УДК 658.5:330.4 DOI: *https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.1(42).57-63*

Віталій Іванович Захарченко
д-р екон. наук
ORCID 0000-0003-2903-2471
e-mail: kafedra@mzeid.in,
Національний університет «Одеська політехніка», м. Одеса,

Світлана Володимирівна Онешко
канд. екон. наук
ORCID 0000-0003-2313-3984
e-mail:osvfox1@gmail.com,
Одеський національний морський університет, м. Одеса

УТОЧНЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РОЗВИТКУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Постановка проблеми. Сучасне високотехнологічне виробництво у змозі існувати та успішно конкурувати на ринку лише за умов постійного розвитку та адаптації до умов ведення бізнесу, що швидко змінюється. Це означає, що менеджмент, який планує та досягає визначених цілей, постійно зіштовхується з відповідними управлінськими проблемами: як спланувати розподіл робіт у часі, як розподілити ресурси, як забезпечити досягнення необхідної якості, як організувати своєчасний і об'єктивний контроль над процесом реалізації робіт тощо. Такі завдання постійно ускладняються, оскільки з'являються неочікувані проблеми, що пов'язані як з розвитком технологій, так і з появою нових організаційних можливостей з підвищення гнучкості та адаптованості систем управління.

Необхідність у застосуванні науково обгрунтованих методів управління, які спрямовані на забезпечення стабільного функціонування організаційно-технологічних систем високотехнологічних підприємств з визначеним рівнем ефективності, виникає у процесі подальшого розвитку ринкових відносин в країні. Сьогодні відбувається переорієнтація досліджень з процесів стабілізації на процеси самоорганізації, зі стабільності в область нерівноважної поведінки, з безперервності на стрибки, з детермінізму на вивчення невизначеностей і розумне співвідношення детермінованих методів і статистичних законів, що у підсумку визначають сучасний напрям розвитку економічної науки [1, с. 7].

При створені та розвитку сучасних організаційно-технологічних систем необхідно проводити якісний аналіз рішень змістових моделей у якості передпланових досліджень, а також враховувати факт застосування теорії двоїстості. Необхідним є додаткові пояснення доказу теорії про магістралі в динамічній моделі Леонтьєва з обговоренням змістовного сенсу цього важливого результату. Поряд із класичним застосуванням використання теорії двоїстості – доказом теореми фон Неймана про матричні ігри – можливо наводити факти про якість множини рішень в іграх кількох осіб і при цьому використання теорії двоїстості повинно бути якомога простим. Необхідним також вважаємо використання доказу теореми Перрона-Фробеніуса про якості невід'ємних матриць. У цілому необхідним, у зв'язку з ускладненням проблем, що пов'язані з розвитком технологій, вважається для ефективного управління організаційно-технологічними системами перехід підприємств до більш прогресивних структур управління: самокерованим командам, саморегулюючим організаційним структурам. При цьому різко зростає роль координації в управлінні складними системами, що викликає забезпечення узгодженості роботи автономних підрозділів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час роботи над даним дослідженням авторами були проаналізовані праці таких фахівців, як: у першу чергу наукові напрацювання колективу співробітників НДІ проблем економічної динаміки [1; 2], який очолював Ю. Лисенко, та роботи яких базувалися на методології моделювання життєздатних систем – VSM (від англ. Viable System Model), що у 1950-х роках була запропонована С. Біром; В. Альсевич [3], С. Ашманов [4], М. Блауг [5], С. Веретюк, В. Пілінський, Ю. Буценко [6], В. Вишневський [7], О. Гаркушенко [8], Ю. Даниленко [9], С. Князев [7;8], Л. Коршевнюк [10], Б. Муртаф [11], М. Потьомкін, О. Дублян, Р. Хомчак [12], Г. Шпакова [13].

В умовах оперування невизначеністю при моделюванні життєздатних систем Т. Тищук виділяє методи, які засновані на теорії чутливості, інтервальній математиці, теорії ігор, теорії ймовірностей, теорії інформації та принципах імітаційного моделювання [20, с. 61]. Але при цьому попереджає: «Існуючі методи, які використовуються для уявлення, оперування та інтерпретації невизначенностей, орієнтовані, в основному, на види невизначеностей, що пов'язані з випадковістю процесів, які аналізуються, і не завжди дозволяють коректно моделювати невизначеність пов'язану з перевагами, протиріччями та складністю інформації, суб'єктивні та конфліктуючі дані та ін. Необхідні додаткові інструменти обліку невизначеностей в моделях управління ...» [2, с. 73]. А. Мадих узагальнює загальносистемні характеристики підвищення ефективності адаптивного управління економічною системою, а саме її: гомеостазу, як можливістю підтримувати значення змінних станів системи у заданих обмеженнях [1, с. 61]; стійкості, як відновлення шляхом гасіння коливань [1, с. 65]; гнучкості, як визначення можливих діапазонів зміни керованих параметрів [1, с. 65] і умови її ефективного управління [1, с. 71]; маневрованості, як здібності системи своєчасного відреагування на зміни зовнішніх і внутрішніх умов її функціонування [1, с. 72]; стійкості, як здібності системи підтримувати оптимальну траєкторію розвитку [1, с. 80]; надійності, як здібності системи зберігати свої найбільш суттєві якості [1, с. 83]; живучості, як здібності системи до збереження своїх основних функцій та своєї місії [1, с. 86]. С. Ашманов, розглядаючи динамічну модель леонтьєвського типу (формула (9) [4, с. 146]), звертається до теореми про магістралі для динамічної моделі планування промислового виробництва [4, с. 146–157]. У своїй праці автори [6] на основі модифікації логістичного рівняння за умов впливу потоку інновацій отримали еволюційне рівняння, яке описує динаміку розвитку технічної системи. На підставі отриманих математичних результатів вони оперують трьома показниками технологічного інноваційного розвитку: інтенсивність впровадження нових технологій, потенціал інновацій (або нові технології) та швидкість впровадження [6, с. 104].

Вітчизняні військові фахівці приділяють увагу багатокритеріальним системам підтримки прийняття рішень, характерних для багатокритеріальної оптимізації, коли потрібно проаналізувати скінчену множину альтернатив, характеристики яких задано в табличній формі [12, с. 141–142]. Зазвичай вони складаються з трьох основних частин: модуля управління, модуля інтерфейсу, модуля розрахунків. В. Вишневський і С. Князєв роблять наголос на тому, що Україні необхідно підвищувати ступінь готовності до прискореного розвитку смарт-промисловості (Індустрії 4.0) зважаючи на те, що її традиційна індустрія знаходиться на сьогодні у кризовому стані, а нова «розумна» промисловість ще не отримала належної уваги з боку держави [7, с. 55]. Г. Шпакова на прикладі будівництва розглядає фактори, які формуються в результаті поліморфізму складових системи «економіка – екологія – соціум», і робить спробу вирішити проблему пошуку «... оптимальних економічних механізмів раціонального використання природного капіталу планети в людській діяльності за умови збереження довкілля на існуючому рівні та відтворення втраченого в випадках, коли це ще можливо зробити» [13, с. 68–69]. У підсумку вона формує модель циклу біосферосумісного виробництва, де кінцевим блоком є «науково-технологічна трансформація» [13, с. 70]. О. Гаркушенко та С. Князєв формують вимоги щодо удосконалення економіко-математичних моделей визначення впливу інформаційно-комунікаційних технологій на виробництво на основі аналізу переваг та недоліків наявних моделей впливу комп'ютерної техніки програмного забезпечення на результати виробництва з урахуванням особливості розвитку таких технологій [8, с. 5]. Ю. Даниленко наполягає на вивчені історіографії інновацій та відстеженні послідовності етапів розвитку інноваційних процесів, що дає можливість появи на підприємствах сучасних інноваційних моделей, а це, у свою чергу, дозволяє створювати умови для розвитку навичок, необхідних для впровадження інновацій у будь-якому контексті [9, с. 15]. Л. Коршевнюк вважає, що перспективним напрямом системних досліджень є методологічна інтеграція технологій штучного інтелекту та процедур системного аналізу [10, с. 22].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Основною проблемою використання багатосекторних моделей економічної динаміки є велика розмірність оптимізаційних завдань, що виникають. Це перешкоджає безпосередньому застосуванню відомих обчислювальних процедур вирішення завдань лінійного програмування. Разом з цим не слід забувати про проблему призначення цільового функціоналу, вибір якого визначає вибір оптимальної траєкторії, отже, і напрями розвитку об'єкта, що моделюється, тобто організаційно-технологічної системи. Саме у зв'язку із зазначеними складнощами виник інтерес фахівців до якісних методів дослідження оптимальних траєкторій у надії на те, що отримані при цьому теоретичні висновки допоможуть у прийнятті конкретних планових рішень. Були отримані результати, що приводять до важливих змістових наслідків. Ми маємо на увазі так звану магістральну теорію. Магістральна теорія стала логічним розвитком моделі економіки, що розширюється, ідея якої була запропонована П. Самуельсоном (1958 р.). Якщо сталося так, що початкове значення вектора інтенсивності лежить на стаціонарній траєкторії (що називається променем Неймана), то у подальшому економіка вже не буде відхилятися від з цього променя. Однак такий випадок є виключним. У такому випадку вирішується задача лінійного програмування на максимум цільової функції за обмеженнями та двоїста до неї задача на мінімум для цін (Ozlib.com).

Мета статті полягає в обґрунтуванні створення організаційно-технологічних систем у високотехнологічному виробництві на основі використання магістральної теорії та рішення задач лінійного програмування.

Виклад основного матеріалу. Для ілюстрації основних понять і висновків магістральної теорії слід розглянути оптимізаційну задачу моделі фон Неймана:

$$\max(c, x_t),$$
$$Ax_T = Bx_{t-1}, t = 1,2 \ldots, T. \qquad (1)$$

Зі змістовної точки зору задачу (1) можна інтерпретувати таким чином: задані технологія (A,B), вектор Bx_0 початкового стану моделі та деякий вектор $q \in R^n$ цін на товари. Потрібно знайти таку траєкторію $\{x_1, x_2, \ldots x_n\}$, щоб вартість ‹q, Bx_T› набору товарів Bx_T, випущених організаційно-технологічною системою в останньому плановому періоді T, була найбільшою. У виразі (1) закладаємо: $c=qB$.

Цільовий функціонал, подібний до того, що фігурує у виразі (1), називається термінальним – його значення залежить тільки від стану моделі в кінцевий (термінальний) момент проміжку часу, що розглядається.

Звернемо увагу, що у нерівності (1) не виділяється спеціально умови невід'ємності змінних x_i, оскільки їх можна включити до числа основних обмежень.

Будь-яку послідовність векторів $x_t \in R^m$, $t = 1,2 \ldots T$, що задовольняють обмеженням задачі (1), назвемо траєкторією. Будь-яку траєкторію, що доставляє найбільше можливе значення цільового функціоналу, назвемо оптимальною.

Нехай пара $(\overline{x}, \overline{\lambda})$ задає стаціонарну траєкторію інтенсивностей моделі Неймана [3, с. 177] (A,B), тобто

$$A\overline{x} \leq \overline{\lambda} B\overline{x}, \qquad (2)$$

де $\overline{\lambda} > 0$, $\overline{x} \neq 0$. Вважатимемо, що $\overline{x}$ – єдине з точністю до скалярного множника рішення системи нерівностей (2).

Введемо у простір R^m векторів інтенсивностей x квазиметрику ρ, поклавши для будь-яких $x, y \in R^m$, $x \neq 0$. Тобто:

$$\rho(x, y) = \left|\frac{x}{\|x\|} - \frac{y}{\|y\|}\right|. \quad (3)$$

Число $\rho(x, y)$ служить мірою «кутової» відстані між векторами x, y, що проілюстровано на рис. 1, де зображена сфера одиничного радіусу у просторі R^2. Точка M збігається із вектором $\frac{x}{\|x\|}$, точка N – із вектором $\frac{y}{\|y\|}$. Довжина відрізка MN є число $\rho(x, y)$.

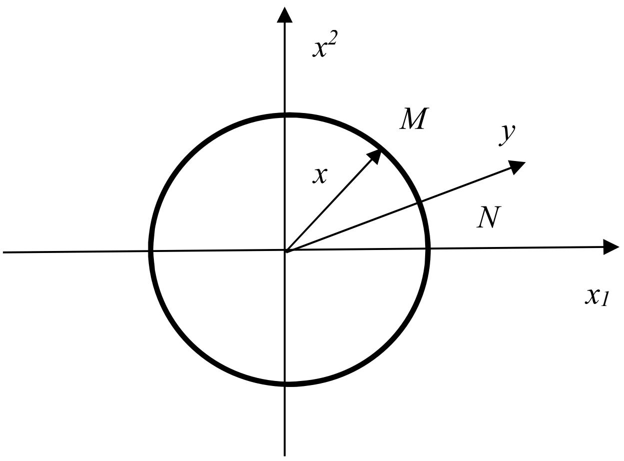

Рис. 1. Геометрична інтерпретація «кутової» відстані між векторами

Представлено авторами.

Відзначимо очевидні властивості квазиметрики ρ: $\rho(x, y) = 0$ тоді тільки тоді, коли вектори x, y колінеарні; $\rho(\alpha x, \beta y) = \rho(x, y)$ для всіх $\alpha, \beta > 0$; якщо $\lim_{k \to \infty} x_k = x \neq 0$, $\lim_{k \to \infty} y_k = y \neq 0$, то $\lim_{k \to \infty} \rho(x_k, y_k) = \rho(x, y)$ (безперервність).

Основний висновок магістральної теорії стосується оптимальних траєкторій і свідчить, що такі траєкторії групуються біля променя, що визначається вектором $\overline{x}$.

Визначення 1. Скажімо, що промінь x є магістраллю для задачі (1), якщо для будь-якого $\varepsilon > 0$ є такі числа $T_1(\varepsilon)$ і $T_2(\varepsilon)$, що для будь-якої оптимальної траєкторії $\{x_t\}$ виконуються умови: $\rho(x_t, \overline{x}) < \varepsilon$ для всіх $t, T_1(\varepsilon) < t < T - T_2(\varepsilon)$.

Твердження, яке встановлює наявність магістралі для оптимізаційної задачі виду (1), називається теоремою про магістраль.

Обговоримо змістовні висновки, що випливають з того, що будь-яка модель має магістральну властивість. Спочатку наведемо образну інтерпретацію, що належить Дорфману, Самуельсону та Солоу (М. Блауг наполягає розглянути розширену трактовку лінійного програмування у книзі Р. Дорфмана, П. Самуельсона та Р. Солоу «Linear Programing and Economic Analysis» у розділах 6, 7 і 8 [5, с. 458]). Припустимо, що хтось хоче проїхати великим містом з пункту А в пункт Б. Якщо пункти А і Б розташовані недалеко один від одного, то, швидше за все, найшвидший шлях – це найкоротший. Однак, якщо відстань між А і Б велика, то найшвидший шлях виявляється найчастіше таким: треба з А виїхати на одну з великих міських магістралей, де середня швидкість руху досить велика, не бентежачись тим, що ми, можливо, рухаємось у бік від мети Б, по цій магістралі наблизитись, наскільки можливо, до пункту Б і потім тільки з неї згорнути. Саме так виник науковий термін «магістраль».

Значення існування магістралі $\overline{x}$ у задачі (1) полягає в тому, що постійний промінь $\overline{x}$ як би здійснює апроксимацію оптимальних траєкторій. Якщо задано число $\varepsilon > 0$ та проміжок планування T досить великий (багато більше, ніж $T_1(\varepsilon) + T_2(\varepsilon)$), то «майже весь час» будь-яка оптимальна траєкторія $\{x_t\}$ йде вздовж променю $\overline{x}$, зберігаючи майже постійними пропорції в інтенсивності використання різних виробничих процесів. Тут доречно звернути увагу на той важливий факт, що числа $T_1(\varepsilon)$ і $T_2(\varepsilon)$ у визначенні магістралі не залежать від величини планового горизонту T.

Дуже важливою є та обставина, що магістраль $\overline{x}$ виявляється мало чутливою до зміни коефіцієнтів цільового функціоналу $\{c, x\}$. Характерний такий стан справ, коли промінь $\overline{x}$ продовжує залишатися магістраллю при широких варіаціях вектора c.

Отже, теореми про магістралі описують властивості інваріантності оптимальних траєкторій екстремальних динамічних завдань виду (1) стосовно призначення цільового функціоналу c і до вибору найоптимальнішої траєкторії.

З практичної точки зору висновки теорем про магістралі приводять до важливих наслідків. У тих випадках, коли немає можливості безпосередньо обчислити оптимальну траєкторію внаслідок великої розмірності задачі, а також якщо немає впевненості в точності вибору цільового функціоналу, при прийнятті планових рішень на кожному кроці можна орієнтуватися на промінь $\overline{x}$: намагатися змушувати всі галузі працювати з інтенсивностями, пропорції яких близькі до $\overline{x}$. Наочніше це можна спостерігати під час якісного дослідження траєкторій π-моделі.

Визначення 2. Промінь $\overline{x}$ називається слабкою магістраллю для задачі (1), якщо для будь-якого $\varepsilon > 0$ існує таке число $Q(\varepsilon)$, що для будь-якої оптимальної траєкторії $\{x_t\}$ нерівність $\rho(x_t, \overline{x}) < \varepsilon$ порушується не більше ніж для $Q(\varepsilon)$ індексів $1 = t = T$, причому число $Q(\varepsilon)$ залежить від довжини планового періоду T.

Зрозуміло відмінність слабкої магістралі від магістралі: у визначенні останньої явно потрібно, щоб близькість оптимальних траєкторій до променю $\overline{x}$ могла порушуватися лише на початку та наприкінці планового періоду, тоді як у визначенні слабкої магістралі обмежується лише кількість таких порушень. Магістраль є слабкою магістраллю: досить покласти $Q(\varepsilon) = T_1(\varepsilon) + T_2(\varepsilon)$.

На сьогодні існує велика наукова література, яка присвячена дослідженню магістрального ефекту для різних моделей економічної динаміки [2; 3].

Розглянемо екстремальну задачу безпосереднього динамічного аналога моделі Леонтьєва. Ця конструкція є спрощенням моделі, розглянутої М. Моришимою, а доказ теореми про магістралі є виправленим доказом Моришими [3, с. 194]. (М. Блауг взагалі робить наголос: «Слід відмітити, що значна частина книги М. Моришими присвячена доказу обґрунтованості того, що він називає «фундаментальною маркетинговою теоремою», згідно з якою норма прибутку у ціновому виразі позитивна у капіталістичній економіці тоді й тільки тоді, коли норма додаткової цінності, яка виражена величиною робочого часу, також позитивна; це, як відмічає М. Моришима, є правильним математичним формулюванням, до якого фактично прагнув К. Маркс» [5, с. 267]).

Розглядається n чистих галузей, $A - n \times n$ матриця міжгалузевого балансу, отже для реалізації вектору валового випуску $x \in R^n_+$ необхідно зробити витрати, що описуються вектором A_x. Передбачається, що валовий випуск x_{t-1}, який здійснений у період [t−2, t−1], може бути використаний як запас сировини для виробництва в період [t−1, t]. Таким чином, приходимо до наступного динамічного завдання з термінальним цільовим функціоналом:

$$\max < c, x_t >,$$
$$Ax_t \leq x_{t-1}, x_t \geq 0, t = 1,2 \dots, T, \tag{4}$$

де x_0 − початковий запас товарів.

Розглянемо задачу (1) як стандартне завдання лінійного програмування [11]. Розглянемо у більш докладному вигляді матрицю обмежень:

$$\mathcal{R}=\begin{bmatrix} A & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -I & A & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -I & A & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -I & 0 \end{bmatrix}. \tag{5}$$

Тут кожен символ A, $-I$, 0 означає квадратну n x n матрицю. Вектор правої частини обмежень дорівнює $\tilde{b} = (x_0, 0, \dots, 0)$. Вектор коефіцієнтів лінійної форми має вигляд $\bar{c} = (0,0, \dots, 0, c)$.

У матричному вигляді завдання (1) записується так:

$$\max < \tilde{c}, x_t >,$$
$$\mathcal{R}x \leq \tilde{b}, x \geq 0, \tag{6}$$

де $x = (x_1, x_2, \dots x_T) \in R^{nT}$.

Побудуємо подвійну задачу:

$$\min < \tilde{b}, p >,$$
$$p\mathcal{R} \leq \tilde{c}, p \geq 0, \tag{7}$$

де $p = (p_1, p_2, \dots p_T)$. Розпишемо двоїсту задачу докладніше:

$$\min < x_0, p_1 >;$$
$$p_t A \geq p_{t+1}, t = 1,2, \dots, T-1; \tag{8}$$
$$p_T A \geq c, p_t \geq 0, t = 1,2, \dots, T.$$

Щодо параметрів задачі (1) припускатимемо наступне: $A \geq 0$, нерозкладна та примітивна; $c > 0$, $x_0 > 0$.

Нехай $\bar{\lambda}, \bar{x}$ − відповідно число та правий вектор Фробеніуса матриці A.

Основою доказу теореми про магістраль для моделі (4) є властивість стійкості примітивних матриць. Тут ми переформулюємо цей факт у кількох інших термінах.

Якісний опис оптимальних траєкторій у задачах економічної динаміки належало до випадку, коли цільова функція термінальна − її значення залежить від стану організаційно-технологічної системи в останній момент планового періоду. При розгляді інтегрального цільового функціоналу виникають дві нові обставини.

Перша з них пов'язана з проблемою порівняння цінності споживчих благ (товарів) у різні моменти часу. Прийнято вважати, що набір товарів x має велику цінність для споживача в даний час $t = 0$, ніж можливість отримати таку ж або навіть дещо більшу кількість товарів у майбутньому. В економічній науці проблема порівняння товарів, грошей у різні моменти часу вирішується за допомогою так званого коефіцієнта дисконтування β. Зазвичай передбачається $\beta < 1$, та споживча цінність набору товарів x у момент часу в майбутньому вважається еквівалентною споживчою цінністю набору товарів $\beta^t x$ на теперішній час. Зауважимо, що коефіцієнт дисконтування має аналогію із поняттям банківського відсотка.

Другий аспект під час розгляду нетермінальної цільової функції пов'язаний з поняттям економічного горизонту. Незважаючи на те, що вивчається процес планування на кінцевий відрізок майбутнього, проте не слід забувати, що за межами проміжку [0, T] суспільне виробництво має продовжувати функціонувати і, більш того, на момент T має бути накопичений певний виробничий потенціал. Особливо це наочно проявляється при вивченні сукупних моделей виробництва та споживання: прагнучи максимізації споживання, можна весь виробничий потенціал «розтратити» в період [0, T] і до кінця планового проміжку T опинитися ні з чим.

Розглянемо динамічну модель Леонтьєва з нетермінальною цільовою функцією та обмеженням знизу на випуск наприкінці планового періоду [2, с. 146]:

$$max\alpha,$$
$$Ax_t \leq x_{t-1}, t = 1,2, \dots, T, \tag{9}$$
$$x_T \geq \alpha \quad \hat{x}, x_t \geq 0, \quad t = 1,2, \dots, T,$$

де $\hat{x} > 0$ − деякий заданий вектор.

Зі змістовного погляду вектор $\hat{x}$ можна розглядати як директивне планове завдання, а число α − як ступінь виконання цього завдання. Інша інтерпретація $\hat{x}$ полягає у тому, що цей вектор є як би один «комплект», один бажаний набір всіх товарів у певних кількостях, і завдання полягає у плануванні режиму роботи організаційно-технологічної системи в такий спосіб, щоб до кінця планового періоду максимізувати число випущених комплектів. М. Блауг звертає увагу, що «... в системі Леонтьєва, усі фактори, які затребувані для виробництва деякого блага, використовуються у фіксованих пропорціях, і цінність продукції даного сектору повністю вичерпується сукупними його платежами іншим секторам» [5, с. 23]. (Модель В. Леонтьєва (1936 р.) − балансовий аналіз, ціллю якого є збільшення ефективності проведення багатогалузевого господарства, відповідає на питання, який обсяг продукції повинна виробляти кожна із n галузей, щоб такий обсяг задовольняв всі потреби у продукції, що виробляється. Це і є моделлю міжгалузевої економіки [Вікіпедія]).

Нехай максимально можливе значення α у виразі (9) дорівнює $\tilde{\alpha}(T)$. Це означає, що максимально можлива кількість «комплектів» $\hat{x}$, яка може бути випущена в останньому періоді [T−1, T] відрізка часу [0, T], що розглядається, дорівнює $\hat{x}(T)$.

Припустимо тепер, що нас цікавить також значення певної функції $u(x_1, x_2, \dots, x_T)$ від векторів валового випуску у кожному періоді. Якщо при цьому постановка оптимізаційної задачі залишиться у формі виразу (9), то може виявитися, що на оптимальній траєкторії $\{x_1, x_2, \dots, x_T\}$ значення функції u буде мало́. Розглянемо іншу постановку оптимізаційної задачі. Якщо послабити вимогу на кінець планового відрізка

[0, T] і дозволити, щоб в останньому періоді було випущено не максимально можливе число $\tilde{\alpha}(T)$ «комплектів» $\hat{x}$, а дещо менше, наприклад $\tilde{\alpha}$, де $\tilde{\alpha} < \tilde{\alpha}(T)$, то цим ми допустимо до розгляду більше число траєкторій $\{x_i\}$. При цьому можливо вдасться домогтися збільшення значення функцій $u(x_1, x_2, ..., x_T)$. Формалізуємо висловлені міркування щодо застосування до лінійної функції u.

Розглянемо довільне число μ, $0 < \mu < 1$, що не залежить від T. У якості α візьмемо будь-яке число, що відповідає умовам $0 < \tilde{\alpha} \le \mu\tilde{\alpha}(T)$. Позначимо через λ_A, x_A, p_A число та (правий та лівий) вектори Фробеніуса нерозкладної примітивної матриці A.

Нехай задані вектори $c_1, c_2, ... c_T, c_t \in R_+^n$, які можна, наприклад, трактувати як ціни на товари у відповідні періоди часу. Вважаємо, що всі вони нормовані в такий спосіб: $\langle c_t, x_A \rangle = \langle p_A, x_A \rangle$.

Як коефіцієнт дисконтування β візьмемо число λ_A. Це зроблено, з одного боку, для спрощення більшості викладок, з іншого — тому що такий коефіцієнт дисконтування є природним у нашій моделі: число λ_A^{-1} є темпом зростання.

Основна оптимізаційна задача, яку розглянуто, має такий вигляд:

$$max \sum_{t=1}^{T} \lambda_A^t \langle c_t, x_t \rangle,$$

$$A_x \le x_{t-1}, x_t \ge 0, t = 1,2, ..., T, x_T \ge \overline{\alpha}\hat{x}, \qquad (10)$$

де $x_0 > 0, \hat{x} > 0, A$ — примитивна матриця.

При цьому виявляється, що справедлива така теорема, що встановлює достатні умови існування магістралі розвитку організаційно-технологічної системи: за описом припущень вектор Фробеніуса x_A матриці А є магістраллю для задачі (10). (Теорема Перрона—Фробеніуса (1912 р.) — теорема, що описує деякі властивості спектру додатних та невідємних квадратних матриць, одним із тверджень до яких є: існує власний вектор, що відповідає додатному числу та має строго додатні координати (Вікіпедія). Результати теореми доволі часто використовуються у математичній економіці при досліджені моделі Леонтєва та ін.). Її доказ наведено С. Ашмановим як вирішення задачі лінійного програмування [4, с. 155-156].

Наданий у даній роботі матеріал слугував теоретичним підґрунтям для економіко-математичного моделювання оптимального процесу функціонування організаційно-технологічної системи з випуску високотехнологічної продукції (внутрішньогосподарська фірма «Електрон») на ПАТ «Одеський завод радіальносвердлильних верстатів» — оброблюваних центрів моделі ОС-1000ПМФ4 і гнучких виробничих модулів ГПМ-400ПМФ4. Консалтинговий проєкт було здійснено у межах передпланових досліджень проєкту технологічної модернізації основного виробництва цього підприємства з переходом на випуск сучасних металевооброблювальних систем за допомогою програмного забезпечення LP83 [14—17].

Різні компоненти оцінки проєкту зі створення організаційно-технологічної системи взаємопов'язаних електронних таблиць, набір яких водночас є єдиною базою даних, на основі якої можуть бути сформовані різні конкретні моделі (системи моделей) (рис. 2), у яких представлено: I — множина найменувань ре_ сурсів; J — сукупність нових технологій; технологічна матриця T, яка дозволяє описувати різні умови одержання доступу до ресурсів та їх використання, а також процесу виробництва (технологічної переробки) та реалізації продукції; матриця A, яка описує ринки продукції, сировини та матеріалів, нових технологій, трудових ресурсів; матриці Z та L, які визначають систему економічних характеристик умов виробництва та реалізації продукції, сюди можуть входити поточні виробничі витрати на діючих технологіях, аналогічні проєктні показники нових технологій, що вводяться, питомі капітальні вкладання та можливі ціни сировини та матеріалів у постачальників; N, P — найменування внутрішньовиробничих постачальників матеріалів та споживачів готових виробів; транспортні фактори відображені в наборі таблиць, склад яких може змінюватись у залежності від постановки задачі; вид транспорту характеризується матрицею відстаней S, яка описує мережу (у мережній чи матричній формах), та матрицею формування тарифів (наприклад, в залежності від дальності перевезень).

	Назви нових технологій J	Назви пунктів вжитку P	
Назви ресурсів I	Матриця технологічних способів виробництва продукції T	Матриця потреб у готовій продукції A	Опис типів обмежень L
Назви пунктів виробництва N	Матриця поточних цін та виробничих витрат Z	Матриця відстаней S	

Рис. 2. Інформаційна модель виробничої задачі організаційно-технологічної системи

Представлено авторами.

Така структуризація інформаційної моделі дозволяє готувати інформацію в змістовій формі, легко перебудовувати модель безпосередньо у ході розрахунків з урахуванням усіх змін, необхідних з точки зору користувача. Алгоритм перетворення систем даних інформаційної моделі в стандартний формат оптимізаційних пакетів дозволяє вирішувати проблему одержання оптимальних рішень системи взаємопов'язаних задач: технологічної —виробничої — виробничо-транспортної на одній базі даних.

Процес перетворення змістової інформації та формування її в форматі MPS з метою оптимізаційних пакетів вимагає уваги через велику кількість логічних операцій. Розроблений алгоритм та комплекс програмного забезпечення дозволяє автоматизувати цей процес. Вони володіють досить високою ефективністю. Наприклад, в моделі технологічної задачі заготівельного виробництва верстатобудівельного підприємства (27 обмежень та 31 змінна) формування MPS-файла для їх рішення відбувається приблизно за 1—2 хвилини, а вирішення на комп'ютері типу IBM PC за 2—5 хвилин.

Інтерфейс, який використовується, дозволяє передавати інформацію від IBM PC на обчислювальну машину і навпаки. Завдяки цьому система моделей і комплекс програмного забезпечення перетворюється в засіб ухвалення оперативного рішення, що дуже важливо в динамічних умовах переходу до дійсно ринкової економіки, де ведуче місце займають високотехнологічні виробництва.

Висновки. Зроблена спроба математичного обґрунтування створення, функціонування та розвитку організаційно-технологічних систем у високотехнологічному виробництві на основі використання магістральної теорії за допомогою моделі Леонтьєва та рішення задачі лінійного програмування з практичною апробацією на конкретному машинобудівному підприємстві. Сьогодні великий інтерес викликають внутрішні якості організаційно-технологічних систем, які включають у своєму складі можливості вибору правильного шляху розвитку, протистояти нестабільним коливанням; визначати ступінь узгодженості функціонування окремих підсистем та інші характеристики, що дозволить організаційно-технологічній системі рухатись найбільш ефективним шляхом. Деякі з таких характеристик закладаються у систему ще на передплановій стадії формування її структури та їх зміна пов'язана з достатньо великими інвестиціями. Інші можуть у визначеному ступені змінюватися та удосконалюватися у відповідності з очікуваннями майбутніх періодів.

Список використаних джерел

1. *Методология моделирования жизнеспособных систем в экономике*: монография / Ю. Г. Лысенко и др. Донецк: Юго-Восток, 2009. 350 с.

2. *Модели управления проектами в нестабильной экономической среде*: монография / под ред. Ю. Г. Лысенко. Донецк: Юго-Восток, 2009. 354 с.

3. Альсевич В. В. Введение в математическую экономику. Конструктивная теория: учеб. пособие. Москва: Едиториал УРСС, 2005. 256 с.

4. Ашманов С. А. Линейное программирование. Москва: Наука, 1981. 340 с.

5. Блауг М. Экономическая мысль в ретроспективе / пер. с англ. Москва: Дело Лтд, 1994. 720 с.

6. Веретюк С. М., Пілінський В. В., Буценко Ю. П. Модель технологічного розриву між двома незалежними системами. *Актуальні проблеми економіки*. 2018. №2(200). С. 91–107.

7. Вишневський В. П., Князєв С. І. Як підвищити готовність промисловості України до смарт-трансформацій. *Наука та інновації*. 2018. №4. Т. 14. С. 55–69. DOI: https://doi.org/10.15407/scin14.04.055.

8. Гаркушенко О. М., Князєв С. І. Аналіз економіко-математичних моделей впливу інформаційно-математичних моделей впливу інформаційно-комунікаційних технологій на результати виробництва: чи існує парадокс Солоу? *Наука та інновації*. 2019. №4. Т. 15. С. 5–19. DOI: https://doi.org/10.15407/scin15.04.005.

9. Даниленко Ю. А. Характеристики та класифікації інновацій та інноваційного процесу. *Наука та інновації*. 2018. №3. Т. 14. С. 15–30. DOI: https://doi.org/10.15407/scin14.03.015

10. Коршевнюк Л. О. Системний аналіз: еволюція і перспективи подальшого розвитку. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2020. №2. С. 7–26. DOI: https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2020.2.01.

11. Муртаф Б. Современное линейное программирование. Теория и практика. Москва: Мир, 1984. 224 с.

12. Потьомкін М. М., Дублян О. В., Хомчак Р. Б. Система підтримки прийняття рішень для розв'язання багатокритеріальних задач під час дослідження складних систем. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. №2. Т. 56. С. 141–148.

13. Шпакова Г. В. Економічна трансформація моделей виробництва на прикладі біосферосумісного будівництва. *Економіка та держава*. 2020. №2. С. 67–71. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.2.67.

14. LP83. Version 5.0/ Sanset SoftWare, 1985. 156 p.

15. Microsoft FORTRAN. Version 5.0. Microsoft Corp., 1989. 352 p.

16. Supercalc. Version 5.0. References Manual. Computer Associates, 1988. 502 p.

17. Supercalc. Version 5.0. User Guide. Computer Associates, 1988. 163 p.

References

1. Lysenko, Yu. G. et al. (2009). Metodologiya modelirovaniya zhiznesposobnyh sistem v ekonomike [Methodology for modeling viable systems in the economy]. Donetsk, Yugo-Vostok [in Russian].

2. Lysenko, Yu. G. (2009). Modeli upravleniya proektami v nestabil'noj ekonomicheskoj srede [Models of project management in an unstable economic environment]. Donetsk, Yugo-Vostok [in Russian].

3. Al'sevich, V. V. (2005). Vvedenie v matematicheskuyu ekonomiku. Konstruktivnaya teoriya [Introduction to mathematical economics. Constructive theory]. Moscow, Editorial URSS [in Russian].

4. Ashmanov, S. A. (1981). Lineynoye programmirovaniye [Linear programming]. Moscow, Nauka [in Russian].

5. Blaug, M. (1994). Ekonomicheskaya mysl' v retrospektive [Economic thought in retrospect]. Moscow, Delo Ltd [in Russian].

6. Veretiuk, S. M., Pilinskyi, V. V., Butsenko, Yu. P. (2018). Model tekhnolohichnoho rozryvu mizh dvoma nezalezhnymy systemamy [Model of technological development between two independent systems]. *Aktualni problemy ekonomiky – Actual problems of the economy*, 2(200), pp. 91–107. [in Ukrainian].

7. Vyshnevskyi, V. P., Kniaziev, S. I. (2018). Yak pidvyshchyty hotovnist promyslovosti Ukrainy do smart-transformatsii [How to move the readiness of Ukraine's industry to smart transformations]. *Nauka ta innovatsii – Science and innovation*, 15(4), pp. 55–69. DOI: https://doi.org/10.15407/scin14.04.055 [in Ukrainian].

8. Harkushenko, O. M., Kniaziev, S. I. (2019). Analiz ekonomiko-matematychnykh modelei vplyvu informatsiino-matematychnykh modelei vplyvu informatsiino-komunikatsiinykh tekhnolohii na rezultaty vyrobnytstva: chy isnuie paradoks Solou? [Analysis of economic-mathematical models in the flow of information and mathematical models in the flow of information and communication technologies on the results of vibration: what is Solow's paradox?]. *Nauka ta innovatsii – Science and innovation*, 15(4), pp. 5–19. DOI: https://doi.org/10.15407/scin15.04.005 [in Ukrainian].

9. Danylenko, Yu. A. (2018). Kharakterystyky ta klasyfikatsii innovatsii ta innovatsiinoho protsesu [Characteristics of that classification of innovation and innovation process]. *Nauka ta innovatsii – Science and innovation*, 14(3), pp. 15–30. DOI: https://doi.org/10.15407/scin14.03.015 [in Ukrainian].

10. Korshevniuk, L. O. (2020). Systemnyi analiz: evoliutsiia i perspektyvy podalshoho rozvytku [System analysis: evolution and prospects for further development]. *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii — System follow-up and information technologies*, 2, pp. 7—26. DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2020.2.01 [in Ukrainian].

11. Murtaf, B. (1984). Sovremennoye lineynoye programmirovaniye. Teoriya i praktika [Modern linear programming. Theory and practice]. Moscow, Mir [in Russian].

12. Potomkin, M. M., Dublian, O. V., Khomchak, R. B. (2020). Systema pidtrymky pryiniattia rishen dlia rozviazannia bahatokryterialnykh zadach pid chas doslidzhennia skladnykh system [The support system accepts a solution for arranging rich-criteria tasks for the next hour of handling folding systems]. *Kibernetika i sistemnyi analiz — Cybernetics and systems analysis,* 56(2), pp. 141—148 [in Ukrainian].

13. Shpakova, H. V. (2020). Ekonomichna transformatsiia modelei vyrobnytstva na prykladi biosferosumisnoho budivnytstva [Economic transformation of production models on the example of biosphere-compatible construction]. *Ekonomika ta derzhava,* 2, pp. 67—71. DOI: https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.2.67 [in Ukrainian].

14. LP83. Version 5.0/ Sanset SoftWare. (1985).

15. Microsoft FORTRAN. Version 5.0. Microsoft Corp. (1989).

16. Supercalc. Version 5.0. References Manual. Computer Associates. (1988).

17. Supercalc. Version 5.0. User Guide. Computer Associates. (1988).

Стаття надійшла до редакції 29.04.2022

Формат цитування:

Захарченко В. І., Онешко С. В. Уточнення процесу формалізації для моделей економічної динаміки при дослідженні розвитку організаційно-технологічних систем. *Вісник економічної науки України*. 2022. № 1 (42). С. 57-63. *DOI: https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.1(42).57-63*

Zakharchenko, V. I., Oneshko, S. V. (2022). Clarification of the Formalization Process for Models of Economic Dynamics in the Study of the Development of Organizational and Technological Systems. *Visnyk ekonomichnoi nauky Ukrainy*, 1 (42), pp. 57-63. *DOI: https://doi.org/10.37405/1729-7206.2022.1(42).57-63*