

УДК 336.72

Гальчинський Л. Ю.

Шкарабура І. М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НА КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ КОМПАНІЇ НА ОЛІГОПОЛІСТИЧНОМУ РИНКУ

У статті розглядається завдання дослідження ролі фактора ІТ на конкурентоспроможність компанії на олігополістичному ринку. Аналізуються відносини між компаніями та вплив нової технології на виробничу та організаційну сфери компанії, структуру ринку за допомогою апарату теорії ігор. Досліджується побудована для вказаної задачі модель, що має аналітичний огляд та програмне рішення на основі реальних даних.

Ключові слова: інформаційні технології, конкурентоспроможність, олігополія, теорія ігор, рівновага Неша.

Постановка проблеми. Питання конкурентоспроможності суб'єкта економічної діяльності є одним із ключових факторів його існування як такого. Різного роду аспекти конкурентної боротьби вже довгий час є предметом вивчення економістами, як теоретиками, так і практиками. Незважаючи на це, ця надзвичайно складна проблема ще далеко від вичерпного вирішення.

Однак, актуальність задачі підвищення конкурентоспроможності суб'єкту на ринку стимулює дослідження у цьому напрямі, зокрема дослідження, що стосуються впливу інформаційних технологій на економічну ефективність компанії та її конкурентоспроможність на ринку. Сучасна економічна теорія розглядає три напрямки конкурентних дій фірми на ринку, а саме: цінова політика, виробнича політика та інновації. Очевидно, впровадження нових інформаційних технологій слід розглядати як використання специфічних інновацій, які мають на меті підвищити виробничу спроможність і, як наслідок, підвищити конкурентоспроможність. Надалі будемо розглядати вплив впровадження інформаційних технологій на олігополістичному ринку як специфічну інновацію. Виникає питання: як оцінити вигоди однієї з фірм за рахунок переваги у вигляді ІТ, при різних стратегіях конкурентів по відношенню до впровадження інформаційних технологій?

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема взаємозв'язку між ринковою владою і технологічними інноваціями відома давно, починаючи з дебатів Шумпетера та Ерроу. Так звана гіпотеза Шумпетера стверджує, що існує зворотна залежність між інтенсивністю конкуренції і темпами технічного прогресу. Протилежної точки зору притримувався Ерроу, позаяк він вважав, що фірма, яка працює у конкурентному середовищі, має прагнути до нових технологій і нових продуктів, щоб витіснити своїх конкурентів з бізнесу.

Так чи інакше, з початку обчислювальної ери ніхто не сумнівався в позитивному економічному ефекті від застосування ІТ, чимало дослідників, зокрема Кауфман та низка інших, передбачали кілька позитивних ефектів через реалізацію конкурентних стратегій Портера. Проте пізніше деякі вчені, серед яких і Роуч, звернули увагу на розбіжність між швидко зростаючими ІТ-витратами у секторі послуг і відносно повільною динамікою зростання продуктивності. Пізніше Лавмен навів ще більш конкретні докази невідповідності між продуктивністю та зростанням ІТ на основі вибірки даних, яка охоплює біля 60 бізнес-одиниць великих фірм за 1978–1984 роки.

У роботах Бріньолфсона і Хета, було оцінено виробничу функцію для великого набору даних складених International Data Group на основі ІТ капіталу і витрат більш ніж трьохсот найбільших

фірм в економіці США за період 1988–1992 рр. Було виявлено, що валовий граничний приріст капіталу ІТ та витрати на персонал пов'язаний з інформаційною системою корелюють зі зростанням продуктивності компаній [1, с. 4]. Аналогічні результати, які підтверджують ефект позитивного впливу інформаційних технологій на ефективність компаній, були дещо пізніше отримані для країн Єврозоюзу. Так, зокрема, Гранде, Перес, Колуміна [2] переконливо встановили факт позитивного впливу інформаційних технологій на ефективність суб'єктів середнього та малого бізнесу в Іспанії. Емпіричні дослідження стосовно впливу інформаційних технологій для суб'єктів господарювання в Україні вкрай обмежені. Окремі дані можна знайти в Національній комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації (НКРЗІ), але дані є не детальними і мають більш загальний характер. В Україні існує ринок замовлень досліджень на предмет використання інформаційних технологій, проте у відкриті джерела результати не потрапляють. Незважаючи на це, відсутність даних зовсім не означає, що проблема ефективності ІТ в українській економіці не актуальна.

На усвідомлення того, що ІТ технології стають одним із основних компонентів конкурентної переваги, знадобилося чимало часу. У процесі більш ніж десятилітніх досліджень мали місце і суперечливі результати. Вони варіюються від песимістичних досліджень Солоу та Штрасмана на початку до інших, більш оптимістичних оцінок від Бріньолфсона. Позиції скептиків базувалась на так званому парадоксі продуктивності Бріньолфсона, що описує явище, яке спостерігалось у 1970-х і 1980-х роках, коли значна кількість фірм, що інвестували в ІТ, зазнали невдач.

Що стосується негативних результатів впровадження інформаційних технологій, то їх можна пояснити декількома причинами. По-перше, механізми, за допомогою яких збільшення інвестицій в ІТ впливає на конкурентну позицію організацій, не були чітко визначені. Не враховувалась також ефект від конкретного економічного навколишнього середовища. По-друге, в літературі традиційно використовуються результати підприємницької діяльності на основі прибутковості, продуктивності і ринкової вартості, які ігнорують деякі аспекти конкурентних позицій. Цікавий аспект неоднозначності даних з ефективності інформаційних технологій виявлено у дослідженні Чень-По Лі, Девіда Ванса та Ксінь Лу [3 с. 101]. Дослідники слушно врахували фактор часових лагів між ІТ-інвестиціями і ефективністю діяльності підприємств, неврахування якого спотворювало результати досліджень ефективності ІТ. Усі ці дослідження та практика впровадження останніх двох десятиліть ІТ призвела до розуміння,

що просто наявність нових інформаційних технологій зовсім не обов'язково призведе до успіху. Навпаки, вона вимагає, щоб фірми супроводжували ці інновації покращенням менеджменту.

Кількісна оцінка ефективності фірми з урахуванням фактора ІТ була запропонована багатьма авторами, зокрема [1 с. 6; 5 с. 264] та ін. Усі ці оцінки базуються на модифікації виробничої функції, в якій ІТ враховується як окремий фактор. На наш погляд, найбільш вдалим є підхід Еріка Брінгольфсона, у виробничій функції якого враховані комп'ютерний капітал і робоча сила, не-комп'ютерний капітал і некомп'ютерна робоча сила. Однак факт зростання значення виробничої функції ще не є автоматично перевагою.

Згідно з Со і Маркус, ми можемо встановити ланцюжок процесів, що роблять ІТ фактором конкурентних переваг, які включають в себе, по-перше, процес перетворення, в яких витрати на ІКТ перетворюються на активи у сфері ІТ; по-друге, процес використання ІТ, де більший чи менший вплив ІТ виходить в залежності від відповідного або невідповідного використання цих технологій; і, нарешті, конверсію цих попередніх стадій в фактор конкурентних переваг [4, с. 36-39]. Цей ланцюжок процесів необхідно доповнити процесом отримання конкурентних переваг фірмою, яка отримала ІТ як конкурентний фактор на різного роду ринках, зокрема на ринку олігополістичному.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Власне, саме вищезгаданий аспект отримання конкурентних переваг фірмою, яка отримала ІТ, як конкурентний фактор є найменш вивчений. Справді, наявність фактора ІТ є тільки потенційною можливістю отримати вигоду, реальна ж перевага в конкурентних змаганнях може бути отримана тільки через правильно сформульовану стратегію та її послідовну реалізацію. Тому розглянемо далі завдання: як фірма отримує вигоди від конкурентної переваги ёу вигляді ІТ інновації.

Мета статті. Загальновідомо, що ринкова конкуренція відбувається як процес, розтягнутий в часі, тобто формалізація даного завдання є релевантною тільки як динамічне завдання. Метою статті є розробка економіко-математичної моделі оцінки вигоди однієї із конкуруючих фірм, яка в певний момент отримує конкурентну перевагу в умовах олігополії з диференційованими продуктами.

Виклад основного матеріалу. Модель являє собою олігополістичну гру з безперервним часом $t \in [0, \infty)$, де в кожний момент часу фірми обирають рівень інвестиційного втручання в один із таких напрямів інформаційно-технологічної інновації: інновація у продукт, процесна інновація, або інноваційна діяльність одразу в обох напрямках. Процесна інновація представлена як основа задля зниження вартості виробництва, тоді як інновація в продукт впливає на взаємозамінність продукту і те, як товар сприймається споживачами. Задача належить до класу некооперативних диференціальних ігор з рівновагою за Нешем. Структура інформації відкрита, що означає, що всі компанії мають інформацію лише про навколишнє середовище і ринок, але відсутня інформація про стратегії кожного з гравців.

Враховуючи наявність диференційованих товарів, миттєва функція корисності для репрезентативного споживача у термінах споживання представляється як:

$$u(q_i(t), m) = A \left(\prod_{i=1}^n q_i(t) \right) - \left(\sum_{i=1}^n q_i(t)^2 \right) / n - s(t) \left(\prod_{i=1}^n q_i(t) + m \right), \quad (1)$$

де $s(t) \in [0, 1]$ – ступінь взаємозамінності між товарами, m – номенклатура товарів, $q_i(t)$ – об'єм

випуску [6, с. 5]. Обмеження максимізації корисності для будь-якої даної цінової комбінації $\{p_i(t) \sum_{i \neq j} p_j(t)\}$ призводить до системи:

$$p_i(t) = A - p_i(t) - s(t) \sum_{j=1}^n p_j(t), \quad \forall i \neq j, i, j = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де A – постійна ціна замовлення, n – кількість конкуруючих фірм. Якщо $s(t) = 1$, то продукти є повністю взаємозамінними. На противагу, для $s(t) = 0$, продукти є незалежними і кожна фірма діє як монополіст. У будь-який час t , об'єм вихідної продукції $q_i(t)$ залежить від постійної граничної вартості. Відповідно, миттєва функція витрат $Cv_i(c_i, q_i, t) = c_i(t)q_i(t)$ [7, с. 8].

Випуск продукції компанією можна описати виробничою функцією, що окреслена у працях Еріка Брінгольфсона [2]. Еластичності по кожному вхідному параметру визначаються із статистичних даних. Таким чином, можна визначити:

$$q_i(t) = \exp \left(\sum_i z_i T_i + \sum_{j=1}^n v_j I_j \right) C_i(t)^{\beta_1} K_i(t)^{\beta_2} L_i(t)^{\beta_3}, \quad (3)$$

$$\begin{cases} T_i = 1, \text{ якщо рік, що розглядається } - t, \\ T_i = 0, \text{ в інших випадках} \\ I_j = 1, \text{ якщо галузь, що розглядається } - j \\ I_j = 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}, \quad (4)$$

де $C_i(t)$ – інформаційно-технологічні трудові та капітальні ресурси з еластичністю β_1 , $K_i(t)$ – неінформаційний капітал з еластичністю β_2 , $L_i(t)$ – трудові ресурси не пов'язані з ІТ з еластичністю β_3 , z і v – коефіцієнти.

Припускаємо, що диференціація продукту може залежати від інвестицій в інформаційні технології і впливу їх на продукт. Динаміка, пов'язана з інноваційною складовою продукції, описується кінематичною формулою:

$$\dot{s}_i(t) = s_i(t)[-g_i(t) - G_{-i}(t) + \psi], \quad (5)$$

де $g_i(t)$ являє собою суму витрат, здійснюваних фірмою i в момент часу t , щоб збільшити диференціацію продукту шляхом зниження $s_i(t)$. $G_{-i}(t) = \sum_{i \neq j} g_j(t)$, тобто $G_{-i}(t)$ – це сума витрат конкурентів для збільшення диференціації продукції. Параметр $\psi \in [0, 1]$ вказує на норму амортизації через старіння технологій, яка є спільною для всіх фірм і постійна в часі.

Крім того, фірми можуть інвестувати в інновації процесу виробництва, як наслідок – гранична вартість фірми і змінюється з часом, як описано у наступному кінематичному рівнянні:

$$\dot{c}_i(t) = c_i(t)(-k_i(t) - h_i(t)Kk_{-i}(t) + \delta), \quad (6)$$

де $k_i(t)$ оцінює витрати фірми направлені на зменшення вартості виробництва. Функція $h_i(t)$ вимірює позитивний технологічний сплеск, який фірма i отримує від процесу інноваційної діяльності конкурента, тоді як $\delta \in [0, 1]$ – норма амортизації, що передбачається однаковою для фірм [8, с. 4].

Позитивну віддачу від впровадження інформаційних технологій конкурентами (у тому числі і відмова від інноваційної діяльності) можна описати таким динамічним рівнянням:

$$\dot{h}_i(t) = \alpha Kk_{-i}(t) - \eta h_i(t), \quad (7)$$

де α та η – позитивні параметри [7, с. 8].

Миттєва вартість інвестиції в інновації, відповідно, дорівнює $Cv_i(g_i(t)) = \frac{\gamma(g_i(t))^2}{2}$ і $Cv_i(k_i(t)) = \frac{b(k_i(t))^2}{2}$, де γ і b – позитивні параметри зворотної оцінки інновації у продукт і процес виробництва [9, с. 1134].

Оскільки диференціальна гра, що розглядається, є некооперативною, то миттєві прибутки кожної з фірм визначаються за формулою:

$$\pi_i(t) = [A - q_i(t) - s_i(t)Q_{-i}(t) - c_i(t)]q_i(t) - \frac{\gamma(g_i(t))^2}{2} - \frac{b(k_i(t) + h_i(t))^2}{2} \quad (8)$$

Отримане значення прибутку є різницею добутку ціни, у вигляді оберненої функції попиту, на кількість виробленої продукції та витрат на впровадження нової технології та інших витрат, що були необхідні для інновації.

За даною моделлю основною метою компанії є отримання прибутку, його максимізація зі ставкою дисконтування $\rho > 0$, що передбачається постійною.

У загальному вигляді модель можна записати як:

$$P_i(t) = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} \left([A - q_i(t) - s(t)Q_{-i}(t) - c_i(t)]q_i(t) - \frac{\gamma(g_i(t))^2}{2} - \frac{b(k_i(t) + h_i(t))^2}{2} \right) dt \rightarrow \max, \quad (9)$$

$$\begin{cases} \dot{s}_i(t) = s_i(t)[-g_i(t) - G_{-i}(t) + \psi] \\ \dot{c}_i(t) = c_i(t)(-k_i(t) - h_i(t)Kk_{-i}(t) + \delta) \\ \dot{h}_i(t) = \alpha Kk_{-i}(t) - \eta h_i(t) \\ q_i(t) = \exp\left(\sum_i z_i T_i + v\right) C_i(t)^{\beta_1} K_i(t)^{\beta_2} L_i(t)^{\beta_3} \end{cases}, \quad (10)$$

$i=1 \dots n,$

де n – кількість фірм, що розглядається.

Тобто загалом модель являє собою максимізацію прибутків кожної з компаній на основі модифікованої виробничої функції, враховуючи обмеження у можливостях впровадження нових інформаційних технологій для диференціації продукції, зменшення витрат на виробництво з врахуванням інноваційної діяльності конкурентів.

Оскільки ігрова задача звелася до задачі програмного управління, для розв'язку задачі в загальному вигляді застосовуємо принцип максимуму. У роботі [9] показано існування та єдиність рівноваги за Нешем. Однак обчислення цієї рівноваги неможливе в аналітичному вигляді і породжує обчислювальну проблему, яка потребує відповідного чисельного методу. Недоліком традиційних чисельних методів, таких як методи Рунге-Кутта, за допомогою яких зазвичай чисельно інтегруються системи диференціальних рівнянь, є порушення симплектичної структури і властивості збереження фазового об'єму гамільтонових систем в процесі моделювання. Це може призвести до повного спотворення якісної картини побудованої моделі. Тому для завдань, пов'язаних з інтеграцією гамільтонових систем, використовуються симплектичні методи. Ці методи зберігають канонічність перетворення координат і імпульсів на кожному кроці інтегрування [10, с. 173-187].

Для чисельного розв'язання поставленої задачі диференціальних ігор був розроблений програмний продукт на мові програмування AMPL з можливістю взаємодії як з різними мовами програмування, так і з програмними пакетами математичного спрямування. Програма розроблена у середовищі KNITRO 9.0 від компанії ZienaOptimization LLC [11].

Для реального дослідження поставленої задачі необхідно задати конкретні значення в модель. На основі даних ринку ІТ аутсорсингу [12; 13] та їх регресійного аналізу отримуємо такий вигляд виробничої функції у термінах Брінгольсона:

$$q_i(t) = \exp(-2,39) C_i(t)^{0,07} K_i(t)^{0,9} L_i(t)^{0,14} \quad (11)$$

Інші оцінки параметрів системи (9) – (10) взяті як тестові значення (у зв'язку з обмеженістю доступу до необхідної інформації) наближені до реальних:

$\rho = 0,06, A = 5000, \gamma = 0,5, b = 2,5, \psi = 0,02, \delta = 0,01, \alpha = 0,006, \eta = 0,001.$

Далі були зроблені симуляційні прогони моделі для кількості агентів ринку $n=5$, а час для оцінки був обраний 2,5 року, експертно оцінений як достатній для реалізації конкурентних переваг. Таким чином:

Дисконтовані прибутки компаній значно відрізняються. Зокрема, перша компанія-новатор має виражену тенденцію до переваги над конкурентами. У разі наслідування конкурентами лідера рівень прибутку може наблизитися до рівня першої компанії, а в деяких випадках навіть перевищувати його, але в стратегічному плані наслідування не дозволить вийти на передній план. У разі відсутності реакції конкурентів на інновації лідера вони, беззаперечно, втрачають свої позиції (рис. 1).

Оскільки компанії-новатори на етапі впровадження технології зосереджені на отриманні більших прибутків від диверсифікації товару та процесних інновацій, то збільшення об'єму відбувається поступово і після впровадження набуває більш стрімкого розвитку. Щодо компаній послідовників, то без інвестицій у нові технології вони розвиваються більш екстенсивним шляхом, тобто нарощенням об'ємів випуску товарів (рис. 2).

Інвестиції в інформаційні технології, що впливають на процес виробництва, розподілені на часовій шкалі таким чином, що у початковий момент спостерігається максимальна їх зосередженість у всіх компаніях. З часом кількість інвестицій зменшується, але не повністю, і проявляються характерні стрибки витрат на підтримання технологій і їх вдосконалення. У компанії-лідерів витрати на процесну інновацію на всьому часовому проміжку вищі, ніж у конкурентів, що надає їм переваги (рис. 3).

Коефіцієнт диференціації продукції має також приблизно стабільну постійну поведінку. Його наближений рівень – 0,2. Це свідчить про те, що компаніям необхідно дотримуватися шляху диференціації продукції. Варто зазначити, що фірми обирають шлях не повної диференціації, оскільки це несе додаткові витрати. Отриманий коефіцієнт є оптимальним для компаній на заданому ринку (рис. 4).

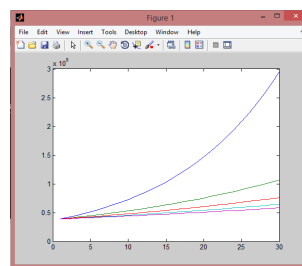


Рис. 1. Дисконтований прибуток Π_i

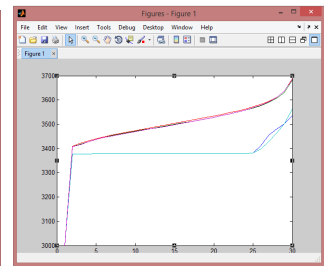


Рис. 2. Об'єм випуску $g_i(t)$

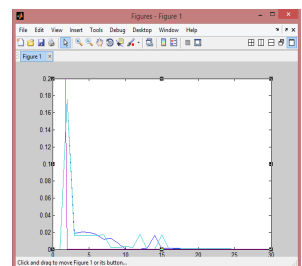


Рис. 3. Процесна інновація $k_i(t)$

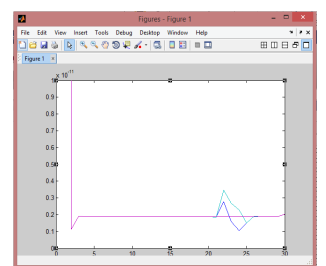


Рис. 4. Коефіцієнт диференціації $s(t)$

Висновки. Основна мета цієї роботи полягає у дослідженні ролі ІТ у створенні конкурентних переваг для компанії як одного із аспектів оцінки ефективності застосування ІТ в економіці. Здобуття конкурентних переваг розглядається як заключна ланка ланцюжка створення вартості і ефективності організації за рахунок фактора ІТ. На основі розробленої економіко-математичної моделі було досліджено вплив ІТ-ресурсу на конкурентне становище компанії на ринку. Для зна-

ходження чисельних розв'язків задачі створена програма, на основі симплектичного алгоритму. За отриманими даними, можна стверджувати про зростання прибутковості компанії, об'ємів виробництва і зменшення витрат після впровадження нової інформаційної технології. Результати моделювання показали покращення конкурентної ситуації для компанії-новатора для випадку олігополістичної конкуренції з диференційованою продукцією.

Список літератури:

1. Brynjolfsson E., Hitt L. Information Technology as a Factor of Production: The Role of Differences. – Working Paper Series, 1997. – 201 с.
2. Grande E.U., Páez R., Colomina C.M. The impact of Accounting Information Systems (AIS) on performance measures: empirical evidence in Spanish SMEs. – Journal of Digital Accounting Research, 2011, 25-43 с.
3. Lee C.P., David A. Vance and Xin Luo Information Technology Payoff and Time Lags Managing Modern Organizations Through Information Technology. – Information Resources Management Association Conference, 2005. – 36 с.
4. Soh, C., Markus, M. L. How IT creates Business Value: A Process Theory Synthesis. – Conference on Information Systems, 1995, 29-41 с.
5. Gargallo-Castel A., Galve-Gyrriz C. The Impact of ICT on Productivity: The Moderating Role of Worker Quality and Quality Strategy. – Hongyi Sun, 2012, 274 с.
6. Lambertini L., Mantovani A. Process and Product Innovation: a Differential Game Approach to Product Life Cycle. – Working Papers, 2004. – 529 с.
7. Hasnas I., Lambertini L., Palestini A. Open Innovation in a dynamic Cournot duopoly. – Economic Modelling (Volume 36), 2014, 79-87 с.
8. Cellini R., Lambertini L. Dynamic R&D with spillovers: Competition vs cooperation. – Journal of Economic Dynamics and Control (33), 2009. – 568-582 с.
9. Cellini R., Lambertini L. A differential oligopoly game with differentiated goods and sticky prices. – European Journal of Operational Research, 2007. – 176 с.
10. Kang F., Meng-zhao Q. Hamiltonian algorithms for Hamiltonian systems and a comparative numerical study. – Computer Physics Communications, 1991, 173-187 с.
11. Fourer R., Gay D.M., Kernighan B.W. AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming. – DUXBURY, 2003. – 517 с.
12. Exploring Ukraine. IT Outsourcing Industry, Ukrainian Hi-Tech Initiative [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://outsourcing-ukraine.org>.
13. Сфера інформатизації Апарату Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері зв'язку та інформатизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nkrzi.gov.ua/>.

Гальчинский Л. Ю.

Шкарабура И. Н.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ КОМПАНИИ НА ОЛИГОПОЛИСТИЧЕСКОМ РЫНКЕ

Резюме

В статье рассматривается задача исследования роли фактора ИТ на конкурентоспособность компании на олигополистическом рынке. Анализируются отношения между компаниями и влияние новой технологии на производственную и организационную сферы компании, структуру рынка с помощью аппарата теории игр. Исследуется созданная для указанной задачи модель, имеющая аналитический обзор и программное решение на основе реальных данных.

Ключевые слова: информационные технологии, конкурентоспособность, олигополия, теория игр, равновесие Нэша.

Galchynsky L. Y.

Shkarabura I. M.

National Technical University of Ukraine
«Kiev Polytechnic Institute»

MODELLING THE IMPACT OF INFORMATION TECHNOLOGY ON THE COMPANY'S COMPETITIVENESS IN AN OLIGOPOLISTIC MARKET

Summary

This paper studies the problem of the role of the IT factor in the competitiveness of oligopolistic market. Analyzed the relationship between companies and the impact of new technologies on production and organizational area, market structure using the apparatus of game theory. Built to study the indicated task model has an analytical review and program decisions based on real data.

Keywords: information technologies, competitiveness, oligopoly, game theory, Nash equilibrium.