

УПРАВЛІНСЬКІ ІННОВАЦІЇ НА МАКРО- І МЕЗОРІВНЯХ

УДК 330.341.1

Оксана ЛЯШЕНКО,
Ганна БУЛАВСЬКА

СВІТОВИЙ ДОСВІД МОДЕЛЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ: МАКРОПІДХІД

Проаналізовано та узагальнено основні підходи до дослідження інноваційних процесів на макрорівні з використанням математичного моделювання, що дало змогу визначити напрями подальших перспективних досліджень у цій галузі.

The major approaches to innovation process investigation at the macro level using mathematical modeling are analyzed and systematized, allowing us to identify the directions for further research in this sphere.

Ключові слова: модель інноваційного процесу, інновація, дифузія, ефект заміщення, теорія інновацій, математичні методи.

Keywords: innovation process model, innovation, diffusion, substitution effect, innovation theory, mathematical methods.

У сучасних економічних умовах інноваційні технології стали найголовнішим чинником забезпечення економічного зростання країн і суспільного прогресу та перетворилися на основну рушійну силу подолання кризових явищ в економіці. Як показує досвід розвинутих країн, прийняття рішень на основі математичних методів у сфері інноваційної діяльності розширює можливості, масштаби і прискорює її темпи.

Методологія математичного моделювання інноваційної діяльності та використання методів формалізації поведінки економічних агентів в інноваційній сфері виступають елементами методології інноваційного розвитку економіки.

Теорії інновацій, що вивчають рух знань в інноваційному процесі, розвиток національних інноваційних систем, дослідження впливу технологій на динаміку економічного та інноваційного розвитку країн світу і в т. ч. України, особливості формування національних інноваційних систем та техніко-економічної динаміки економічного розвитку, висвітлені у працях: В. Александрової, Ю. Бажала, Д. Белла, О. Білоруса, О. Власюка, В. Гейця, С. Глазьєва, А. Динкіна, Е. Жильцова, В. Иноземцева,

© Оксана Ляшенко, Ганна Булавська, 2012.

М. Кондратьєва, В. Кузьменка, С. Мікеріна, В. Маєвського, Г. Менша, Р. Ніжегородцева, Б. Патона, П. Перерви, О. Підпригори, А. Пригожина, Б. Санто, В. Семиноженка, В. Соловйова, Б. Твісса, М. Туган-Барановського, К. Фрімена, Р. Хасбулатова, М. Хучека, Й. Шумпетера, Т. Щедріної, К. Юдаєва, Ю. Яковця.

Основи методології математичного моделювання інноваційних процесів заклали такі вчені: Г. Зінгер, Р. Каплінські, М. Кастельс, А. Кляйкнехт, С. Кузнець, Б. Лундвалл, М. Менсвідд, Г. Менш, В. Нордхауз, Дж. Прай, Р. Пребіш, П. Ромер, С. Ріппа, В. Соловйов, М. Фішер, П. Ховітт.

Поряд з тим, відсутність єдиного методологічного підходу до дослідження та моделювання інноваційних процесів на макрорівні ускладнює умови і спричиняє відсутність дієвих практичних рекомендацій щодо активізації інноваційної діяльності в Україні. Хоча нині є багато праць, присвячених проблемам організації та управління інноваційними процесами, дослідженням цих процесів з позицій різних наукових напрямів і парадигм, але не багато з них присвячено дослідженню саме інноваційних процесів із міждисциплінарної точки зору з використанням математичних методів.

Незважаючи на велику кількість розроблених концепцій, теоретичних підходів, методів дослідження інноваційних процесів і навіть спроб створити єдину теорію інноваційного процесу, вся множина існуючих наукових розробок може бути зведена до декількох груп за критерієм покладених в їх основу методів дослідження.

Автор праці [1] навів чотири основні класи методів дослідження інноваційних процесів, на основі яких можна класифікувати наукові дослідження, що так чи інакше стосуються інноваційних процесів:

- 1) розробки на основі використання статистичних методів (найбільша група досліджень);
- 2) зіставлення (порівняння) пар трансферу технологій (вдалих і невдалих) як подальший розвиток статистичного підходу;
- 3) розробки на базі використання аналізу критичних подій;
- 4) розробки на базі ситуаційного аналізу.

Усі такі дослідження відображають, на нашу думку, дві крайні ситуації: їх автори або розробляють загальну теорію трансферу технологій без урахування конкретних умов цілком реальних ситуацій, або детально описують досвід участі певного суб'єкта у трансфері технологій, і при цьому нема змоги зробити конкретні узагальнення. Очевидно, що вищезгадана класифікація методів дослідження інноваційних процесів потребує розширення, а саме необхідно сюди додати ще методи математичного моделювання.

Мета роботи – проаналізувати та узагальнити основні підходи до дослідження інноваційних процесів на макрорівні з використанням математичного моделювання і визначити напрями подальших перспективних досліджень у цій галузі.

Розроблені у світовій науці моделі дослідження інноваційних процесів – від простих описуваних моделей інноваційних процесів до складних моделей – дають змогу оцінювати вплив технологій та інновацій на економіку, враховувати як часові, так і просторові характеристики дифузії й трансферу технологій, дію на інноваційні процеси

різних чинників та характеристик самого процесу трансферу технологій, його дію на галузі промисловості, ціни, ринки і т. ін. Є також кілька концептуальних моделей, що претендують на назву єдиної теорії інноватики.

Для вивчення різних аспектів інноваційних процесів використовують різні моделі; для аналізу і прогнозів динаміки розвитку економіки, поведінки різних макропоказників (національного доходу, продуктивності праці та ін.) при впровадженні інновацій застосовують макроекономічні моделі, а дослідження конкретних господарських ситуацій проводять на мікроекономічних моделях. Для дослідження процесів дифузії частіше використовують математичні моделі, а для аналізу простіших процесів, явищ, дослідження дії окремих чинників і т. ін. використовують так звані аналогові моделі (електричні, механічні, гідравлічні: аналог – концепції «довгих хвиль» та «індукованого нововведення» [2]). Для дослідження процесу дифузії нововведень часто використовують і біологічні аналоги цього процесу, наприклад, дифузію популяції яких-небудь біологічних організмів [3] або модель поширення інфекційного захворювання.

Значно поширилися так звані імітаційні моделі, які використовуються для вивчення реальних процесів функціонування економічних систем у тих випадках, коли їх математичний аналіз ускладнений або неможливий (заміна експериментального вивчення економічних систем) і застосовні також для навчання керівників правил найефективнішого господарювання (ділові ігри).

Моделі інноваційних процесів, як і всі економічні моделі загалом, класифікують за такими основними критеріями: цілями і завданнями, об'єктами, апаратом дослідження, характером початкової інформації. Не всі моделі, що є нині в цій галузі наук, можна назвати математичними або логіко-математичними в строгому значенні слова. Частина з них є лише наочною конструкцією, яка більш-менш добре відповідає тим конкретним цілям і завданням, які поставив перед собою її автор. Іноді це – просто представлення певного закону зміни якогось параметра (у вигляді рівняння або кривої), іноді – доволі складна система рівнянь, матриця (морфологічний аналіз) або інша комплексна математична конструкція.

Багато моделей є явно вираженими наочно-графічними, дескриптивними. Часто виявляється, що моделі цього класу достатньо добре були вивчені та є готові методи їх аналізу (наприклад, моделювання процесу дифузії). В іншому випадку модель спрощують введенням різних спрощень та припущень при збереженні в новій моделі специфічних рис об'єкта і в той же час підведенні її під клас, для якого є більш-менш розроблений математичний апарат.

Якісні висновки на базі аналізу економічних моделей дають змогу знайти невідомі раніше характеристики інноваційного процесу: його структуру, динаміку розвитку, стійкість, вплив на макроекономічні параметри і т. ін.

Кількісні висновки, отримані на основі аналізу ряду простих моделей інноваційних процесів, сприяють виявленню цікавих закономірностей, характеру впливу тих або інших чинників і т. ін. Після цього проводять економічну інтерпретацію отриманих результатів: математичні поняття перекладають мовою об'єкта, що вивчають.

Потрібно відзначити, що серед численних досліджень, присвячених моделюванню інноваційних процесів, є не так уже багато праць, що містили б опис такого «канонічного процесу» розроблення моделей інноваційних процесів.

Протягом останніх років зроблено немало спроб створення єдиної (загальної) теорії інновацій. На це дослідників штовхає відсутність чіткої теоретичної перспективи у вивченні інноваційного процесу. Причинами цього є: відсутність достатньо гомогенного матеріалу, отриманого на основі вивчення конкретних випадків і використання інших методів дослідження інноваційних процесів; неадекватний стиль аналізу, коли є намагання звести складний багатофакторний аналіз до множини двовимірних випадків.

Сама теорія часто служить логічною моделлю дійсності, але при цьому часто виникає зворотний процес: він починається не зі створення теорії, яка потім може бути використана як модель, а з розроблення деякої абстрактно-математичної або логічної моделі, котра потім шляхом відповідної інтерпретації набуває наочного змісту і стає теорією. Такий спосіб використовують автори ряду праць, в яких пробується розробити єдину теорію інноватики, зокрема такий спосіб використовував М. Кондратьєв.

Проте, з іншого боку, математичні моделі в інноватиці виникають не самі по собі, а в ході виконання завдань управління реальними системами, об'єктами і процесами та їх дослідження. Тому досвід моделювання, орієнтованого на завдання управління інноваційними процесами, дає змогу зробити і загальні висновки, що стосуються застосування математичних моделей як методу розв'язання практичних задач.

Говорячи про математичне моделювання, не можна не звернути уваги на еволюційний процес зміни парадигм моделювання, характерний для багатьох дисциплінарних сфер. Загалом у науковій практиці домінують два основних підходи до моделювання – мікро- і макropідхід. У центрі уваги останнього – вплив інновацій на технологічній основі на галузі промисловості, регіони та економіки країн, зв'язок характеристик науково-технічної сфери з економічними показниками [4, 5]. На нашу думку, з практичної точки зору ці моделі багато в чому малозастосовні, адже широке використання у них моделювання на базі виробничої функції призвело до статистичних труднощів. Зокрема, виявлені закономірності лише вказують на наявність певних причинних зв'язків між змінними, але нічого не говорять про напрями та механізми дії, і тим паче про передумови виникнення такої взаємодії.

Математичні макромоделі широко представлені в зарубіжній економічній науці й репрезентують багато наукових шкіл, представники яких дотримуються різних поглядів і концепцій. Ці роботи здебільшого торкаються питань, пов'язаних із: розробленням і впровадженням інновацій; оцінкою впливу на економіки країн і світу їх дифузії та трансферу як окремих складових інноваційного процесу; оцінкою впливу державної політики на інноваційні процеси в промисловості.

Однією з перших спроб макромоделювання було створення дескриптивної моделі науково-технічного прогресу (*technological change*), що дала змогу розкрити сутність впливу інноваційного процесу на підвищення продуктивності праці в межах організації [6]. Спроба вирішити це завдання на основі простої лінійної моделі інноваційного процесу

не була успішною. Якщо ряд інновацій (персональні комп'ютери, телебачення) добре описували за допомогою такої моделі, то її обмежені можливості не давали змоги розкрити і передбачити все різноманіття явищ, що виникають під впливом радикальних інновацій. Не дослідженим залишався і зв'язок між витратами на НДДКР та підвищенням продуктивності праці. Все це ускладнювало використання моделей у практиці прийняття рішень і розроблення стратегій інноваційного розвитку.

Запропонована в [6] модель на основі аналізу життєвого циклу успішних технологій дає змогу враховувати чинники успішного використання науково-технічних знань для підвищення продуктивності праці й ефективності створюваних товарів і послуг. В основу цього підходу покладені два положення, відмінні від попередніх моделей:

- фактори, що впливають на інновацію, швидше виражають умови середовища, а не характеристики інноваційного процесу;
- успіх нововведення більшою мірою визначається успіхами в галузі його використання, а не створення.

Суттєвим у цій моделі є припущення про те, що бар'єри навколишнього середовища, управління інноваційним процесом і його складовими певною мірою визначені для кожного моменту – стадії життєвого циклу інновації.

Важливим висновком з емпіричної перевірки цієї моделі став той, що найсильнішим стимулом появи інновацій є ринок. Він слугує джерелом виникнення 42% радикальних інновацій, а 51% належить до категорії продуктів, а не процесів.

Заслугує на увагу матрична модель для оцінки впливу державної політики на інноваційні процеси в промисловості, що розробили науковці Техаського університету [7]. Підсумкова матриця взаємодії, в якій по вертикалі розміщені заходи урядового впливу на приватний виробничий сектор на основі стимулювання діяльності в чотирьох галузях – ресурси, капітал, ринки, інформація, а по горизонталі – рівень, на який насамперед спрямовані заходи, дає змогу при розробленні національної науково-технічної політики провести імітаційне моделювання характеру і масштабу впливу певної законодавчої пропозиції на інноваційний процес на всіх рівнях.

Інший метод побудови макромоделей, з одного боку, для оцінки впливу інновацій на розвиток економіки окремих країн і регіонів, а з іншого – для непрямого прогнозу моменту появи наступного базового кластеру інновацій, базований на використанні концепції К-хвиль, що ми дослідили попередньо у першому розділі роботи.

Макропідхід у моделюванні використовують також для соціальної оцінки ефектів інноваційного процесу, безпосередніх та перспективних результатів. Протягом останніх років ці концепції дедалі більше поширюються.

Модель, призначену для систематичного моніторингу за своєрідними вісниками виникнення інновацій, що можуть задовго до цього вказувати на їх зародження в технічній, екологічній, соціальній, політичній і економічній сферах, розробив професор Дж. Брайт. Якщо розглядати модель на рівні галузей, регіонів та економік загалом, то її цілком можна зарахувати і до класу макромоделей.

Центр політичних альтернатив у США розробив модель інноваційного процесу, яка дає змогу визначити обсяги державного фінансування для забезпечення заданих темпів розвитку досліджень і розробок [8]. Результати практичного застосування цієї моделі у США дали змогу ввести систему державних субсидій для покриття витрат промислових корпорацій на початкові етапи розроблення інновацій і освоєння ринку. З моделі випливає дуже значущий для нас висновок про недоцільність великих державних витрат на НДДКР, а необхідність саме оптимальних, що не завжди передбачає їх великий розмір.

У праці [9] запропоновано модель виявлення залежності обсягу наукових досліджень і розробок від виробничої специфіки галузі та структури ринку. Ця модель дає змогу враховувати вплив рівня концентрації виробництва в галузі, обсягу виробництва і збуту фірм, їх технічного рівня та розмірів, а також частки державного фінансування на НДДКР на рівні фірм.

У галузі моделювання виявлення основних факторів зовнішнього і внутрішнього середовищ, що впливають як на різні етапи інноваційного процесу, так і на весь інноваційний процес, визначальною є концептуальна дескриптивна модель інноваційного процесу, розроблена в Університеті Мак-Гілла [17]. На базі аналізу чинників, що визначають успіх чи невдачу нового промислового продукту, розробник моделі проаналізував результати всіх попередніх досліджень у цій галузі, зокрема підсумки використання методики SAPHO, що дало йому змогу створити цю модель.

Аналіз наукових праць свідчить [1], що дослідження в цій галузі спрямовані на: створення емпіричної прогностичної моделі для вдосконалення процесу відбору ідей та з'ясування умов інваріантності дії тих або інших чинників незалежно від розмірів фірм, ступеня наукомісткості їх продукції і т. ін.; на розроблення комплексних моделей, в яких ці чинники були б доповнені методами і концепціями інших дисциплін.

Ці моделі є першим кроком на шляху створення нового класу універсальних моделей для відбору найкращих видів новацій.

Дослідження проведено з використанням методів математичного моделювання таких проблем, як вплив соціально-психологічних чинників на впровадження інновацій, зокрема вплив статусу й характеру ставлення до ризику керівника на впровадження організаційних інновацій у галузі вищої освіти [10]. Для цього на базі так званих семантичних диференціалів розроблено дві матричні моделі, а моделювання дало змогу сформулювати суттєвий висновок про те, що вплив зазначених чинників на процес упровадження інновацій набагато сильніший, ніж інших.

Особливо широко використовують метод моделювання для дослідження процесів поширення (дифузії) інновацій. Здається, не залишилося жодного аспекту процесу дифузії, не дослідженого детально. Це пояснюється великою схожістю процесу поширення інновацій з аналогічними процесами дифузії в газах, рідинах і твердих тілах, а також розробленим математичним апаратом для вивчення цих процесів.

На процес дифузії інновацій впливають різні фактори, з яких звичайно виділяють основні характеристики самих інновацій, реципієнтів, каналів поширення, часу і простору, агентів дифузії та соціальної системи. Різні аспекти цього процесу є предметом вивчення

майже двох десятків наукових дисциплін. Головні у них – часові характеристики поширення інновацій. Для цього було розроблено багато моделей, що охоплюють широкий спектр проблем дифузії та сприйняття інноваційних процесів і продуктів, методів дослідження й підходів, ціннісних орієнтацій.

Дві найвідоміші моделі дифузії нині – це моделі К. Роджерса і Е. Хевлока. Модель Роджерса містить п'ять етапів: пізнання, інтерес, оцінка, апробація і сприйняття. До цих етапів він додає часовий компонент та виявляє континуум категорій реципієнтів: ранні, подальша більшість і ті, які запізнюються. Хевлок, використовуючи таку саму модель, диференціював три широкі напрями аналізу: 1) НДР, ДКР і дифузія; 2) особа, яка займається вирішенням проблеми; 3) соціальні взаємодії. Парадигма зв'язку Хевлока дає змогу пов'язувати два основних блоки його системи: систему ресурсів, у якій генерують знання і систему споживачів, де отримані знання використовують, за допомогою двох каналів зв'язку: прямого – трансфер знань і зворотного – передача повідомлень про потреби.

Методи й масштаби цих та інших досліджень процесу дифузії варіюють від простих дескриптивних і експериментальних моделей до статистичних багатофакторних на базі методів входу-виходу й складних моделей, в яких основну увагу приділено впливу організаційних та соціально-психологічних чинників і навіть складних динамічних моделей, в яких зроблена спроба пов'язати всі характеристики процесу виробництва інновацій. В останніх особливо наголошено на впливі характеристик промисловості та інновацій на процес їх дифузії і сприйняття. Порівнюючи з ними формальні моделі Блекмана [11, 12] й інших авторів, бачимо, що останні ігнорують багато істотних аспектів інноваційних процесів, процесів дифузії і сприйняття інновацій.

Якщо розглянути процес розроблення моделей дифузії в історичному і глобальному планах, то можемо побачити, що перші спроби їх формування були стихійними та емпіричними, а моделі мали ілюстративне оціночне застосування. Потім розробили моделі, засновані на соліднішій теоретичній основі, що зводилася переважно до однієї фундаментальної моделі дифузії:

$$dN(t)/dt = g(t) (N^* - N(t)), N(t = t_0) = N_0,$$

де $N(t)$ – сукупне число реципієнтів інновацій у момент t ,

$g(t)$ – коефіцієнт дифузії, що визначається сукупною дією чинників;

N^* – популяція потенційних реципієнтів або їх максимальне число (межа) в цій соціально-економічній системі (групі).

Нині відомо два підходи до аналізу часових характеристик дифузії, що відрізняються один від одного способом визначення коефіцієнта дифузії. В першому випадку він поданий тільки як функція часу, в другому (і цей підхід поширеніший) – цей коефіцієнт, крім того, є функцією числа реципієнтів, котрі сприйняли до цього моменту таке нововведення, тобто $g(t) = a + bN(t)$. Протягом останнього часу цей підхід став дуже популярним.

Розробляють нові моделі, в яких коефіцієнт $g(t)$ є комплекснішим: у фундаментальній моделі дифузії почали враховувати одночасно часові і просторові компоненти, рівень цін на нововведення, поширення кількох інновацій одночасно, а також їх інші характеристики.

Незважаючи на це, в усіх таких моделях існує одне принципове обмеження, пов'язане з припущенням, що максимальне число реципієнтів інновацій у будь-який момент часу t залишається постійним (тобто $N^* = const$). Для подолання цього обмеження була розроблена так звана динамічна модель дифузії [13, 14], головним елементом якої є динамічна границя числа потенційних реципієнтів інновацій.

Емпірична перевірка моделі для оцінки динаміки поширення двох інновацій (зростання числа пральних машин, проданих у США в період 1950–1974 рр., і числа країн-членів ООН у період 1945–1974 рр.) показала, що отримані з її допомогою результати за точністю значно перевершують дані, отримані за допомогою стандартної моделі. Врахування в новій моделі ряду інших чинників (зростання чисельності населення та інших характеристик соціальної популяції) у багатьох випадках дає змогу також визначити причини, через які одна новація поширюється швидше за іншу.

Отже, якщо за допомогою фундаментальної моделі дифузії можна було просто прогнозувати тенденції дифузії, то динамічна модель дифузії дала змогу не тільки точніше визначити темпи дифузії, а й пояснювати ці тенденції, що деякою мірою сприяє управлінню процесом дифузії ряду інновацій. Проте й нова модель має недоліки: вона, як і фундаментальна модель дифузії, є детермінованою. Розроблення стохастичних моделей дифузії стало подальшим кроком до вдосконалення існуючих моделей дифузії. Вже розроблено сімейство стохастичних моделей дифузії інновацій на основі аналогії з поширенням епідемічних процесів. У них показано, як отримані з їх допомогою результати можуть бути використані в дослідженні процесів дифузії науково-технічних інновацій. У ролі інфекційного агента в даному випадку використано показник рівня латентної продуктивності праці (LPRO), що поширюється в межах певної галузі. В простих моделях поширення він із часом підвищувався в певній точці, й окрема фірма, використовуючи результати своїх НДДКР або імітуючи успішні інновації іншої фірми, могла добитися високої граничної продуктивності капіталу.

Слід відзначити і розробки російських учених у цій сфері наукового пошуку. Зокрема, у праці [17] автори запропонували замінити модель дифузії системою з двох диференціальних рівнянь. Перше з них характеризує зміну поширення інновацій у часі з урахуванням зміни ціни нововведення, друге – зміну ціни залежно від рівня поширеності. Як перше рівняння вони розглянули базові рівняння відомих моделей дифузії із введенням у них ціни, зокрема для експериментів автори обрали моделі Фішера–Прая, Робінсона–Лакхані [17–18] і NUI так звану модель неоднорідного впливу. Друге рівняння відображає зміну залежності ціни інновацій від ступеня їх поширеності.

Отримані таким чином дані про залежність поширення нововведень від їх вартості пропонується пов'язувати з коефіцієнтами технологічних матриць, а висновки, зроблені

у результаті досліджень цієї моделі, – вважають обґрунтуванням доцільності введення моделей дифузії в систему нелінійних динамічних балансових моделей.

Модель процесу дифузії інновацій у міжнародному масштабі використовувалася для перевірки гіпотези Е. Менсфілда [14–16] про те, що темпи поширення інновації пов'язані позитивно з прибутковістю її використання і негативно – з величиною капіталу, необхідною для її впровадження, та наростають у міру збільшення темпів розвитку цієї галузі і часу, що минув з початку впровадження інновації. Дослідження на прикладі нафтової промисловості США показали, що такі гіпотези в цій галузі не знаходять підтвердження і що одним із головних чинників, які визначають темпи освоєння інновацій, є технічний рівень галузі (а не її швидке зростання) – чим він вищий, тим швидше впроваджують інновації, а ті підприємства, що почали впровадження цих самих інновацій пізніше, як правило, виграють і освоюють їх швидше, оскільки мають у розпорядженні більший обсяг інформації до початку впровадження (у т. ч. про вигоди і труднощі впровадження), ніж ті підприємства, що були першими.

Як показало використання моделі на прикладі поширення інновацій у сталеливарній промисловості Європи, темпи їх освоєння можуть мати як позитивний, так і негативний зв'язок із темпами зростання галузі: крупні фірми, що вклали у своє становлення і розвиток значні кошти, не можуть швидко відмовитися від уже придбаної техніки заради заміни її на нову й досконалішу (крупні капіталовкладення у ході модернізації сталеливарної промисловості в Європі відразу ж після війни вповільнили темпи освоєння нею такого великого нововведення, як кисневе дуття; при цьому Італія і ФРН почали освоєння цієї технології пізніше від Австрії і Швеції, але випередили їх за темпами її освоєння).

На шляху конкретизації моделей можуть виникати принципові труднощі, пов'язані з обмеженістю засобів моделювання. У таких випадках іноді використовують моделі, що унеможливають одна одну і, разом з тим, доповнюють одна одну. Аналогічні ситуації трапляються і при вивченні інноваційних процесів. Якщо більша частина праці із дослідження процесів дифузії інновацій була базована на моделі дифузії як комунікаційного процесу, то у праці [18] прийнято протилежний підхід. Базуючись на концепціях теорії комунікації та аналізуючи праці своїх попередників, автори відзначили, що вони сконцентровані на аналізі передачі вже готової новації, інновації, тоді як у реальних ситуаціях прикладні розробники стурбовані тим, як розробити або адаптувати їх до потреб замовника.

Ця невідповідність, на думку авторів, і є причиною дуже малої результативності та ефективності таких процесів. Для виправлення подібної ситуації природу процесу передачі науково-технічних досягнень слід розглядати як елемент єдиного процесу створення і впровадження інновацій. На підкріплення цієї тези автори описали модель потоків науково-технічних знань, у якій критичним елементом є постійна оцінка нетехнологічних чинників протягом усього циклу створення і впровадження інновацій (результати аналізу ринку, наявність урядових обмежень, фінансових та інших ресурсів).

Іноді моделювання орієнтується на певний вузький клас інновацій, наприклад, свого часу було розроблено спеціальні моделі для оцінки дифузії нових технологічних процесів.

Так, у праці [18] розглянута модель дифузії нових процесів у хімічній промисловості США. За допомогою цієї моделі вдалося визначити, що прибутковіші процеси та пізніші інновації (новіші процеси), як правило, поширюються швидше; процеси, які фірми-імітатори запозичили у фірми-новатора, звичайно також поширюються швидше, ніж у тих випадках, коли вони намагалися розробити власний варіант процесу.

Ряд моделей є до певної міри універсальними, тобто вони однаково можуть бути застосовані для опису процесу дифузії як нових процесів, так і нових продуктів.

Методи моделювання використовують і для вивчення ще одного аспекту процесу поширення інновацій, а саме: темпів заміщення старої продукції новими виробами, товарами, продуктами. Успішність використання методів моделювання у цій сфері пояснюється достатньою структурованістю цього процесу та порівняно добре розробленим математичним апаратом. Аналіз специфіки процесу заміщення технологій, його механізмів, рушійних і визначальних чинників давно цікавив дослідників, що й привело до створення більш формалізованих моделей – моделей заміщення (substitution models). Із їх допомогою досліджують не тільки процес заміни одного процесу, виробу, продукту тощо іншими, а й процес дифузії нового продукту. Цей напрям досліджень за останніх 30 років став важливим сегментом економічної теорії і науково-технічного прогнозування.

Найпродуктивнішими для розробки моделей процесу заміщення, як і моделей процесу дифузії, були ранні праці Е. Менсфілда [16], який ще в 1961 р. першим розробив модель опису процесу заміщення в чотирьох галузях. Він спробував емпірично перевірити свої моделі, порівнюючи прогнози з фактичними даними для чотирьох різних галузей: залізничний транспорт, вуглевидобування, сталеливарна і харчова. Використовуючи регресійний аналіз, учений отримав емпіричний вираз показника темпів заміщення.

Його послідовник А. Блекман виражав ступінь заміщення часток ринку, захопленого новим виробом, і запропонував свою модель для опису динаміки інноваційних процесів у галузі реактивних авіаційних двигунів, в електротехнічній і автомобільній промисловості [12].

Ці моделі розвинув Ф. Басс, який використовував дещо інший підхід, враховуючи момент початку появи «нового класу» виробів на ринку. На відміну від попередників, які будували моделі на концепції експоненціального зростання з подальшим насиченням, він створив модель за аналогією з епідеміологічним процесом: зростання до певного піку, а потім стабілізація на рівні, дещо нижчому за пік, тобто початок домінування процесу заміщення. Перевірка цієї моделі для чотирьох різних галузей (торгове, промислове, сільськогосподарське і побутове устаткування тривалого використання) показала її високу точність та корисність для практики.

Дж. Фішер і Р. Прай [19] розробили модель оцінки темпів заміщення технологій на основі таких припущень: 1) цей процес є конкуренцією; 2) якщо на частку інновацій припадає не менше двох відсотків ринку, то процес їх поширення триватиме до захоплення ринку; 3) темпи часткового заміщення пропорційні до можливостей додаткових заміщень. Вони використовували цю модель для оцінки процесу заміни природних волокон синтетичними.

Ряд дослідників розробляли теоретичні моделі для оцінки соціальної бажаності заміщення техніки новою, щоби стимулювати процес дифузії пристроїв для забезпечення охорони довкілля. Вони робили спроби математичного опису процесу появи винаходів та інновацій на основі використання нормального розподілу і випадкового розподілу Пуассона. Для аналізу дослідники формували декілька гіпотез ймовірності щодо розподілу випадкових величин, а потім за допомогою звичайних статистичних критеріїв перевіряли їх відповідність фактичним даним. Перевірка цих моделей для ряду галузей (залізничний транспорт, сільське господарство, нафтова і паперова промисловість на часовому проміжку 150 років) показала, що виникнення нових технологій добре описано узагальненим пуассонівським процесом, залежним від часу.

Перші два види моделей можуть бути визначені як суто імітаційні, тоді як модель Басса може описувати одночасно дію інноваційних та імітаційних сил на ринках збуту. Відзначимо, що використання цих двох класів моделей приводить до конкретних результатів, які визначають домінування на ринках інноваційних сил, хоча при однаковій дії цих сил на ринках збуту практично завжди домінує вплив імітації.

Разом з тим, у всіх цих класах моделей наголошено на описі часових характеристик процесу заміщення. Модифікуючи модель Менсфілда–Блекмана з урахуванням як просторових, так і часових параметрів процесу заміщення, авторам праці [20] вдалося подолати цей недолік. Точніше, метою цієї роботи було створення математичної моделі появи (заміни) інновацій в r -секторах ринку одночасно з урахуванням параметру часу і просторової координати. Були зроблені припущення: 1) просторове поширення інновацій у r -секторах походить із певної галузі так званого інноваційного сектору; 2) темпи поширення інновацій на інші $(r-1)$ сектори зменшуються залежно від відстані від інноваційного сектору. Іншими словами, чим далі знаходиться цей сектор від інноваційного, тим пізніше відбудеться в ньому процес заміни. Це припущення, назване в літературі з питань дифузії ефектом сусідства, було детально розглянуто й експериментально підтверджено в багатьох працях.

Отже, необхідності розробляти одну агреговану модель для опису часових характеристик процесу поширення інновацій по всьому простору нема. При цьому процес заміщення в кожному секторі ринку може одночасно бути зіставлений з аналогічним процесом в інших. Зрозуміло, при сучасних засобах транспорту і зв'язку фізична відстань як така вже не відіграє істотної ролі, але в цій моделі вона є своєрідним вираженням вигідності технологій для деяких секторів ринку порівняно з іншими технологіями або може бути критерієм надання особою, яка приймає рішення про трансфер технологій переваги певній технології з множини однакових. Відповідно, ця модель також має кілька недоліків. Як і часові моделі заміщення, вона детермінована, та її використання базується на припущенні, що процес заміщення йде з одного центру на інші сектори. Використовуючи ефект сусідства, розробники моделі ігнорували ієрархічний ефект дифузії новітніх (від великого до малого), який дуже важливий для деяких типів технологій.

Отже, велика кількість моделей дифузії інновацій на базі використання математичних методів добре описує часовий аспект поширення інновацій, проте не всі вони викорис-

товуються на практиці, оскільки їх не можна застосувати для управління дифузиею інновацій у часі або в просторі, і небагато моделей можна використовувати для управління процесом дифузії інновацій. Оцінюючи корисність методу моделювання для дослідження дифузії, відзначимо, що більшість моделей поширення технічних інновацій була заснована на дуже спрощеному уявленні про сам інноваційний процес як про щось незмінне, тоді як це зовсім не так. Інший недолік багатьох моделей поширення інновацій – ігнорування відмінностей в економічних умовах у різні моменти часу. З процесу моделювання випадають такі чинники, як рівень інфляції, проблеми трудових і енергетичних ресурсів, вплив державного регулювання, а також ряд внутрішніх чинників, що характеризують умови існування конкретних агентів інноваційного процесу.

Література

1. Bessant J. *Innovation research: to what extent can it provide answers?* / J. Bessant // *Plan. Innov.* – 1999. – Vol. 2, No. 2. – P. 52–65.
2. Moulin H. *On strategy-proofness and single-peakedness* / H. Moulin // *Public Choice.* – 1980. – Vol. 35. – P. 437–455.
3. Nordhaus W. *Invention, Growth and Welfare: A Theoretical Treatments of Technological Change* / William D. Nordhaus, The MIT Press. – Cambridge, Massachussets, 1969. – 489 p.
4. Pavitt D. *Government policies towards industrial innovation: a review* / D. Pavitt, W. Walker // *Res. Policy.* – 1976. – Vol. 5, No. 1. – P. 11–97.
5. Peterson R. *Impacts technology* / R. E. Peterson // *Sci. American.* – 1979. – Vol. 67, No. 1. – P. 28–31.
6. Abernathy W. J. *Technology, productivity and process change* / W. J. Abernathy, P. L. Townsend // *TFSC.* – 1975. – Vol. 7, No. 4. – P. 379–396.
7. Knight D. E. *Role government in industrial innovation* / D. E. Knight, H. R. Baca // *Long Range Planning.* – 1978. – Vol. 11, No. 6. – P. 79–88.
8. Witcher B J. *Planning for serendipity? – an international seminar on current innovation research* / B. J. Witcher // *R/D Manag.* – 1980. – Vol. 10, No. 2. – P. 91–94.
9. Shrieves R. *Market structure and innovation: a new perspective* / R. Shrieves // *J. Ind. Econ.* – 1978. – Vol. 26, No. 4. – P. 329–347.
10. Fehr E. *Social norms and human cooperation* / E. Fehr, U. Fischbacher // *Trends in cognitive sciences.* – 2004. – Vol. 8, No 4. – P. 185–190.
11. Blackman A. W. *An innovation index based on factor analysis* / A. W. Blackman // *TFSC.* – 1973. – Vol. 4, No. 3. – P. 301–316.
12. Blackman A. W. *Market dynamics technological substitutions* / Blackman A. W., Jr. // *TFSC.* – 1974. – Vol. 6, No. 1. – P. 41–63.
13. Mahajan V. *Innovation diffusion in a dynamic potential adopter population* / V. Mahajan, R. A. Peterson // *Manag. Sci.* – 1978. – Vol. 24, No. 15. – P. 1589–1597.
14. Mahajan V. *Integrating time and space in technology substitution models* / V. Mahajan, R. A. Peterson // *TFSC.* – 1979. – Vol. 14, No. 3. – P. 231–241.

15. Mansfield E. *Technical change and rate imitation* / E. Mansfield // *Econometrica*. – 1961. – Vol. 29, No. 10. – P. 741–765.
16. Mansfield E. *Social and Private Rates of Return from Industrial innovations* / E. Mansfield // *The Quaterly Journal of Economics*. – 1977. – Vol. 91, No. 2. – P. 221–240.
17. Руссман И. Б. *Моделирование диффузии нововведений с учетом ценового фактора* / И. Б. Руссман, Р. Л. Болдырев, И. Н. Щепина // *Труды конференции «Математическое моделирование систем. Методы, приложения и средства»*. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1998. – С. 53–58.
18. Simon P. M. *Models process-diffusion and entry in United States chemical industry* / P. M. Simon. – Ph. D. Diss., Univ. Pennsylvania, 1975. – 265 p.
19. Fisher J. C. *Practical Applications of Technological Forecasting in Industries* / J. C. Fisher, H. R. Pry ; [ed. : V. J. Cetron] ; John Wiley & Sons, Inc. – New York, 1971. – 453 p.
20. Mahajan V. *Integrating time and space in technology substitution models* / V. Mahajan, R. A. Peterson // *TFSC*. – 1979. – Vol. 14, No. 3. – P. 231–241.