

УДК 330.341.1:338.49

Н.Т. Рудь,

Луцький національний технічний університет

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІННОВАЦІЙНОЮ
ІНФРАСТРУКТУРОЮ РЕГІОНУ**

Метами дослідження операцій формалізовано завдання управління інноваційною інфраструктурою, розроблена математична модель управління, запропонований математичний підхід відображення показників безрозмірними величинами.

Ключові слова: методи, моделі, структура, дослідження операцій, інноваційна інфраструктура, управління, ресурсно-результативна модель.

Форм. -1. Рис. -1. Літ. -5.

Постановка проблеми. Значне місце в реалізації моделі інноваційного розвитку регіону займає створення, функціонування і розвиток інноваційної інфраструктури, яка має бути зв'язуючою ланкою між розробниками новачій і виробниками товарів і послуг, а також сприяти активізації інноваційних процесів в усіх сферах діяльності.

Необхідно відмітити, що ефективність інноваційних процесів залежить не тільки від діяльності їх учасників, але й від того, як ці учасники взаємодіють один з одним в якості елементів інфраструктури, хоча ця безсумнівна істина часто ігнорується.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та прикладні аспекти формування і функціонування інноваційної інфраструктури та її складових розглядаються у роботах Л. Безчасного, Н. Буги, Н. Гречановської, В. Гриньова, Н. Гончарової, О. Жилінської, Т. Івашенко, Н. Єміної, М. Жук, Г. Калитича, М. Канаєвої, Л. Ковальської, В. Козика, М. Крупки, А. Мазура, Є. Монастирного, А. Мухамедьярова, Л. Нехорошевої, С. Ракицької, А. Солдатова, Ж. Уланової, І. Фаріона, Д. Черваньова, О. Черв'якової, Н. Чістякової, Т. Шотіка та ін.

Недостатньо розробленими залишаються питання взаємодії об'єктів інноваційної інфраструктури в регіоні, необхідні уточнення принципів управління інфраструктурним забезпеченням інноваційних процесів, підвищення ефективності інноваційних процесів шляхом створення і розвитку інноваційної інфраструктури.

Мета дослідження – розробка математичної моделі управління інноваційною інфраструктурою на рівні регіону.

Основні результати дослідження. Значне місце в реалізації моделі інноваційного розвитку регіону займає створення, функціонування і розвиток інноваційної інфраструктури, яка має бути зв'язуючою ланкою між розробниками новачій і виробниками товарів і послуг, а також сприяти активізації інноваційних процесів в усіх сферах діяльності. Важливим завданням інноваційного розвитку регіону є управління інноваційною інфраструктурою, яка може забезпечити взаємодію між всіма учасниками інноваційної системи, що дозволить реалізувати комплексну підтримку інноваційного процесу на всіх його стадіях.

Розглядаючи інноваційну інфраструктуру як об'єкт управління, необхідно створити систему управління, адекватну об'єкту за цільовими установками, складності, масштабності, потенціалу і у відповідності з такими принципами:

- оперативності – швидке і адекватне прийняття управлінських рішень, відсутність відставання від ходу інноваційних процесів;
- економічності – оптимальний розподіл управлінської праці; відсутність дублювання функцій, мінімізація витрат на виконання управлінських функцій;
- функціональної придатності – гарантія надійності, забезпечення управління і контролю на всіх рівнях відповідно цілям і стратегії регіону;
- адаптивності – здатність до швидкої перебудови відповідно із змінними інноваційними процесами.

В умовах інноваційної інфраструктури принцип оперативності має виконуватися шляхом швидкого реагування на потреби регіону, своєчасне фінансування, можливість розташування організацій по регіону, оперативне прийняття управлінських рішень. Реалізація даного принципу також забезпечить скорочення витрат часу з моменту виникнення новачії до моменту комерціалізації, шляхом використання новітніх технологій і ресурсів.

Економічність реалізується через відсутність зайвих зв'язків в системі управління, скорочення ланцюга передавання інформації, зниження витрат за рахунок відсутності дублювання функцій, наявності суб'єкта управління інноваційною інфраструктурою.

Принцип функціональної придатності виконується шляхом координації дій суб'єктів, забезпечення ефективних зв'язків між основними учасниками інфраструктури, створення конкурентоспроможної продукції, послуг, технологій, співробітництва із спеціалістами високого рівня.

Адаптивність можна розглядати як можливість оперативної реструктуризації і реорганізації інфраструктури, активного пристосування до змін зовнішнього середовища, відкритість елементів.

Розглядаючи ієрархічні структури, необхідно відмітити, що їм властивий низький ступінь гнучкості, закритість і низький рівень обов'язків між елементами. Тут використовуються стандартні засоби зв'язку і адміністративні методи управління, в результаті чого механізм традиційного управління виявляється недієздатним для інноваційної інфраструктури.

В умовах мережевої (кластерної) організації ієрархія перетворюється в ланцюг замовлень на створення і розробку новацій, їх виробництво і збут, а також розвиток взаємовідносин між організаціями. Мережі представляють собою зосередження фірм чи спеціалізованих одиниць, які координуються ринковими механізмами замість командних методів. Вони розглядаються як форма, що краще відповідає сучасним вимогам навколишнього середовища.

Система управління у вигляді мережі дозволяє взаємодію елементів навіть при їх широкому розосередженні по регіону за рахунок використання інноваційних технологій. В рамках мережевої структури досягається компетентність виконання за рахунок того, що до розв'язку тих чи інших завдань залучаються кращі партнери-виконавці, знижується ймовірність використання другорядних виконавців. Система управління у формі мережі виключає дублювання функцій на різних ділянках, що дозволяє уникнути високих сукупних витрат на виробництво кінцевої продукції і забезпечує ефективну раціональну структуру витрат. Створення мережевої структури дозволить забезпечити сприятливі умови для високоефективного розвитку інноваційної інфраструктури регіону, стимулювати спільну взаємодію всіх її учасників.

Результативні показники ефективності функціонування інноваційної інфраструктури тісно пов'язані з ресурсним блоком, спираються на нього, оскільки поява винаходів, новацій, інноваційних програм неможлива без взаємодії людей, устаткування і технологій, фінансових ресурсів, а також інформації. Сполучною ланкою, або стрижнем системи, є управлінська дія. Саме від правильних, своєчасних рішень залежить, чи будуть розкриті можливості господарюючого суб'єкта зі створення конкурентоспроможної продукції, тому результатом, що відображає ефективність розвитку системи, є інноваційний потенціал, сформований в регіоні.

Під управлінням інноваційною інфраструктурою розуміється сукупність заходів, що формулюються на основі принципів, методів і інструментарію ухвалення управлінських рішень з урахуванням вибраних критеріїв ефективності, що дозволяє знизити невизначеність результатів інноваційних процесів, підвищити ефективність реалізації рішень з управління інноваційною інфраструктурою, знизити витрати на досягнення мети інноваційного розвитку.

З погляду системного підходу інноваційна інфраструктура регіону є складною просторовою системою, що розвивається в часі [1]. Для її дослідження застосовують загальнонаукові методи аналізу: семантичний, морфологічний, функціональний (причинно-наслідковий), системний і еволюційний (динамічний, часовий). Кожний з цих методів розглядає систему з певної позиції, тобто вивчає перетин (деякий зріз) складної системи.

Морфологічний аналіз розкриває її склад і будову. Функціональний аналіз встановлює характер причинно-наслідкових зв'язків і взаємодії елементів системи, основні закономірності процесів, обумовлених цією взаємодією. Системний аналіз виявляє результативні характеристики зв'язків і взаємодії елементів, властиві системі інноваційної інфраструктури в цілому. Еволюційний аналіз визначає закономірності процесу розвитку системи в часі, його динаміку, напрям розвитку і визначальні його чинники, необхідні регіональним органам влади для здійснення функцій управління. Від стану інноваційної інфраструктури залежать управлінські рішення з вибору і реалізації інноваційної стратегії регіону.

Результативні показники ефективності функціонування інноваційної інфраструктури тісно пов'язані з ресурсним блоком, спираються на нього, оскільки поява винаходів, новацій, інноваційних програм неможлива без взаємодії людей, устаткування і технологій, фінансових ресурсів, а також інформації. Сполучною ланкою, або стрижнем системи є управлінська дія. Саме від правильних, своєчасних рішень залежить, чи будуть розкриті можливості господарюючого суб'єкта зі створення конкурентоздатної продукції, тому результатом, що відображає ефективність розвитку системи, є інноваційний потенціал і інноваційна культура, сформовані в регіоні.

Для вивчення структури інноваційної інфраструктури виконаний її структурний (морфологічний) розріз (рис.1). Під управлінням інноваційною інфраструктурою розуміється сукупність заходів, що формулюються на основі принципів, методів і інструментарію ухвалення управлінських рішень з урахуванням вибраних критеріїв ефективності, що дозволяє знизити невизначеність результатів інноваційних процесів, підвищити ефективність реалізації рішень з управління інноваційною інфраструктурою, знизити витрати на досягнення мети інноваційного розвитку.

Цільова функція управління інноваційною інфраструктурою полягає в розробці і реалізації управлінських рішень, направлених на створення, функціонування і розвиток інноваційної інфраструктури до рівня, що забезпечує тенденцію позитивного розвитку інноваційних процесів регіону в зовнішньому економічному середовищі при мінімальних витратах [1, 2].



Рис.1. Структурна схема інноваційної інфраструктури
(авторська розробка)

В термінах дослідження операцій [2] для вирішення завдання успішного управління інноваційною інфраструктурою залежно від мети операції, що виконується, необхідно визначити вектор \vec{K} , що досягає екстремуму цільової функції $y(\vec{K})$.

Вектор характеристик властивостей інноваційної інфраструктури визначається параметрами складових її елементів. Наприклад, k_{1j} – j -й показник фінансового забезпечення, k_{2j} – j -й показник виробничо-технологічної складової, k_{ij} – j -й показник i -ої складової інноваційної інфраструктури. Вектор \vec{K} може бути представлений i елементами, які входять в нього і мають j -й показник кожен:

$$\vec{K} = \{ k_{11}, k_{12}, \dots, k_{ij}, \dots, k_{nm} \}, i = \overline{1; n}, j = \overline{1; m}.$$

Частина компонентів вектора \vec{K} може приймати фіксовані значення, інша частина – змінні значення. Крім того, вказані компоненти, як правило, є стохастичними величинами.

Досліджувана підсистема інноваційної інфраструктури регіону функціонує всередині більш загальної економічної системи – регіональної інноваційної системи, що впливає на неї – зовнішні впливи, що описуються вектором \vec{g} з множини \vec{G} . Елементами цього вектора є бюджет регіону, кредитна політика банків, економічна і інноваційна політика регіону, аналогічні параметри державного рівня і ін. З урахуванням цього вектор \vec{g} може бути представлений у вигляді:

$$\vec{g} = \{ g_1, g_2, g_i, \dots, g_n \}.$$

В процесі економічних відносин система інноваційної інфраструктури з внутрішніми властивостями, що описуються вектором \vec{K} , взаємодіє із зовнішнім середовищем (інноваційною системою регіону, економічною системою регіону, України), що описується вектором \vec{G} , і в кожен момент часу t (або в кожен часовий інтервал) може знаходитися тільки в одному із станів $\vec{u}(t)$, які належать безлічі станів \vec{U} ($\vec{u}(t) \in \vec{U}$). Досліджувані процеси, що формують інноваційну інфраструктуру, в цьому випадку можна розглядати як систему з вхідними параметрами \vec{g} з множини \vec{G} і параметрами її стану, поведінки із їх множини \vec{U} (вихідними). Причому елементу $\vec{u}(t) \in \vec{U}$ можна поставити у відповідність елемент $\vec{g} \in \vec{G}$. Цей зв'язок визначається операторним відношенням

$$L\vec{u} = \vec{g}, \quad (1)$$

де L – оператор, що відображає властивості системи, її структурне положення в більш загальній системі $L(\vec{K})$, а також рівень складності постановки економічного завдання. Слід відмітити, що завдання розрахунку економічних систем зазвичай ставляться в недозволеній щодо вихідних параметрів \vec{U} формі (2.1). Обертання оператора L , тобто перехід до вигляду

$$\vec{U} = L^{-1}\vec{g},$$

є одним з основних завдань розрахунку економічних систем.

Множину станів системи інноваційної інфраструктури \vec{U} розіб'ємо на дві непересічні підмножини \vec{U}_1 і \vec{U}_2 так, щоб

$$\vec{U}_1 \cup \vec{U}_2 = \vec{U} \text{ і } \vec{U}_1 \cap \vec{U}_2 = \emptyset.$$

Елементи множини станів, допустимих з погляду якості (під якістю розуміється чинник або група чинників, що характеризують стан інноваційної інфраструктури), утворюють область допустимих станів інноваційної інфраструктури, або область нормального функціонування \vec{U}_1 . Кожному стану системи $\vec{u}(t)$ ($\vec{u}(t) \in \vec{U}$) відповідає певний елемент $\vec{w}(t)$, що описує якість інноваційної інфраструктури і належить множині таких елементів \vec{W} ($\vec{w}(t) \in \vec{W}$). Зв'язок між ними описується операторним рівнянням:

$$\vec{w} = M\vec{u}.$$

Якщо параметр $\vec{w}(t)$ із множини елементів якості \vec{W} знаходиться в області допустимих станів ($\vec{w}(t) \in U_1$), то параметри якості знаходяться у встановлених межах, і порушення функціонування інноваційної інфраструктури (втрати якості) не відбудеться. Вона настає у разі виходу елемента, що описує якість, за межі області допустимих станів, яка визначається межею граничних допустимих станів Γ , тобто коли $\vec{w}(t) \notin U_1$. Межа Γ характеризується гранично допустимими значеннями вектора якості $\vec{w}(t)$.

З позиції теорії управління [3] завдання управління формалізується в наступному вигляді:

$$L(\vec{w}) = g(t) + H(\vec{s}(t)), \quad (2)$$

де L – оператор керованої системи (II); H – оператор керуючої системи; $\vec{g}(t)$ – вектор взаємодії із зовнішнім середовищем з безлічі взаємодій \vec{G} ; $\vec{s}(t)$ – вектор керуючої дії із множини впливів \vec{S} ; $\vec{w}(t)$ – вектор станів системи з множини станів \vec{W} , тобто $\vec{g}(t) \in \vec{G}$; $\vec{w}(t) \in \vec{W}$; $\vec{s}(t) \in \vec{S}$.

В операторі L виділяють елементи $\vec{K}, \vec{K}_0, \vec{K}_c$ з безлічі \vec{K} детермінованих властивостей системи інноваційної інфраструктури, які не підлягають (\vec{K}) або підлягають оптимізації (\vec{K}_0), \vec{K}_c – елементи множини випадкових властивостей системи інноваційної інфраструктури.

У множині станів U визначається підмножина якості \vec{W} , а по ній – допустимі області $\Omega_q(\vec{K}_c)$ в множинах $\vec{G}(\vec{K}_c)$.

Допустиме значення вектора $\vec{S}(t) \in \Omega_s(\vec{K}_c)$ є функцією значення реалізованого вектора зовнішніх дій $\vec{g}(t)$:

$$\vec{s}(t) = H^{-1}[L(\vec{w}_*) - \vec{g}(t)], \quad (3)$$

де H^{-1} – оператор, зворотний оператору H ; \vec{w}_* – граничне допустиме значення вектора якості системи $\vec{w}_* \in \Gamma$ (Γ – межа допустимої області в множині якості).

Допустима область $\Omega_u(\vec{K}_c)$ будується згідно рівняння (2):

$$\vec{w}_* = L^{-1}[\vec{g}(t) + H(\vec{w}(t))], \quad (4)$$

де L^{-1} – оператор, зворотний L .

Потім вирішується завдання оптимального (раціонального) управління при сформованих обмеженнях на допустимій функції $\vec{S}(t)$. Визначається така функція $\vec{S}_0(t)$ при певних значеннях \vec{K}_0 і \vec{K}_c , яка мінімізує максимальне відхилення системи інноваційної інфраструктури від деякого нормального (еталонного) стану при дії зовнішніх впливів $\vec{q}(t)$ економічної системи. Особливістю є те, що економічна система не переводиться з однієї області фазового простору в іншу, а зберігається в заданій області, яка може стохастично змінювати свої розміри.

Надійність функціонування системи інноваційної інфраструктури за час від 0 до t

$$R(t | \vec{K}_0, \vec{K}_c) = \text{Вер}[\vec{w}(t) \in \Omega(\vec{K}_0, \vec{K}_c | \vec{S}_0), 0 \leq \tau \leq t]. \quad (5)$$

Для відновлення втраченої якості потрібні певні витрати (інвестиції), які додаються до витрат на організацію і функціонування інноваційної інфраструктури. Повна вартість системи інноваційної інфраструктури:

$$C(\vec{S}_0, \vec{K}_0) = C_0(\vec{S}, \vec{K}) + C_y(\vec{S}, \vec{K}) + \sum_{i=0}^T B_i(\vec{S}, \vec{K}, t)(1 - R_i(t | \vec{K}_0, \vec{K}_c)) \gamma^{-t}, \quad (6)$$

де $C_0(\vec{S}, \vec{K})$ – первинна вартість системи; $C_y(\vec{S}, \vec{K})$ – те ж для системи управління; B_i – величина збитку від неправильної організації функціонування системи; T – термін функціонування системи; γ^{-t} – коефіцієнт дисконтування різночасових витрат.

Мінімізуючи функцію повної вартості системи управління інноваційною інфраструктурою ($C(\vec{S}_0, \vec{K}_0) \rightarrow \min$), знаходимо вектор оптимальних параметрів інноваційної інфраструктури \vec{K}_0 .

Сформульоване в загальному вигляді завдання управління інноваційною інфраструктурою регіону вирішується поетапно залежно від наявності необхідної бази даних для продовження розв'язку. Тому в одних випадках завдання вдається закінчити кількісними рішеннями, а в інших – в термінах апарату нечітких множин. Етапи розв'язку задачі з розробки системи управління інноваційною інфраструктурою повинні включати формування підходів до управління, прогнозування розвитку, аналіз впливу чинників на інноваційні процеси, розвиток системи управління інноваційною інфраструктурою. Якість ухвалення управлінського рішення може бути оцінена як ступінь досягнення поставленої мети після реалізації прийнятих заходів.

Для оцінки сукупного впливу розглянутих характеристик інноваційної інфраструктури пропонується перейти до її комплексного показника, що враховує динаміку і кількісно відображає рівень розвитку інноваційних процесів. Запропоновано [3] показник динаміки розвитку представити у вигляді:

$$\Pi = \varphi \Psi, \quad (7)$$

де ϕ – динамічний індекс, що характеризує ефективність трансферу інноваційних технологій; Ψ – ресурсна складова інноваційної інфраструктури (або інноваційних процесів), що оцінюється за формулою:

$$\Psi = \sum_{i=1}^M r_i \Psi_i, \quad (8)$$

Тут r_i – ваговий коефіцієнт i -ї складової інноваційної інфраструктури, визначається методом експертних оцінок; M – число складових підсистем інноваційної інфраструктури.

$$\sum_{i=1}^M r_i = 1,$$

Ψ_i – оцінка (показник) i -ї складової інноваційної інфраструктури, розраховується за формулою:

$$\Psi_i = \sum_{j=1}^M S_{ij} n_{ij}, \quad (9)$$

де S_{ij} – ваговий коефіцієнт j -го показника i -ї складової інноваційної інфраструктури, визначається методом експертних оцінок:

$$\sum_{j=1}^M S_{ij} = 1,$$

M – число показників у складі i -ї складової інноваційної інфраструктури; n_{ij} – відображення j -го показника i -ї складової на відрізок дійсної осі $[0;1]$, розраховується за формулою:

$$n_{ij} = 2^{(-k_{ij}^* / k_{ij})}, \quad (10)$$

де k_{ij} – j -й показник i -ї складової інноваційної інфраструктури; k_{ij}^* – усереднений показник групи економічних систем.

Як позитивна сторона цього підходу наголошується [3] приведення показників k_{ij} різних типів до єдиної шкали, що змінюється від 0 до 1, при цьому середній рівень $n_{ij}=0,5$ характеризує відсутність змін. При безперечній правоті цього твердження слід відмітити, що аналогічні відображення показників застосовувалися і раніше. Окрім цього, відображення n_{ij} є нерівномірним для різних інтервалів $k_{ij}^* / k_{ij} < 1$ і $k_{ij}^* / k_{ij} > 1$, тобто при зростанні $k_{ij}^* / k_{ij} > 1$ зміна n_{ij} в інтервалі $[0;0,5]$ незначна, що відображає меншу чутливість відображення n_{ij} до зменшення показника $k_{ij} < k_{ij}^*$.

Для виправлення цього недоліку можна виконати перетворення, які дозволять збільшити шкалу зміни відображення n_{ij} залежно від вирішуваного завдання оцінки:

$$n_{ij} = B \cdot [2^{(1-k_{ij}^* / k_{ij})} - 1], \quad (11)$$

де B – оцінка в балах, при $B=1$ відображення $-1 \leq n_{ij} \leq +1$, тобто його інтервал збільшився удвічі; а при $B=5$ $-5 \leq n_{ij} \leq +5$ і ін.

По-перше, залежно від ступеня мінливості показника інноваційної інфраструктури k_{ij} в порівнянні з k_{ij}^* , підбираючи значення бальних оцінок B , можна змінювати чутливість відображення n_{ij} .

По-друге, показник k_{ij}^* можна визначити як базовий, з яким порівнюється поточний показник k_{ij} . Значення базового показника може відповідати досягнутому рівню за минулий період (при оцінці від досягнутого), оптимальному рівню k_o , якщо оцінювалося оптимальне значення k_{ij} , перспективному рівню, якщо величина k_{ij}^* визначалася при перспективному плануванні як цільовий параметр (перспективний або плановий).

По-третє, при рівності k_{ij} і k_{ij}^* отримуємо $n_{ij}=0$, що відповідає відсутності змін. При $k_{ij} > k_{ij}^*$ $n_{ij} > 0$, це вказує на зростання характеристик інфраструктури, а при $k_{ij} < k_{ij}^*$ $n_{ij} < 0$, що свідчить

про їх зниження, тобто відбивається напрям розвитку інноваційної інфраструктури. Від темпів зростання інноваційної інфраструктури залежить змінюваність величини базового показника k^*_{ij} при оцінці її стану і напрямку розвитку.

На основі вказаної методики Ю. Максимов, С. Мітяков, О. Мітякова, Т. Федосєєва [4, с. 55] пропонують виконувати порівняльний і динамічний аналіз для різних показників, моделей, типів економічних систем. Авторами для оцінки використані показники соціально-економічного розвитку регіонів без показників, які б характеризували інноваційний розвиток, як складову. Ми пропонуємо використовувати даний підхід для оцінки інноваційного потенціалу регіону [5, с. 171], а також для інтегральної оцінки інноваційної інфраструктури на основі ресурсно-результативної моделі.

Висновки. Таким чином, методами дослідження операцій формалізовано завдання управління інноваційною інфраструктурою, розроблена математична модель управління, запропонований математичний підхід відображення показників безрозмірними величинами.

1. Гиг Дж. Ван. Прикладная общая теория систем: [пер. с англ.] / Дж. Ван Гиг. – М.: Мир, 1981. – 336 с.

2. Переходов В.Н. Основы управления инновационной деятельностью / В.Н. Переходов. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 222 с.

3. Исследование операций в экономике: учеб. пособие для вузов / Под ред. Н. Ш. Кремера. – М.: ЮНИТИ, 2004. – 407 с.

4. Максимов Ю. Инновационное развитие системы: оценка инновационного потенциала / Ю. Максимов, С. Митяков, О. Митякова, Т. Федосеева // Инновации. – 2006. – №6(93). – С. 53–56.

5. Рудь Н.Т. Інноваційна інфраструктура регіону: теорія, методологія, практика: монографія. – Луцьк: ВРР ЛНТУ, 2011. – 492 с.