УДК 519.21

К.В. КОСАРЕВИЧ, Я.І. ЄЛЕЙКО

ЙМОВІРНІСНИЙ ПІДХІД У ЗАДАЧІ МІЖНАРОДНОЇ КОНКУРЕНЦІЇ ВИРОБНИКІВ З ВИПАДКОВИМИ ЗМІННИМИ

Анотація. Побудовано теоретико-ігрові моделі конкуренції виробників на міжнародному ринку однорідного товару за умови, що стратегічні змінні виробників є випадковими величинами. Виділено клас розподілів випадкових змінних, який гарантує існування розв'язку безкоаліційних ігор, що описують міжнародну торгівлю. У побудованих моделях встановлено явні формули для «виправленої» рівноваги за Нешем.

Ключові слова: кількісна конкуренція, стратегія, задача міжнародної торгівлі, теоретико-ігрова модель, «виправлена» рівновага за Нешем.

Прийняття економічних рішень здебільшого відбувається в умовах невизначеності. Це має місце і в міжнародній торгівлі [1]. Стратегічні рішення виробників товару формуються в умовах відсутності точної інформації про ринковий попит і обсяг випуску товару, зокрема, якщо виробник виходить на ринок вперше або представляє ринок якісно нових товарів. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні моделей конкуренції, які враховують притаманну виробникам невизначеність і, як наслідок, випадковий характер прийняття рішень. Побудова та дослідження таких моделей є актуальним завданням, оскільки їхнє призначення — адекватно та правдиво відобразити реальний, не ідеалізований економічний процес.

КІЛЬКІСНА КОНКУРЕНЦІЯ З ВИПАДКОВИМ ОБСЯГОМ ВИПУСКУ ТОВАРУ ЕКСПОРТЕРОМ

Розглянемо теоретико-ігрову модель задачі кількісної конкуренції на міжнародному ринку, коли рівноважна ціна на товар встановлюється на основі рішень виробників про обсяг випуску, попит та пропозицію [1, 2]. Вважатимемо, що ринок деякого однорідного товару представлений двома виробниками — зовнішнім (експортер) та внутрішнім («свій» виробник на внутрішньому ринку країни) підприємствами. Обидва виробники прагнуть максимізувати власний очікуваний прибуток шляхом прийнятття оптимальних стратегічних рішень [3, 4]. Припустимо, що обсяг випуску товару зовнішнім підприємством (надалі — першим виробником) є випадковим, а внутрішнє підприємство (надалі — другий виробник) у той самий час використовує детерміновану стратегію.

Нехай обсяг q_1 випуску товару першим виробником — випадкова величина із щільністю розподілу $f(x;\lambda)$, де $\lambda>0$ — змінюваний параметр розподілу (невідомий на момент початку взаємодії виробників), а функція $f(x;\lambda)$ така, що $Eq_1<\infty$, $Eq_1^2<\infty$ $\forall\lambda>0$, $E(\cdot)$ — оператор математичного сподівання. Обсяг випуску товару першим виробником випадковий, тому свій очікуваний прибуток це підприємство максимізує, обираючи як стратегію поведінки очікуваний обсяг випуску Eq_1, причому $Eq_1=\int xf(x;\lambda)dx=\varphi(\lambda)$. Крім сталих витрат виробництва з першого виробника, який є зовнішнім підприємством, стягуються також тарифні платежі t за ввезення одиниці товару.

У роботі [5] кількісну конкурентну взаємодію двох виробників з випадковим обсягом випуску товару одним із них представлено як гру $G_1^{(2)}$ у нормальній формі

$$G_1^{(2)} = (I, \{S_i\}, \{E\pi_i(Eq_1, q_2)\}, i \in I),$$

де $I = \{1, 2\}$ — множина гравців, S_i — множина допустимих стратегій гравця i, $E\pi_i(Eq_1, q_2)$ — функція виграшу (очікуваний прибуток) гравця i, $i \in I$.

Знайдемо «виправлену» рівновагу за Нешем [5] у грі $G_1^{(2)}$ у випадку конкуренції на міжнародному ринку. Шуканий набір стратегій позначимо $q^* = ((Eq_1)^*, (q_2)^*)$.

У задачі, що розглядається,

$$E\pi_1(Eq_1, q_2) = E\left(q_1 D^{-1}\left(\sum_{j\in I} q_j \right) - c_1(q_1) - tq_1 \right),$$

$$E\pi_2(Eq_1, q_2) = E\left(q_2 D^{-1}\left(\sum_{j\in I} q_j \right) - c_2(q_2) \right),$$

де $D^{-1}\left(\sum_{j\in I} q_j \right)$ — обернена функція ринкового попиту на товар, $c_i(q_i)$ — функція витрат виробника, $i \in I$, t — тарифні платежі.

Модель незалежної конкурентної поведінки виробників визначається задачами максимізації їхніх очікуваних прибутків:

для першого виробника

$$E\left(q_1 D^{-1}\left(\sum_{j\in I} q_j \right) - c_1(q_1) - tq_1 \right) \to \max_{Eq_1 \in S_1}, \tag{1}$$

для другого виробника

$$E\left(q_2 D^{-1}\left(\sum_{j\in I} q_j \right) - c_2(q_2) \right) \to \max_{q_2 \in S_2}. \tag{2}$$

Нехай обернена функція попиту (ціна) на товар є лінійною, тобто $D^{-1}(q_1 + q_2) = a - b(q_1 + q_2)$, де $a > 0$ — потенціал ринку, $b > 0$ — показник еластичності попиту на ринку. Для лінійних функцій витрат очікуваний прибуток першого виробника становить

$$E\pi_1(Eq_1, q_2) = aEq_1 - bEq_1^2 - bq_2 Eq_1 - c_1 Eq_1 - tEq_1, \tag{3}$$

де $Eq_1^2 = \overline{\varphi}(\lambda)$. У силу функціональної залежності між λ та Eq_1 отримуємо $Eq_1^2 = \overline{\varphi}(\varphi^{-1}(Eq_1)) = \psi(Eq_1)$; отже (3) набуває вигляду

$$E\pi_1(Eq_1, q_2) = aEq_1 - b\psi(Eq_1) - bq_2 Eq_1 - c_1 Eq_1 - tEq_1. \tag{4}$$

Використовуючи детерміновану стратегію, другий виробник максимізує свій очікуваний прибуток

$$E\pi_2(Eq_1, q_2) = aq_2 - bq_2^2 - bq_2 Eq_1 - c_2 q_2. \tag{5}$$

З урахуванням (4)–(5) задачі (1)–(2) набувають вигляду

$$aEq_1 - b\psi(Eq_1) - bq_2Eq_1 - c_1Eq_1 - tEq_1 \to \max_{Eq_1 \in S_1}, \tag{6}$$

$$aq_2 - bq_2^2 - bq_2Eq_1 - c_2q_2 \to \max_{q_2 \in S_2}. \tag{7}$$

Реакція виробника на дію конкурента визначається розв'язком задач (6)–(7) для фіксованого (очікуваного) обсягу випуску товару конкурентом.

Теорема 1 (про форму «виправленої» рівноваги за Нешем у грі $G_1^{(2)}$ в умовах міжнародної конкуренції). Нехай виконуються такі умови:

1) $c_1 = c_2 = c$,

2) функція $\psi(Eq_1)$ належить класу квадратичних за змінною Eq_1, $\psi(Eq_1) = k_1(Eq_1)^2 + k_2Eq_1 + k_3$, де $k_1 > 0, k_2, k_3$ — деякі константи.

Тоді для

$$a - c > 2t, \tag{8}$$

$$k_1 > \frac{1}{4}, \tag{9}$$

$$-\frac{(a-c)(2k_1-1)-t}{b} \le k_2 \le \frac{a-c-2t}{2b} \tag{10}$$

набір очікуваного та детермінованого обсягів випуску товару відповідно першим та другим виробниками

$$(Eq_1)^* = \frac{a-c-2bk_2-2t}{(4k_1-1)b}, \tag{11}$$

$$(q_2)^* = \frac{(a-c)(2k_1-1)+bk_2+t}{(4k_1-1)b} \tag{12}$$

є «виправленою» рівновагою за Нешем у грі $G_1^{(2)}$ в умовах міжнародної конкуренції.

Доведення. Згідно з умовами теореми функції виграшу (4) та (5) гравців набувають виду

$$E\pi_1(Eq_1, q_2) = aEq_1 - b(k_1(Eq_1)^2 + k_2Eq_1 + k_3) - bq_2Eq_1 - cEq_1 - tEq_1,$$

$$E\pi_2(Eq_1, q_2) = aq_2 - bq_2^2 - bq_2Eq_1 - cq_2.$$

Можна побачити, що функція $E\pi_1(Eq_1, q_2)$ є опуклою за змінною Eq_1, а функція $E\pi_2(Eq_1, q_2)$ — за q_2. Тому оптимальний (очікуваний) обсяг випуску товару виробником для фіксованого (очікуваного) обсягу випуску товару конкурентом знаходимо з умов оптимальності першого порядку для відповідних задач.

Задачі (6)–(7) максимізації функції виграшу гравця для фіксованого (очікуваного) обсягу випуску товару конкурентом мають такий вигляд:

для першого виробника

$$aEq_1 - b(k_1(Eq_1)^2 + k_2Eq_1 + k_3) - bq_2Eq_1 - cEq_1 - tEq_1 \to \max_{Eq_1 \in S_1}, \tag{13}$$

для другого виробника

$$aq_2 - bq_2^2 - bq_2Eq_1 - cq_2 \to \max_{q_2 \in S_2}. \tag{14}$$

Запишемо умови оптимальності для задач (13)–(14):

$$\frac{\partial(E\pi_1(Eq_1, q_2))}{\partial(Eq_1)} = 0, \quad \frac{\partial(E\pi_2(Eq_1, q_2))}{\partial q_2} = 0$$

або

$$\frac{\partial(aEq_1 - b(k_1(Eq_1)^2 + k_2Eq_1 + k_3) - bq_2Eq_1 - cEq_1 - tEq_1)}{\partial(Eq_1)} = 0,$$

$$\frac{\partial(aq_2 - bq_2^2 - bq_2Eq_1 - cq_2)}{\partial q_2} = 0.$$

Розв'язок $q^* = ((Eq_1)^*, (q_2)^*)$ системи рівнянь

$$\begin{cases} (Eq_1)^* = \dfrac{a - c - t - bk_2}{2bk_1} - \dfrac{1}{2k_1}(q_2)^*, \\ (q_2)^* = \dfrac{a-c}{2b} - \dfrac{1}{2}(Eq_1)^* \end{cases}$$

є «виправленою» рівновагою за Нешем у грі $G_1^{(2)}$ [5] в умовах міжнародної конкуренції.

Дійсно, знайдений рівноважний набір очікуваного та детермінованого обсягів випуску товару відповідно першим та другим виробниками

$$(Eq_1)^* = \frac{a - c - 2bk_2 - 2t}{(4k_1 - 1)b}, \quad (q_2)^* = \frac{(a-c)(2k_1 - 1) + bk_2 + t}{(4k_1 - 1)b}$$

задовольняє одночасно нерівностям $E\pi_1(q^*) \geq E\pi_1(Eq_1, (q_2)^*)$ $\forall Eq_1 \in S_1$ та $E\pi_2(q^*) \geq E\pi_2((Eq_1)^*, q_2)$ $\forall q_2 \in S_2$. Умови (8)–(10) теореми забезпечують невід'ємність рівноважних очікуваних обсягів випуску. Теорему доведено. □

Зауважимо, що якщо q_1 — детермінована величина, то $Eq_1^2 = q_1^2$. З іншого боку, з умови 2) теореми 1 маємо $Eq_1^2 = k_1q_1^2 + k_2q_1 + k_3$. Очевидно, що цій ситуації відповідають значення $k_1 = 1$, $k_2 = 0$, $k_3 = 0$. Тому в разі детермінованості стратегій обох виробників формули (11)–(12) набувають вигляду $(q_1)^* = \dfrac{a - c - 2t}{3b}$, $(q_2)^* = \dfrac{a - c + t}{3b}$. Можна побачити, що рівноважний набір обсягів випуску товару для $b = 1$ збігається з отриманим раніше в [1] результатом.

Приклад 1. Нехай випадкова величина q_1 має показниковий розподіл зі змінюваним параметром розподілу λ. Тоді $Eq_1 = \dfrac{1}{\lambda}$, $Eq_1^2 = \dfrac{2}{\lambda^2}$. Можна побачити, що в цьому випадку $Eq_1^2 = 2(Eq_1)^2$, а отже, виконується умова 2) теореми 1, причому $k_1 = 2$, $k_2 = 0$, $k_3 = 0$. Якщо витрати симетричні ($c_1 = c_2 = c$), а тарифні платежі такі, що $t < \dfrac{a-c}{2}$, то згідно з теоремою 1 маємо $(Eq_1)^* = \dfrac{a - c - 2t}{7b}$, $(q_2)^* = \dfrac{3(a-c) + t}{7b}$.

Приклад 2. Нехай обсяг q_1 випуску товару першим виробником є випадковою величиною, рівномірно розподіленою на відрізку $[\alpha, \beta]$ зі змінюваною верхньою межею, $\beta > \alpha > 0$, α — деяка константа. Тоді $Eq_1 = \frac{\alpha+\beta}{2}$, $Eq_1^2 = \frac{(\alpha+\beta)^2 - \alpha\beta}{3}$. Можна побачити, що в цьому випадку $Eq_1^2 = \frac{4(Eq_1)^2 - 2\alpha Eq_1 + \alpha^2}{3}$, а отже, виконується умова 2) теореми 1, причому $k_1 = \frac{4}{3}$, $k_2 = -\frac{2\alpha}{3}$, $k_3 = \frac{\alpha^2}{3}$. Для симетричних витрат та $t < \frac{a-c}{2}$ за теоремою 1 маємо $(Eq_1)^* = \frac{3(a-c)+4\alpha b - 6t}{13b}$, $(q_2)^* = \frac{5(a-c)-2\alpha b+3t}{13b}$.

МІЖНАРОДНА КІЛЬКІСНА КОНКУРЕНЦІЯ ВИРОБНИКІВ З ВИПАДКОВИМИ ОБСЯГАМИ ВИПУСКУ ТОВАРУ

Розглянемо тепер випадок, коли обсяги випуску товару обома виробниками не є детермінованими. Нехай обсяг q_i випуску товару підприємством i ($i \in I$, $I = \{1, 2\}$) є випадковою величиною із щільністю розподілу $f_i(x_i; \lambda_i)$, де $\lambda_i > 0$ — змінюваний параметр розподілу. Будемо вважати q_i незалежними в теоретико-ймовірнісному сенсі. Нехай функції $f_i(x_i; \lambda_i)$ такі, що $Eq_i < \infty$, $Eq_i^2 < \infty$ $\forall \lambda_i > 0$, $i \in I$. Оскільки обсяги випуску товару виробниками є випадковими, то свій очікуваний прибуток кожне підприємство максимізує, приймаючи рішення про величину очікуваного обсягу випуску Eq_i, причому $Eq_i = \int x_i f_i(x_i; \lambda_i)\, dx_i = \varphi_i(\lambda_i)$.

Розглянемо гру, яка описує кількісну конкурентну взаємодію двох виробників з випадковими обсягами випуску товару [5]

$$G_2^{(2)} = (I, \{S_i\}, \{E\pi_i(Eq_1, Eq_2)\}, i \in I),$$

де $I = \{1, 2\}$ — множина гравців, S_i — множина допустимих стратегій гравця i, $E\pi_i(Eq_1, Eq_2)$ — функція виграшу (очікуваний прибуток) гравця i, $i \in I$.

Знайдемо «виправлену» рівновагу за Нешем [5] у грі $G_2^{(2)}$ у випадку конкуренції на міжнародному ринку. Шуканий набір стратегій позначимо $q^* = ((Eq_1)^*, (Eq_2)^*)$.

Задачі максимізації очікуваних прибутків мають такий вигляд:

для першого виробника

$$E\pi_1(Eq_1, Eq_2) \to \max_{Eq_1 \in S_1}, \tag{15}$$

для другого виробника

$$E\pi_2(Eq_1, Eq_2) \to \max_{Eq_2 \in S_2}, \tag{16}$$

де

$$E\pi_1(Eq_1, Eq_2) = E\left(q_1 D^{-1}\left(\sum_{j \in I} q_j \right) - c_1(q_1) - tq_1 \right),$$

$$E\pi_2(Eq_1, Eq_2) = E\left(q_2 D^{-1}\left(\sum_{j \in I} q_j \right) - c_2(q_2) \right),$$

$D^{-1}\left(\sum_{j \in I} q_j \right)$ — обернена функція ринкового попиту на товар, $c_i(q_i)$ — функція витрат виробника, $i \in I$, t — тарифні платежі.

У тому разі, коли функції витрат та обернена функція попиту на товар є лінійними, очікуваний прибуток становить:

для першого виробника

$$E\pi_1(Eq_1, Eq_2) = aEq_1 - bEq_1^2 - bE(q_1 q_2) - c_1 Eq_1 - tEq_1, \tag{17}$$

для другого виробника

$$E\pi_2(Eq_1, Eq_2) = aEq_2 - bEq_2^2 - bE(q_1 q_2) - c_2 Eq_2, \tag{18}$$

де $Eq_i^2 = \overline{\varphi}_i(\lambda_i)$, $i \in I$.

Враховуючи незалежність випадкових величин q_1 і q_2 та функціональний зв'язок між λ_i і Eq_i, отримуємо $Eq_i^2 = \overline{\varphi}_i(\varphi_i^{-1}(Eq_i)) = \psi_i(Eq_i)$. Тоді з (17) та (18) маємо

$$E\pi_1(Eq_1, Eq_2) = aEq_1 - b\psi_1(Eq_1) - bEq_1 Eq_2 - c_1 Eq_1 - tEq_1, \tag{19}$$

$$E\pi_2(Eq_1, Eq_2) = aEq_2 - b\psi_2(Eq_2) - bEq_1 Eq_2 - c_2 Eq_2. \tag{20}$$

Отже, задачі (15)–(16) набувають вигляду

$$aEq_1 - b\psi_1(Eq_1) - bEq_1 Eq_2 - c_1 Eq_1 - tEq_1 \to \max_{Eq_1 \in S_1}, \tag{21}$$

$$aEq_2 - b\psi_2(Eq_2) - bEq_1 Eq_2 - c_2 Eq_2 \to \max_{Eq_2 \in S_2}. \tag{22}$$

Якщо очікуваний обсяг випуску товару конкурента є фіксованим, то розв'язок задач (21)–(22) визначає реакцію виробника на дію його конкурента.

Теорема 2 (про форму «виправленої» рівноваги за Нешем у грі $G_2^{(2)}$ в умовах міжнародної конкуренції). Нехай виконуються такі умови:

1) $c_1 = c_2 = c$,

2) функція $\psi_i(Eq_i)$ належить класу квадратичних за змінною Eq_i, $\psi_i(Eq_i) = k_1^{(i)}(Eq_i)^2 + k_2^{(i)} Eq_i + k_3^{(i)}$, де $k_1^{(i)} > 0, k_2^{(i)}, k_3^{(i)}$ — деякі константи.

Тоді для

$$k_1^{(1)} k_1^{(2)} > \frac{1}{4}, \tag{23}$$

$$k_2^{(1)} < \frac{a-c-t}{b}, \tag{24}$$

$$\frac{2k_1^{(2)}(bk_2^{(1)} + t) - (a-c)(2k_1^{(2)} - 1)}{b} \le k_2^{(2)} \le \frac{(a-c)(2k_1^{(1)} - 1) + bk_2^{(1)} + t}{2k_1^{(1)} b} \tag{25}$$

набір очікуваних обсягів випуску товару відповідно першим та другим виробниками

$$(Eq_1)^* = \frac{2k_1^{(2)}(a - c - bk_2^{(1)} - t) - (a - c - bk_2^{(2)})}{(4k_1^{(1)} k_1^{(2)} - 1)b}, \tag{26}$$

$$(Eq_2)^* = \frac{2k_1^{(1)}(a - c - bk_2^{(2)}) - (a - c - bk_2^{(1)} - t)}{(4k_1^{(1)} k_1^{(2)} - 1)b} \tag{27}$$

є «виправленою» рівновагою за Нешем у грі $G_2^{(2)}$ в умовах міжнародної конкуренції.

Доведення. Згідно з умовами цієї теореми функції виграшу (19) та (20) гравців набувають вигляду

$$E\pi_1(Eq_1, Eq_2) = aEq_1 - b\left(k_1^{(1)}(Eq_1)^2 + k_2^{(1)} Eq_1 + k_3^{(1)}\right) - bEq_1 Eq_2 - cEq_1 - tEq_1,$$

$$E\pi_2(Eq_1, Eq_2) = aEq_2 - b\left(k_1^{(2)}(Eq_2)^2 + k_2^{(2)} Eq_2 + k_3^{(2)}\right) - bEq_1 Eq_2 - cEq_2.$$

Знайдемо оптимальний очікуваний обсяг випуску товару виробником для фіксованого очікуваного обсягу випуску товару конкурентом. Можна побачити, що функції $E\pi_1(Eq_1, Eq_2)$ та $E\pi_2(Eq_1, Eq_2)$ є опуклими за змінними Eq_1 та Eq_2, відповідно.

Задачі максимізації функції виграшу гравця (21)–(22) для фіксованого очікуваного обсягу випуску товару конкурентом мають такий вигляд:

для першого виробника

$$(a-c-t-bk_2^{(1)})Eq_1 - bk_1^{(1)}(Eq_1)^2 - bEq_1Eq_2 - bk_3^{(1)} \to \max_{Eq_1 \in S_1}, \qquad (28)$$

для другого виробника

$$(a-c-bk_2^{(2)})Eq_2 - bk_1^{(2)}(Eq_2)^2 - bEq_1Eq_2 - bk_3^{(2)} \to \max_{Eq_2 \in S_2}. \qquad (29)$$

Запишемо умови оптимальності для задач (28)–(29):

$$\frac{\partial(E\pi_1(Eq_1, Eq_2))}{\partial(Eq_1)} = 0, \qquad \frac{\partial(E\pi_2(Eq_1, Eq_2))}{\partial(Eq_2)} = 0,$$

або

$$a-c-t-bk_2^{(1)} - 2bk_1^{(1)}Eq_1 - bEq_2 = 0,$$
$$a-c-bk_2^{(2)} - 2bk_1^{(2)}Eq_2 - bEq_1 = 0.$$

Розв'язок $q^* = ((Eq_1)^*, (Eq_2)^*)$ системи рівнянь

$$\begin{cases} (Eq_1)^* = \dfrac{a-c-t-bk_2^{(1)}}{2bk_1^{(1)}} - \dfrac{1}{2k_1^{(1)}}(Eq_2)^*, \\ (Eq_2)^* = \dfrac{a-c-bk_2^{(2)}}{2bk_1^{(2)}} - \dfrac{1}{2k_1^{(2)}}(Eq_1)^* \end{cases}$$

є «виправленою» рівновагою за Нешем [5] у грі $G_2^{(2)}$ в умовах міжнародної конкуренції. Дійсно, знайдений рівноважний набір очікуваних обсягів випуску товару відповідно першим та другим виробниками

$$(Eq_1)^* = \frac{2k_1^{(2)}(a-c-bk_2^{(1)}-t) - (a-c-bk_2^{(2)})}{(4k_1^{(1)}k_1^{(2)}-1)b},$$

$$(Eq_2)^* = \frac{2k_1^{(1)}(a-c-bk_2^{(2)}) - (a-c-bk_2^{(1)}-t)}{(4k_1^{(1)}k_1^{(2)}-1)b}$$

задовольняє одночасно нерівностям $E\pi_1(q^*) \ge E\pi_1(Eq_1, (Eq_2)^*)$ $\forall Eq_1 \in S_1$ та $E\pi_2(q^*) \ge E\pi_2((Eq_1)^*, Eq_2)$ $\forall Eq_2 \in S_2$. Умови (23)–(25) теореми забезпечують невід'ємність рівноважних (очікуваних) обсягів випуску. Теорему доведено. □

Зауважимо, що отримані результати добре узгоджуються з відомими [1]. Дійсно, у випадку детермінованості стратегій обох виробників формули (26)–(27) набувають вигляду $(q_1)^* = \dfrac{a-c-2t}{3b}$, $(q_2)^* = \dfrac{a-c+t}{3b}$, а для $b=1$ маємо $(q_1)^* = \dfrac{a-c-2t}{3}$, $(q_2)^* = \dfrac{a-c+t}{3}$.

Приклад 3. Нехай випадкові величини q_1 та q_2 є незалежними і розподіленими за показниковим законом зі змінюваним параметром розподілу λ. З теореми 2 для $c_1 = c_2 = c$, $k_1^{(1)} = k_1^{(1)} = 2$ та $k_2^{(1)} = k_2^{(2)} = k_3^{(1)} = k_3^{(2)} = 0$ отримуємо $(Eq_1)^* = \dfrac{3(a-c)-4t}{15b}$, $(Eq_2)^* = \dfrac{3(a-c)+t}{15b}$.

Запропонований у статті ймовірнісний підхід дає змогу побудувати та дослідити теоретико-ігрові моделі міжнародної конкуренції виробників з випадковими стратегічними змінними. Побудовані моделі враховують невизначеність під час прийняття виробниками стратегічних рішень у міжнародній торгівлі і більш правдиво відображають конкуренцію на реальних ринках порівняно з класичними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фахретдинова В.А. Теоретико-игровая модель задачи международной торговли при неопределенности. *Вестник ПсковГУ. Серия: Естественные и физико-математические науки*. 2014. № 5. С. 173–176.
2. Cournot A. Researches into the mathematical principles of the theory of wealth. English edition of Cournot (1838) translated by N.T. Bacon. New York: A.M. Kelley, 1971. 213 p.
3. Nash J. Equilibrium points in *N*-person games. *Proc. Nat. Academ. Sci. USA* (Jan. 15, 1950). 1950. Vol. 36, N 1, P. 48–49.
4. Фон Нейман Дж., Моргенштерн Э. Теория игр и экономическое поведение. Москва: Наука, 1970. 708 с.
5. Kosarevych K.V., Yelejko Ya.I. Game theoretic models of competition between producers with random product yields under duopoly of differentiated goods. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2015. Vol. 51, N 4. P. 609–618.

Надійшла до редакції 11.04.2018

Е.В. Косаревич, Я.И. Елейко

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД В ЗАДАЧЕ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНКУРЕНЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПЕРЕМЕННЫМИ

Аннотация. Построены теоретико-игровые модели конкуренции производителей на международном рынке однородного товара при условии, что стратегические переменные производителей являются случайными величинами. Выделен класс распределений случайных переменных, который гарантирует существование решения бескоалиционных игр, описывающих международную торговлю. В построенных моделях установлены явные формулы для «исправленного» равновесия по Нэшу.

Ключевые слова: количественная конкуренция, стратегия, задача международной торговли, теоретико-игровая модель, «исправленное» равновесие по Нэшу.

K.V. Kosarevych, Ya.I. Yelejko

PROBABILISTIC APPROACH IN THE PROBLEM OF INTERNATIONAL COMPETITION OF PRODUCERS WITH RANDOM VARIABLES

Abstract. Game-theoretical models of producers' competition in the international market of a homogeneous product are constructed provided that the strategic variables of the producers are random. A class of distributions of random variables that guarantees the existence of a solution to non-cooperative games describing international trade is distinguished. Explicit formulas for the "corrected" Nash equilibrium are established in the constructed models.

Keywords: quantitative competition, strategy, problem of international trade, game-theoretical model, "corrected" Nash equilibrium.

Косаревич Катерина Вікторівна,
кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри Львівського національного університету імені Івана Франка,
e-mail: kosarevych_ktps@ukr.net

Єлейко Ярослав Іванович,
доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри Львівського національного університету імені Івана Франка, e-mail: yikts@yahoo.com