

*Ю.І. Сивицький, В.Л. Шевченко*

## КОМП'ЮТЕРНА МОДЕЛЬ ТРАНСФОРМАЦІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

Стаття присвячена актуальному питанню створення комп'ютерної системи підтримки управлінських рішень щодо оптимізації процесів трансформації організацій при адаптації під умови виконання нових проєктів. Метою статті є підвищення ефективності діяльності великих організаційних структур за рахунок створення комп'ютерних моделей, які з одного боку мають достатній рівень адекватності, а з іншого - мають наочну інтерпретацію основних вхідних параметрів, що дозволяє легко їх визначати на основі емпіричних даних. За основу системи підтримки управлінських рішень розглядається комп'ютерна модель у вигляді імітаційної моделі. В роботі виконаний аналіз існуючих досліджень, обґрунтована актуальність задачі. Виконаний аналіз існуючих експоненціальних та лінійних моделей. Обґрунтована адекватність логістичних моделей. Розглянута диференціальна форма логістичних моделей. Звичайне диференціальне рівняння логістичної моделі розв'язане з метою отримання інтегральної форми логістичного рівняння. Введені параметри комп'ютерної моделі, які легко визначати чисельно на основі емпіричних даних. Створена математична модель корисного ефекту організації в умовах трансформації, яка встановлює залежність корисного ефекту від вхідного ресурсу (часу). Модель створена у вигляді комбінації декількох логістичних залежностей, кожна з яких відповідає за зростання або за зменшення корисного ефекту. В моделі враховані залежності зростання корисного ефекту для основної та нової технологій, зниження корисного ефекту внаслідок морального старіння технології та поступове зниження корисного ефекту внаслідок директивного вимкнення старої технології. Структура моделі дозволяє її масштабування на більш складні сценарії розвитку. Введено поняття ступеня нечутливості корисного ефекту до невеликих величин вхідних ресурсів на початкових етапах розвитку організації. Досліджена залежність вихідного результату від ступеня нечутливості. Модель реалізована алгоритмічною мовою MatLab.

Ключові слова: Комп'ютерна модель, імітаційна модель, логістична залежність, корисний ефект, ресурс, підтримка управлінських рішень, автоматизація, оптимізація

*Yu. Svytskyi, V. Shevchenko*

## COMPUTER MODEL OF ORGANIZATION TRANSFORMATION

The article is devoted to the topical issue of creating a computer system to support management decisions regarding the optimization of the transformation processes of organizations when adapting to the conditions of the implementation of new projects. The purpose of the article is to increase the efficiency of large organizational structures by creating computer models that, on the one hand, have a sufficient level of adequacy, and on the other hand, have a visual interpretation of the main input parameters, which allows them to be easily determined on the basis of empirical data. A computer model in the form of a simulation model is considered as the basis of the management decision support system. In the work, the analysis of existing studies is performed, the relevance of the problem is substantiated. The analysis of existing exponential and linear models was performed. Reasoned adequacy of logistic models. The differential form of logistic models is considered. The ordinary differential equation of the logistic model is solved in order to obtain the integral form of the logistic equation. The parameters of the computer model are introduced, which are easy to determine numerically on the basis of empirical data. A mathematical model of the beneficial effect of the organization in the conditions of transformation was created, which establishes the dependence of the beneficial effect on the input resource (time). The model is created as a combination of several logistic dependencies, each of which is responsible for increasing or decreasing the beneficial effect. The model takes into account the dependences of the growth of the useful effect for the main and new technologies, the decrease of the useful effect as a result of the moral obsolescence of the technology, and the gradual decrease of the useful effect due to the directive shutdown of the old technology. The structure of the model allows its scaling to more complex development scenarios. The concept of the degree of insensitivity of the useful effect to small amounts of input resources at the initial stages of the organization's development is introduced. The dependence of the initial result on the degree of insensitivity was studied. The model was implemented using the MatLab algorithmic language.

Keywords: Computer model, simulation model, logistic dependence, useful effect, resource, management decision support, automation, optimization

## Вступ

Впровадження автоматизованих систем управління (АСУ) підприємствами (ERP, Enterprise Resource Planning) починається з ретельного вивчення і корегування бізнес-процесів підприємства [1]. Також загальновідомо, що в кожному класі задач (проектів) різні організаційні структури підприємства мають різну ефективність. Тому перехід на нові класи задач (проектів) може потребувати зміни організаційної структури підприємства. Малі проекти зазвичай виконуються в рамках уже існуючих оргструктур. Але для виконання великих проектів, виходячи з масштабів фінансування та можливих збитків у випадку невдачі, часто створюють нові організації або трансформують організації, що вже існували. Мета – отримання організаційної структури найбільш ефективною в рамках конкретного великого проекту. Рішення щодо шляхів трансформації в останньому випадку приймаються на основі досвіду, відчуття, натхнення тощо. Чим більше масштаб організації та масштаб проекту, тим складнішою буде ситуація. Потрібне дуже глибоке обґрунтування рішень, щоб переконувати осіб, від яких залежить фінансування проектів трансформації та розвитку організації. Водночас втрати великих проектів у випадку невдачі сягають космічних величин. Наявність жорсткої конкуренції із зовнішніми організаціями та серед інсайдерів організації так само питання не полегшують. Тож питання оптимізації та обґрунтування рішень щодо напрямків та шляхів трансформації організаційних структур при відкритті нових проектів є **актуальною задачею**. Відповідно, **актуальною задачею** є створення комп'ютерних моделей трансформації організацій, які би входили до складу програмних систем підтримки управлінських рішень.

### 1. Аналіз існуючих досліджень

Створення комп'ютерної моделі потрібно розпочинати із ретельного вивчення об'єкту моделювання, тобто основних видів організаційних структур, процесів їх розвитку та трансформації.

У роботах [2, 3] проаналізовані основні види організаційних структур: ієрархічна, матрична, змішана, проектна тощо. Недолік: відсутні чисельні оцінки і навіть підходи до створення чисельних характеристик розглянутих видів організаційних структур підприємств.

Загальні методичні підходи щодо вибору організаційної структури проекту, детальний аналіз характеристик і варіантів використання можливих організаційних структур наведені в [4]. В [5], крім того, надана структурована послідовність факторів, на які слід звертати увагу при виборі організаційної структури проекту. Але, як і раніше, в цих роботах відсутні чисельні оцінки. Виходом із ситуації має бути створення моделей, які враховують залежність корисного ефекту проекту в залежності від виду структури проекту.

Загальні підходи до побудови комп'ютерних моделей динамічних процесів розглянуті в [6]. Відповідні чисельні методи в [7, 8, 9]. Недолік: загальні підходи не враховують специфіку моделювання організаційних структур, а також ресурси, що витрачає організаційна структура.

В роботі [1] запропонований підхід для аналізу ефективності різних організаційних структур в динаміці розвитку у часі. Недолік: були розглянуті абстрактні структури, які не корелюють зі стандартними видами структур: ієрархічна, матрична, змішана тощо [2]. До того ж не врахована можливість різкої зміни структури проекту (організації) в часі.

Оптимізаційне моделювання різкої зміни структури динамічної системи розглядалося у [10]. Недолік: як об'єкти змін структури розглядалися динамічні системи на прикладі літальних апаратів, динаміка яких за своєю природою суттєво відрізняються від динаміки проектів та організаційних структур.

Таким чином виявлено протиріччя між потребою у методичному апараті програмних систем підтримки ухвалення рішень щодо трансформації організаційних структур і відсутністю єдиного підходу,

який би гарантував отримання найкращого рішення щодо трансформації. Основним інструментом підтримки таких рішень є комп'ютерне моделювання.

**Мета статті:** підвищити ефективність діяльності великих організаційних структур за рахунок створення комп'ютерних моделей. Ці моделі мають мати достатній рівень адекватності процесам, що моделюються. З іншого - моделі мають мати наочну інтерпретацію основних вхідних параметрів, що дозволило б легко їх визначати на основі емпіричних даних.

## 2. Логістичні моделі розвитку

Закономірності розвитку організації (бізнесу, технології тощо) за етапами життєвого циклу зазвичай описують, як залежність корисного ефекту організації від вхідних ресурсів, що були витрачені на його створення.

В умовах відсутності обмежень технологій, що використовує організація, залежність корисного ефекту від витрачених ресурсів найчастіше має характер експоненти в зоні зростання [1] (наприклад, зростання суми грошей, покладених на депозит або закон Мура – зростання потужності обчислювальної техніки). Якщо технологія має обмеження розвитку: за рахунок обмежень самої технології, обмежень масштабування виробництва, обмежень щодо супутніх вхідних ресурсів (наприклад, кадрових), нормативних обмежень тощо, то закономірність розвитку найчастіше також має характер експоненти. Але тепер вже в зоні насичення, тобто наближення до асимптоти, до якої процес розвитку наближується знизу. В цілому частина життєвого циклу розвитку складається з етапу експоненційного зростання і етапу експоненційного входження в зону насичення. Перехід між цими двома експонентами має майже лінійний характер. Щоб підкреслити цю властивість, інколи між експонентами додають окрему ділянку лінійного розвитку, коли корисний ефект на виході строго пропорційний кількості вхідних ресурсів.

За вхідні ресурси можуть бути матеріали, фінанси, персонал, інтелектуальна власність, імідж тощо. Тобто вхідним ре-

сурсом може бути будь-що, що можна перетворити на корисний ефект.

Якщо не обмежуватися лише одним етапом життєвого циклу, то дослідники зазвичай намагаються використовувати більш узагальнені закономірності, які охоплюють одночасно і етап експоненційного зростання, і етап експоненційного насичення. В такому випадку використовують S-подібні залежності, найбільш адекватною серед яких вважається логістична [1] (рис.1). Ця залежність лежить між двома асимптотами та має властивість центральної симетрії.

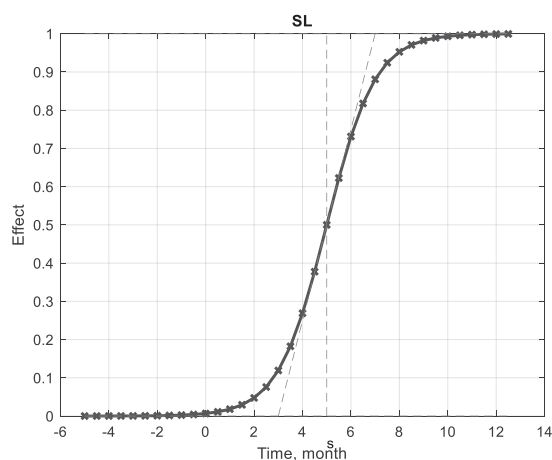


Рис. 1. Логістична залежність корисного ефекту бізнесу (організації) залежно від витрат ресурсу часу

Логістична залежність в диференціальній формі

$$\frac{dy}{dt} = m(y - Y_{min})(Y_{max} - y)$$

має чітку фізичну інтерпретацію. Ліва частина рівняння  $\frac{dy}{dt}$  відповідає швидкості зростання корисного ефекту  $y$ . За вільну змінну обирається вхідний ресурс. У нашому випадку – це час  $t$ .

В рівнянні присутні дві асимптоти  $Y_{min}$  та  $Y_{max}$ , які розташовуються паралельно осі абсцис. Логістична залежність зростає від нижньої асимптоти  $Y_{min}$  до верхньої асимптоти  $Y_{max}$ . Швидкість зростання  $y$  пропорційна добутку відстаней  $y$  від нижньої  $(y - Y_{min})$  та верхньої  $(Y_{max} - y)$  асимптот. Масштаб швидкості та, відповідно, кут нахилу логістичної кривої в точці симетрії визначається коефіцієнтом  $m$ .

Якщо коефіцієнти  $m$ ,  $Y_{min}$ ,  $Y_{max}$  не змінюються відносно вільної змінної (часу), то звичайне диференціальне рівняння, яке задає логістичну залежність, має аналітичний розв'язок. Для цього розділимо змінні, тобто всі елементи з вільною змінною  $t$  розмістимо праворуч від знаку рівності, а всі елементи зі змінною корисного ефекту  $y$  розмістимо ліворуч.

$$\frac{dy}{(y - Y_{min})(Y_{max} - y)} = m dt.$$

Перетворимо вираз так, щоб можна було застосовувати табличні інтеграли

$$\frac{d(y - Y_{min})}{y - Y_{min}} - \frac{d(Y_{max} - y)}{Y_{max} - y} = m (Y_{max} - Y_{min}) dt.$$

Інтегруємо

$$\ln(y - Y_{min}) - \ln(Y_{max} - y) = m (Y_{max} - Y_{min}) t + c.$$

Перетворюємо до більш зручного вигляду

$$\ln \frac{(y - Y_{min})}{(Y_{max} - y)} = m (Y_{max} - Y_{min}) t + c.$$

Знаходимо експоненту від обох частин та записуємо вираз для корисного ефекту

$$y = \frac{Y_{max} + e^{-(m(Y_{max}-Y_{min})t+c)}}{1 + e^{-(m(Y_{max}-Y_{min})t+c)}} = Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{1 + e^{-(m(Y_{max}-Y_{min})t+c)}}.$$

Записуємо постійну інтегрування через вже відомі константи

$$c = -(m(Y_{max} - Y_{min}) \Delta t).$$

Тут  $\Delta t$  зсув точки симетрії вздовж осі абсцис. Після підстановки отримуємо вираз для логістичної залежності в інтегральній формі

$$y = Y_{min} + \frac{Y_{max} - Y_{min}}{1 + e^{-(m(Y_{max}-Y_{min})(t-\Delta t))}}.$$

Надалі будемо застосовувати узагальнене позначення, для частини виразу

$$SL_0(t - \Delta t) = \frac{1}{1 + e^{-(m(Y_{max}-Y_{min})(t-\Delta t))}},$$

яка відповідає, так званій SL-функції. SL-функцію можна вважати нормованою логістичною залежністю, що зростає між асимптотами від 0 до 1 з кутом нахилу 45 градусів в точці симетрії.

Звернемо увагу на те, що логістична залежність в інтегральній формі також містить багато фізично зрозумілих складових. Але деякі з них не зовсім зручно знаходити на підставі емпіричних даних. Введемо додаткові позначення:

$a$  - верхня асимптота,

$d$  - нижня асимптота,

$s$  - абсцисса точки симетрії,

$T$  - постійна логістичної залежності.

сті.

Перші три коефіцієнти лише позначені більш лаконічно. Але введений додатковий коефіцієнт  $T$ , суттєво спрощує врахування кута нахилу логістичної залежності в точці симетрії. Коефіцієнт  $T$  дорівнює довжинам відрізків, що перпендикуляр до осі абсцис в точці симетрії та дотична до логістичної кривої в точці симетрії відрізають на обох асимптотах. Зрозуміло, що за умови центральної симетрії логістичної кривої, довжини цих відрізків однакові (рис. 1).

Така формалізація інтегральної форми запису логістичної залежності суттєво спрощує знаходження чисельних значень коефіцієнтів для комп'ютерної моделі розвитку організації на основі логістичних залежностей.

### 3. Комп'ютерна модель динаміки розвитку організації в умовах трансформації

Далі використаємо логістичні залежності для побудови загальної моделі розвитку організації на всіх етапах життєвого циклу, як на етапах зростання корисного ефекту організації

$$y = d + (a - d) \cdot SL_0(t - s),$$

так і на етапах падіння корисного ефекту організації

$$y = d - (a - d) \cdot SL_0(t - s).$$

В другому випадку логістична залежність побудована з від'ємною величиною амплітуди  $(a - d)$ .

В розгорнутому вигляді логістична залежність корисного ефекту  $E$  від часу  $t$



має вигляд

$$E = SL(t) = d + \frac{a - d}{1 + e^{-\frac{2}{T}(t-s)}}$$

Результуючий корисний ефект від діяльності організації на будь-якій ділянці життєвого циклу (в довільний час  $t$  життєвого циклу) знаходимо як суму різних логістичних складових із позитивними та від'ємними знаками.

$SL_{\Sigma}(t) = SL_+(t) + SL_-(t) + SL_{1-}(t) + SL_2(t)$ , де

$SL_+(t)$  - залежність зростання базової технології;

$SL_-(t)$  - залежність падіння базової технології внаслідок амортизації та морального старіння;

$SL_{1-}(t)$  - залежність падіння базової технології внаслідок керівного рішення щодо її зупинення для заміни на більш прогресивну;

$SL_2(t)$  - залежність зростання нової технології.

В даному випадку аргументом усіх залежностей є час  $t$ . Хоча в інших випадках аргументом логістичної залежності корисного ефекту може бути будь-який інший вхідний ресурс або комбінація різних ресурсів (матеріальних, фінансових, людських тощо).

Загальна картина життєвого циклу у вигляді залежності корисного ефекту від вхідного ресурсу містить етапи зростання корисного ефекту, етапи падіння, етапи повторного зростання після трансформацій, спрямованих на усунення ефектів морального старіння технологій, які використовувала організація. Моральне старіння технологій може бути пов'язане з появою нових прогресивніших технологій, з діями конкурентів, з ефектом звикання споживачів до певних технологій і відповідно - втратою інтересу тощо.

Комп'ютерне моделювання життєвого циклу організації було виконано для різних початкових умов і для різних параметрів залежностей розвитку. Основний сценарій моделювання включав зростання корисного ефекту організації після початку впровадження певних інноваційних технологій, етап насичення (вихід технології на максимум свого можливого розвитку), па-

діння корисного ефекту внаслідок морального старіння, трансформації щодо зміни технології на більш прогресивну, повторний етап насичення, повторне падіння корисного ефекту. Складніші сценарії розвитку в даній моделі також можуть бути реалізовані аналогічним чином. Математична модель була реалізована у вигляді імітаційної моделі алгоритмічною мовою MatLab. Приклад результатів моделювання наведено на рис.2.

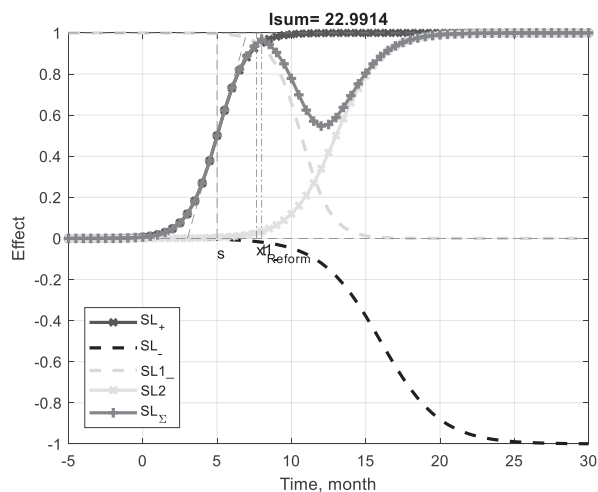


Рис.2. Складові та результуюча залежності корисного ефекту бізнесу залежно від витрат ресурсу часу

Як бачимо, на першому етапі зростання ефекту майже не відрізняється від звичайної логістичної кривої, оскільки основна складова розвитку базової технології  $SL_+(t)$  має найбільші значення. Але вже на цьому етапі від'ємна логістична залежність морального старіння  $SL_-(t)$  технології працює, хоча її вплив поки не дуже помітний. У певний період часу це призводить до локального зниження результуючого ефекту. Це зниження могло тривати майже до нуля, але в певний момент починається трансформація організації, яка має на увазі також зміну технологій на більш прогресивні. Тобто починає працювати нова технологія  $SL_2(t)$ , але водночас директивним чином стара технологія  $SL_+(t)$  вимикається. На програмному рівні це реалізується додаванням такої ж величини, але з від'ємним знаком  $SL_{1-}(t) = -SL_+(t)$ . В результаті вплив старої технології виключається

$$SL_+(t) + SL_{1-}(t) = 0.$$

Глибина падіння корисного ефекту внаслідок морального застарівання техно-

логії залежить від часу початку трансформації організації  $t_{Reform}$  (переходу на нову технологію). За допомогою моделювання можна підібрати момент часу  $t_{Reform} \in [t_0, t_1]$ , який забезпечить найменше падіння корисного ефекту

$$\max_{t_{Reform}} \min_t SL_{\Sigma}(t)$$

або найбільший сумарний корисний ефект за період роботи  $[t_0, t_1]$  в умовах трансформації.

$$\max_{t_{Reform}} \left\{ \int_{t_0}^{t_1} SL_{\Sigma}(t) dt \right\}.$$

#### 4. Дослідження нечутливості щодо малих вхідних ресурсів

Як відомо, початкові періоди росту на перших етапах життєвого циклу мають дуже повільний темп. Водночас реакція системи на невеличкі величини вхідних ресурсів майже така, як і на нульові. Наприклад, якщо відбувається інвестиція в розвиток виробництва програмного забезпечення на рівні 100 або 1000 доларів, то вихідний ефект буде такий же, як і для 0 доларів. Для забезпечення хоч якого помітного корисного ефекту на рівні організації початкова інвестиція має бути на рівні кількох тисяч або десятків тисяч доларів. Для кожного виду технології ця мінімальна інвестиція буде різною. Аналогічно витрати часу на рівні декількох годин або днів, наймовірніше теж не принесуть помітного корисного ефекту. Тобто існує свого роду нечутливість системи до невеликих витрат вхідних ресурсів (фінансових, матеріальних, кадрових, часових). Для дослідження впливу нечутливості до малих вхідних значень ресурсів введемо поняття нечутливості, яке буде вимірюватися у відсотках від максимально можливого корисного ефекту. Тобто насправді ми будемо аналізувати не значення вхідного ресурсу, а значення корисного ефекту  $SL_{\Sigma}(t)$  до якого він мав би привести. На першому етапі початкового зростання замість  $SL_{\Sigma}(t)$  можна використовувати  $SL_{+}(t)$ .

Наприклад, нечутливість системи визначається на рівні  $Insensitivity = 0.1$ , а

максимально можливе значення корисного ефекту дорівнює  $E_{max} = a$ .

Якщо для певного вхідного ресурсу часу корисний ефект дорівнюватиме  $SL_{\Sigma}(t) = 0.05 E_{max}$ , то вихідне значення корисного ефекту приймається рівним  $SL_{\Sigma}(t) = 0$ .

Якщо для певного вхідного ресурсу часу корисний ефект дорівнюватиме  $SL_{\Sigma}(t) = 0.2 E_{max}$ , то вихідне значення корисного ефекту приймається рівним  $SL_{\Sigma}(t) = 0.2 E_{max}$ .

Дослідження залежності інтегрального корисного ефекту

$$\int_{t_0}^{t_1} SL_{\Sigma}(t) dt$$

від величини нечутливості до малих вхідних ресурсів Sensitivity за весь період трансформацій  $[t_0, t_1]$  показало (рис.3), що для нечутливості  $Insensitivity = [0, 0.5]$  вихідний корисний ефект майже не міняється (змінюється не більше ніж на 4%). Для постановок задач розвитку на стратегічному рівні похибки припускаються на рівні 10-20% без суттєвої втрати якості управлінських рішень. Тому зміну корисного ефекту на рівні 4% можна вважати рівною нулю.

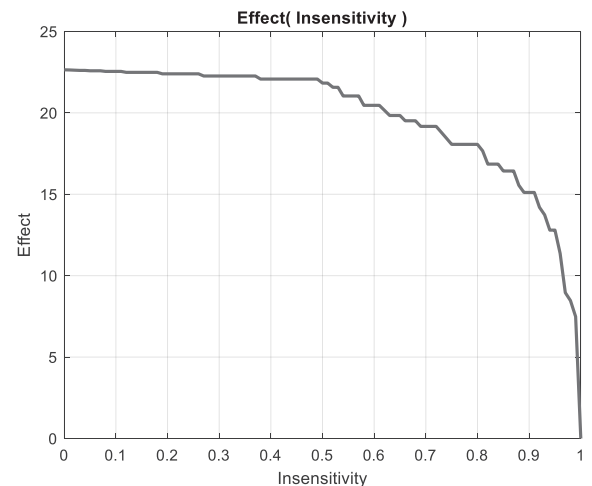


Рис.3. Залежність інтегрального ефекту за період часу від рівня нечутливості системної мети розвитку щодо малих рівнів вихідного корисного ефекту

В діапазоні значень  $Insensitivity = [0.5, 0.9]$  зміна корисного ефекту дуже помітна і майже лінійно зменшується на 30%.

Останні 70% зміни корисного ефекту системи відбуваються в діапазоні  $Insensitivity = [0.9, 1]$ .

Більшість реальних задач відповідають діапазону  $\text{Insensitivity} = [0, 0.5]$ . Дуже рідко розвиток проєктів може відбуватися в діапазоні  $\text{Insensitivity} = [0.5, 0.9]$ . І майже ніколи не відбувається в діапазоні  $\text{Insensitivity} = [0.9, 1]$ .

Звернемо увагу на те, що результати моделювання, наведені на рис. 2, відповідають показнику нечутливості  $\text{Insensitivity} = 0$ .

### Висновки

В роботі досліджені основні підходи щодо створення комп'ютерної моделі розвитку організації в умовах трансформації її структури (зміни технологій). Модель призначена для пошуку оптимальних рішень щодо початку часу трансформації.

Було з'ясовано, що для прийнятої постановки задачі найбільш адекватними є комп'ютерні моделі на основі логістичних залежностей. Такі моделі дозволяють легко знаходити чисельні значення параметрів на основі емпіричних даних.

Модель в складі програмної системи підтримки управлінських рішень дозволяє прогнозувати наслідки різних управлінських рішень з метою обрання найкращого.

В роботі використані критерії максимізації найнижчого рівня корисного ефекту організації за весь час прогнозування. А також інтегральний критерій сумарного корисного ефекту, що отримає організація у випадку реалізації конкретного сценарію трансформації.

Комп'ютерна модель реалізована алгоритмічною мовою MatLab.

Напрями подальших досліджень: вдосконалення моделі шляхом розширення переліку факторів, що беруться до уваги під час моделювання.

### Література

1. Шевченко В.Л. Оптимізаційне моделювання в стратегічному плануванні.– К.: ЦВСД НУОУ, 2011. - 283с.
2. A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK, 6-th edition, Project Management Institute, Inc., 2017. (на англ.мові)

3. A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK, 7-th edition, Project Management Institute, Inc., 2021. (на англ.мові)
4. Ноздріна Л.В. Управління проєктами : підручник [для студентів вищих навчальних закладів] / Л.В. Ноздріна, В.І. Ящук, О.І. Полотай ; М-во освіти і науки України, Укоопспілка ; Львів. комерц. акад. – Київ : Центр учб. л-ри, 2010. – 430, [1] с. : іл., табл. – ISBN 978-966-611-01-0030-4
5. Микитюк П.П. Управління проєктами. Навч. посібн. [дл. студ. вищ. навч. закл.] / П.П. Микитюк – Тернопіль, 2014. – 270с.
6. Шевченко В.Л. Імітаційне моделювання. Математичне моделювання процесів: Навч. посібник. / [В.І. Мірненко, В.Л. Шевченко, Д.С. Берестов, Р.М. Федоренко, А.В. Шевченко]; за ред. В.Л. Шевченка. – К.: КНУ ім.Т.Шевченка, 2020.– 164 с.
7. Numerical methods. Study material. Core Course. B Sc Mathematics. VI Semester. University of Calicut. School of distance education. Sri.Nandakumar. 2011. – 223р.
8. Шевченко В.Л. Обчислювальні методи: Навч. посібник. / [В.Л. Шевченко, Д.С. Берестов, М.В. Ткаченко, Р.М. Федоренко] ; за ред. В.Л. Шевченка. – К.: КНУ ім.Т.Шевченка, 2019. – 132 с.
9. Introduction to Numerical Methods and MatLab Programing for Engineers. Todd Young and Martin J. Mohlenkamp. Ohio University. 2015.
10. Теорія оптимальних розгалужених траєкторій / О.І. Лисенко, О.М. Тачініна, С.О. Пономаренко, О.Г. Гуйда – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського., 7 БЦ, 2023. – 260 с. ISBN 978-617-549-163-8.

### References

1. Shevchenko V.L. Optimization modeling in strategic planning.– К.: TsVSD NUOU, 2011. -283p.
2. A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK, 6-th edi-

- tion, Project Management Institute, Inc., 2017. (на англ. мові)
3. A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK, 7-th edition, Project Management Institute, Inc., 2021. (на англ. мові)
  4. Nozdrina L.V. Project management: a textbook [for students of higher educational institutions] / L.V. Nozdrina, V.I. Yashchuk, O.I. Patch it up; Ministry of Education and Science of Ukraine, Ukoopspilka; Lviv. commerce Acad. - Kyiv: Center for Education. 1-ry, 2010. – 430, [1] p. : ill., tab. – ISBN 978-966-611-01-0030-4
  5. Mykytyuk P.P. Project management. Training manual [for higher education closed.] / P.P. Mykytyuk – Ternopil, 2014. – 270 p.
  6. Shevchenko V.L. Imitation modeling. Mathematical modeling of processes: Study guide. / [V.I. Mirnenko, V.L. Shevchenko, D.S. Berestov, R.M. Fedorenko, A.V. Shevchenko]; under the editorship V.L. Shevchenko. – K.: KNU named after T. Shevchenko, 2020. – 164 p.
  7. Numerical methods. Study material. Core Course. B Sc Mathematics. VI Semester. University of calicut. School of distance education. Sri.Nandakumar. 2011. – 223p.
  8. Shevchenko V.L. Computing methods: Study guide. / [V.L. Shevchenko, D.S. Berestov, M.V. Tkachenko, R.M. Fedorenko] ; under the editorship V.L. Shevchenko. - K.: KNU named after T. Shevchenko, 2019. - 132 p.
  9. Introduction to Numerical Methods and MatLab Programing for Engineers. Todd Young and Martin J. Mohlenkamp. Ohio University. 2015.
  10. Theory of optimal branched trajectories / O.I. Lysenko, O.M. Tachinina, S.O. Ponomarenko, O.H. Guida - K.: KPI named after Igor Sikorsky, 7 BC, 2023. - 260 p. ISBN 978-617-549-163-8.

Одержано: 12.02.2024

Внутрішня рецензія отримана: 19.02.2024

Зовнішня рецензія отримана: 08.03.2024

### **Про авторів:**

<sup>1</sup>Сивицький Юрій Ігорович,  
аспірант.

<http://orcid.org/0009-0008-9947-6653>

<sup>1</sup>Шевченко Віктор Леонідович,  
д.т.н., професор.

<http://orcid.org/0000-0002-9457-7454>.

### **Місце роботи авторів:**

<sup>1</sup>Інститут програмних систем  
НАН України,  
тел. +38-044-522-62-42  
E-mail: [gii2014@ukr.net](mailto:gii2014@ukr.net)  
Сайт: [www.iss.nas.gov.ua](http://www.iss.nas.gov.ua)