(P_i) = \sum_{i=1}^4 \left( \frac{A_i P_i}{1 - P_i} \right) = \min_{0 \leq P_i \leq 1}, \\ P_{\Sigma} = \prod_{i=1}^4 P_i \geq P_{\text{зад.}} \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_{\Sigma}$  – імовірність відповідності випускників вимогам ОКХ;  $C_{\Sigma}$  – умовна вартість виконання (створення, розробки) ОКХ;  $A_i$  – емпірична константа.

Рішення системи (1) означає знаходження екстремуму (мінімуму) її першого рівняння в разі виконання умов щодо  $P_{\Sigma}$  та  $P_i$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У Законі України від 01.07.2014 р. № 1556-VII [1] наведено концептуальні засади функціонування системи вищої освіти в Україні. Специфіку організації НП у вищих навчальних закладах Збройних сил відображено в «Інструкції про організацію освітньої діяльності у вищих військових навчальних закладах Збройних сил України та військових навчальних підрозділах вищих навчальних закладів України» [2].

Загальні питання функціонально-вартісного підходу до аналізу систем висвітлено у роботі «Life Cycle Cost Analysis State-of-the-Practice» [4]. Варіанти його реалізації розглянуто у «Прикладах раціоналізації системи з використанням безпосередньо вартісної моделі» та «Value Analysis Tear-down: a New Process for Product Development and Innovation» [3, с. 68–75; 5, с. 112–127]. Інші підходи до алгоритмізації процесів, що не формалізуються, надані у роботі «Concepts, Theory and Techniques» [6].

Проте алгоритмічно обґрунтованим, у тому числі шляхом функціонально-вартісного підходу, напрямам удосконалення навчального процесу уваги приділено мало.

**Постановка завдання.** Метою статті є алгоритмічне обґрунтування раціональних напрямів удосконалення НП вищих навчальних закладів України за умов обов'язкового виконання вимог ОКХ та ОПП при мінімальних умовних витратах. Саме

така постановка питання з підвищення ефективності НП сприятиме підвищенню *активності, плановості та цілеспрямованості* його проведення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вирішення системи (1) передбачає з'ясування величини емпіричних констант  $A_i$ , визначення величини заданої імовірності виконання задачі  $P_{\Sigma}$ , а також безпосередньо вирішення системи рівнянь із визначенням екстремуму функції  $C_{\Sigma}(P_i)$ .

1. Будемо вважати умовну вартість кожної ланки НП як таку, що визначається суспільними зусиллями на її реалізацію. Для з'ясування оціночної величини імовірності  $P_i$  як параметра функціональної відповідності навчального заняття необхідно забезпечити попереднє розроблення таких об'єктивних впливових на якість заняття чинників:

- адекватної ОКХ випускника навчального закладу;
- ОПП підготовки студентів за відповідними спеціальностями;
- структурно-логічної схеми підготовки фахівців;

– навчального плану, програм навчальних дисциплін, інших керівних документів та відповідних навчально-методичних матеріалів.

Величина  $P_2$  характеризує функціональну відповідність самостійної роботи студента. Об'єктивними впливовими чинниками якості самостійної роботи студента є робоча програма навчальної дисципліни (РПНД), методичні матеріали, завдання та вказівки науково-педагогічного працівника (НПП), рівень матеріально-технічного забезпечення.

$P_3$  – характеристика функціональної відповідності практичної підготовки – забезпечується проведенням практики, стажування, спеціальної гри.

Контрольні заходи є необхідним елементом зворотного зв'язку у структурі НП. У навчальному закладі використовуються такі види контролю: вхідний, поточний, модульний і державна атестація випускників. Саме робота за означеними напрямками забезпечує потрібний рівень функціональної відповідності  $P_4$ .

Зважаючи на категорії виконавців кожної ланки НП, можна стверджувати про різну умовну вартість їхньої функціональної відповідності. Імовірності  $P_1$  можна призначити найбільшу вартість і надати коефіцієнту  $A_1$  значення, наприклад, 50 умовних одиниць. Контрольними заходами можна призначити  $A_2 = 40$  умовних одиниць, практичної спрямованості –  $A_3 = 20$  одиниць, заходами із реалізації самостійної роботи слухача  $A_4 = 10$  одиниць, як такими, що повністю формуються

тільки науково-педагогічним складом профільної кафедри.

Є можливість аналітичного підходу до присвоєння чисельних значень коефіцієнтам  $A_i$ . Прикладом може бути алгоритм визначення пріоритету при попарному порівнянні [6, с. 157–177]. Матриця суміжності складатиметься за горизонталлю та вертикаллю саме з результатів  $A_{ik}$  експертного порівняння  $A_{ik}$  з  $A_{ki}$ :

$$A_{ik} = \begin{cases} 10, & A_{ik} = A_{ki}, \\ 15, & A_{ik} > A_{ki}, \rightarrow A_i = \sum_{k=1}^{k=4} A_{ik}, \\ 5, & A_{ik} < A_{ki}, \end{cases} \quad (2)$$

З'ясування вартості кожного етапу навчання надає змогу визначитися з вимогами до функціональної відповідності, які забезпечать розподіл між бажаними значеннями ймовірності ефективного функціонування окремих ланок із точки зору їх загальної мінімальної вартості. Такий розподіл рекомендує чисельне співвідношення між спрямованістю зусиль керівництва академії на досягнення заданого рівня НП за умов мінімізації загальних витрат.

2. Для ймовірностей функціональної відповідності  $P_1, \dots, P_4$  та, відповідно,  $P_{\text{зад}}$  бажаним значенням є порівнювання їх 1:

$$P_1 \oplus P_2 \oplus P_3 \oplus P_4 \ominus \ominus P_{\text{зад}}, \quad (3)$$

Але достатнім рівнем функціональної ефективності можна вважати  $P_{\text{зад}} = 0,85$ . Чому?

Реалізація цілей НП залежить від великої кількості імовірнісних незалежних об'єктивних та суб'єктивних факторів (наприклад, стан НПП на занятті, стан студента, аудиторії, зразків матеріально-технічного забезпечення тощо), що свідчить про нормальний закон розподілу щільності ймовірності правильного засвоєння навчального матеріалу. Тому ймовірності 0,85 буде відповідати достовірність засвоєння вже у величину 0,975, що є майже достовірним випадком.

3. Рішення системи (1) та визначення конкретних числових даних розподілу  $P_1, \dots, P_4$  здійснимо за допомогою метода множників Лагранжа [7, с. 37]. Функцію Лагранжа вводимо у вигляді:

$$f(P_i, \lambda) = \sum_{i=1}^4 \frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2} + \lambda \left( \prod_{i=1}^4 P_i - P_{\text{зад}} \right),$$

де  $\lambda$  – множник Лагранжа.

Її часткові похідні за змінними  $P_i$  та часткові екстремуми визначаються рівнянням:

$$\frac{\partial f}{\partial P_i} = \frac{A_i}{(1 - P_i)^2} + \lambda \prod_{i=1}^4 P_i = 0.$$

Його можна записати в такому вигляді:

$$\frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2} = -\lambda \prod_{i=1}^4 P_i = -\lambda P_{\text{зад}}.$$

Оскільки для кожного  $i = 1, 2, 3, 4$  права частина попереднього рівняння зберігається постійною, можна стверджувати:

$$\frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2} = \frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2}, \cdot i = 2, 3, 4, \quad (4)$$

Таким чином, застосування методу множників Лагранжа наводить до системи чотирьох рівнянь (із них три рівняння типу (4)) з чотирма змінними:

$$\begin{cases} P_1 P_2 P_3 P_4 \geq 0,85, \\ \frac{50 P_1}{(1 - P_1)^2} = \frac{10 P_2}{(1 - P_2)^2}, \\ \frac{50 P_1}{(1 - P_1)^2} = \frac{30 P_3}{(1 - P_3)^2}, \\ \frac{50 P_1}{(1 - P_1)^2} = \frac{40 P_4}{(1 - P_4)^2}. \end{cases} \quad (5)$$

Такі системи (порядок рівняння більший трьох) вирішують ітераційне. Перший крок – знаходження першого наближення змінної  $P_1$  – здійснюємо таким чином:

$$P_1^1 = \sqrt[4]{P_{\text{зад}}} = 0,96, \quad (6)$$

Значення перших наближень функціональної досконалості  $P_2^{(1)}, P_3^{(1)}, P_4^{(1)}$  розраховуємо за нижчими рівняннями системи (4) та перевіряємо відповідність отриманих числових значень верхньому рівнянню системи. За результатами розрахунків  $P_2^{(1)} = 0,982, P_3^{(1)} = 0,969, P_4^{(1)} = 0,964$ . Перевірка отриманих значень через рівняння функціональної відповідності (друге рівняння системи (1)) надає суттєве перебільшення межі в 0,85. Наступне наближення  $P_1^{(2)}$  величини  $P_1$  здійснюємо за правилом:

$$P_{\text{зад}} = \prod_{i=1}^4 P_i = 0,85 < \prod_{i=1}^4 P_i^{(1)}, \rightarrow P_1^{(2)} < P_1^{(1)}, \quad (7)$$

Результати трьох ітерацій наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Результати ітераційних розрахунків функціональної відповідності ланок НП**

$P_i^{(j)}$	$P_1^j$	$P_2^j$	$P_3^j$	$P_4^j$	$\prod P_i^j$
$P_i^{(1)}$	0,96	0,982	0,969	0,964	0,881
$P_i^{(2)}$	0,94	0,974	0,952	0,946	0,824
$P_i^{(3)}$	0,95	0,977	0,961	0,955	0,851
$P_{\text{нд},i}$	0,050	0,023	0,039	0,045	-
$k_i$	1,00	2,17	1,28	1,11	-

Точність проведених розрахунків доведено до 0,001, і третя ітерація буде останньою.

У табл. 1 у двох нижніх рядках наведені значення функціональної недосконалості  $i$ -ї ланки  $P_{\text{нд},i}$ , які введені таким чином:

$$P_{\text{нд},i} = 1 - P_i, \quad (8)$$

а також їх нормовані щодо  $P_{\text{нд},1}$  значення  $k_i$ . Нормування здійснювалося за рівнянням:

$$k_i = \frac{P_{\text{нд},1}}{P_{\text{нд},i}}, \quad (9)$$

У результаті розрахунків отримано вартісний раціональний розподіл між рівнями функціональної відповідності ланок НП. Щоб проаналізувати результати розрахунків, необхідно повернутися до фізичного змісту поняття функціональної відповідності ланки НП (пункт 1 основного матеріалу).

Згідно з даними табл. 1, найвищі вимоги функціональної відповідності висуваються до величини  $P_2$  – параметра функціональної відповідності самостійної підготовки студентів. Він визначається збігом РПНД, навчально-методичних матеріалів, завдань та вказівок НПП із вимогами ОКХ, рівнем матеріально-технічного забезпечення.

Таким чином, найменш суспільно вартісний шлях підвищення якості, ефективності НП у навчальному закладі – вдосконалення самостійної підготовки студентів. Напрямів такої роботи два. По-перше, це підвищення ролі та відповідальності профільних кафедр за навчально-методичне забезпечення самостійної роботи, а також керівництва відповідного факультету – за організацію та якість її проведення.

По-друге, це покращення матеріально-технічного забезпечення самостійної підготовки сту-

дентів (доступність матеріально-технічної бази кафедр для самостійного опанування студентами необхідних знань, а також створення підрозділами забезпечення навчального закладу сприятливих умов для здійснення такого виду діяльності).

**Висновки.** Розроблення функціонально-вартісного алгоритму НП дає змогу виявити раціональні напрями його удосконалення за умов обов'язкового виконання ОКХ при мінімальних умовних витратах. Результати розрахунків за розробленим алгоритмом підтверджують провідну роль кафедри як центру навчальної, методичної роботи, наукової і науково-технічної діяльності, але за обов'язкової наявності високого рівня професійної компетентності НПП, тобто в термінах цієї статті – необхідного рівня її функціональної відповідності.

Перспективні напрями подальших досліджень є такими: уточнення механізмів визначення умовних вартостей окремих ланок НП у навчальному закладі, залучення розроблених алгоритмів задля вирішення інших прикладних завдань фахової діяльності, які складно формалізуються.

#### Список літератури:

1. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII / Верховна Рада України. *Голос України*. 2014. № 136.
2. Інструкція про організацію освітньої діяльності у вищих військових навчальних закладах Збройних Сил України та військових навчальних підрозділах вищих навчальних закладів України : Офіц. вид. Київ : МО України, МОН України, 2005. 52 с.
3. Слонов М.Ю., Поліщук В.О. Приклади раціоналізації системи з використанням безпосередньо вартісної моделі. *Вісник воєнної розвідки*. 2001. № 2(3). С. 68–75.
4. Goldbaum J. Life Cycle Cost Analysis State-of-the-Practice. Denver: Springfield, 2000.
5. Sato Y., Kaufman J.J. Value Analysis Tear-down: a New Process for Product Development and Innovation. New York : Industrial Press, 2005.
6. Saaty T.L. Concepts, Theory and Techniques: Rank Generation, Preservation and Reversal in the Analytic Hierarchy Process. *Decision Sciences*. 1987. Vol. 18. P. 157–177.
7. Bertsekas D. Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods. Athena : Athena Scientific, 1982. 400 p.

#### Slonov M.Yu. FUNCTIONAL-COST APPROACH TO STRUCTURAL IMPROVEMENT OF COMPLEX SYSTEM: EDUCATIONAL PROCESS

*The approach to quantitative evaluation of the influence of individual units on the process and learning outcomes is considered. It allows us to consider the educational process as a complex hierarchical system, to identify the directions of actual improvement and the necessary or unnecessary links between individual links. This will help to more readily approach the formulation of requirements for the construction of such a complex system as a higher educational institution. As a solution, it is proposed to distribute the levels of functional correspondence between the individual units on the condition of achieving the goal of the learning process at its minimum conditional value. The functional and costly algorithm for evaluating the conformity of the components of the educational process to the requirements of the state customer for the training of specialists is proposed and substantiated. It based on the prediction of a polynomial relationship between the par value and the functional alignment of each link. A system of equations created that describes the functional and value relationships between the links of the system. The solution of the system requires the determination of the magnitude of the empirical constants of the polynomial components, the determination of the magnitude of the*

*given probability of performing the training tasks, and also the direct solution of the system of equations for the localization of cost extreme. The values of the empirical constants are chosen according to the algorithm of determining the priority when pair comparing the components of the matrix of contiguity. The given probability of carrying out the task of training involves the normal law of density distribution of the probability of proper learning by students of the educational material. Solving the system of equations with the definition of cost extreme is carried out by means of the Lagrange multiplier method and iterative calculations. The results of the calculations confirm the priority of improving the methodological and logistical support of the departments and the independent training of students, but the obligatory professional competence of teachers, that is, in the terms of this article - the necessary level of their functional compliance.*

**Key words:** *educational process, cost model, complex hierarchical system, functional-cost calculations, functional correspondence, approximating functions.*