

З. О. Попович,  
аспірант

## Моделювання динаміки взаємопов'язаних інноваційних продуктів на ринку Інтернет-доступу за допомогою S-подібних кривих

Ще Й. Шумпетер [1, с. 405—406] вказував, що інновації та розвиток інноваційних процесів мають взаємопов'язаний та лавиноподібний характер. Він зауважував, що одна інновація викликає появу інших, пов'язаних із нею не лише безпосередньо у своїй галузі.

Пізніше у праці, присвяченій діловим циклам, Й. Шумпетер, розвиваючи ці думки, говорив про *кластери інновацій* і розглядав інноваційний процес як *штурм інновацій* в певні періоди [2]. Але взаємодія різних інновацій та її вплив на інноваційний процес тривалий час не викликали великої уваги дослідників. Новий сплеск інтересу до цієї проблематики зумовили спроби застосування синергетичних методів у вивченні вказаних процесів.

Справді, інноваційному процесу, очевидно, притаманна самоорганізація в економічній системі, а явище самоорганізації в складних системах і є предметом синергетики. Механізми економічної динаміки та економічного розвитку по суті мають синергетичний характер, що виявляється, зокрема, і в динаміці економічних хвиль. Як слушно зауважує В. П. Соловійов [3] у монографії, що розвиває саме синергетичний системний підхід до вивчення інноваційних процесів, «Синергетичний принцип економічного розвитку підтверджується наявністю численних циклів спаду та підйому

виробництва як у глобальному, так і у локальному масштабах».

Синергетичні підходи до вивчення інноваційних процесів активно розвивалися в останні півтора десятиріччя й іншими авторами. Розгляд інновацій як взаємопов'язаних сукупностей дав можливість краще пояснити механізми технологічних змін та економічної динаміки на макрорівні, що стало основою для більш глибокого розуміння довгих хвиль Кондратьєва [4, 5] та створення концепції технологічних укладів [6].

Такий розгляд має велике евристичне значення та дає нам інструменти для вивчення взаємопов'язаних інновацій у сфері розвитку нових технологій, зокрема Інтернету.

Особливий інтерес для нашого дослідження становить праця [7], де сформульовано концептуальний підхід до вивчення певної сукупності інновацій як інноваційної капсули та запропоновані синергетичні, в тому числі математичні, методи для розгляду взаємодії інновацій на мікрорівні.

Концепція інноваційної капсули, запропонована у праці [7], передбачає, що в інноваційному середовищі в певний час можна виділити певну *ядерну інновацію*. До неї прямо або опосередковано прилягають сателітні інновації, які взаємодіють з ядром: вони стимулюють його розвиток і в свою чергу можуть сти-

мулюватися ядерною інновацією. Сукупність ядерної (або основної, чи провідної) інновації та сателітних формує інноваційну капсулу. Капсула існує у конкурентному середовищі, її «штурмують» ззовні інші інноваційні капсули, з відповідними ядерними інноваціями, що спрямовані на заміну основної інновації, та окремі інновації, котрі також можуть претендувати на заміну основної інновації в капсулі. Інша капсула може поглинути дану, реструктурувавши співвідношення її складових.

Математична формалізація моделі інноваційної капсули з урахуванням конкуренції всередині капсули та між різними капсулами, запропонована в [7], базується на моделі гіперциклу Ейгена. Такий формальний об'єкт більше властивий біологічним задачам, однак використовувався, зокрема ще раніше, М. В. Кузьміним в економічних моделях [8].

Гіперцикл — система з контуром позитивного зворотного зв'язку, де кожна компонента стимулюється попередньою, а сама виступає каталізатором для наступної. Відзначають три основні властивості гіперциклу — відтворення, кооперацію внутрішніх компонент та жорстку конкуренцію між різними гіперциклами. Всі вони є важливими для опису частин системи, що взаємодіють. У процесі росту гіперциклу як цілого він демонструє морфогенетичний розвиток, включення нових сателітних компонент. Для його стабільного розвитку необхідна висока зв'язність системи: сателітні інновації повинні включатися до нього на основі позитивних зворотних зв'язків, тобто не тільки отримувати щось від ядерної інновації, але й давати їй щось взамін. Тому підстроювані інновації можуть

включитися в капсулу, якщо мають високі коефіцієнти зв'язку з її ядерною та іншими інноваціями (комплементарні). Розвиваючи зв'язки між елементами капсули, ми таким чином підвищуємо її стабільність, конкурентоздатність та можливість відтворення всієї капсули у більш широкому масштабі [7].

Математично модель може бути представлена основним рівнянням дифузії інновації:

$$\frac{dx}{dt} = \Gamma_i(x_1, \dots, x_n) - D_i(x_1, \dots, x_n),$$

де  $x_1$  — ядерна інновація (ступінь впровадження або кількість продаж);  $x_i$  ( $i=2\dots n$ ) — сателітні інновації;  $\Gamma_i(x)$  — темпи впровадження (росту продаж)  $i$ -го продукту;  $D_i(x)$  — темпи втрат за  $i$ -ї інновації через незатребування нового продукту, технології і т. п. ( $\Gamma_i(x)$  — описує пропозицію,  $D_i(x)$  — попит).

Функцію  $\Gamma_i(x)$  можемо обрати у вигляді логістичної функції, що визначає розвиток інновації як дифузійний процес:

$$\Gamma_i(x) = k_i x_i \left( N_i + \sum_{i \neq j} a_{ij} x_j - x_i \right),$$

де  $a_{ij}$  — матриця коефіцієнтів зв'язку між інноваціями у капсулі.

Маємо відзначити, що в рівнянні присутній фактор насичення (член  $-k_i x_i^2$ ), пов'язаний з максимальною ємністю ринку  $N_i$  («маркет-ніша») стосовно даного продукту, технології і т. п. При цьому коефіцієнти  $k_i$  описують швидкість впровадження інновації, що залежить від комплексу факторів інноваційного середовища.

Функція втрат зі споживання може бути прийнята у наступному вигляді:

$$D_i(x) = \frac{x_i}{C} \sum_j \Gamma_j(x) = \frac{x_i}{C} M,$$

де  $C$  — потенціал споживання, який визначається купівельною спроможністю населення;  $M$  — так званий метаболізм системи — темпи впровадження, усереднені за всіма інноваціями капсули ( $M = \sum_j \Gamma_j(x)$ ).

Величина  $C$  є певною інтегративною характеристикою, яка оцінюється в одиницях умовної продукції або у грошовому вимірі. Чим більше  $C$ , тим менші втрати виробника за рахунок відсутності попиту щодо конкретного продукту, та навпаки.

Наведену модель можна використати для опису динаміки впровадження взаємопов'язаних Інтернет-продуктів та прогнозування їх ринкової динаміки.

Для моделювання розвитку інноваційних процесів часто використовується дифузійна модель. В основі таких моделей лежить рівняння, що описує S-подібну криву (так звану логістичну криву Ферхюльста), нахил якої поступово збільшується, як у експоненті, а потім поступово зменшується до нуля.

Відповідне диференціальне рівняння дифузії інновації може бути записане наступним чином:

$$\frac{dX}{dt} = \kappa X(N - X). \quad (1)$$

Для моделювання взаємопов'язаної динаміки інновацій (інноваційної капсули) можна використати систему аналогічних рівнянь із врахуванням взаємного впливу інновацій. Для двох взаємопов'язаних інновацій вона може бути записана у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = \kappa_x X(N_x + a_{xy}Y - X); \\ \frac{dY}{dt} = \kappa_y Y(N_y + a_{yx}X - Y). \end{cases} \quad (2)$$

Концепція інноваційної капсули може бути використана для прогнозування динаміки ринку Інтернет-доступу. Узагальнюючи, можемо вважати, що в даний час на ринку вже впроваджуються дві основні технології Інтернет-доступу: комутований, або Dial-Up (через комутовані з'єднання телефонних мереж загального користування), та широкопосмуговий, або Broadband (за допомогою постійних виділених Інтернет-з'єднань).

Вказані технології доступу можуть розглядатись як взаємопов'язані інноваційні продукти (послуги), що, з одного боку, конкурують між собою на ринку Інтернет-доступу, а з іншого, сприяють розвитку та поширенню один одного. Механізм конкуренції полягає у тому, що обидва продукти задовольняють потребу споживача у доступі до Інтернету і відповідно кожний споживач обирає один з двох продуктів, відмовляючись від іншого. Тобто при первинному підключенні до мережі користувач, як правило, обирає лише один його вид, а при переході на інший вид підключення звичайно відмовляється від попереднього.

Механізм взаємного позитивного впливу продуктів (позитивного зворотного зв'язку) полягає у тому, що зростання кількості користувачів комутованим доступом приводить до зростання кількості тих, хто багато користується Інтернетом, а відповідно зацікавлені у переході на постійний широкопосмуговий доступ. Це відбувається, по-перше, тому, що такі користувачі відчувають

потребу у більшому об'ємі та якості послуги, а по-друге, сплачують за Інтернет суми, котрі дозволяють їм при переході на широкосмугове підключення отримувати за ті ж самі гроші послуги значно ліпшої якості та більшого об'єму.

Позитивний вплив зростання широкосмугового доступу на комутований полягає, зокрема, у тому, що збільшення кількості клієнтів Інтернету, що користуються широкосмуговими підключеннями на робочому місці, сприяє збільшенню кількості домашніх абонентів комутованого доступу за рахунок нових користувачів, що відчули потребу в Інтернеті, експлуатуючі його на роботі.

Таким чином, для побудови моделі нам необхідно кількісно оцінити вказані фактори взаємного впливу та застосувати систему рівнянь (2) для двох інновацій, що може бути записана у дещо спрощеному вигляді наступним чином:

$$\begin{cases} \frac{dD}{dt} = \kappa_d D(N_d + a_{db} B - D); \\ \frac{dB}{dt} = \kappa_b B(N_b + a_{bd} D - B), \end{cases} \quad (3)$$

де  $D$  — дохід від надання послуг комутованого доступу (Dial-Up),  $B$  — дохід від надання послуг широкосмугового доступу (Broadband), що відповідають  $x_i$  в описаній раніше системі;  $\kappa_d$  та  $\kappa_b$  — відповідно коефіцієнти зростання доходу від надання послуг Dial-Up та Broadband без урахування взаємного впливу;  $N_d$  та  $N_b$  — відповідно ємність ринку послуг Dial-Up та Broadband;  $a_{db}$  та  $a_{bd}$  — коефіцієнти взаємного позитивного впливу

відповідно впровадження Broadband на Dial-Up та Dial-Up на Broadband.

Одразу обмежимо наш розгляд сегментом SOHO-користувачів міста Києва, тобто розглядатимемо лише ринок домашніх користувачів та малих офісів. Це пов'язано з тим, що ринок великих корпоративних клієнтів Інтернету менше піддається статистичному аналізу через значно меншу кількість клієнтів. Крім того, практичний інтерес становить саме прогнозування розвитку масових сегментів Інтернет-ринку. Географічне обмеження розгляду територією міста Києва пов'язане з наявністю в автора достатньо точних даних щодо цього регіону, що дозволяє підвищити точність моделювання та прогнозування. Що ж стосується самої моделі, то вона може бути застосована до будь-якого регіонального ринку та навіть до національного ринку в цілому.

Для оцінки впливу зростання Dial-Up на зростання Broadband (коефіцієнт  $a_{bd}$ ) розглянемо механізм перетікання абонентів з комутованого доступу на широкосмуговий.

Проведені автором за власною методикою дослідження ринку комутованого доступу в м. Києві на основі білінгових баз даних дають можливість стверджувати, що розподіл трафіку за середньомісячним часом користування послугою добре апроксимується функцією вигляду:

$$\frac{dD}{dt} = D_0 \frac{t}{T^2} \exp\left(-\frac{t}{T}\right), \quad (4)$$

де  $D_0$  — загальний трафік ринку Dial-Up;  $T$  — емпірична температура розподілу, що характеризує середньомісячний час користування послугою, на який припадає максимум трафіку.

При інтегруванні такий розподіл дає функцію вигляду

$$D = \frac{D_0}{T} (t + T) \exp\left(-\frac{t}{T}\right). \quad (5)$$

Зауважимо, що оскільки комутований доступ надається на основі похвилинної оплати, доходи від комутованого доступу прямо пропорційні часу користування послугою, тобто розподіл середньомісячного доходу від користувачів буде таким самим з точністю до тарифного коефіцієнту. Відповідно для визначення коефіцієнту впливу  $a_{bd}$ , що має зміст швидкості зміни  $B$  зі зміною  $D$ , тобто залежить виключно від швидкості зміни  $D$ , а не його абсолютної величини та одиниці виміру, можна користуватися наведеним розподілом.

Встановлено, що реальний розподіл користувачів може бути з великою точністю апроксимований

сумою двох розподілів описаного вигляду (4) для активних та пасивних користувачів відповідно:

$$\frac{dD}{dt} = k_p D_0 \frac{t}{T_p^2} \exp\left(-\frac{t}{T_p}\right) + \left| + k_a D_0 \frac{t}{T_a^2} \exp\left(-\frac{t}{T_a}\right) \right|. \quad (6)$$

де  $0 < k_p, k_a < 1$ .

Автором експериментально встановлено, що для ринку міста Києва  $T_p = 15$  годин/місяць,  $T_a = 60$  годин/місяць. Відповідна експериментальна крива та її апроксимація кривою типу (6) подані на рис. 1.

Виявлено, що «хвіст» розподілу «зрізаний», на рівні  $t = t_{np}$ , де  $t_{np}$  — граничний прийнятний для користувачів час користування послугою на місяць. Пороговий час  $t_{np}$  може бути визначено, виходячи з умови об'єму трафіку, починаючи з якого

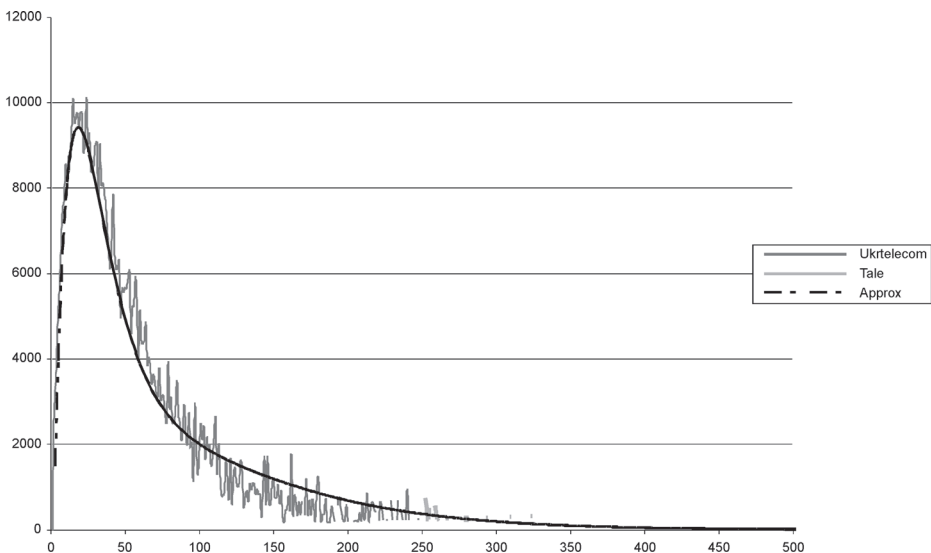


Рис. 1. Розподіл сукупного споживання послуги комутованого доступу за часом користування послугою на місяць (експериментальна крива та апроксимація кривою типу (6))

користування виділеною лінією (Broadband) стає дешевшим від користування комутованим доступом.

Цю умову можна записати наступним простим чином:

$$P_B = P_D + t_{np} \tau_{tel}, \quad (7)$$

де  $P_B$  — місячна вартість необмеженого пакету комутованого доступу;  $P_D$  — місячна вартість виділеної лінії малої пропускної спроможності;  $\tau_{tel}$  — почасовий тариф телефонного зв'язку.

Звідси можна визначити  $t_{np}$ :

$$t_{np} = \frac{P_B - P_D}{\tau_{tel}} \approx 130 \text{ (годин на місяць).}$$

Тепер ми можемо визначити площу «хвоста» розподілу активних користувачів:

$$\begin{aligned} D_{XB} &= \int_{t_{np}}^{\infty} \frac{dD}{dt} = \\ &= \int_{t_{np}}^{\infty} D_0 (1 - k_p) \frac{t}{T_a^2} \exp\left(-\frac{t}{T_a}\right) dt = \\ &= D_0 (1 - k_p) - \\ &- \int_0^{t_{np}} D_0 (1 - k_p) \frac{t}{T_a^2} \exp\left(-\frac{t}{T_a}\right) dt = \\ &= D_0 (1 - k_p) \frac{(t_{lim} + T_a) \exp\left(-\frac{t_{lim}}{T_a}\right)}{T_a}. \quad (8) \end{aligned}$$

Ефект від перетікання споживачів комутованого доступу на широко смуговий з ростом об'ємів користування комутованим доступом можна оцінити як зміну площі «відрізаного хвоста» при зміні загального об'єму надання послуг комутованого доступу:

$$\begin{aligned} \Delta D_{XB} &= \Delta D_0 (1 - k_p)^x \\ &\times \frac{(t_{lim} + T_a) \exp\left(-\frac{t_{lim}}{T_a}\right)}{T_a}, \quad (9) \end{aligned}$$

де  $\Delta D_{XB}$  має зміст об'єму послуги, що втрачається комутованим доступом за рахунок переходу користувачів на широко смуговий доступ із зростанням загального об'єму комутованого.

Таким чином, ми можемо оцінити коефіцієнт впливу Dial-Up на Broadband ( $a_{bd}$ ), виходячи з механізму перетікання користувачів при перевищенні критичного рівня. За припущення, що при зміні технології доступу користувач витратить приблизно таку ж саму суму на отримання Інтернет-послуг,  $a_{bd}$  можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} a_{bd} &= \frac{\partial B}{\partial D} = \frac{v_B}{v_a} \frac{\Delta D_{XB}}{\Delta D_0} = \\ &= (1 - k_p) \frac{(t_{lim} + T_a) \exp\left(-\frac{t_{lim}}{T_a}\right)}{T_a}. \quad (10) \end{aligned}$$

При аналізі впливу зростання об'ємів користування широко смуговим доступом (Broadband) на зростання комутованого (Dial-Up), тобто при оцінці коефіцієнту  $a_{db}$ , будемо виходити з наступних міркувань. Поява  $n_{newB}$  нових користувачів широко смуговим доступом з роботи приводить згодом до того, що частина з них  $n_{newD}$  стає новими користувачами комутованим доступом з дому. Припустимо, що співвідношення між користувачами, що застосовують Інтернет і дома, і на роботі, серед нових користувачів буде близьким до такого співвідношення серед користувачів широко-

смуговим доступом загалом. Виходячи з цього, можемо прийняти:

$$\delta = \frac{n_{newD}}{n_{newB}} = \frac{1}{3}.$$

Для оцінки впливу притоку користувачів на Dial-Up за рахунок зростання Broadband на збільшення доходів необхідно також прийняти до уваги, що вдома користувачі будуть споживати трафік за іншою ціною, ніж на роботі. Відповідно ми маємо врахувати коефіцієнт, що характеризує співвідношення між доходом від трафіку, котрий створює один користувач з роботи, та доходом від одного неактивного Dial-Up користувача:

$$\frac{ARPU_{Dp}}{ARPU_{B\text{SOHO}}}.$$

Крім цього, слід врахувати, що лише приблизно 20% SOHO Broadband припадає на офіси, що відповідно зменшить коефіцієнт впливу.

Таким чином, ми можемо оцінити коефіцієнт впливу Broadband на Dial-Up ( $a_{db}$ ) як ріст кількості користувачів комутованим доступом, пропорційний росту кількості абонентів широкосмугового:

$$a_{db} = \frac{\partial D}{\partial B} = \frac{ARPU_{Dp}}{ARPU_B} \delta \times 20\%. \quad (11)$$

У підсумку чисельного вирішення системи диференціальних рівнянь (3) за програмою Mathematica 5.0 отримано рішення у вигляді S-подібних кривих. При розрахунку із статичними коефіцієнтами  $a_{bd}$  та  $a_{db}$  рішення має вигляд простих S-подібних (логістичних) кривих. Результати відповідного комп'ютерного моделювання подано на рис. 2.

При цьому можна бачити, що впровадження обох інновацій виявляє лише незначне взаємне підсилення у порівнянні з незалежним розвитком (коефіцієнти  $a_{bd}$  та  $a_{db}$  прийняті рівними нулю). Результа-

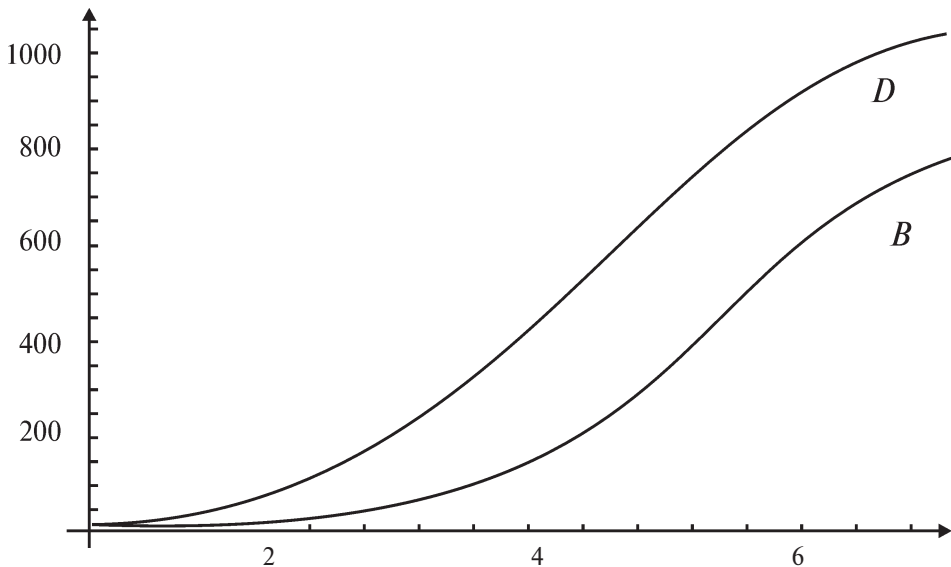


Рис. 2. Динаміка  $D$  та  $B$  при статичних коефіцієнтах

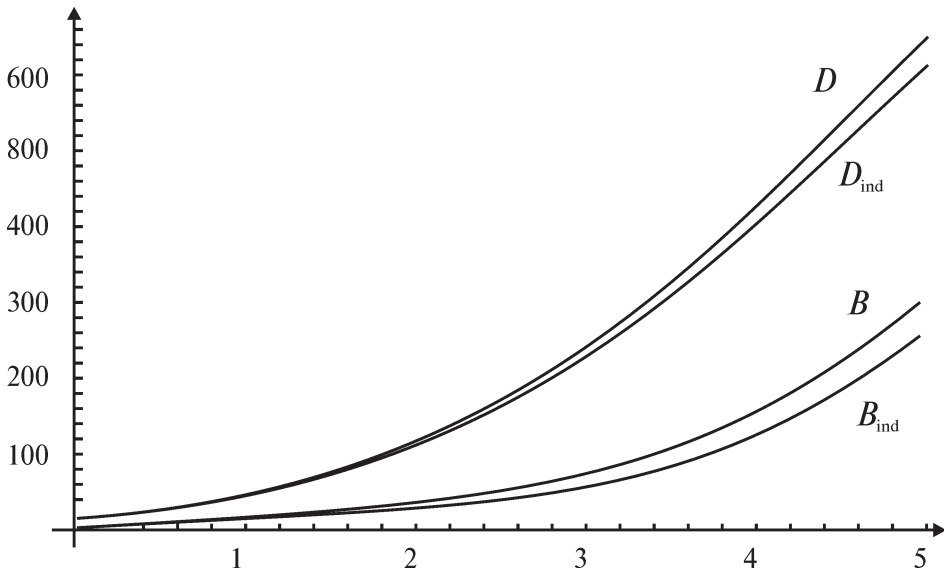


Рис. 3. Динаміка  $D$  та  $B$  при статичних коефіцієнтах у порівнянні з незалежним розвитком ( $D_{ind}$  та  $B_{ind}$ )

ти відповідного комп'ютерного моделювання подано на рис. 3.

Якщо врахувати зміну коефіцієнту  $a_{bd}$  із часом за рахунок зменшення  $t_{lim}$  (описується експоненційним

законом з асимптотичним наближенням до певного мінімального рівня), можна бачити, що зростання  $B$  (Broadband) поступово випереджає зростання  $D$  (Dial-Up).

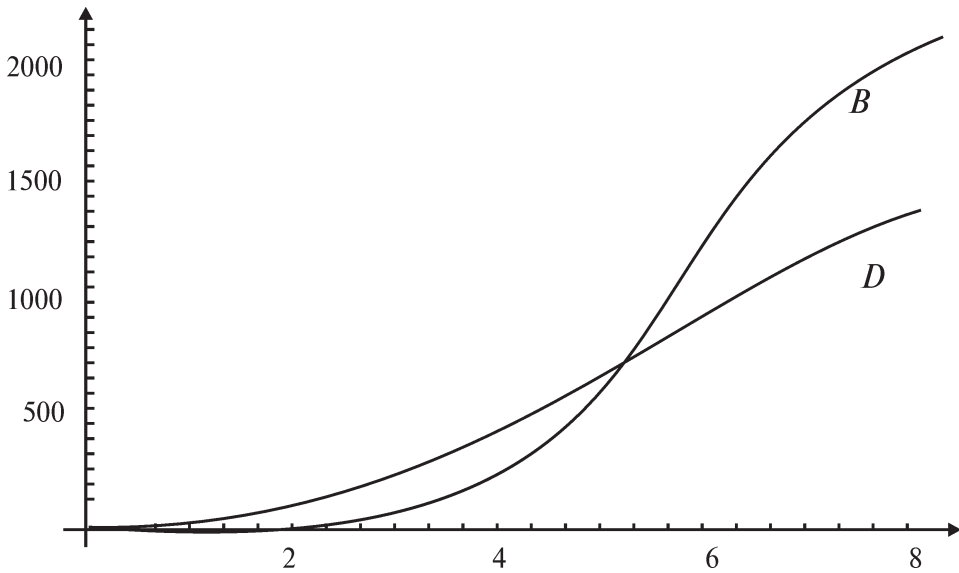


Рис. 4. Динаміка  $D$  та  $B$  при динамічних коефіцієнтах



Результати відповідного комп'ютерного моделювання подано на рис. 4.

Слід, однак, відзначити, що вказана модель не враховує конкуренцію між послугами та здатна лише до якісного опису тенденцій розвитку. Нехтування конкуренцією може бути виправдане лише на попередніх етапах розвитку ринку, коли ринок SOHO-Broadband був ще значно меншим від ринку Dial-Up та вартість виділеної лінії, а відповідно і границя переходу були високими ( $D \gg B$ ,  $t_{lim} \gg T$ ). На даний же час ці умови, очевидно, не виконуються.

Для прогнозування обсягів ринку з урахуванням конкуренції будемо виходити з наступних міркувань. Динаміка ринку така, що ціна виділеної лінії  $P_b$  зменшується значно швидше, ніж ціна необмеженого пакету комутованого доступу  $P_d$ , а тарифи на місцевий телефонний зв'язок  $\tau_{tel}$  залишаються практично незмінними. Відповідно  $t_{lim}$  постійно падає, що приводить до перетікання абонентів з Dial-Up на Broadband. Кількість користувачів Dial-Up в залежності від значення

$t_{np} = \frac{P_b - P_d}{\tau_{tel}}$  можна записати наступною формулою:

$$D = \int_0^{\frac{P_b - P_d}{\tau_{tel}}} \frac{D_0 t \exp\left(-\frac{t}{T}\right)}{T^2} dt = \tag{12}$$

$$= D_0 \left( 1 - \frac{\exp\left(-\frac{P_b - P_d}{T\tau_{tel}}\right) (P_b - P_d + T\tau_{tel})}{T\tau_{tel}} \right)$$

Якщо позначити  $P_b - P_d$  через  $G$ , то отримуємо:

$$\frac{\Delta D}{D_0} = -\frac{\Delta G + T\tau_{tel}}{T\tau_{tel}} \exp\left(-\frac{\Delta G}{T\tau_{tel}}\right). \tag{13}$$

Тобто зменшення різниці між цінами виділеної лінії  $P_b$  та необмеженого пакету комутованого доступу  $P_d$  впливатиме у бік зменшення на об'єм продаж Dial-Up.

Якщо прийняти, що все зменшення продаж Dial-Up йде на збільшення Broadband та апроксимувати

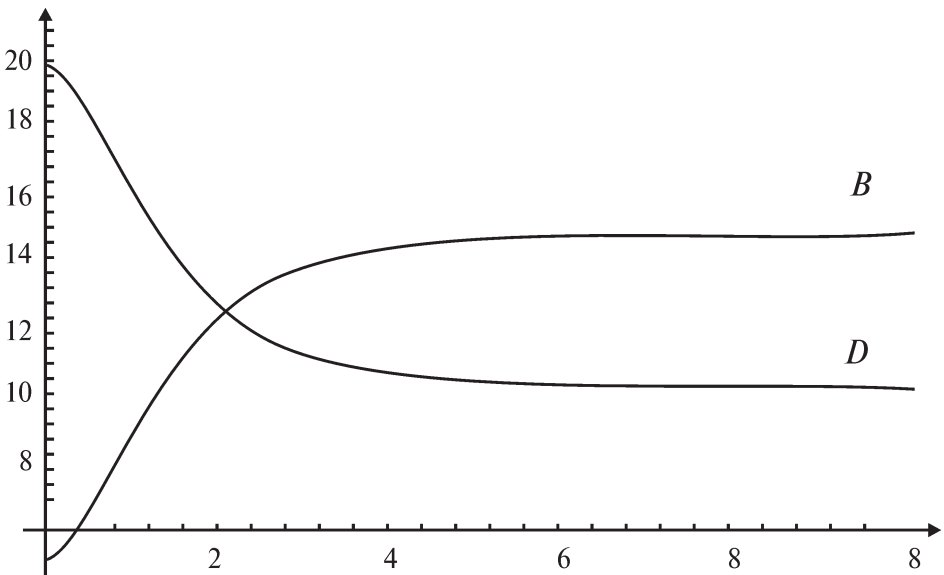


Рис. 5. Конкурентна динаміка D та B

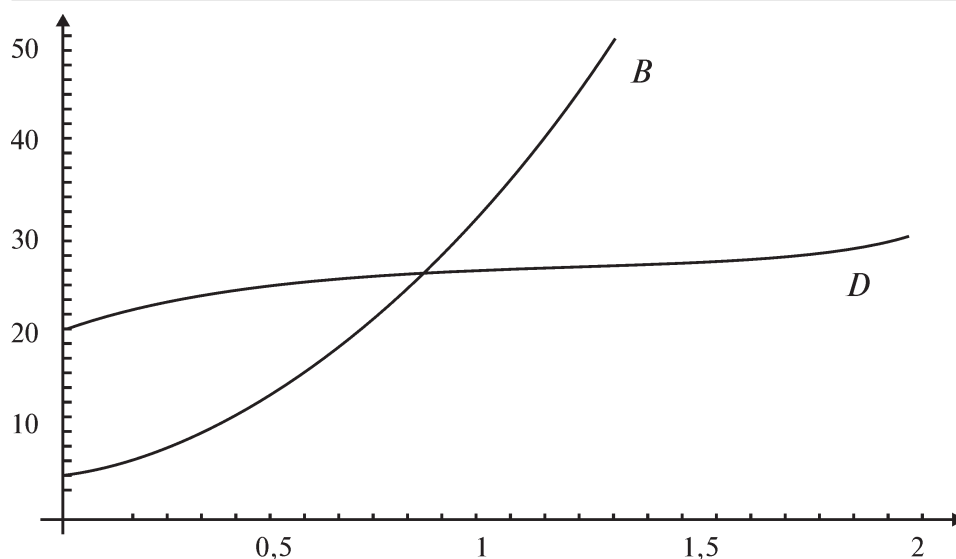


Рис. 6. Динаміка  $D$  та  $B$  у повній моделі

зміну  $P_b$  та  $P_d$  експонентами, можна отримати конкурентну динаміку  $D$  та  $B$ . Результати відповідного комп'ютерного моделювання подано на рис. 5.

Додавши до рівнянь взаємопов'язаної динаміки конкурентні члени, отримаємо повну модель. Результати відповідного комп'ютерного моделювання подано на рис. 6.

Отримані розрахункові криві демонструють немонотонність  $D$  при швидких змінах цінового зазору  $G$ , що відповідає реальній динаміці у відповідних ринкових ситуаціях. На жаль, через відносну складність моделі та відсутність достовірних

даних щодо об'ємів ринку SOHO-Broadband (відповідник  $B$ ) апробацію моделі повною мірою провести не вдалося. Однак можна стверджувати, що модель відображає всі виявлені якісні тенденції ринку і при її подальшому вдосконаленні може бути використана для отримання кількісних прогнозів.

Практично корисною є отримана формула (13), що характеризує вплив зменшення цінового зазору  $G$  на ринок Dial-Up. Однак слід зауважити, що в чистому вигляді вона працюватиме лише за умови, коли зазор  $G$  великий. При малих зазорах необхідно також враховувати «обрізану» частину розподілу  $D_{XB}$ .

1. Шумпетер Й. Теория экономического развития. — М.: Прогресс, 1982.
2. Schumpeter J. Business Cycles. — N. Y., 1939.
3. Соловьев В. П. Инновационная деятельность как системный процесс в конкурентной экономике. — Киев: Феникс, 2004. — 560 с.
4. Кондратьев Н. Д. Проблемы экономической динамики. — М.: Экономика, 1989.
5. Меньшиков С. М., Клименко Л. А. Длинные волны в экономике, — М., 1989.
6. Глазьев С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. — М., 1993.
7. Коренной А. А., Кузьмин М. В. Динамика кластера инноваций // Наука та наукознавство. — 1996. — № 3—4. — С. 102—109.
8. Кузьмин М. В. Структурные трансмутации, цикличность, катастрофы в региональных моделях // Рынок, предприниматель, инвестиции / Под. ред. М. В. Кузьменко. — Киев: Манускрипт, 1995.