

УДК 658.589

DOI: 10.32342/2074-5362-2019-2-27-8

**В.Є. МОМОТ,**  
*доктор економічних наук, професор*  
*Університету імені Альфреда Нобеля, м. Дніпро*

**А.І. КОВАЛЬОВ,**  
*доктор економічних наук, професор*  
*Одеського національного економічного університету*

## **МОДЕЛЬ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ ФОРМУВАННЯ НЕФОРМАЛЬНОЇ КРЕАТИВНОЇ СУБСТРУКТУРИ**

У статті описано спробу побудови математичної моделі інноваційного розвитку підприємства на основі формування неформальної креативної субструктури. Математичне моделювання базується на класичній моделі дифузії інновацій під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. Вивчення інноваційної діяльності на мікрорівні, визначення того, як інновації створюються та засвоюються на рівні окремого підприємства є дуже важливим завданням, тому що ці процеси, які впроваджуються на рівні окремого підприємства, також можуть стати причиною гальмування інноваційної діяльності, якщо всередині підприємства існують потужні сили опору інноваціям або відсутні надійні механізми засвоєння інновацій. Ще одним випадком, коли успіх інноваційної діяльності залежить від взаємодії на мікрорівні, є ситуація, коли впровадження інноваційного продукту починається вже на стадії розроблення і потенційний споживач навіть несвідомо може брати активну участь у його створенні.

Динаміка інноваційного процесу на підприємстві залежить від засвоєння інновацій співробітниками із зовнішніх та внутрішніх джерел, яке відбувається з обмеженою швидкістю. Темпи зростання кількості прихильників інновацій в організації прямо пропорційні частці співробітників, які ще не освоїли інновацію. Така модель належить до класу феноменологічних моделей, тобто містить певне вербальне припущення щодо характеру розвитку процесу, що вивчається за допомогою такої моделі, яке дозволяє сформулювати математичний запис. Для визначення коефіцієнтів такої моделі використовуються методи зворотної ідентифікації, що належать до класу так званих некоректних задач, тому що можуть мати безліч рішень.

На основі феноменологічного моделювання встановлено, що зовнішнє середовище схильне чинити більш потужний вплив на розвиток інноваційного процесу, ніж коефіцієнт імітації, який «відповідає» за особливості внутрішніх обмінів під час розповсюдження інновації у середині підприємства. Крім того, встановлено, що при зростанні кількості співробітників організації, що займаються впровадженням інновації, чутливість до зовнішнього впливу збільшується, тобто у міру зростання розмірів підприємства саме зовнішній вплив набуває значення більш впливового фактора, що спричиняє засвоєння інновацій.

Для відображення «непарних» взаємодій усередині підприємства, що впроваджує інновації, та впливу «небінарного» характеру реакції на інновацію було використано елементи комбінаторики, де визначаються кількості сполучень та перестановок у формуванні вибірок з певної генеральної сполученості.

**Ключові слова:** *інфраструктура інноваційної діяльності, дифузія інновацій, коефіцієнт інновацій, коефіцієнт імітації, кількість унікальних сполучень, кількість сполучень з повторенням.*

В статті описана попытка побудови математическої моделі інноваційного розвитку підприємства на основі формування неформальної креативної субструктури. Математическе моделювання базується на класическій моделі дифузії інновацій под впливом внутрішніх і зовнішніх факторів. Динаміка інноваційного процесу на підприємстві заключається в усвоєнні співробітниками інновацій от зовнішніх і внутрішніх джерел, которое происходит с ограниченной скоростью. Темпы роста количества сторонников инноваций в организации прямо пропорциональны доле сотрудников, которые еще не освоили инновацию. Установлено, что внешняя среда оказывает более мощное воздействие на развитие инновационного процесса, чем коэффициент имитации, который «отвечает» за особенности внутренних обменов во время распространения инновации внутри предприятия. Кроме того, выяснено, что при росте количества сотрудников организации, занимающихся внедрением инновации, чувствительность к внешним воздействиям увеличивается, то есть по мере роста размеров предприятия именно внешнее воздействие приобретает смысл более влиятельного фактора, который вызывает усвоения инноваций. Для отображения «непарных» взаимодействий внутри предприятия, внедряющего инновации, и влияния «небинарного» характера реакции на инновацию были использованы элементы комбинаторики, где определяются количества сообщений и перестановок в формировании выборок из определенной генеральной совокупности.

**Ключевые слова:** *инфраструктура инновационной деятельности, диффузия инноваций, коэффициент инновации, коэффициент имитации, количество уникальных сочетаний, количество сочетаний с повторениями.*

**Вступ.** Створення засадничих основ для інноваційного розвитку вітчизняних підприємств є дуже важливим завданням, з виконанням якого пов'язується сама можливість успіху у глобальній конкуренції. Зазвичай виконання цього завдання ведеться на рівні національної економіки, коли формуються пропозиції та заходи щодо створення оптимальних умов для інноваційної діяльності через відповідні кроки у сфері законодавства, вдосконалення інвестиційного клімату, системи національних пріоритетів для державного фінансування інновацій тощо. Зрозуміло, що цей напрям діяльності є надважливим, навіть життєво необхідним для стратегічного розвитку держави. Але не менш важливим є вивчення інноваційної діяльності на мікрорівні – рівні підприємства. Дійсно, наявність коштів, сприятлива законодавча база, забезпечення перспектив просування інноваційної продукції на міжнародному ринку – все це можна віднести до макрорівня забезпечення інноваційної діяльності. Однак не менш важливим є те, як інновації створюються та засвоюються на рівні окремого підприємства, тобто занурення до мікрорівня. Слід зауважити, що ці процеси, які впроваджуються на рівні окремого підприємства, також можуть стати причиною гальмування інноваційної діяльності, якщо всередині підприємства існують потужні сили опору інноваціям або відсутні надійні механізми засвоєння інновацій.

Ще одним випадком, коли успіх інноваційної діяльності залежить від взаємодії на мікрорівні, є ситуація, коли впровадження інноваційного продукту починається вже на стадії розроблення і потенційний споживач навіть несвідомо може брати активну участь у його створенні. Це, у свою чергу, може призвести до того, що проблеми з майбутнім збутом інноваційного креативного продукту виникають ще у процесі задумки та початку створення, але вони зазвичай не потрапляють до центру уваги розробників. Разом із тим очевидним є й те, що у багатьох випадках ці майбутні проблеми можна розв'язати навіть на етапі формулювання бачення нового продукту або розробки технічного завдання на його проектування.

Дійсно, якщо врахувати, що ядро креативних індустрій становлять такі сфери діяльності, як 1) розробка ПЗ, консультування у сфері ІТ, а також суміжні з ними види діяльності; 2) інжинірингова діяльність; технічні випробування і аналіз; 3) наукові дослідження та розробки (R&D) то стає очевидним, що реальний маркетинг інноваційних та креативних проектів у цих сферах має включати безпосередній контакт зі споживачем в ідеальному варіанті ще на етапі ініціативного розроблення ідеї. У такому випадку підвищуватиметься відповідальність стейкхолдерів за результати проекту.

Усе це дозволяє зробити висновок про те, що дослідження інноваційного розвитку підприємства, що забезпечується на основі створення неформальних тимчасових структур та обміну знаннями/інформацією є дуже актуальним та важливим завданням.

**Формулювання завдань дослідження.** Виходячи з вищезазначеного, можна сформулювати такі головні завдання дослідження, вирішення яких об'єктивно забезпечує просування у напрямі розуміння мікроефектів інноваційного розвитку підприємства:

- моделювання інноваційного процесу у динаміці на рівні підприємства як відкритої системи;
- моделювання розподілу ролей в окремій одиниці інноваційної інфраструктури (інноваційної команди);
- моделювання ефекту заміщення в інноваційній команді;
- моделювання стратегії поведінки підприємства (політики) у галузі інноваційної діяльності.

**Методологія дослідження.** Відповідно до визначених завдань для моделювання динаміки опанування інноваціями на рівні підприємства було використано апарат диференційних рівнянь, для вивчення ефекту заміщення в інноваційній команді – методи комбінаторного аналізу, для спостереження за розподілом ролей у інноваційній команді – метод фокус-груп, а також системний аналіз – для моделювання політики (стратегії поведінки) підприємства у галузі інноваційної діяльності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Динаміка інноваційного процесу на підприємстві складається у засвоєнні інновацій співробітниками з зовнішніх та внутрішніх джерел, яке відбувається з обмеженою швидкістю. Тобто можна стверджувати що відбувається дифузія інновації на підприємстві. Якщо до розробки інновації будь-яким чином залучений потенційний споживач, це теж можна розглядати, як особливе зовнішнє джерело інновацій.

Згідно з [1] фундаментальну модель дифузії інновацій, що описує процес їх засвоєння на підприємстві під впливом різноманітних факторів, можна визначити у наступному вигляді:

$$\frac{dF}{dt} = g(t) \cdot [\bar{F} - F(t)], \quad (1)$$

де:  $F$  – кумулятивна доля прихильників інновацій;

$\bar{F}$  – максимальна потенційна кількість послідовників інновації;

$g(t)$  – функція або коефіцієнт дифузії.

Для описання процесу розповсюдження інновацій у окремо взятій організації очевидно, що  $\bar{F}$  відповідає загальній кількості її співробітників. Слід зауважити, що більш зручною форма рівняння (1) буде, якщо перейти до відносних змінних. У такому випадку  $\bar{F} = 1$ , і рішення рівняння (1) стає більш пристосованим для візуального відображення та вивчення головних математичних властивостей.

З точки зору розгортання інноваційного процесу всередині організації, ця модель означає, що темпи зростання прихильників інновацій в організації прямо пропорційні частці співробітників, які ще не освоїли інновацію. Зрозуміло, що кількість цих співробітників прямує до нуля у міру розповсюдження інновації у організації. Функція  $g(t)$  при цьому відіграє роль прискорювача/уповільнювача інноваційного процесу, саме вона й визначає «режим», за яким підприємство освоює певну інновацію. Враховуючи той факт, що для окремого підприємства перехід до інноваційних підходів мають здійснити усі співробітники,  $\bar{F} = 1$ , як вже зазначалося вище.

Варіанти правої частини рівняння (1), що відповідають різним моделям розповсюдження інновацій з урахуванням обезрозмірювання наведено у табл. 1. Саме властивості функції  $F(t)$ , що є рішенням диференційного рівняння (1), дозволили сформулювати відомий та популярний закон Роджерса–Шумейкера [2] щодо дифузії інновації, який виділяє частки новаторів, ранніх послідовників, ранньої більшості, пізньої більшості та тих, що відстають (див. третій стовпчик табл. 1).

Таблиця 1

Математичні моделі дифузії інновацій

Модель (рік)	Формула ( $dF/dt =$ )	Точка перегину ( $F^*$ )	Симетрія
Логістична	$qF(1-F)$	0,5	+
Гомперца (Gompertz) (1980)	$qF \ln(1/F)$	0,37	–
Баса (Bass) (1969)	$(p + qF)(1-F)$	0,0–0,5	+
Флойда (Floyd) (1962)	$qF(1-F)^2$	0,33	–
Шаріфа-Кабіра (Sharif, Kabir) (1976)	$qF(1-F)^2/(1-F(1-e))$	0,33–0,5	+/-
Джейланда (Jeuland) (1980)	$(p + qF)(1-F)^{(1+E)}$	0,0–0,5	+/-
Змішаного неуніфікованого впливу (1983)	$(p + qF^z)(1-F)$	0,0–1,0	+/-
Несиметрична логістична (NSRL) (1981)	$qF^z(1-F)$	0,0–1,0	+/-
Фон Берталанфі (Von Bertalanffy) (1937)	$(q/(1-Q))(1-F^{(1-Q)})$	0,0–1,0	+/-

де:  $p$  – інтенсивність впливу зовнішнього середовища (професійного середовища, ринкового оточення організації), де вже використовується певна інновація, коефіцієнт інновації, відповідно до моделей різних авторів;

$q$  – коефіцієнт передавання інформації про інновацію між учасниками організації, коефіцієнт імітації, відповідно до моделі певного автора;

$Q$  – швидкість зростання ( $Q \geq 0$ );

$e$  – коефіцієнт запізнення ( $0 \leq e \leq 1$ );

$E$  – інтенсивність передавання у будь-якій парі учасників організації ( $E \geq 0$ );

$Z$  – фактор впливу несиметричності (неоднорідності).

Форми правої частини рівняння (1), що наведено у табл. 1 відносять до так званого сімейства S-кривих, їх спочатку було розроблено для моделювання процесів обміну між учасниками замкнених чи відкритих систем або для описання сценарію переходу системи з одного стану до іншого. Наприклад, модель Джейланда було запропоновано для вивчення епідемій [3], модель Шаріфа–Кабіра – для аналізу процесу технологічних змін [4], а модель Фон Берталанфі – для описання росту риб та інших тварин [5, 6]. Логістична та несиметрична логістична моделі широко використовуються у теорії навчання, модель Гомперца [7], яку спочатку було запропоновано для описання процесу змін смертності, – у математичному моделюванні процесу мотивації. Усі ці моделі відповідають різним сценаріям переходу від одного порогового значення функції  $F(t)$  до іншого (рис. 1).

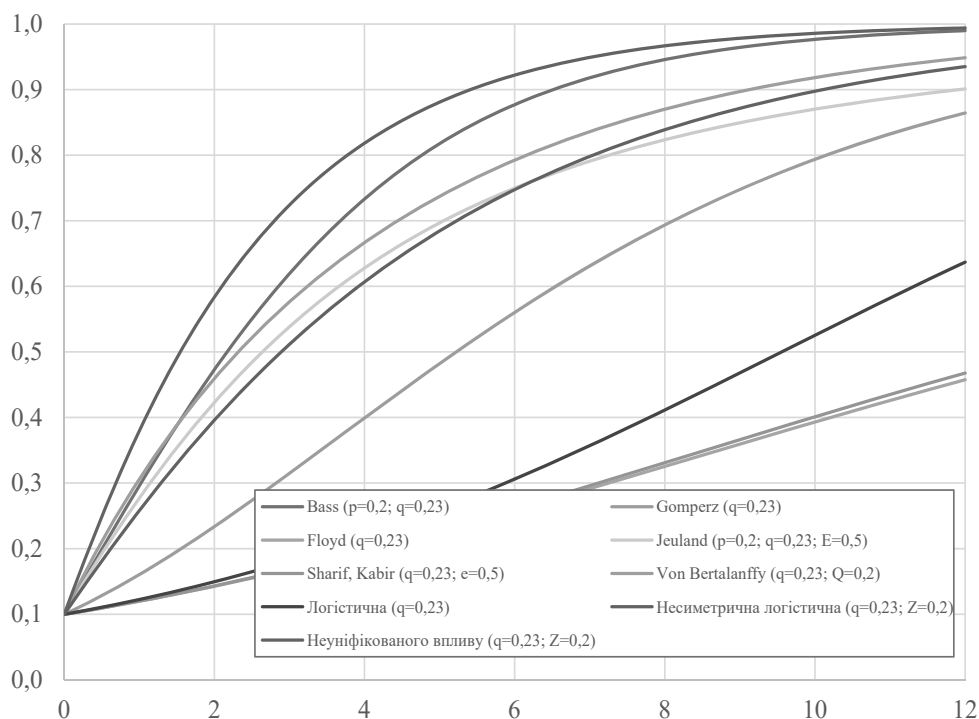


Рис. 1. Рішення рівняння (1) з правою частиною, що відповідає табл. 1

Слід зауважити, що моделі, які наведено у табл. 1 та відображено на рис. 1, відносять до класу феноменологічних моделей, тобто вони містять певне вербальне припущення щодо характеру розвитку процесу, який вивчається за допомогою такої моделі, що дозволяє сформулювати математичний запис у вигляді певного рівняння (1). Разом із тим це математичне формулювання включає ще й набір коефіцієнтів, які визначаються на основі емпіричних даних. Відповідно, точність результуючої моделі повністю залежить як від адекватності даних, що використовувалися для її ідентифікації, так і від методу обчислення цих коефіцієнтів.

Досить примітними також є інші класичні праці в цій сфері, що привели до створення математичних моделей, які не включено до табл. 1, але у певному сенсі буде використано у майбутніх розмірковуваннях у цьому дослідженні. Так, Менсфілд [8] висуває гіпотезу про те, що швидкість дифузії є функцією економічної виправданості інновацій, обсягу інвестицій, необхідних для її реалізації та рівня невизначеності, пов'язаного з її розробленням. Аналогічно, Гріліше [9], Робінсон та Лахані [10] запропонували як пояснення дифузії використовувати міркування, пов'язані з балансом попиту і пропозиції. Навпаки, Касетті і Семпл [11] та Саха [12] використовували категорію навченості при поясненні дифузійних тенденцій; Хагерштранд [13] і Бернхард та МакКензі [14] запропонували пояснення, базоване на ефектах передавання інформації.

Зрозуміло, що у цьому дослідженні нас насамперед буде цікавити процес засвоєння інновацій у окремій команді (командах), що пов'язана з її розробленням та враховує зовнішній вплив споживача навіть на ранніх стадіях роботи над інноваційним проектом. Якщо інноваційний проект має такі масштаби, що до його виконання потрібно залучити всіх співробітників підприємств, то як інноваційна команда буде розглядатися весь наявний персонал, як було зазначено вище при розшифруванні рівняння (1).

У сучасних дослідженнях питань креативної економіки (наприклад, [15]), які, що є дуже показовим, зазвичай існують виключно в електронному форматі, виділяються такі рівні креативної діяльності:

- креативна індустрія в цілому;
- окремі креативні чи культурні сектори;
- культурні чи креативні кластери, які виникають на регіональному або міжрегіональному рівні;
- креативні чи інноваційні хаби або бізнес-інкубатори, тобто координаційні центри, що створюються для розвитку креативного підприємництва, «виращення» ідей і продуктів (найчастіше вони утворюються зусиллями так званих бізнес-ангелів або зорганізуються завдяки реалізації фандрайзингових проектів).

У деяких дослідженнях до структури креативної (інноваційної) діяльності включають також коворкінги, воркшопи та лабораторії, що не завжди є коректним, адже ці елементи може бути впроваджено також із суто комерційними цілями.

Усі ці елементи можна віднести до так званої *hard*-інфраструктури креативної та інноваційної діяльності, які є необхідними, але не достатніми умовами остаточного успіху інноваційного чи креативного проекту. З погляду проблем, що розглядаються у цьому дослідженні, представникам креативних індустрій потрібні унікальні знання та вміння, навіть відчуття ринку



майбутнього продукту, які нададуть змогу мінімізувати ризики на початкових етапах креативного/інноваційного розроблення.

Мова йде про формування певного кола знань та вмінь, що формують soft-інфраструктуру, до яких перш за все належать:

- навички формування візії/бачення та перетворення їх на систему прозорих показників, що є простими у розрахунку;
- навички стартап-менеджменту;
- навички проектного менеджменту;
- навички організації спільної роботи;
- навички крос-комунікації (комунікації з суб'єктами, що забезпечують різні етапи створення креативного продукту та зазвичай відстоюють конфліктні інтереси).

Слід зауважити, що весь цей набір якостей, вмінь та знань має належати одній особі, або обмеженому колу осіб, які щільно взаємодіють одна з одною. Якщо розробка креативного інноваційного продукту впроваджується у венчурному порядку, особливого значення набувають вміння щодо залучення потенційних споживачів (клієнтів) до цього процесу.

Слід зауважити, що експерти, які співпрацюють зі Світовим економічним форумом у Давосі, вже звертають увагу на необхідність інвестицій у цю «м'яку» інфраструктуру креативної діяльності [16], що включає «інституції, ідеї, культурні норми, концепти і рішення».

З погляду завдань цього дослідження найбільш цікавим підходом, на основі якого можна здійснювати аналіз таких неформальних інноваційних субструктур усередині підприємства, є модель Баса (1969) [17], яку було запропоновано для описання процесу розповсюдження інноваційного продукту-замінника. Тому надалі ми будемо використовувати модель дифузії інновацій саме у цій формі, зважаючи на те, що нас цікавить не тільки розповсюдження, але й створення інноваційного продукту інноваційними командами під впливом потенційних споживачів.

Розглянемо кілька граничних випадків.

1. *Відсутність внутрішнього обміну інформацією* (модель зовнішнього впливу),  $q=0$ . У такому випадку модель Баса вироджується до логістичної моделі, що відображена у першому рядку табл. 1. Слід зауважити, що така модель досить часто використовується для моделювання процесу адаптації співробітників, а також у теорії навчання. Не може бути застосована для опису розповсюдження інтерактивних технологій, коли важливі комунікації між членами спільноти. Крива дифузії у цьому випадку нагадує експоненціальне зростання з постійно зменшуваним приростом і може розглядатися як частина логістичної кривої після точки перегину (рис. 1).

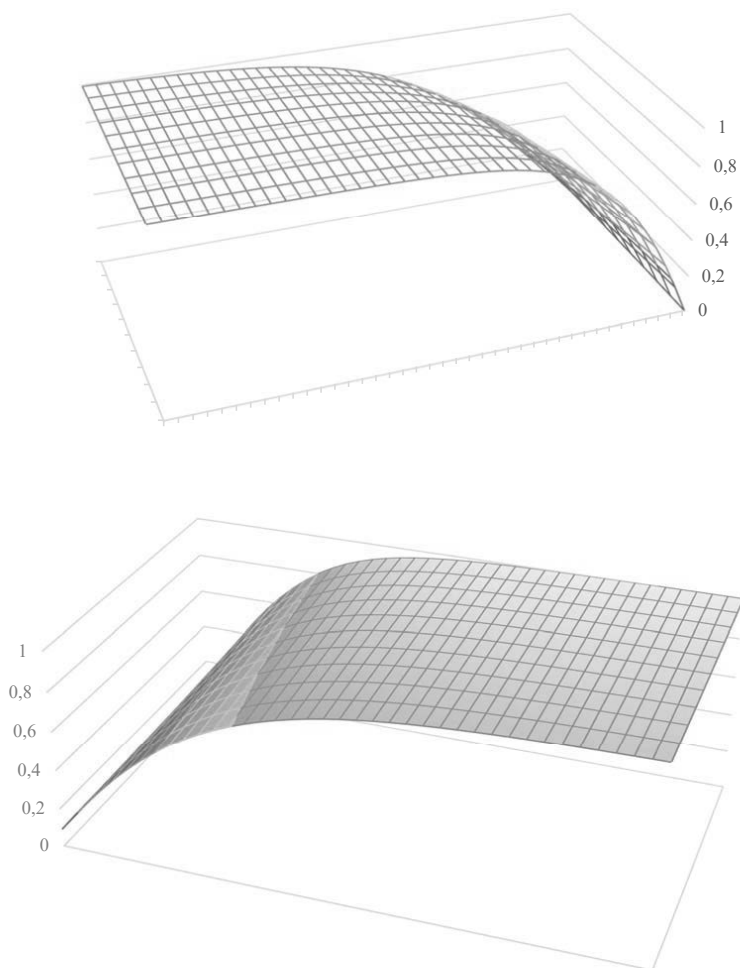
2. *Відсутність зовнішнього впливу*,  $p=0$ . Швидкість засвоєння інновації у такому випадку помітно нижча, ніж за умов зовнішнього впливу, а дифузії залежить виключно від передавання інформації між членами спільноти, тобто всі постійно запозичують (імітують) практики один одного. Такого роду процеси характерні для відносно невеликих, але гомогенних спільнот, коли сама технологія призводить до підвищення їх конкурентоспроможності.

3. *Поєднання внутрішнього та зовнішнього впливу*,  $p, q \neq 0$ . У такому випадку організація активно засвоює інновацію за рахунок внутрішнього обміну, в тому числі під впливом того, що така інновація визначила успіх у конкурентів. Така ситуація є найрозповсюдженішою на практиці.

Розглянемо процеси, що відбуваються на підприємстві під час розроблення та впровадження інновацій під впливом потенційних споживачів та з урахуванням структуризації групи, що розробляє інновацію (розподілу ролей), та можливого заміщення (зміни ролей). Для побудови моделі такого процесу в рівнянні (1) з правою частиною, що задається моделлю Баса (табл. 1) потрібно сформулювати такі гіпотези стосовно змісту параметрів  $p$  та  $q$ :

– інтенсивність впливу зовнішнього середовища на кумулятивний процес розповсюдження інновації всередині підприємства є значно меншою за коефіцієнт імітації (див., наприклад, [18] для підтвердження цієї гіпотези) та не впливає на щільність взаємодії всередині підприємства;

– вплив заміщення, тобто зміна складу/структури команд, що займаються інноваціями всередині підприємства, обмежується відповідною зміною коефіцієнта імітації.



**Рис. 2.** Поверхня, що описує динаміку інноваційного процесу за різних значень інтенсивності впливу зовнішнього середовища та коефіцієнта імітації: а) вплив інтенсивності впливу зовнішнього середовища  $p$ ; б) вплив коефіцієнта імітації  $q$



На основі першої з наведених пропозицій було проведено розрахунки, що дозволяють визначити загальний вигляд поверхні кумулятивної частки прихильників інновації всередині підприємства залежно від параметрів  $p$  та  $q$  (рис. 2). Слід зауважити, що рішення диференційного рівняння проводилося за допомогою чисельного методу у тріальній версії середі для проведення математичних обчислень PTC Mathcad Prime 6.0.0.0.

Вигляд поверхонь  $F(t, p)$  та  $F(t, q)$  свідчить про те, що зовнішнє середовище схильне чинити більш потужний вплив на розвиток інноваційного процесу, ніж коефіцієнт імітації, який «відповідає» за особливості внутрішніх обмінів під час розповсюдження інновації у середині підприємства. Це дуже важливий висновок, тому що зазвичай в існуючих дослідженнях на основі моделі Баса постулюються досить низькі значення  $p$ , що відповідають незначному зовнішньому впливу та потужній внутрішній мотивації на впровадження інновацій.

Цікавим є також порівняння граничних можливостей впливу внутрішніх та зовнішніх факторів, що можна провести на основі аналізу аналітичного рішення рівняння (1). Аналітичне рішення рівняння (1) з урахуванням початкової умови на значення функції  $F(t_0=0)=0$  буде мати такий вигляд:

$$F(t) = \frac{1 - e^{-(p+q\bar{N})t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q\bar{N})t}} \quad (2)$$

Переходячи до прирощень функції  $F(t)$  за  $p$  та  $q$  можна отримати:

$$\frac{\partial F(t)}{\partial p} = \frac{t \cdot e^{-(p+q\bar{N})t} + \frac{p}{q} e^{-(p+q\bar{N})t}}{\left(1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q\bar{N})t}\right)^2} \cdot \partial p \quad (3)$$

$$\frac{\partial F(t)}{\partial q} = \frac{t \cdot e^{-(p+q\bar{N})t} + \bar{N} \frac{p}{q} e^{-(p+q\bar{N})t}}{\left(1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q\bar{N})t}\right)^2} \cdot \partial q \quad (4)$$

де:  $\bar{N}$  – максимальна кількість співробітників підприємства, яке впроваджує інновації.

У кінцевому рахунку щодо співвідношення чутливості інноваційного процесу до зовнішніх та внутрішніх факторів, тобто відношення прирощень (повних диференціалів) функції  $F(t)$  за  $p$  та  $q$  можна записати такий вираз:

$$R = \frac{1 + \frac{q}{p}}{1 + \frac{q}{p} \bar{N}} \quad (5)$$

Тобто чутливість до зовнішнього впливу збільшується при зростанні кількості співробітників організації, що займаються впровадженням інновації. У міру зростання розмірів підприємства саме зовнішній вплив набуває значення більш впливового фактора що спричиняє засвоєння інновацій. Відповідно, шляхом математичного аналізу фундаментальної моделі дифузії інновацій було ідентифіковано той інтуїтивно зрозумілий факт, що підприємства з меншою кількістю співробітників більш чутливі до інновацій та спроможні реалізовувати ці інновації швидше, ніж великі. Це своєрідне математичне обґрунтування важливості гнучкості компанії. Крім того, вираз

(5) дає змогу зробити висновок про те, що вплив гнучкості є тим більшим, чим більше переважання коефіцієнта імітації над інтенсивністю впливу зовнішнього середовища, що у певному сенсі є відображенням ефекту залученості компанії до інновацій.

Зрозуміло, що найрозповсюдженіші моделі дифузії інновацій, які перебувають у постійному розвитку, також викликають певну критику в професійному середовищі. Напрямів такої критики існує досить багато, але можна виділити щонайменше три з них, що наводяться найчастіше:

- замкненість та «статичність» моделей, що виходять з припущення про те, що  $\bar{N} = \text{const}$  та є точно відомою заздалегідь;

- непряме допущення про «бінарний» характер сприйняття інновації, коли є тільки два можливі стани індивідуального члена організації відносно інновації – сприйняття інновації або необізнаність з нею;

- «парний» характер взаємовідносин усередині організації, тобто засвоєння інновації можливе виключно в парах.

Перша з названих проблем не стосується цього дослідження, тому що вивчаються інноваційні процеси всередині замкненої системи – підприємства, де кількість співробітників є постійною та відомою заздалегідь. Але стосовно двох інших зауважень, дійсно, вони є суттєвим спрощенням реального розвитку інноваційного процесу та мають бути враховані для подальшого розвитку підходів до математичного моделювання цих складних явищ.

Але відповідно до другої гіпотези щодо змісту параметрів  $p$  та  $q$  коефіцієнт імітації, що відповідає за внутрішні обміни у командах, є змінним у часі, тобто нам необхідно визначити вигляд функції  $q(t)$ . В ідеальному випадку  $q$  не тільки має змінюватися у часі, але й залежати від структури команд, що працюють над інноваціями, та, відповідно, враховує обміни інформацією всередині численних команд, що займаються розробкою та впровадженням інноваційних проектів та складаються з учасників, що грають різні ролі в окремих проектах.

У більшості випадків при використанні фундаментальної моделі дифузії інновацій для визначення значень  $p$  та  $q$  використовуються методи зворотної ідентифікації, що належать до класу так званих некоректних задач, тому що можуть мати безліч рішень. Для виключення цього небажаного ефекту зазвичай у практичних застосуваннях зворотна ідентифікація йде по трьох відомих точках стосовно розповсюдження інновацій. Для спрощення розрахунків навіть використовуються наближення до формулювання моделі (2) з однаковими  $p$  та  $q$ , але це також є суттєвим спрощенням на додаток до вже розглянутих вище. Слід зауважити, що більшість дослідників в основному пов'язують поліпшення підходів до ідентифікації параметрів фундаментальної моделі дифузії інновації з розширенням емпіричної бази.

Для відображення «непарних» взаємодій усередині підприємства, що впроваджує інновації, та впливу «небінарного» характеру реакції на інновацію, на думку авторів, необхідно скористатися елементами комбінаторики, де визначаються кількості сполучень та перестановок у формуванні вибірок з певної генеральної сполученості. У нашому випадку як генеральну сполученість треба розглядати загальну кількість співробітників організації  $\bar{N}$ , що впроваджує інноваційний проект під впливом зовнішнього середови-

ща, та вводити до аналізу конкретні інноваційні команди з розподілом ролей, які було визначене вище. Відповідно до результатів комбінаторного аналізу кількість унікальних сполучень вибірок з  $k$  елементів визначається за формулою:

$$\binom{\bar{N}}{k} = C_{\bar{N}}^k = \frac{\bar{N}!}{k!(\bar{N}-k)!}. \quad (6)$$

Урахування конкретних розмірів команд, що займаються впровадженням інноваційного проекту, є реакцією на критику щодо неявного припущення про «парний» характер засвоєння інновацій, що закладено у фундаментальну модель дифузії інновацій. Дійсно, введення таких «інноваційних команд», що формуються на підприємстві внаслідок самоорганізації або прямого адміністрування інноваційного процесу, дозволяє при вивченні процесу розповсюдження інновацій перейти від дещо спрощеного сприйняття акту засвоєння інновацій внаслідок безпосереднього обміну інформацією між двома учасниками до вивчення комплексних взаємодій, що відбуваються у певних структурах. У підході, який автори вважають виправданим у цьому контексті, постулюється той факт, що для остаточного успішного засвоєння (створення) інновації потрібна певна команда з досить чітким розподілом ролей, що введено у відповідному розділі цього дослідження. Іншими словами, за умов комбінованого зовнішнього та внутрішнього впливу інновація може бути створена/засвоєна тільки у випадку, коли було побудовано мінімальну групу учасників інноваційного процесу, що у обов'язковому порядку включає всі ролі, необхідні для реалізації інноваційної діяльності. Конкретний розмір «інноваційної команди» може залежати від складності інноваційного проекту, потужності зовнішнього впливу, що спонукає організацію до його впровадження, політики підприємства в галузі інноваційної діяльності та інші індивідуальні та загальні фактори. Крім того, на розмір команди також може впливати поєднання ролей, що грають її учасники. На жаль, вивчення особливостей формування інноваційних команд та ідентифікація факторів, що впливають на їх розвиток, не входять до кола завдань цієї статті, але, безумовно, можуть бути враховані як дуже цікавий напрям подальших досліджень.

Як вже було зазначено, іншим напрямом критики моделей дифузії інновацій є указання на невиправданість припущення про «бінарний» характер сприйняття інновації. Для врахування цієї критики вважаємо за доцільне ввести припущення про можливість «перепідключення», тобто неодноразового залучення того ж самого потенційного реципієнта інновації до різних груп у випадку, якщо з першого разу інновацію не було засвоєно. Теоретично це відбувається доти, поки інновацію не буде повністю засвоєно реципієнтом. Необхідність залучення окремого реципієнта до різних груп може бути зумовлена його особистими якостями, у тому числі – психологічною сумісністю. З точки зору комбінаторного аналізу для врахування цього припущення треба від унікальних сполучень перейти до розгляду сполучень з повтореннями, що допускають неодноразове входження членів генеральної сукупності до різних вибірок. Відповідно до результатів комбінаторного

аналізу кількість сполучень вибірок з  $k$  елементів з необмеженою кількістю повторень визначається за формулою:

$$\left( \binom{\bar{N}}{k} \right) = C_{(\bar{N})}^k = \frac{(\bar{N}+k-1)!}{k!(\bar{N}-1)!}. \quad (7)$$

Зрозуміло, що й таку пропозицію відносно врахування небінарного ходу засвоєння інновацій не можна вважати за вичерпну та вільну від можливої критики. Дійсно, легко помітити, що відповідно до запропонованого механізму поступового залучення «реципієнтів» до інновацій шляхом неодноразового підключення до різних груп, що активно займаються створенням/засвоєнням інновацій, на практиці об'єктивно призводить до збільшення їх розміру. Це, у свою чергу, навряд чи буде схвалено менеджментом підприємства, що прагне до підвищення ефективності будь-якої діяльності, включаючи інноваційну. Тобто сформульоване припущення у певному сенсі перебуває у протиріччі з вимогою досягнення ефективності діяльності. Але слід зважити на те, що, по-перше, якщо інновація є дуже складною, а її важливість для підприємства, що визначається впливом зовнішніх факторів, – дуже високою, то навіть багаторазове дублювання ролей у окремих командах буде виправданим і, по-друге, сформульована пропозиція є першою спробою зняти проблему бінарності у теоретичному аналізі процесу дифузії інновації.

Виходячи з наведених припущень, розглянемо функцію, що задає вірогідність переходу до інновації у замкненій групі під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів. Формально для цієї функції можна записати таке визначення:

$$P(t) = p - \frac{q}{F(t)}. \quad (8)$$

Переходячи до так званих «виробляючих функцій», за допомогою яких у комбінаториці визначається вірогідність потрапляння до певної вибірки (у нашому випадку – команди, що займається розробкою інновації), визначення (8) можна переформулювати у вигляді, зручному для включення до моделі Баса:

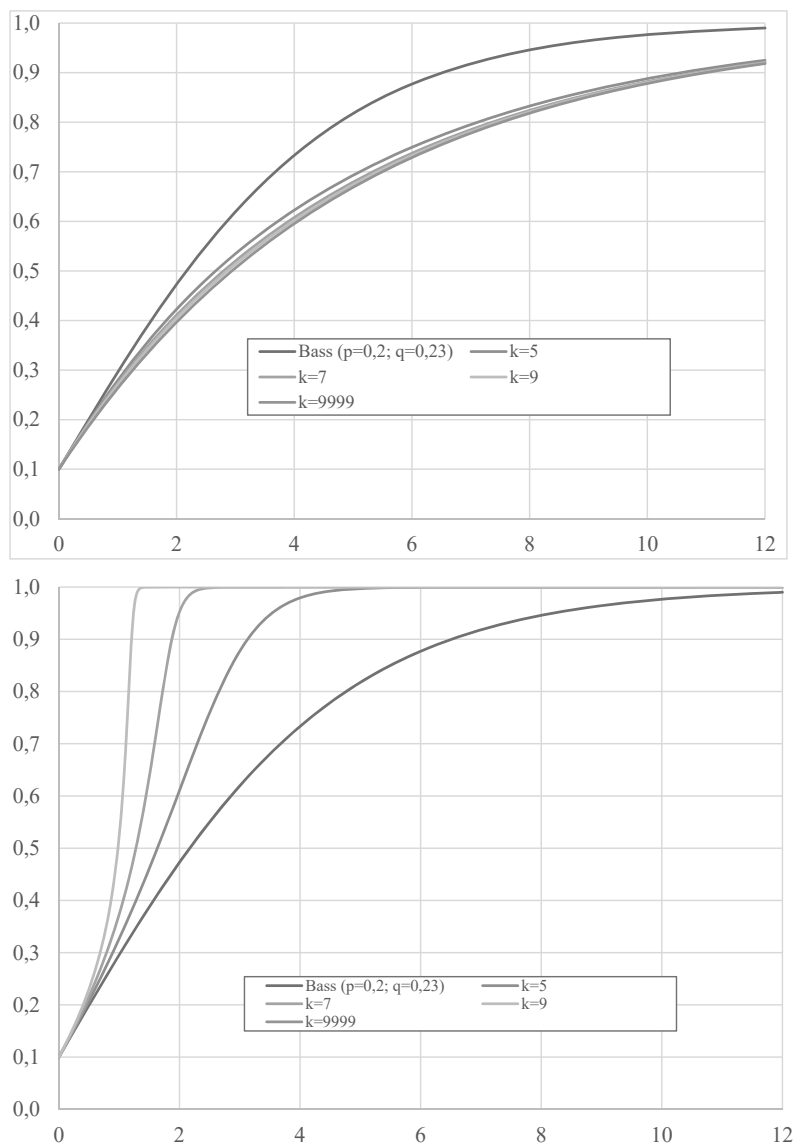
$$P(t) = p - \frac{q}{(1-F(t))^{k-2}} \cdot F(t), \quad (9)$$

$$P(t) = p + q \cdot (1 + F(t))^{k-2} \cdot F(t). \quad (10)$$

Запис у формі (9) відповідає унікальним інноваційним командам, а (10) – командам з повторюванням.

Сімейства кривих для різних режимів зміни  $P(t)$  наведено на рис. 3. Помітно, що режими з унікальними командами є менш ефективними, навіть за парний процес засвоєння інновацій (рис. 3а). Більше того, ефективність інноваційного процесу дещо зменшується у міру зростання розміру команди. І навпаки, ефективність інноваційного процесу у «небінарному» наближенні значно більша за варіант з бінарним засвоєнням інновацій та ще зростає у

міру збільшення інноваційної команди. Зрозуміло, що варіантні розрахунки проводилися з постійним і досить значним коефіцієнтом імітації, значення якого було взято з праці [18]. Тому, напевно, суттєве збільшення інтенсивності інноваційного процесу в «небінарному» наближенні може бути компенсовано відповідною зміною коефіцієнта імітації після ідентифікації параметрів реального процесу. Але, на думку авторів, проведені розрахунки цілком коректно відображають якісні ефекти.



**Рис. 3. Сімейство кривих, що описують динаміку інноваційного процесу зі змінною  $P(t)$ : а) унікальні інноваційні команди, б) інноваційні команди з повтореннями**

**Висновки.** Таким чином, підбиваючи підсумки моделювання інноваційного розвитку підприємства на основі формування неформальної креативної субструктури, можна зробити такі висновки:

1) сімейство моделей дифузії інновацій, що базується на математичному апараті диференціальних рівнянь, є досить хорошим наближенням для аналізу якісних і кількісних особливостей інноваційних процесів на підприємстві;

2) процес інновації, що зумовлений залученням потенційного споживача інноваційної продукції можна моделювати на основі так званої змішаної моделі дифузії інновацій типу моделі Баса, тоді як динаміка інноваційних команд усередині підприємства, яке впроваджує інновацію, відображається на основі часової залежності коефіцієнта імітації  $q(t)$ ;

3) конкретний вигляд функції  $q(t)$  визначається на основі комбінаторних співвідношень, які задають вірогідний склад груп, що займаються інноваціями;

4) незважаючи на важливість внутрішніх «тонких» процесів, що відбуваються всередині підприємства, та навіть у межах мікрогруп, які безпосередньо займаються інноваційною діяльністю, математичний аналіз рішення диференційної моделі дифузії інновацій свідчить про те що зовнішній вплив є більш потужним;

5) зважаючи на попередній висновок, як напрям подальших досліджень слід зазначити вивчення та ідентифікацію реальних параметрів інноваційних процесів на підприємстві, де інновації створюються/засвоюються у командах.

#### *Список використаної літератури*

1. Mahajan V., & Peterson R. (1985) *Models for Innovation Diffusion (Quantitative Applications in the Social Sciences)*. Sage University Paper.
2. Rogers, E., & Shoemaker, F. (1971). *[Diffusion of innovations.] Communication of innovations: a cross-cultural approach. 2nd ed.; [by] Everett M. Rogers with F. Floyd Shoemaker*. New York: Free Press: Collier-Macmillan.
3. Jeuland, A. (1981). Parsimonious Models of Diffusion of Innovation: Part A: Derivations and Comparisons. *SSRN Electronic Journal*. doi: 10.2139/ssrn.2982404
4. Sharif, M. N., & Kabir, C. (1976). A generalized model for forecasting technological substitution. *Technological Forecasting and Social Change*, 8(4), 353–364. doi: 10.1016/0040-1625(76)90027-5.
5. Bertalanffy, L. V. (1972). Zu einer allgemeinen Systemlehre. *Organisation Als System*, 31–45. doi: 10.1007/978-3-322-86022-4\_2
6. von Bertalanffy, L. (1951). Theoretical Models in Biology and Psychology. *Journal Of Personality*, 20(1), 24–38. doi: 10.1111/j.1467-6494.1951.tb01511.x
7. Marshall, A. W., & Olkin, I. (1980). Gompertz and Gompertz-Makeham Distributions. *Springer Series in Statistics Life Distributions*, 363–398. doi: 10.1007/978-0-387-68477-2\_10
8. Mansfield, E. (1961). Technical Change and the Rate of Imitation. *Econometrica*, 29(4), 741. doi: 10.2307/1911817
9. Griliches, Z. (1957). Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica*, 25(4), 501. doi: 10.2307/1905380



10. Robinson, B., & Lakhani, C. (1975). Dynamic Price Models for New-Product Planning. *Management Science*, 21(10), 1113-1122. doi: 10.1287/mnsc.21.10.1113
11. Casetti, E. and Semple, R. (2010). Concerning the Testing of Spatial Diffusion Hypotheses. *Geographical Analysis*, 1(3), pp.254-259.
12. Sahal, D. (1982). *The Transfer and utilization of technical knowledge*. Lexington – Mass. & Toronto: Lexington Books.
13. Evenden, L. (1969). Innovation Diffusion as a Spatial Process. By Torsten Hagerstrand. Chicago: University of Chicago Press, 1967. 334 pp. *Social Forces*, 47(3), 356-357. doi: 10.1093/sf/47.3.356-a
14. Bernhardt, I., & Mackenzie, K. (1972). Some Problems in using Diffusion Models for New Products. *Management Science*, 19(2), 187-200. doi: 10.1287/mnsc.19.2.187
15. 2030 Agenda for Sustainable Development | UNDP. (2019). Retrieved 10 October 2019, from <https://www.undp.org/content/undp/en/home/2030-agenda-for-sustainable-development.html>
16. LORMONT, L. (2019). Rapport sur les Economies Créatives // UNESCO 2013. Retrieved 10 October 2019, from <https://issuu.com/territoiresparalleles/docs/creative-economy-report-2013>
17. Bass, F. (2004). A New Product Growth for Model Consumer Durables. *Management Science*, 50(12\_supplement), 1825-1832. doi: 10.1287/mnsc.1040.0264
18. Norton, J., & Bass, F. (1987). A Diffusion Theory Model of Adoption and Substitution for Successive Generations of High-Technology Products. *Management Science*, 33(9), 1069-1086. doi: 10.1287/mnsc.33.9.1069