

ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 004.942:339.13.017

<https://doi.org/10.31713/vt2201826>

**Карпович І. М., к.ф.-м.н., доцент, Гладка О. М., к.т.н., доцент,
Устимчик Максим, студент** (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне)

МОДЕЛЮВАННЯ РИНКУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЙОГО ОСОБЛИВОСТІ

Проведено аналіз моделей дифузії інновацій на ринку програмного забезпечення. Виконана оптимізація моделі дифузії інновацій, знайдено оптимальні значення відповідних параметрів. Проаналізовано вплив суттєвих факторів на динаміку поширення програмного забезпечення на ринку. Розглянуто особливості взаємодії виробників і користувачів програмних засобів в умовах існування ринку нелегальних (піратських) копій.

***Ключові слова:* програмне забезпечення, ринок, дифузія інновацій, модель, динаміка.**

Підвищення ефективності економіки країни значною мірою залежить від розвитку інноваційного потенціалу та створення нових конкурентоздатних продуктів і послуг. Конкуренція на ринку інтелектуальної власності (насамперед, через особливості знань як товару) суттєво відрізняється від конкуренції на ринках традиційних товарів. Типовим прикладом ринку інтелектуальної власності, що демонструє його відмінності від традиційних ринків, в сучасній економіці є ринок програмного забезпечення.

Донедавна виробники комерційних продуктів займали монополне становище, оскільки користувачі не довіряли некомерційним аналогам, піддаючи сумніву їх якість, надійність і безпеку. Останнім часом перед користувачами програмного забезпечення в усьому світі стоїть актуальне питання, що вигідніше: придбати ліцензійний програмний продукт, безкоштовно і легально використовувати альтернативний некомерційний програмний продукт, який вільно розповсюджується через Інтернет, чи незаконно скористатися піратською копією комерційного програмного продукту. Відповідно, і виробники програмного забезпечення намагаються визначити, який із способів комерційної діяльності є оптимальним: отримання доходів

від поширення ліцензій на програмне забезпечення чи безкоштовне поширення програмного забезпечення (можливо, з відкритими кодами) і отримання доходів від надання додаткових послуг.

Однозначної відповіді на сформульовані питання поки що немає. Кількість користувачів некомерційних програмних продуктів зростає, при цьому виробники програмного забезпечення, що поширюють свою продукцію у відкритому коді, отримують досить стабільні доходи. Але і кількість користувачів комерційних програмних продуктів залишається значною, що дає можливість виробникам отримувати стабільний прибуток від продажу ліцензій.

Моделі конкуренції на галузевих ринках, в основному, розроблені за класичними традиціями, започаткованими А. Курно, Л. Вальрасом, Ж. Бертраном і їх послідовниками. Абсолютна більшість таких моделей конкуренції виробників симетричні в тому сенсі, що розглядають конфлікти учасників ринку, кожен з яких максимізує свій прибуток. Монополія і симетрична дуополія досліджені досить детально.

Разом з тим, сучасний ринок програмного забезпечення характерний своєю асиметрією: одні учасники максимізують свої прибутки, а інші – ні. Крім того, відомі моделі конкуренції на галузевих ринках не відображають принципових відмінностей знань і інновацій від інших продуктів, тому непридатні для дослідження ринку програмного забезпечення.

Однією з основних особливостей базисних інновацій є поширення їх за відсутності конкуренції, оскільки ніхто з потенційних конкурентів ще не опанував відповідною технологією. Однак переважна більшість інноваційних продуктів на будь-якому ринку, зокрема, на ринку програмного забезпечення, є поліпшенням попередніх версій (зразків), і їх поширення відбувається в умовах конкуренції з аналогами.

Активне використання моделей дифузії інновацій у маркетингу почалося з роботи [1], де процес розповсюдження нового продукту запропоновано розглянути як «епідемію», коли люди, котрі ще не стали споживачами інновацій, «інфікуються» дійсними споживачами, а також піддаються впливу зовнішніх факторів, зокрема, рекламі. Відомо чимало робіт, в яких конкуренція досліджується за допомогою різних модифікацій моделі дифузії інновацій [2-4], а коефіцієнти моделі розглядаються як функції від цін, витрат на рекламу тощо. Більшість публікацій з дослідження конкуренції на ринку програмного забезпечення, враховує особливості процесів тіньового поширення нелегальних копій ліцензійних комерційних програмних продуктів.

В роботі [4] розглянуто моделі двоетапного ціноутворення з диференційованою ціною входу на ринок для споживача, які застосовані до інтерпретації ідей теорії прав власності та уточнення деяких її висновків щодо оцінки об'єктів інтелектуальної власності. Такі моделі добре описують ринки надання патентів, інформаційних та інформаційно-технологічних послуг, коли споживачі спочатку платять певну суму за вхід на ринок і право користуватися послугами за ціною граничних витрат, а потім оплачують власне послуги за ціною граничних витрат (наприклад, спочатку користувач платить за підключення до Інтернету, а потім оплачує використаний трафік).

Застосування схеми двокомпонентного тарифу до ціноутворення на ринку програмного забезпечення зводиться до того, що спочатку користувач купує програмний продукт, а потім платить за ціною граничних витрат за технічну підтримку або поновлення цього продукту. Однак на ринку програмного забезпечення поширення продуктів представляє набагато більший інтерес, ніж надання технічної підтримки або розсилка оновлень. Тому математичне моделювання конкуренції на ринку програмного забезпечення вимагає розвитку.

Ринок програмного забезпечення являє собою яскравий приклад ринку знань. Тиражування продукції на цьому ринку виробляється практично без матеріальних затрат (на відміну від створення нових продуктів). Собівартість запису програми на носій досить мала, а собівартість поширення копії продукту через Інтернет ще менша. У зв'язку з цим обчислення собівартості на ринку програмного забезпечення має особливість, яка полягає у неможливості визначення витрат на примірник продукції. Таким чином, змінні витрати на ринку програмного забезпечення прямують до нуля, а собівартість практично збігається з постійними витратами на створення нового продукту.

Принципова можливість придбання піратських копій програмних продуктів тягне за собою невідповідність діяльності виробника комерційного програмного забезпечення цілям його функціонування: виробник змушений викривати незаконних користувачів і залучати їх до відповідальності, на що доводиться відволікати від основної діяльності – виробництва програмного забезпечення – досить значні ресурси (або миритися з нелегальним використанням програм).

Результатом зазначеної невідповідності стала поява на ринку програмного забезпечення інноваційних некомерційних форм поширення продукції: вільного програмного забезпечення і програмного забезпечення з відкритим кодом. Популярним представником неко-

мерційного програмного забезпечення є операційна система Linux.

Вартість обслуговування комерційного та некомерційного програмного забезпечення для споживача приблизно однакова. Прибуток же виробника комерційного програмного забезпечення завжди позитивний (і виробник прагне його максимізувати), на відміну від виробника некомерційного продукту, у якого прибуток від продажу дорівнює нулю (некомерційні виробники, однак, також заробляють, але не на продажах, а на обслуговуванні своїх продуктів). Аналогічна конкуренція відбувається не тільки на сегментах ринку програмного забезпечення, а й на інших ринках.

Ринок інформаційних технологій розвивається надзвичайно стрімко не лише завдяки підвищенню якості і можливостей продуктів, але і за рахунок їх здешевлення: як відомо з електронних джерел, за останні 30 років обчислювальна потужність зростала в середньому приблизно на 50% за рік, а ціна щорічно падала приблизно на 20%. Все це сприяє поліпшенню якості розв'язання прикладних задач [5]. Однак особливості взаємодії учасників ринків інтелектуальної власності досліджені ще недостатньо, відтак проблема математичного моделювання механізмів конкуренції на ринку програмного забезпечення з урахуванням специфічних особливостей продуктів цього ринку є актуальною.

Метою даної роботи є визначення оптимальних умов та методів дослідження поведінки учасників ринку програмного забезпечення.

Дифузією інновацій вважають розв'язок $N=N(t)$ задачі Коші для диференціального рівняння

$$\frac{dN(t)}{dt} = f(t, N(t)) \quad (1)$$

з початковою умовою $N(0)=N_0$. Тут t – час; $N(t)$ – обсяг поширення інновації до моменту t (який визначається зазвичай кількістю проданих примірників або кількістю діючих споживачів інноваційного продукту); $f(t, N(t))$ – функція, що визначає форму дифузійної кривої і відображає певні припущення щодо природи процесу поширення інновації. Вважається, зазвичай, що функція $N(t)$ неперервна і диференційовна для всіх невід'ємних t , а функція $f(t, N(t))$ унімодальна.

Праву частину рівняння (1) часто записують у вигляді [2]:

$$f(t, N(t)) = g(t, N(t))(M - N(t)). \quad (2)$$

Передбачається, що загальна кількість потенційних споживачів інновації M постійна, а швидкість поширення інновації $dN(t)/dt$ в кожен момент часу пропорційна обсягу потенційного ринку $M - N(t)$. У міру збільшення загальної кількості дійсних споживачів інноваційного

продукту $N(t)$ і відповідного зменшення кількості потенційних споживачів $M-N(t)$ швидкість поширення інновації знижується.

Функція $g(t, N(t))$ визначає швидкість адаптації. Вона інтерпретується як вмотивованість потенційного споживача інноваційного продукту придбати його в момент t і в простішому випадку може задаватися лінійною функцією від $N(t)$:

$$g(t, N(t)) = a + bN(t). \quad (3)$$

Підстановка швидкості адаптації (3) у вираз (2) дає наступне диференціальне рівняння моделі дифузії інновацій [3]:

$$\frac{dN(t)}{dt} = (a + bN(t))(M - N(t)). \quad (4)$$

Параметри a і b в моделі дифузії інновацій (4) відображають відповідно міру зовнішніх і внутрішніх впливів на швидкість адаптації і, отже, на швидкість поширення інновації. Зовнішні впливи на швидкість адаптації визначаються потребою індивідів в інноваціях і рівнем маркетингових і рекламних комунікацій (доданок $a(M-N(t))$ в правій частині рівняння (4)).

Внутрішні впливи на швидкість адаптації обумовлені комунікаціями між діючими користувачами інновації та потенційними споживачами (в результаті яких потенційним споживачам передається інформація про інноваційний продукт) – цьому відповідає доданок $bN(t)(M-N(t))$.

Частковим випадком моделі дифузії інновацій (4) для $b=0$ може бути модель зовнішнього впливу, якщо припустити, що швидкість поширення інновації $dN(t)/dt$ залежить тільки від потенційної можливості насичення ринку, тобто лише від кількості потенційних споживачів $M-N(t)$, при цьому коефіцієнт a відображає інноваційність споживачів (їх потребу в інноваціях) і ефективність просування інноваційного продукту на ринок. Ці моделі не враховують взаємодії діючих і потенційних споживачів інновації, комунікацій між ними.

Моделі внутрішнього впливу – частковий випадок моделі дифузії інновацій (4) для $a = 0$. Основне припущення, що лежить в основі цього типу моделей, полягає в тому, що швидкість поширення інновації $dN(t)/dt$ пропорційна як потенційній можливості насичення ринку $M-N(t)$, так і досягнутому рівню поширення інновації $N(t)$. При цьому передбачається, що зовнішні впливи (потреба індивідів в інноваціях, а також загальна інформація про продукт, що отримується не з особистих контактів між діючими та потенційними споживачами) не створюють істотного впливу на процес прийняття рішення про придбання інноваційного продукту. У моделях цього типу вважається, що

потенційний споживач може прийняти рішення про придбання тільки в результаті особистого контакту з чинним користувачем інновації.

В сучасних дослідженнях поширені такі різновиди моделі дифузії інновацій (4), в яких a , і b не дорівнюють нулю – моделі змішаного впливу. Ця гіпотеза полягає в тому, що повідомлення про продукт в засобах масової інформації не впливає на основну частину потенційних споживачів, але досягає деякої невеликої групи, яка потім впливає на інших індивідів.

Моделі змішаного впливу передбачають, що на процес прийняття рішення про придбання інноваційного продукту впливають як зовнішні фактори – потреба індивідів в інноваціях, а також загальна інформація про продукт, що отримується із засобів масової інформації, так і внутрішні чинники – особисті контакти діючих користувачів інновації з їх потенційними споживачами. Розв'язком моделі (4) з початковою умовою $N(0)=N_0$ є логістична функція (5), яка описує залежність обсягу охопленого ринку від часу:

$$N(t) = \frac{M(a + bN_0) - a(M - N_0)e^{-(a+bM)t}}{a + bN_0 + b(M - N_0)e^{-(a+bM)t}}. \quad (5)$$

На основі відомих статистичних даних про динаміку поширення програмного забезпечення, зокрема, серверних операційних систем, в даній роботі проведена оптимізація розв'язку (5). Знайдено оптимальні

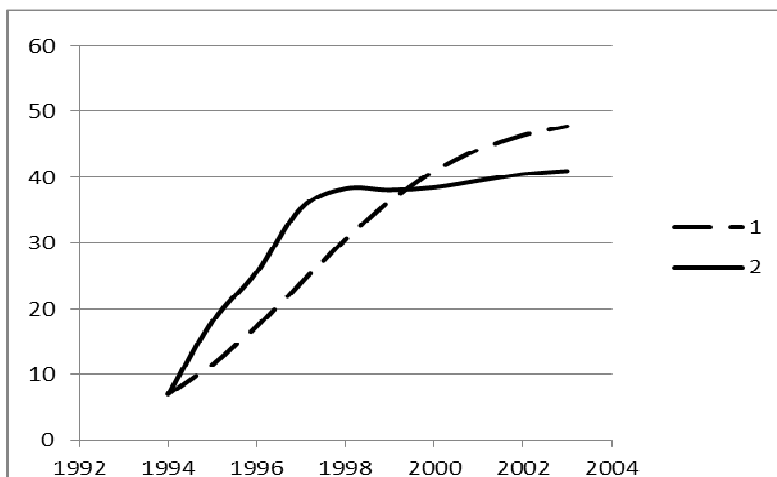


Рис. 1. Динаміка частки (%) ринку серверної операційної системи Windows у світі за 1994-2003 рр.: 1 – розрахунки за співвідношенням (5); 2 – дані порталу IDC [6]

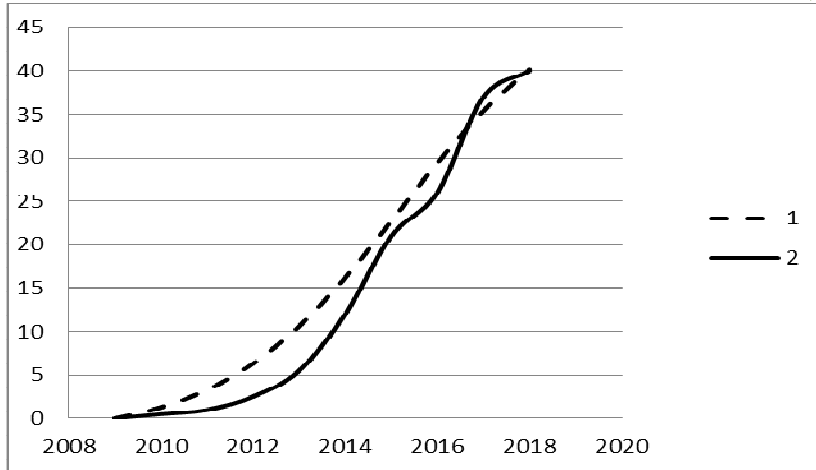


Рис. 2. Динаміка ринкової частки (%) операційної системи Android у світі за 2009-2018 рр.: 1 – розрахунки за співвідношенням (5); 2 – дані сервісу StatCounter [7]

значення параметрів моделі a і b , за якими розрахований розподіл ринку добре узгоджується з фактичними даними. На рис. 1, 2 показано деякі з отриманих результатів аналізу динаміки поширення програмних продуктів різних поколінь для $a = 0,02$ і $b = 0,01$.

Моделювання динаміки ринків інноваційної продукції за триваліший період, який містить перехідний процес у розвитку технологій, може супроводжуватися небажаними особливостями, що дістали назву інституційних пасток [8], які знижують достовірність отриманих результатів.

Крім того, необхідно врахувати одночасну присутність на ринку програмного забезпечення комерційних програмних продуктів їх некомерційних аналогів, а також піратських копій. В роботі [9] сформульована умова економічної доцільності використання нелегального (піратського) програмного забезпечення:

$$nC_b \gg C_h + nC_c + P(n)C(n), \quad (6)$$

де n – кількість поширених нелегальних копій програмного продукту; C_b – ціна легальної копії програмного продукту; C_h – витрати на зламування системи захисту; C_c – ціна піратської копії програмного продукту; $P(n)$ – імовірність виявлення порушника, який поширив n піратських копій; $C(n)$ – величина штрафу за поширення n піратських копій. Тобто, реальні витрати на порушення авторських прав на програмне забезпечення значно нижчі від вартості легального придбання цього програмного забезпечення (навіть з урахуванням можливого покарання). Однак піратські копії програмного забезпечення

можуть не лише погано функціонувати, але й містити троянські закладки, які нададуть зловмисникам доступ до важливих документів користувача, персональних і комерційних даних, а також до керування комп'ютером.

Авторами роботи [10] проведено детальне дослідження проблеми нелегального поширення програмних продуктів, зокрема, наведені причини нелегального використання програмного забезпечення, розглянута модель попиту і пропозиції на ринку програмного забезпечення з урахуванням пропозицій легальних і піратських копій, побудовано моделі поведінки і взаємодії агентів ринку програмного забезпечення. Показано, що інформація, передана користувачами піратських копій потенційним споживачам, може створювати практично такий же вплив, як інформація, передана легальними користувачами відповідних продуктів.

Таким чином, ринок програмного забезпечення, істотно відрізняючись від традиційних ринків, вимагає більш детального аналізу з використанням економіко-математичного моделювання. Динаміка розвитку, співпраця і конкуренція постачальників комерційного та некомерційного програмного забезпечення перебуває у тісній взаємодії з результатами діяльності виробників апаратного забезпечення.

Модель взаємодії виробника комерційного програмного забезпечення з користувачами в умовах наявності ринку нелегальних копій показує, що раціональний користувач тільки в половині випадків віддасть перевагу ліцензійному програмному забезпеченню, а раціональний виробник ніколи не буде ініціювати перевірок легальності використання його продукту користувачами. Отже, має бути гнучкий підхід виробника до комерціалізації розробленого ним програмного забезпечення. Одним із варіантів є відмова від продажу ліцензій та вільне поширення програмного забезпечення, при якому виробник заробляє на наданні додаткових послуг: підтримка програмних засобів, розробка додаткових модулів, вбудовування реклами (як в популярних Інтернет сервісах) тощо.

Розглянуті в роботі моделі та методологічні підходи можуть бути використані не лише для дослідження ринку програмного забезпечення, але і для дослідження інших ринків інноваційної продукції і нематеріальних активів, що істотно відрізняються від традиційних ринків.

1. Bass F. A new product growth for model consumer durables / F. Bass // *Management Science*. 1969. Vol. 15. No. 3. P. 215–227. 2. Mahajan V. Models for Innovation Diffusion / V. Mahajan, R. Peterson. Beverly Hills, USA : Sage, 1985. 88 p. 3. Mahajan V. New product diffusion models in marketing: A review and

directions for future research / V. Mahajan, E. Muller, F. Bass. *Journal of Marketing*. 1990. Vol. 54. No. 1. P. 1–26. **4.** Козырев А. Н. Использование реальных опционов в инновационных проектах : доклад на общем собрании Отделения общественных наук РАН : 2.03.2005. URL: <http://kozyrev.labrate.ru/doklad-02-03-2005.pdf>. (дата звернення: 15.01.2019). **5.** Комплексний аналіз соціально-економічного стану регіонів з використанням Grid-технологій / Л. В. Зубик, О. М. Гладка, І. М. Карпович, В. О. Савич. *Scientific Journal «Science Rise»*. 2015. № 10/2 (15). С. 6–9. **6.** Портал агентства International Data Corporation (IDC). URL: <http://www.idc.com/> (дата звернення: 15.01.2019). **7.** Сумарний рейтинг операційних систем (ринкові частки різних ОС у світі за даними сервісу StatCounter). URL: <http://gs.statcounter.com> (дата звернення: 15.01.2019). **8.** Балацкий Е. В. Функциональные свойства институциональных ловушек. *Экономика и математические методы*. 2002. Т. 38. № 3. С. 252–264. **9.** Devanbu P. T. Software engineering for security: A roadmap / P. T. Devanbu, S. Stubblebine. *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering* : international Conference on Software Engineering: Limerick, Ireland, June 04–11, 2000. Piscataway, USA : IEEE, 2000. P. 3–22. **10.** Благодатских В. А., Середина С. А., Посакалов К. Ф. Экономика-правовые основы рынка программного обеспечения. М. : Финансы и статистика, 2007. 240 с.

REFERENCES:

1. Bass F. A new product growth for model consumer durables / F. Bass // *Management Science*. 1969. Vol. 15. No. 3. P. 215–227. **2.** Mahajan V. Models for Innovation Diffusion / V. Mahajan, R. Peterson. Beverly Hills, USA : Sage, 1985. 88 p. **3.** Mahajan V. New product diffusion models in marketing: A review and directions for future research / V. Mahajan, E. Muller, F. Bass. *Journal of Marketing*. 1990. Vol. 54. No. 1. P. 1–26. **4.** Kozыrev A. N. Ispolzovanie realnykh optcionov v innovatsyonnykh proektakh : doklad na obshchem sobranii Otdeleniia obshchestvennykh nauk RAN : 2.03.2005. URL: <http://kozyrev.labrate.ru/doklad-02-03-2005.pdf>. (data zvernennia: 15.01.2019). **5.** Kompleksnyi analiz sotsialno-ekonomichnoho stanu rehioniv z vykorystanniam Grid-tekhnologii / L. V. Zubyk, O. M. Hladka, I. M. Karpovych, V. O. Savych. *Scientific Journal «Science Rise»*. 2015. № 10/2 (15). S. 6–9. **6.** Portal ahentstva International Data Corporation (IDC). URL: <http://www.idc.com/> (data zvernennia: 15.01.2019). **7.** Sumarnyi reitynh operatsiinykh system (rynkovi chastky riznykh OS u sviti za danymy servisu StatCounter). URL: <http://gs.statcounter.com> (data zvernennia: 15.01.2019). **8.** Balatskii E. V. Funktsionalnye svoistva institutsionalnykh lovushek. *Ekonomika i matematicheskie metody*. 2002. T. 38. № 3. S. 252–264. **9.** Devanbu P. T. Software engineering for security: A roadmap / P. T. Devanbu, S. Stubblebine. *Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering* : international Conference on Software Engineering: Limerick, Ireland, June 04–11, 2000. Piscataway, USA : IEEE, 2000. P. 3–22. **10.** Blahodatskykh V. A., Sereda S. A., Posakalov K. F. Ekonomiko-pravovye osnovy rynku prohrammnoho obespe-

cheniia. M. : Finansy i statistika, 2007. 240 s.

Рецензент: д.е.н., професор Савіна Н. Б. (НУВГП)

Karpovych I. M., Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Hladka O. M., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Ustymchuk Maksym, Senior Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

MODELING THE MARKET OF SOFTWARE AND ITS FEATURES

The analysis of models of diffusion of innovations in the software market is carried out. The optimization of the model of diffusion of innovations is realized, the optimal values of the corresponding parameters are found. The influence of significant factors on the dynamics of software distribution on the market is analyzed. The peculiarities of the interaction of manufacturers and users of software in the conditions of existence of the market of illegal (pirate) copies are considered.

Keywords: software, market, diffusion of innovations, model, dynamics.

Карпович И. Н., к.ф.-м.н., доцент, Гладкая Е. Н., к.т.н., доцент, Устимчик Максим, студент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЫНКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ЕГО ОСОБЕННОСТИ

Проведен анализ моделей диффузии инноваций на рынке программного обеспечения. Выполнена оптимизация модели диффузии инноваций, найдены оптимальные значения соответствующих параметров. Проанализировано влияние существенных факторов на динамику распространения программного обеспечения на рынке. Рассмотрены особенности взаимодействия производителей и пользователей программных средств в условиях существования рынка нелегальных (пиратских) копий.

Ключевые слова: программное обеспечение, рынок, диффузия инноваций, модель, динамика.
