

Т.Д. КАЮК, Ю.М. СЕЛІН, Ю.В. КУЄВДА
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ВИБОРУ АЛЬТЕРНАТИВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНОГО АНАЛІЗУ

Стаття присвячена аналізу функціональних і вартісних аспектів розробки програмного продукту, що дає змогу оцінити і прийняті рішення щодо використаних технологій у контексті теорії вибору опцій та оптимізації виробничих процесів, що є ключовим для подальшого практичного застосування результатів проекту.

Вибір найбільш ефективної стратегії розробки системи, особливо тієї, що має велике значення для моделювання складноорганізованих систем, є критичним етапом. Кожен етап розроблення супроводжується ризиками, особливо початкові етапи, які встановлюють рамки для досягнення цілей наукового дослідження. Неправильний збір та обробка даних, вибір середовища та інструментів розробки, моніторинг виконання етапів і адекватна презентація результатів можуть значно вплинути на ефективність, надійність і економічну обґрунтованість прийняття рішень.

У статті докладно описано процес вирішення завдання вибору альтернатив розв'язку конкретної задачі з використанням функціонально-вартісного аналізу. Приведено постановку задачі, викладено теоретичні відомості, наведено алгоритм розв'язку. Як приклад представлено розрахунки вирішення задачі вибору альтернатив розробки програмного продукту, який дає змогу візуалізувати та аналізувати результати якісного аналізу динаміки складноорганізованих систем.

Представлені матеріали є частиною наукової роботи з розроблення інструментів для розрахунків та візуалізації результатів якісного аналізу динаміки складноорганізованих систем шляхом практичного застосування отриманих результатів в економічних моделях.

Об'єктом дослідження є якісний аналіз та візуалізація результатів моделювання динаміки складноорганізованих систем, представлених у вигляді системи автономних диференціальних рівнянь.

Предметом дослідження є комплекс програмних засобів для розрахунку та візуалізації результатів якісного аналізу динаміки складноорганізованих систем.

Ключові слова: складноорганізовані системи, вибір альтернатив, функціонально-вартісний аналіз, метод попарного порівняння, математичний апарат.

T.D. KAIUK, YU.M. SELIN, YU.V. KUIEVDA
 National Technical University of Ukraine
 "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

SOLVING PROBLEMS OF CHOOSING ALTERNATIVES USING BY FUNCTIONAL-COST ANALYSIS

The article is devoted to the analysis of functional and cost aspects of software product development, which allows to evaluate the decisions made regarding the used technologies in the context of the theory of option selection and optimization of production processes. What is key for further practical application of project results.

Choosing the most effective system development strategy, especially one that is important for modeling complex systems, is a critical step. Every stage of development is accompanied by risks, especially the initial stages that set the framework for achieving the goals of scientific research. Improper data collection and processing, choice of environment and development tools, monitoring of the execution of stages and adequate presentation of results can significantly affect the efficiency, reliability and economic feasibility of decision-making.

The article describes in detail the process of solving the problem of choosing alternatives for a specific problem using functional cost analysis. The statement of the problem is presented, the theoretical information is presented, and the algorithm for solving the problem is given. As an example, the calculations of the solution to the problem of choosing alternatives for the development of a software product are presented, which allows you to visualize and analyze the results of a qualitative analysis of the dynamics of complex systems.

The presented materials are part of the scientific work on the development of tools for calculating and visualizing the results of qualitative analysis of the dynamics of complex systems, through the practical application of the obtained results in economic models.

Object of research. Qualitative analysis and visualization of the results of modeling the dynamics of complex systems, presented in the form of a system of autonomous differential equations.

Subject of research. A set of software tools for calculating and visualizing the results of qualitative analysis of the dynamics of complex systems.

Key words: complex systems, choice of alternatives, functional value analysis, pairwise comparison method, mathematical apparatus.

Постановка проблеми

Менеджери на всіх рівнях щодня приймають різноманітні рішення для вирішення організаційних проблем. Сьогодні існує безліч процесів і методів для підвищення якості прийняття рішень. Вибір найкращого методу для вирішення конкретної управлінської проблеми має вирішальне значення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Взагалі ухвалення рішень – це процес вибору між двома або більше можливими варіантами задля того, щоб знайти розв’язання поставленого завдання. Експерти відіграють важливу роль у цьому процесі, вони мають високий ступінь знань про всі нюанси проблеми.

Якщо експерт добре обізнаний у певній галузі знань, його судження є об’єктивними і тому мають вирішальне значення для процесу прийняття рішень [1–3].

Альтернатива – це набір дій, який забезпечує комплексний підхід до вирішення проблеми. Альтернативи повинні відображати різні підходи до проблеми та різні пріоритети для різних цілей і надавати особам, які приймають рішення, реалістичні варіанти та переваги. Для вирішення проблеми прийняття рішень необхідно мати щонайменше дві альтернативи [4].

Деякі завдання передбачають пошук найефективнішої компанії серед наявних компаній або ухвалення рішення про найкращий університет чи літак. Особливістю цих задач є те, що набір альтернатив є закритим і не може бути розширений [5].

Коли варіантів занадто багато, особа, яка приймає рішення, не завжди може приділити увагу кожному з них.

За виникнення такої ситуації зростає потреба в розробленні чітких правил вибору, процедур залучення експертів і набору правил, що дають змогу проводити послідовну політику без суперечностей.

Сучасні методи прийняття рішень наближають формальні схеми до реального світу, фокусуючись на врахуванні всіх відмінних рис альтернатив та багатстві їх опису. Тому все більшого поширення набувають багатокритеріальні визначення альтернатив. Одним із способів задовольнити ці вимоги є математичне формулювання проблеми прийняття рішень.

Якщо альтернативи не визначені, то критерії визначаються на підставі вимог задачі вибору. У цьому разі розглядаються або минулі ситуації прийняття рішень, або очікувані альтернативи [6].

Задача прийняття рішення та її рішення залежать від кількості критеріїв. Якщо кількість критеріїв невелика, завдання порівняння двох альтернатив є дуже простим для особи, яка приймає рішення [7].

Одним з ключових питань, що впливають на економічну діяльність будь-якої організації, є правильний вибір методу оцінки тендерів. Від цього залежать інтереси та загальний розвиток організації. Більше того, для того щоб прийняти правильне рішення, необхідно врахувати всі «за» і «проти» кожної економічної пропозиції. Це дуже ускладнює процес прийняття рішень, особливо визначення того, які критерії є більш важливими, ніж інші. Хороше рішення цієї проблеми можна отримати, застосувавши метод аналізу ієрархій (MAI), який має міцну математичну основу [8].

За великого числа критеріїв завдання стає складнішим. На щастя, за великої кількості критеріїв вони зазвичай можуть бути об’єднані в групи залежних критеріїв, які мають певне смислове значення і свою назву. Такі групи, як правило, незалежні. Назву такої групи

критеріїв можна розглядати як назва узагальненого критерію. Таким чином, з'являється ієрархія критеріїв. У низці завдань можуть бути побудовані ієрархії критеріїв з різною кількістю рівнів. Підставою для природного об'єднання критеріїв в групи є можливість виділити плюси та мінуси альтернативи, її переваги та недоліки (наприклад, вартість та ефективність). Далі вони також можуть бути розділені на групи (наприклад, критерії, важливі для самої людини, що приймає рішення, для активних груп). Велику роль в утворенні груп відіграє залежність критеріїв [9; 10].

Як приклад можна згадати дослідження, що було виконано для наповнення математичного апарату системи підтримки прийняття рішень в задачах вибору альтернатив під час проведення тендерних процедур [11].

Мета дослідження

Метою статті є проведення функціонально-вартісного аналізу процедури розробки програмного продукту; розгляд основних компонентів системи: системи визначення ключових параметрів моделі, інтерфейсу побудови математичної моделі, системи фіксації параметрів, а також системи постановки чисельного експерименту; проведення якісного аналізу математичної моделі для визначення різних режимів функціонування системи за різних значень параметрів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Робота була зосереджена на розробленні комплексу засобів для розрахунку та візуалізації результатів якісного аналізу динаміки складноорганізованих систем. Він має науково-дослідницький характер і не передбачає комерційної реалізації. Важливо врахувати висновки проведеного аналізу, які можуть бути корисні для дослідників, техніків та інших фахівців у галузі математичного моделювання.

Економічний аспект залишається важливим у плануванні, оскільки більшість проєктів обмежена в часі, а фінансові ресурси є одним з найважливіших факторів впливу. Перспектива полягає в тому, що науково-дослідницькі проєкти, спрямовані на пошук інноваційних підходів, часто отримують фінансування тільки за наявності видимих результатів, що підкреслює важливість вартісного аналізу проведеної роботи. Це дасть змогу зрозуміти, наскільки обґрунтованою є розробка подібних методів на підставі вибраних технологій та отриманих результатів.

Необхідно зазначити, що аналіз ринку та конкурентів у традиційному розумінні не є можливим. Це пояснюється тим, що розробники передових рішень у сфері дослідження методів якісного аналізу динаміки складноорганізованих систем не розкривають фінансових аспектів, а їхні програмні продукти не мають відкритого доступу. Тому ці рішення не призначені для продажу і не мають на меті прямого впровадження у комерційні системи, а спрямовані на поширення знань та розуміння процесів моделювання та впливу різних факторів на їхню динаміку.

Обґрунтування функцій програмного продукту

Головна функція F_0 – розробка програмного продукту, який дає змогу візуалізувати та аналізувати результати якісного аналізу динаміки складноорганізованих систем. На основі цієї функції виділено такі головні функції виробу:

- F_1 – вибір мови програмування для реалізації вибраного алгоритму;
- F_2 – вибір бібліотеки для роботи з інтерфейсом програми;
- F_3 – вибір бібліотеки для роботи з графічними даними.

Зокрема, варто визначити декілька можливих варіантів їх реалізації:

Функція F_1 :

- JavaScript;
- Python.

Функція F_2 :

- Bootstrap;
- Foundation;
- Tkinter.

Функція F_3 :

- Plotly.js;
- D3.js;
- Matplotlib.

Морфологічна карта реалізації основних функції зображена на рис. 1.

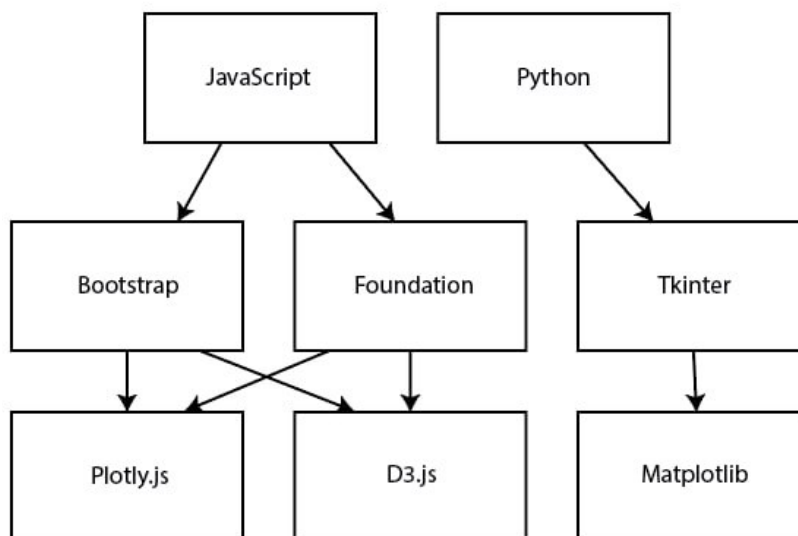


Рис. 1. Морфологічна карта

На основі визначених функцій, представлених варіантів реалізації та сформованої морфологічної карти було побудовано позитивно-негативну матрицю, результати якої продемонстровано нижче, у табл. 1.

Після аналізу позитивно-негативної матриці можна провести відбір інструментів, що найбільш підходять для задач проекту, забезпечуючи оптимальний баланс між перевагами та недоліками.

Функція F_1

Як мову програмування можна розглянути JavaScript, адже вона є дуже поширеною, ідеально підходить для поставлених задач і має велику кількість допоміжних бібліотек. Не менш важливим є те, що JavaScript добре працює з мовою розмітки HTML, що дає змогу легко створювати інтерфейс і маніпулювати ним (функція F_2), гнучко підбирати стилі окремих елементів сторінки і відкриває доступ до публічного розміщення програми у мережі Інтернет. Python призначена для більш наукових задач, але водночас є складнішою у розумінні мовою програмування.

Функція F_2

Найбільш популярним використанням мови JavaScript є розробка додатків і вебсайтів, що робить її зручним інструментом для налаштування зовнішнього вигляду і інтерфейсу програми. Не останню роль у цьому відіграють різномантні бібліотеки, наприклад Bootstrap і Foundation. Серед цих двох найбільш перспективним варіантом для роботи можна вважати саме Bootstrap через її простоту і візуальне вподобання. Щодо Python, то найзручнішим інструментом побудови інтерфейсу є бібліотека Tkinter.

Таблиця 1

Позитивно-негативна матриця

Функція	Варіант	Переваги	Недоліки
F_1	JavaScript (A)	Швидкість розробки, висока масштабованість	Менша ефективність для важких обчислень
	Python (B)	Багато наукових бібліотек для обробки даних та візуалізації	Складність розробки генерованого інтерфейсу
F_2	Bootstrap (A)	Широкі можливості кастомізації та швидкість розробки	Може вимагати додаткового часу для оптимізації на великих проєктах
	Foundation (B)	Гнучка сітка та добре працює на мобільних пристроях	Потребує більшої кількості налаштувань порівняно з іншими бібліотеками
	Tkinter (C)	Вбудований у Python та простий у використанні для створення інтерфейсу	Менша кількість готових елементів і стилів порівняно з іншими інструментами
F_3	Plotly.js (A)	Легкий у використанні та візуально привабливий	Менша гнучкість та складність
	D3.js (B)	Велика гнучкість та можливості для створення складних візуалізацій	Вимагає великої кількості коду для реалізації навіть простих графіків
	Matplotlib (C)	Можливості для створення різноманітних графіків та візуалізацій у Python	Потребує додаткового налаштування для досягнення бажаних результатів

Функція F_3

Головною метою усієї роботи є проведення якісного аналізу САДР, а саме побудова фазового портрету у дво- та тривимірному вигляді. Якщо для мови програмування ми вибираємо JavaScript, то є вже готові рішення, а саме бібліотеки Plotly.js і D3.js. Остання є більш комплексною, але й вимагає більшого залучення у налаштування. Plotly.js має візуально приємний і дружній до користувача інтерфейс і, оскільки ми будемо простий графік, без інших складних візуалізацій, підходить найкраще під наші потреби. Щодо Python, то вибір падає на бібліотеки Matplotlib, що також має можливості для побудови дво- і тривимірних графіків.

Отже, будемо розглядати такі варіанти реалізації програмного продукту:

- 1) $F_1(A) - F_2(A) - F_3(A)$.
- 2) $F_1(B) - F_2(C) - F_3(C)$.

Для оцінювання якості розглянутих функцій вибрана система параметрів, описана нижче.

Обґрунтування системи параметрів програмного продукту

Для того щоб охарактеризувати програмний продукт, будемо використовувати такі параметри:

- X_1 – об’єм оперативної пам’яті для проведення обчислень;
- X_2 – об’єм написаного програмного коду;
- X_3 – об’єм задіяних ресурсів центрального процесору;
- X_4 – об’єм затраченого часу на проведення обчислень.

Після аналізу вимог до програми і опису її функцій було вибрано найгірші, середні та найкращі значення параметрів, як показано в табл. 2.

Аналіз експертного оцінювання параметрів

Після всебічного обговорення і аналізу кожен експерт оцінює значущість кожного параметра для досягнення конкретної мети – створення програмного продукту, який проводить якісний аналіз складноорганізованих динамічних систем.

Значущість кожного параметра визначається за допомогою методу попарного порівняння. Оцінювання здійснюється групою із семи експертів. Процес визначення коефіцієнтів значущості включає такі етапи.

Таблиця 2

Основні параметри програмного продукту

Параметр	Умове позначення	Одиниця виміру	Значення		
			найгірше	середнє	найкраще
Об'єм оперативної пам'яті для проведення обчислень	X_1	Мб	8 192	4 096	2 048
Об'єм написаного програмного коду	X_2	Кількість рядків	640	520	480
Об'єм задіяних ресурсів центрального процесору	X_3	Відсотки	25	18	12
Об'єм затраченого часу на проведення обчислень	X_4	Секунди	80	41	2

- 1) Встановлення рівня важливості параметра через присвоєння різних рангів.
 - 2) Перевірка відповідності експертних оцінок для подальшого використання.
 - 3) Визначення попарного пріоритету параметрів.
 - 4) Аналіз результатів і розрахунок коефіцієнта значущості.
- Результати проілюстровано у табл. 3.

Таблиця 3

Експертне оцінювання параметрів

Позначення параметра	Одиниці виміру	Ранг параметра за оцінкою експерта							Сума рангів R_i	Відхилення Δ_i	Δ_i^2
		1	2	3	4	5	6	7			
X_1	Мб	2	1	1	2	1	1	2	10	-7,5	56,25
X_2	Кількість рядків	4	4	4	3	3	5	3	26	8,5	72,25
X_3	%	1	2	3	1	2	1	1	11	-6,5	42,25
X_4	Секунди	3	3	2	4	4	3	4	23	5,5	30,25
		10	10	10	10	10	10	10	70	0	201

Для перевірки достовірності проведемо обчислення декількох параметрів:
 – сума рангів кожного з параметрів і загальна сума рангів:

$$R_i = \sum_{j=1}^N r_{ij} = \frac{Nn(n+1)}{2} = \frac{7 \cdot 4(4+1)}{2} = 70,$$

де N – число експертів, n – кількість параметрів;
 – середня сума рангів:

$$T = \frac{1}{n} R_{ij} = 17,5;$$

– відхилення суми рангів кожного параметра від середньої суми рангів:

$$\Delta_i = R_i - T;$$

сума відхилень за всіма параметрам повинна дорівнювати 0;
 – загальна сума квадратів відхилення:

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta_i^2 = 201.$$

Враховуючи ці параметри, порахуємо коефіцієнт узгодженості:

$$W = \frac{10S}{N^2(n^3 - n)} = \frac{10 \cdot 169}{7^2(4^3 - 4)} = 0,68 > W_k = 0,67.$$

Отже, маємо коефіцієнт узгодженості, вищий за нормативний показник $W_k = 0,67$, що свідчить про високий рівень.

Числове значення, що визначає ступінь переваги i -го параметра над j -м, a_{ij} визначається за формулою:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1.5 \text{ при } X_i > X_j \\ 1.0 \text{ при } X_i = X_j \\ 0.5 \text{ при } X_i < X_j \end{cases}$$

Таблиця 4

Попарне порівняння параметрів

Параметри	Експерти							Кінцева оцінка	Числове значення
	1	2	3	4	5	6	7		
$X1 \text{ i } X2$	<	<	<	<	<	<	<	<	0,5
$X1 \text{ i } X3$	>	<	<	>	<	<	>	<	0,5
$X1 \text{ i } X4$	<	<	<	<	<	<	<	<	0,5
$X2 \text{ i } X3$	>	>	>	>	>	>	>	>	1,5
$X2 \text{ i } X4$	>	>	>	<	<	>	<	>	1,5
$X3 \text{ i } X4$	<	<	>	<	<	<	<	<	0,5

За результатами числових значень коефіцієнтів переваг на основі підсумкових оцінок було складено квадратну матрицю $A = x_{ij}$ та розраховано пріоритетність K_{ei} для кожного з параметрів, поки різниця між ітераціями розрахунку цих вагомості не стала меншою за 5%.

$$b_i = \sum_{i=1}^N a_{ij};$$

$$K_{ei} = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^n b_i}.$$

Для наступних ітерацій використовувались:

$$b_i' = \sum_{i=1}^N a_{ij} b_j;$$

$$K_{ei}' = \frac{b_i'}{\sum_{i=1}^n b_i'}.$$

Таблиця 5

Розрахунок вагомості параметрів

Параметри x_i	Параметри x_j				Ітерація № 1		Ітерація № 2	
	X_1	X_2	X_3	X_4	b_i	K_{ei}	b_i^1	K_{ei}^1
X_1	1	0,5	0,5	0,5	2,5	17,86%	8,25	16,18%
X_2	0,5	1	1,5	1,5	4,5	32,14%	16,25	31,86%
X_3	0,5	1,5	1	0,5	3,5	25,00%	13,25	25,98%
X_4	0,5	1,5	0,5	1	3,5	25,00%	13,25	25,98%
Всього					14	1	51	14

Як бачимо за таблицею 5, наступні ітерації відрізняються не більше ніж на 2%, що говорить про непотрібність подальших операцій.

Аналіз рівня якості варіантів реалізації функцій

Рівень якості кожного варіанта виконання основних функцій визначаємо окремо.

Абсолютні значення параметрів X_1 – об’єм оперативної пам’яті для проведення обчислень, X_3 – об’єм задіяних ресурсів центрального процесору та X_4 – об’єм затраченого часу на проведення обчислень відповідають технічним вимогам умов функціонування цього програмного продукту.

Абсолютне значення параметра X_2 – об’єм написаного програмного коду вибрано не найгіршим.

Коефіцієнт технічного рівня для кожного варіанта реалізації програмного продукту розраховується так (табл. 6):

$$K_K(j) = \sum_{i=1}^n K_i B_i,$$

де n – кількість параметрів, K_{vi} – коефіцієнт вагомості i -го параметра, B_i – оцінка i -го параметра в балах.

Таблиця 6

Розрахунок показників рівня якості

Основні функції	Варіант реалізації функції	Параметри, задіяні у реалізації	Абсолютне значення параметра	Бальна оцінка параметра	Коефіцієнт вагомості параметра	Коефіцієнт рівня якості
F_1	А	X_4	52	7	0,26	1,82
	В	X_4	41	8	0,26	2,08
F_2	А	X_1	2 048	10	0,16	1,6
	С	X_1	4 096	6	0,16	0,96
F_3	А	X_2	500	5	0,32	1,6
	С	X_2	520	6	0,32	1,92

За даними табл. 6 і формулою визначаємо рівень якості кожного з варіантів:

$$K_K = K_{TV} [F_{1k}] + K_{TV} [F_{2k}] + \dots + K_{TV} [F_{zk}].$$

$$K_{K1} = 1,82 + 1,6 + 1,6 = 5,02.$$

$$K_{K2} = 2,08 + 0,96 + 1,92 = 4,96.$$

Як видно з розрахунків, хоч і з незначним відривом, але кращим є варіант 1, для якого коефіцієнт технічного рівня має найбільше значення.

Економічний аналіз варіантів розробки програмного продукту

Проведемо розрахунок загальної трудомісткості системи цього проєкту.

Розділимо програмний продукт на два проєкти: розробка алгоритму для розрахунку точок фазового портрету і розробку динамічного інтерфейсу, його розміщення і стилізація. Перше завдання має новизну групи «А», тоді як друге – «В». Складність алгоритму першого – 1, другого – 3. Складність організації контролю вхідної та вихідної інформації – «5,1 + 5,4» (вихідні дані та документи різноманітного розміру і структури). Мова програмування – JavaScript.

Скористаємось формулою:

$$T_O = T_P \cdot K_{II} \cdot K_{CK} \cdot K_M \cdot K_{CT} \cdot K_{CTM},$$

де T_P – трудомісткість розробки ПП, K_{II} – поправочний коефіцієнт, K_{CK} – коефіцієнт на складність вхідної інформації, K_M – коефіцієнт рівня мови програмування, K_{CT} – коефіцієнт використання стандартних модулів і прикладних програм, K_{CTM} – коефіцієнт стандартного математичного забезпечення.

Виходячи з норм часу для завдань розрахункового характеру ступеня новизни А та групи складності алгоритму 1, трудомісткість має такі значення: $T_P = 90$ людино-днів. Поправочний коефіцієнт, який враховує вид нормативно-довідкової інформації для першого завдання: $K_{II} = 1,6$. Поправочний коефіцієнт, який враховує складність контролю вхідної та вихідної інформації: $K_{CK} = 1$. Коефіцієнт рівня мови програмування $K_M = 0,8$. Під час розроблення першого завдання майже жодних стандартних модулів не використовувалося, врахуємо це за допомогою коефіцієнта $K_{CT} = 1$. Коефіцієнт стандартного математичного забезпечення позначимо 0,4. Тоді загальна трудомісткість програмування першого завдання дорівнює:

$$T_1 = 90 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,4 = 46,08 (\text{людино} - \text{днів}).$$

Аналогічно розпишемо для другого завдання. Тобто $T_P = 27$, $K_{II} = 1,6$, $K_{CK} = 0,5$, $K_M = 0,5$, $K_{CT} = 0,5$, $K_{CTM} = 0,5$.

$$T_2 = 27 \cdot 1,6 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 = 2,7 (\text{людино} - \text{днів}).$$

Отримуємо доволі правдоподібні дані, зважаючи на те, що перше завдання має на меті складний математичний алгоритм, а друге – розробити візуальний супровід для нього.

Оскільки у розробці бере участь один програміст з окладом 34 327 грн і один фронтенд-розробник з окладом 22 212 грн, то середня заробітна плата складає:

$$СЧ = \frac{M}{T_m \cdot t} (\text{грн}),$$

де M – місячний оклад працівників, T_m – кількість робочих днів на тиждень, t – кількість робочих годин у день.

$$C_{Ч1} = \frac{34327}{3 \cdot 21 \cdot 8} = 68,1(\text{грн}).$$

$$C_{Ч2} = \frac{22212}{3 \cdot 21 \cdot 8} = 44,07(\text{грн}).$$

Розрахуємо заробітну плату за формулою:

$$C_{ЗП1} = C_{ч1} \cdot T_i \cdot K_D = 68,1 \cdot 46,08 \cdot 8 \cdot 1,1 = 27614,82(\text{грн});$$

$$C_{ЗП2} = C_{ч2} \cdot T_2 \cdot K_D = 44,07 \cdot 2,7 \cdot 8 \cdot 1,1 = 1047,10(\text{грн}),$$

де $C_{ч}$ – величина погодинної оплати роботи програміста, T_i – трудомісткість відповідного завдання, K_D – норматив, який враховує додаткову заробітну плату.

Відраховано соціальний внесок від заробітної плати:

$$C_{від} = (C_{ЗП1} + C_{ЗП2}) \cdot 0,22 = (27614,82 + 1047,10) \cdot 0,22 = 6305,62(\text{грн}).$$

Розрахуємо машинний час, враховуючи додаткову заробітну плату і відрахування соціального внеску:

$$C_2 = 12 \cdot M \cdot K_3 = 12 \cdot (34327 + 22212) \cdot 0,2 = 135693,6(\text{грн});$$

$$C_{зн} = C_2 \cdot (1 + K_3) = 135693,6 \cdot 1,2 = 162832,32(\text{грн});$$

$$C_{від} = 162832,32 \cdot 0,22 = 86400 \cdot 1,2 = 35823,11(\text{грн}),$$

де K_3 – коефіцієнт зайнятості.

Амортизаційні відрахування розраховуємо за амортизації 25% та вартості ЕОМ: 21 250 грн.

$$C_A = 2 \cdot K_{TM} \cdot K_A \cdot C_{ПП} = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,25 \cdot 21250 = 12218,75(\text{грн}).$$

Витрати на ремонт та профілактику можна підрахувати:

$$C_P = 2 \cdot K_{TM} \cdot K_P \cdot C_{ПП} = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,05 \cdot 21250 = 2443,75(\text{грн}).$$

Ефективний годинний фонд часу ПК за рік розраховуємо за формулою:

$$T_{ЕФ} = (D_K - D_B - D_C - D_P) \cdot t_3 \cdot K_B = (365 - 104 - 12 - 16) \cdot 8 \cdot 0,8 = 1684,8(\text{год}).$$

Порахуємо витрати на оплату електроенергії (з урахуванням ПДВ):

$$C_{ЕЛ} = 2 \cdot T_{ЕФ} \cdot N_C \cdot K_3 \cdot C_{ен} \cdot K_B = 1684,8 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 5,23 = 704,92(\text{грн}).$$

Порахуємо накладні витрати:

$$C_H = C_{IP} \cdot 0,67 = 21250 \cdot 0,67 = 14237,5 (\text{грн}).$$

Порахуємо вартість експлуатації:

$$C_{EKC} = C_{ЗП1} + C_{ЗП2} + C_{ВД} + C_A + C_P + C_{ЕЛ} + C_H = \\ = 27614,82 + 1047,10 + 6305,62 + 12218,75 + 2443,75 + 704,92 + 14237,5 = 199789,96 (\text{грн}).$$

Вартість однієї машино-години:

$$C_{M-Г} = \frac{C_{EKC}}{T_{ЕФ}} = \frac{199789,96}{1684,8} = 118,58 (\text{грн}).$$

Для обох варіантів реалізації:

$$C_M = C_{M-Г} \cdot T = 203,26 \cdot (46,08 + 2,7) \cdot 8 = 79320,18 (\text{грн}).$$

Накладні витрати:

$$C_H = (C_{ЗП1} + C_{ЗП2}) \cdot 0,67 = (27614,82 + 1047,10) \cdot 0,67 = 19203,5 (\text{грн}).$$

Загальна вартість розробки програмного продукту за обома варіантами становила однакове значення, оскільки обидві варіанти не потребують особливих витрат на якісь підписки чи додаткові типи послуг:

$$C_{III} = (27614,82 + 1047,10) + 6305,62 + 79320,18 + 19203,5 = 133491,22 (\text{грн}).$$

Вибір кращого варіанта програмного продукту техніко-економічного рівня

Тепер виберемо найкращий варіант реалізації. Для цього спочатку розрахуємо коефіцієнт техніко-економічного рівня для двох варіантів реалізації відповідно:

$$K_{TEP1} = \frac{K_{K1}}{C_{III}} = \frac{5,02}{133491,22} = 3,76 \cdot 10^{-5};$$

$$K_{TEP2} = \frac{K_{Kj}}{C_{III}} = \frac{4,96}{133491,22} = 3,715 \cdot 10^{-5}.$$

Згідно з результатами проведеного функціонально-вартісного аналізу прийнято рішення імплементувати перший варіант реалізації програмного продукту, що включає використання мови JavaScript для розробки алгоритму у поєднанні з бібліотекою Bootstrap для розробки інтерфейсу і Plotly.js для візуалізації результатів роботи.

Висновки

В ході виконання наукової роботи було проведено функціонально-вартісний аналіз програмного продукту. Результати показали доцільність використання такого набору технологій: JavaScript, Bootstrap, Plotly.js.

Розглянуто основні компоненти системи: систему визначення ключових параметрів моделі, інтерфейс побудови математичної моделі, систему фіксації параметрів, а також систему постановки чисельного експерименту. Важливим етапом є якісний аналіз математичної моделі, що дає змогу визначати різні режими функціонування системи за різних значень параметрів.

Програмний продукт розроблено мовою JavaScript з використанням HTML та CSS, а також фреймворку Bootstrap для розробки інтерфейсу. Мова програмування вибрана з огляду на її широкі можливості, зокрема у генерації коду в текстовому форматі, а також можливості його виконання.

Всі завдання, що були поставлені в роботі, виконано.

Список використаної літератури

1. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин. Харків: НТМТ, 2017. 448 с.
2. Holsapple C.W., Whinston A.B. Decision Support Systems (a knowledge based approach). New York: West Publishing Company, 2003. 860 p.
3. Олексюк О.С. Системи підтримки прийняття фінансових рішень на мікрорівні. Київ: Наукова думка, 1998. 508 с.
4. Saaty Th.L. Mathematical Principles of Decision Making (Principia Mathematica Decernendi). Pittsburgh: RWS. 2009, 562 p.
5. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. Київ: Видавнича група BHV, 2007. 544 с.
6. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень. Київ: ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.
7. Берсуцький Я.Г., Лепа Н.Н., Гузь Н.Г. Прийняття рішення в управлінні економічними об'єктами: методи та моделі. Донецьк: Юго-Восток, Лтд, 2002. 276 с.
8. Hallowell D.L. Analytical Hierarchy Process (AHP). Getting Oriented. *ISixSigma journal*. 2005.
9. Nesterenko O., Netesin I., Polischuk V., Selin Y. Multifunctional Methodology of Expert Evaluation Alternatives in Tasks of Different Information Complexity. *Proceedings of 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*. 2021. P. 226–231. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678742.
10. Nesterenko O., Netesin I., Polischuk V., Selin Y. Graph-based decision making for varying complexity multicriteria problems. *Computer Science Journal of Moldova*. 2022. Vol. 30. No. 3 (90). P. 391–412. DOI: 10.56415/csjm.v30.21.
11. Топунова В.Ю., Нестеренко О.В., Шубенкова І.А., Селін Ю.М. Використання функціонально-вартісного аналізу у задачах вибору альтернатив. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2023. Т. 25. № 1. С. 65–74. ISSN: 1560-9189. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2023.25.1.287159>.

References

1. Buchynskiy, M.Ia., Horyk, O.V., Cherniavskiy, A.M., & Yakhin, S.V. (2017). *Osnovy tvorennia mashyn [Fundamentals of machine building]*. Kharkiv: "NTMT" [in Ukrainian].
2. Holsapple, C.W., & Whinston, A.B. (2003). *Decision Support Systems (a knowledge based approach)*. New York: West Publishing Company [in English].
3. Oleksiuk, O.S. (1998). *Systemy pidtrymky pryiniattia finansovykh rishen na mikrorivni [Micro-level financial decision support systems]*. Naukova dumka [in Ukrainian].
4. Saaty, Thomas, L. (2009). *Mathematical Principles of Decision Making (Principia Mathematica Decernendi)*. Pittsburgh: RWS [in English].
5. Zghurovskiy, M.Z., & Pankratova, N.D. (2007). *Osnovy systemnoho analizu, [Fundamentals of systems analysis]*. Vydavnycha hrupa BHV [in Ukrainian].

6. Hnatiienko, H.M., & Snytiuk, V.Ie. (2008). *Ekspertni tekhnolohii pryiniattia rishen [Expert decision-making technologies]*. K.: TOV “Maklout” [in Ukrainian].
7. Bersutskyi, Ya.H., Lepa, N.N., & Huz, N.H. (2008). *Pryniattia rishennia v upravlinni ekonomichnymy obiekty: metody ta modeli [Decision-making in the management of economic objects: methods and models]*. NANU IEP. Donetsk: Yuho-Vostok, Ltd [in Ukrainian].
8. Hallowell, David L (2005). *Analytical Hierarchy Process (AHP). Getting Oriented*. Retrieved from: <http://software.isixsigma.com/library/content/c050105a.asp> [in English].
9. Nesterenko, O., Netesin, I., Polischuk, V., & Selin, Y. (2021). Multifunctional Methodology of Expert Evaluation Alternatives in Tasks of Different Information Complexity. *Proceedings of 2021 IEEE 3rd International Conference on Advanced Trends in Information Theory (ATIT)*, pp. 226–231. DOI: 10.1109/ATIT54053.2021.9678742 [in English].
10. Nesterenko, O., Netesin, I., Polischuk, V., & Selin, Y. (2022). Graph-based decision making for varying complexity multicriteria problems. *Computer Science Journal of Moldova*, 30, 3 (90), 391–412. DOI: 10.56415/csJM.v30.21 [in English].
2. Topunova, V.Yu., Nesterenko, O.V., Shubenkova, I.A., & Selin, Yu.M. (2023). Vykorystannia funktsionalno-vartisnoho analizu u zadachakh vyboru alternatyv. [Using functional-cost analysis in problems of choosing alternatives]. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh*. 25 (1), 65–74. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2023.25.1.287159> [in Ukrainian].

Каюк Тарас Дмитрович – бакалавр Київського національного університету імені Тараса Шевченка. E-mail: Kaiuk.Taras@lil.kpi.ua.

Селін Юрій Миколайович – к.т.н., старший викладач кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: selinyurij1963@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7562-8586.

Куєвда Юлія Валеріївна – к.т.н., доцент кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». E-mail: kuievda.iuliia@lil.kpi.ua, ORCID: 0009-0001-6630-1215.

Kaiuk Taras Dmytrovych – Bachelor of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. E-mail: Kaiuk.Taras@lil.kpi.ua.

Selin Yurii Mykolaiovych – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Mathematical Methods of System Analysis of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. E-mail: selinyurij1963@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7562-8586.

Kuievda Yuliia Valeriivna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Mathematical Methods of System Analysis of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. E-mail: kuievda.iuliia@lil.kpi.ua, ORCID: 0009-0001-6630-1215.