

СЕКЦІЯ 10 МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 330.341.1:332.122

Зомчак Л.М.

*кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економічної кібернетики
Львівського національного університету
імені Івана Франка*

Волошин І.Б.

*магістр
Львівського національного університету
імені Івана Франка*

СИМУЛЬТАТИВНА МОДЕЛЬ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

SIMULTANEOUS MODEL OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF

АНОТАЦІЯ

У статті запропоновано модель інноваційного розвитку регіону в умовах підвищеної мінливості зовнішнього середовища на основі системи взаємозв'язаних економетричних моделей. Симультативна модель утворена системою із п'яти рівнянь, які описують динаміку обсягу виконаних наукових робіт, чисельності працівників, які ці роботи виконували, кількості освоєних інноваційних видів продукції, обсягу реалізованої інноваційної продукції та величини валового регіонального продукту. Модель реалізована на даних для Львівської області.

Ключові слова: інновація, інноваційний розвиток, інноваційна продукція, симультативна модель, отождошення моделі.

АННОТАЦИЯ

В статье предложена модель инновационного развития региона в условиях повышенной изменчивости внешней среды на основе системы взаимосвязанных эконометрических моделей. Симультативная модель образована системой из пяти уравнений, описывающих динамику объема выполненных научных работ, количества работников, которые эти работы выполняли, количества освоённых инновационных видов продукции, объема реализованной инновационной продукции и величины валового регионального продукта. Модель реализована на данных для Львовской области.

Ключевые слова: инновация, инновационное развитие, инновационная продукция, симультативная модель, отождествление модели.

ANNOTATION

In article the model of innovative development of the region in the conditions of the increased variability of environment on the basis of system of the simultaneous equations models is proposed. The simultaneous model is formed by system of five equations describing dynamics of volume of the performed scientific works, the number of workers who performed these works, quantities of the mastered innovative types of production, volume of the realized innovative production and of a gross regional product. The model is realized on data for the Lviv Region.

Keywords: innovation, innovative development, innovative production, simultaneous model, model identification.

Постановка проблеми. Сучасні аналітичні й експертні огляди констатують факт, що в майбутньому будь-яка держава зможе розвиватися за одним із трьох сценаріїв: перший і вищий

рівень займуть держави, які створюють знання (розробки), другий рівень – держави, які на базі цих знань створюють технології, третій рівень – держави, які забезпечують енергосурсами перші два рівні. Досягнення першого із зазначених рівнів неможливо без стимулювання інноваційного розвитку економіки.

Постіндустріальний прорив, що забезпечує вихід до держав першого рівня, передбачає висування на перший план завдання формування стратегій інноваційного розвитку їх регіонів, що неможливе без ефективних моделей, які б базувались на нових знаннях та технологіях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням питань, пов'язаних з інноваційним розвитком на регіональному рівні, присвячено праці вчених, серед яких Й. Мітра [1], П. Кук [2], К. Морган, К. Наувалаєрс [3], Й. Мартінес-Роман, Й. Гамеро, Й. Тамайо [4], Ф. Моулаерт, Ф. Секія [5] та ін., а серед вчених, які застосовують до моделювання інноваційного розвитку регіонів математичний апарат, назвемо таких: Г. Ецковіч, М. Клофстен [6], М. Дудін [7], С. Радченко [8] та ін.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Необхідність розроблення нових моделей регіонального розвитку обумовлена назрілою необхідністю активізації інноваційної компоненти стратегій соціально-економічного розвитку регіонів України, оскільки емпіричні показники показують незадовільний стан інноваційного розвитку регіонів України та їх спад за останні роки, а класичні моделі та показники інноваційного розвитку регіону неефективні у плані прогнозування майбутнього стану інноваційного розвитку.

Мета статті полягає в аналізі та розвитку теоретичних, методологічних підходів до інно-

ваційного розвитку регіону, оцінці параметрів, що впливають на інноваційний розвиток, та побудові адекватних моделей управління інноваційним розвитком регіону на основі цих параметрів.

Виклад основного матеріалу дослідження
Для виявлення чинників підвищення інноваційного потенціалу та вироблення стратегій інноваційного розвитку запропоновано економічну симульативну модель сфери інноваційної діяльності на регіональному рівні. Побудована модель описує як кількісний, так і якісний аспекти функціонування інноваційної сфери.

Нехай сфера інноваційної діяльності на регіональному рівні характеризується такими ендогенними змінними:

y_1 – обсяг виконаних наукових та науково-технічних робіт, тис. грн.;

y_2 – чисельність працівників, які виконували наукові та науково-технічні роботи, тис. ос.;

y_3 – кількість освоєних інноваційних видів продукції, од.;

y_4 – обсяг реалізованої інноваційної продукції, млн. грн.;

y_5 – величина валового регіонального продукту, млн. грн.

Екзогенними змінними симульативної моделі регіонального розвитку інноваційної діяльності розглядатимемо такі змінні:

x_1 – кількість інноваційно-активних підприємств, од.;

x_2 – обсяг витрат на інновації, млн. грн.;

x_3 – індекс споживчих цін, %;

x_4 – обсяг інноваційних витрат у промисловості, млн. грн.;

x_5 – кількість зайнятого населення, тис. ос.;

x_6 – дослідження і розробки, тис. грн.;

x_7 – придбання машин та обладнання, пов'язані з упровадженням інновацій, тис. грн./\$;

x_8 – упроваджено нових технологічних процесів, од.

Симульативна модель, що описує структуру взаємозв'язків між економічними змінними, складається із таких кореляційно-регресійних залежностей:

1. Залежність обсягу виконаних наукових та науково-технічних робіт від кількості освоєних інноваційних видів продукції, величини валового регіонального продукту, упроваджених нових технологічних процесів та обсягу витрат на інновації:

$$y_{1t} = a_{10} + a_{12}x_{2t} + a_{18}x_{8t} + b_{13}y_{3t} + b_{15}y_{5t} + \varepsilon_{1t},$$

де a_{10} – вільний член рівняння, a_{12} , a_{18} , b_{13} , b_{15} – параметри рівняння, ε_{1t} – випадкова величина.

2. Залежність чисельності працівників, які виконували наукові та науково-технічні роботи, від обсягу виконаних наукових та науково-технічних робіт, кількості зайнятого населення та впроваджених нових технологічних процесів:

$$y_{2t} = a_{20} + a_{25}x_{5t} + a_{28}x_{8t} + b_{21}y_{1t} + \varepsilon_{2t},$$

де a_{20} – вільний член рівняння, a_{25} , a_{28} , b_{21} , b_{15} – параметри рівняння, ε_{2t} – випадкова величина.

3. Залежність кількості освоєних інноваційних видів продукції від кількості інноваційно-активних підприємств, обсягу витрат на інновації, обсягу інноваційних витрат у промисловості, досліджень і розробок, придбання машин та обладнання, пов'язаних з упровадженням інновацій, чисельності працівників, які виконували наукові та науково-технічні роботи, та величини валового регіонального продукту:

$$y_{3t} = a_{30} + a_{31}x_{1t} + a_{32}x_{2t} + a_{34}x_{4t} + a_{36}x_{6t} + a_{37}x_{7t} + b_{35}y_{5t} + \varepsilon_{3t},$$

де a_{30} – вільний член рівняння, a_{31} , a_{32} , a_{34} , a_{36} , a_{37} , b_{35} – параметри рівняння, ε_{3t} – випадкова величина.

4. Залежність обсягу реалізованої інноваційної продукції від кількості освоєних інноваційних видів продукції, індексу споживчих цін, кількості зайнятого населення, кількості інноваційно активних підприємств:

$$y_{4t} = a_{40} + a_{41}x_{1t} + a_{43}x_{3t} + a_{45}x_{5t} + b_{43}y_{3t} + \varepsilon_{4t},$$

де a_{40} – вільний член рівняння, a_{41} , a_{43} , a_{45} , b_{43} – параметри рівняння, ε_{4t} – випадкова величина.

5. Залежність валового регіонального продукту від індексу споживчих цін, кількості зайнятого населення, обсягу реалізованої інноваційної продукції та обсягу виконаних наукових та науково-технічних робіт:

$$y_{5t} = a_{50} + a_{53}x_{3t} + a_{55}x_{5t} + b_{51}y_{1t} + b_{54}y_{4t} + \varepsilon_{5t},$$

де a_{50} – вільний член рівняння, a_{53} , a_{55} , b_{51} , b_{54} – параметри рівняння, ε_{5t} – випадкова величина.

У загальній постановці модель матиме вигляд:

$$y_{1t} = a_{10} + a_{12}x_{2t} + a_{18}x_{8t} + b_{13}y_{3t} + b_{15}y_{5t} + \varepsilon_{1t},$$

$$y_{2t} = a_{20} + a_{25}x_{5t} + a_{28}x_{8t} + b_{21}y_{1t} + \varepsilon_{2t},$$

$$y_{3t} = a_{30} + a_{31}x_{1t} + a_{32}x_{2t} + a_{34}x_{4t} + a_{36}x_{6t} + a_{37}x_{7t} + b_{35}y_{5t}, \quad (1)$$

$$y_{4t} = a_{40} + a_{41}x_{1t} + a_{43}x_{3t} + a_{45}x_{5t} + b_{43}y_{3t} + \varepsilon_{4t},$$

$$y_{5t} = a_{50} + a_{53}x_{3t} + a_{55}x_{5t} + b_{51}y_{1t} + b_{54}y_{4t} + \varepsilon_{5t}.$$

Згорнуте вираження скороченої форми залежності ендогенних змінних від усіх екзогенних змінних можна записати таким чином:

$$y_{1t} = \pi_{10} + \pi_{11}x_{1t} + \pi_{12}x_{2t} + \pi_{13}x_{3t} + \pi_{14}x_{4t} + \pi_{15}x_{5t} + \pi_{16}x_{6t} + \pi_{17}x_{7t} + \pi_{18}x_{8t} + v_{1t};$$

$$y_{2t} = \pi_{20} + \pi_{21}x_{1t} + \pi_{22}x_{2t} + \pi_{23}x_{3t} + \pi_{24}x_{4t} + \pi_{25}x_{5t} + \pi_{26}x_{6t} + \pi_{27}x_{7t} + \pi_{28}x_{8t} + v_{2t};$$

$$y_{3t} = \pi_{30} + \pi_{31}x_{1t} + \pi_{32}x_{2t} + \pi_{33}x_{3t} + \pi_{34}x_{4t} + \pi_{36}x_{6t} + \pi_{37}x_{7t} + v_{3t};$$

$$y_{4t} = \pi_{40} + \pi_{41}x_{1t} + \pi_{42}x_{2t} + \pi_{43}x_{3t} + \pi_{44}x_{4t} + \pi_{45}x_{5t} + \pi_{46}x_{6t} + \pi_{47}x_{7t} + v_{4t};$$

$$y_{5t} = \pi_{50} + \pi_{51}x_{1t} + \pi_{52}x_{2t} + \pi_{53}x_{3t} + \pi_{54}x_{4t} + \pi_{55}x_{5t} + \pi_{56}x_{6t} + \pi_{57}x_{7t} + \pi_{58}x_{8t} + v_{5t}.$$

де π_{ij} – невідомі параметри згорнутого вираження скороченої форми моделі $i=1, 5$, $j=0, 8$.

Модель (1) можна представити у табличній формі (табл. 1), та, порахувавши ранги матриць для кожного з рівнянь (елементами таких матриць є коефіцієнти при змінних, в інших рівняннях моделі, крім даного, які відсутні в даному рівнянні), можна перевірити модель на ототожнення.

Ранги всіх матриць рівні 4 (пораховано в середовищі Mathcad).

Умову порядку для моделі подано у таблиці 2.

Отже, згідно з умовою порядку та ранговою умовою, усі рівняння моделі, окрім третього, є переототожненими. Третє рівняння моделі точно ототожене. Виходячи з результатів перевірки, розв'язувати модель необхідно двокроковим методом найменших квадратів.

Вхідні дані для реалізації моделі (1) наведені в табл. 3 та 4. Дані отримані із офіційного сайту Головного управління статистики у Львівській області [9]. Табл. 3 позначає ендо-

генні змінні для Львівської області в період з 2000 по 2012 р. включно.

У табл. 4 указані всі екзогенні змінні за цей же період для Львівської області. Під час застосування методу найменших квадратів до переототожнених структурних рівнянь можна отримати декілька різних оцінок одного структурного параметра.

Щоб провести оцінювання параметрів переототожнених рівнянь, спеціально розроблений двокроковий метод найменших квадратів. Цей метод можна також використовувати і для оцінювання структурних параметрів точно ототожнених рівнянь.

Таблиця 1

Таблична форма симульативної моделі

№ рівняння	Ендогенні змінні					Екзогенні змінні							
	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
1	1	0	$-b_{13}$	0	$-b_{15}$	0	$-a_{12}$	0	0	0	0	0	$-a_{18}$
2	$-b_{21}$	1	0	0	0	0	0	0	0	$-a_{25}$	0	0	$-a_{28}$
3	0	0	1	0	$-b_{35}$	$-a_{31}$	$-a_{32}$	0	$-a_{34}$	0	$-a_{36}$	$-a_{37}$	0
4	0	0	$-b_{43}$	1	0	$-a_{41}$	0	$-a_{43}$	0	$-a_{45}$	0	0	0
5	$-b_{51}$	0	0	$-b_{54}$	1	0	0	$-a_{53}$	0	$-a_{55}$	0	0	0

Таблиця 2

Умова порядку ототоження симульативної моделі

Номер рівняння	Кількість невиключених екзогенних змінних, $k - k_i$	Кількість включених ендогенних змінних, зменшена на 1, $m_i - 1$	Висновок про можливе ототоження
1	6	2	Переототожене
2	6	3	Переототожене
3	3	3	Точно ототожене
4	5	3	Переототожене
5	6	2	Переототожене

Таблиця 3

Ендогенні змінні моделі інноваційного розвитку Львівської області за 2000–2012 рр.

Рік	Обсяг виконаних наукових та науково-технічних робіт, у фактичних цінах, (тис. грн.)	Кількість працівників, які виконували наукові та науково-технічні роботи	Освоєно нових видів продукції, одиниць	Обсяг реалізованої інноваційної продукції, млн. грн.	ВРП у фактичних цінах, млн. грн.
2000	12406,80	9724,00	1242,00	151,70	9886,00
2001	17941,80	9083,00	2277,00	205,00	9870,00
2002	21325,90	8426,00	2081,00	406,50	11364,00
2003	24057,70	8366,00	1984,00	393,60	12980,00
2004	31353,90	8006,00	182,00	331,20	13992,00
2005	46698,30	7690,00	183,00	343,40	17192,00
2006	57531,90	7281,00	102,00	423,60	21486,00
2007	75434,10	6918,00	190,00	1064,20	27987,00
2008	94966,40	6474,00	138,00	627,10	35534,00
2009	93096,60	6311,00	152,00	690,80	35955,00
2010	108451,10	6131,00	117,00	383,60	41655,00
2011	106436,10	5644,00	119,00	447,40	52103,00
2012	125030,80	5623,00	115,00	658,10	61962,00

Джерело: [9]

Симультативна модель функціонування інноваційної сфери Львівської області має такий вигляд:
 $\bar{y}_{1t} = 19185,95 + 0,079917x_{2t} - 75,7368x_{8t} - 8,4774279y_{3t} + 1,554827739y_{5t};$
 $\bar{y}_{2t} = -3595,61 + 10,651625x_{5t} + 2,141391x_{8t} - 0,02945y_{1t};$
 $\bar{y}_{3t} = -199,172 + 24,32743x_{1t} - 0,1153x_{2t} + 124,6292x_{4t} - 0,08784x_{6t} - 0,01622x_{7t} - 0,00085y_{5t};$
 $\bar{y}_{4t} = 4755,811 + 7,21232x_{1t} - 0,71366x_{3t} - 4,00034x_{5t} - 0,12313y_{3t};$
 $\bar{y}_{5t} = -49307,5 - 63,9308x_{3t} + 50,00062x_{5t} + 0,49054045y_{1t} - 16,613482y_{4t}.$

Відношення множинної детермінації для кожного із рівнянь, відповідно, $R^2 = 0,8075; 0,8648; 0,7315; 0,9133; 0,7627$ свідчать про тісну кореляційну залежність та правильну специфікацію моделі. Емпіричні значення критерію фон Неймана для моделі становлять $Q_1 = 1,334571853$, $Q_2 = 1,480379$, $Q_3 = 1,423953$, $Q_4 = 2,694063$, $Q_5 = 1,42476032$ відповідно та свідчать про відсутність у моделі автокореляції. Це означає, що для симультавної моделі (1) можна використовувати метод найменших квадратів, за допомогою якого отримані оцінки є ефективні.

Для визначення адекватності моделі ще можна скористатись тим фактом, що симульта-

тивна модель функціонування системи інноваційної діяльності Львівської області побудована на основі статистичних даних за 2000–2012 рр., а її перевірку можна здійснити на основі відомих значень показників за 2013 та 2014 рр. Здійснивши порівняння прогнозних та фактичних значень показників (табл. 5), можна на практиці перевірити точність моделі.

Так, маючи значення екзогенних змінних за 2013–2014 рр., спробуємо спрогнозувати значення шуканих величин і порівняти їх із фактичними значеннями.

Так, теоретичне значення обсягу виконаних наукових та науково-технічних робіт у фактичних цінах у 2013 р. склало 143100,8916 тис. грн., що на 7824,39 тис. грн. більше, ніж його фактичне значення. Теоретичне значення цього ж показника в 2014 р. склало 135351,5703 тис. грн., що на 1625,37 тис. грн. більше за фактичне.

Теоретичне значення кількості працівників, які виконували наукові та науково-технічні роботи, на 2013 р. склало 6677,975818 тис. ос.

Таблиця 4
Екзогенні змінні моделі інноваційного розвитку Львівської області за 2000–2012 рр.

Кількість інноваційно активних підприємств, од.	Обсяг витрат на інновації	Індекси споживчих цін	Обсяг інноваційних витрат у промисловості, млн. грн.	Кількість зайнятого населення, тис. ос.	Дослідження і розробки	Придбання машин та обладнання, пов'язані з упровадженням інновацій	Упроваджено нових технологічних процесів, од.
97,00	41448,50	122,20	41,50	1249,50	3457,60	31090,70	82,00
82,00	29619,90	123,40	29,60	1234,10	1954,20	26377,50	47,00
88,00	108652,40	105,80	108,70	1192,40	4206,90	73057,90	33,00
93,00	69682,40	101,20	69,70	1192,40	3766,30	49961,50	83,00
58,00	64423,40	106,10	64,40	1174,50	4780,80	50875,60	73,00
44,00	75858,00	111,40	75,90	1167,00	5973,00	60392,90	55,00
62,00	72457,50	107,50	72,50	1166,90	8645,80	57989,40	8,00
127,00	272507,90	106,60	272,50	1167,70	22186,60	229411,50	54,00
101,00	296662,20	120,30	296,70	1182,20	12493,00	221170,60	54,00
106,00	211070,70	125,30	211,10	1185,50	10506,40	182052,30	56,00
102,00	139335,40	111,40	139,30	1190,00	7734,50	113473,30	63,00
100,00	162676,80	108,60	162,70	1192,80	7869,30	148192,80	39,00
101,00	280614,40	104,60	280,60	1189,00	10452,50	259954,90	46,00

Джерело: [9]

Таблиця 5
Значення екзогенних змінних моделі для Львівської області за 2013–2014 рр.

	2013	2014
Кількість інноваційно активних підприємств, од.	116	129
Обсяг витрат на інновації	257053,9	219754,3
Індекси споживчих цін	98,7	100,4
Обсяг інноваційних витрат у промисловості, млн. грн.	257,1	219,8
Кількість зайнятого населення, тис. ос.	1189,0	1135,4
Дослідження і розробки	15719,4	16847,8
Придбання машин та обладнання, пов'язані з упровадженням інновацій	232494,4	149875,6
Упроваджено нових технологічних процесів, од.	47	60

Фактичне значення цього показника в 2013 р. становило 5177,00 тис. ос., що на 1500,98 тис. ос. менше за його прогнозне значення. У 2014 р. кількості працівників, які виконували наукові та науково-технічні роботи, становила 4783 тис. ос., його ж прогнозне значення склало 3287,634 тис. ос.

У 2013 р. було освоєно 111 од. нових видів продукції, його ж прогнозне значення склало 56,78 од. нових видів продукції. У 2014 р. було освоєно 129 од. нових видів продукції, що на 18 од. більше, ніж у попередньому. Прогнозне значення цього показника в 2014 р. склало 16,421 од. продукції.

Фактичне значення обсягу реалізованої інноваційної продукції в 2013–2014 рр. становило 849,50 і 731,90 млн. грн. відповідно. Прогнозне значення цієї величини за 2013–2014 рр. склало 731,3581612 і 5081,701982 млн. грн. відповідно.

ВРП у фактичних цінах у 2013–2014 рр. становив 63329 і 59862 млн. грн. Прогнозне значення за ці роки склало 42264,656 і 18157,206 млн. грн. відповідно.

Зауважимо також, що результати дослідження корелюють із стратегічними цілями Львівської області, прописаними у проекті стратегії розвитку Львівської області на період до 2020 р. [10] у розрізі інновацій.

Висновки. Аналізуючи отримані результати і порівнюючи їх із фактичними даними, можна зробити висновок, що модель адекватно відображає зміни інноваційної діяльності Львівської області. Як видно із отриманих даних, до 2013 р. включно спостерігалось зростання показників інноваційної діяльності. У 2014 р. відбувся спад в економіці, що відобразилось і на інноваційній діяльності. Цю тенденцію змогла відобразити і спрогнозувати запропонована модель (1).

Проте для можливого покращання розв'язку моделі при наступних її дослідженнях можна

врахувати нелінійність зв'язків у моделі. Проте розв'язок такої моделі дуже ускладнений, що, у свою чергу, ускладнює й економічну інтерпретацію такого розв'язку.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Mitra J. *Entrepreneurship, innovation and regional development: an introduction* / J. Mitra – Routledge. – 2013. – 341 p.
2. Cooke P. *Handbook of regional innovation and growth* / P. Cooke, B. Asheim, R. Boschma, R. Martin, D. Schwartz, F. Tdtling. – Edward Elgar Publishing. – 2013. – 629 p.
3. Morgan K. *Regional innovation strategies: the challenge for less favoured regions* / K. Morgan, C. Nauwelaers. – Psychology Press. – 1999. – 365 p.
4. Martinez-Roman J.A. *Analysis of innovation in SMEs using an innovative capability-based non-linear model: A study in the province of Seville (Spain)* / J.A. Martinez-Roman, J. Gamero, J.A. Tamayo // *Technovation*. – 2011. – № 31(9). – P. 459–475.
5. Moolaert F. *Territorial innovation models: a critical survey* / F. Moolaert, S. Farid // *Regional studies*. – 2003. – № 37(3). – P. 289–302.
6. Etzkowitz H. *The innovating region: toward a theory of knowledge-based regional development* / H. Etzkowitz, M. Klofsten // *R&D Management*. – 2005. – № 35(3). – P. 243–255.
7. Dudin M. N. *The problem of forecasting and modelling of the innovative development of social economic systems and structures* / M.N. Dudin, N.V. Lyasnikov, V.D. Sekerin, M.Y. Veselovsky, V.G. Aleksakhina // *Life Science Journal*. – 2014. – № 11(8). – P. 549–552.
8. Radchenko S. *Innovative Model of Economic Development in the Region* / S. Radchenko, J. Zajac, M. Kočiško, Z. Hutyróvá, J. Zajac, A. Bernat // *Applied Mechanics and Materials*. – 2015. – Vol. 718. – P. 9–15.
9. *Головне управління статистики у Львівській області* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.lv.ukrstat.gov.ua.
10. *Проект стратегії розвитку Львівської області на період до 2020 р.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.loda.gov.ua/upload/users_files/1/upload/Documets/STRATEG_Ya_final_18.01.2016.docx.