

РОЗДІЛ 8. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

ДО МОДЕЛЮВАННЯ РИНКУ ЄВРОПИ НА ПРИРОДНИЙ ГАЗ TO MODELING OF THE EUROPE'S MARKET FOR NATURAL GAS

УДК 519.8

Горбачук В.М.

д.ф.-м.н.,
старший науковий співробітник
Інститут кібернетики
імені В.М. Глушкова
Національної академії наук України

Морозов О.О.

менеджер, Deloitte

Неботов П.Г.

директор,
Державний науково-дослідний інститут
інформатизації та моделювання
економіки
Міністерства економічного розвитку
і торгівлі України

На недосконалому ринку характер цін є наслідком поведінки фірми-продавця. Приклад ринку Європи на природний газ сприяє розумінню того, як підтримувати рішення фірми щодо продажів, комбінуючи параметри поведінки і сегментів ринку. Хоча цей ринок вважають неконкурентним, слід брати до уваги також поведінку фірми як ціноотримувача на цьому ринку.

Ключові слова: недосконала конкуренція, цінова дискримінація, ринкова поведінка, міжнародна торгівля, дерегуляція.

На несовершенном рынке характер цен является следствием поведения фирмы-продавца. Пример рынка Европы на природный газ способствует пониманию того, как поддерживать решение фирмы относительно продаж, комбинируя параметры поведения и сегментов рынка. Хотя этот

рынок считают неконкурентным, следует учитывать также поведение фирмы как ценополучателя на этом рынке.

Ключевые слова: несовершенная конкуренция, ценовая дискриминация, рыночное поведение, международная торговля, дерегуляция.

The price pattern on imperfect market results from the behavior of a firm-seller. The case of Europe's market on natural gas gives the understanding how to support a decision of firm sales combining the parameters of behavior and market segments. While that market is viewed as a non-competitive one, the behavior of firm as a price taker on this market should be investigated as well.

Key words: imperfect competition, price discrimination, market behavior, international trade, deregulation.

Постановка проблеми. Підтримка прийняття рішень продавцем потребує економічного аналізу ринків з погляду конкуренції та ціноутворення. Різна поведінка продавця (наприклад, поведінка на ринках досконалої і недосконалої конкуренції) на просторовому ринку веде до помітно відмінних цін [29]. Якщо постачальники мають ринкову владу, різні розташування та витрати на постачання до окремих сегментів ринку, то ціни залежатимуть від поведінки постачальників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На поведінку й результати галузі впливають її специфіка та пріоритети корпоративної сторони, яка приймає рішення і здійснює ринкові продажі. Теорія просторової рівноваги торкається, насамперед, рішень розташування окремих фірм на ринку [29], враховуючи просторову цінову дискримінацію Бертрана чи Курно [25, 27].

Коли розташування задані, необхідно приймати рішення щодо ціноутворення [6]. Розташування фірм і ступінь їхньої конкуренції впливають на ціни [5, 24]. Зосередимося на часовому горизонті у кілька років, на якому задані розташування і потужності фірм. Теорія міжнародної торгівлі дозволяє вивчати стратегії, спрямовані на модифікації характеру торгівлі [14, 15] (один з авторів роботи [15] – Нобелівський лауреат 2008 р.)

Дослідження реальних ринків, скажімо, міжнародних товарних ринків, використовує не аналітичні, а числові моделі, які допускають різноманітну асиметрію чи деталізацію галузей. Незважаючи на свою поширеність, парадигма просторової конкурентної рівноваги має суттєві недоліки, серед яких виділяється неза-

довільне пояснення характеру торгівлі [31]. Можна показати інший недолік цієї парадигми на прикладі характеру цін, обчислюючи рівноважні ціни за різних припущень стосовно поведінки постачальників [32].

Постановка завдання. Мета роботи – з'ясувати, яке припущення стосовно поведінки постачальників краще відповідає реальним спостереженням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ціни – невід'ємна частина економічної рівноваги. Ціни мотивують учасників досягати рівноваги, хоча предметом економічного аналізу частіше є соціально-економічні питання, стратегії сприяння інвестиціям у виробничі потужності чи інфраструктуру, зміни організаційної структури (дерегуляція, лібералізація чи картелізація галузі), перебіг постачання [23]. Характер цін важливий для всіх без винятку фірм галузі. Економічний аналіз може зосереджуватися на агрегованих мірах регіонального чи глобального виробництва, споживання, добробуту і не брати до уваги цінову інформацію, яка виникає при моделюванні.

Про важливість моделювання особливих рис свідчить припущення Армінгтона про чистий імпорт для розробки моделі, яка пояснює і передбачає характер порівняльної переваги між багатьох регіонів. Це припущення означає екзогенний характер торгівлі: якщо регіон є нетто-імпортером у даному періоді, то залишатиметься нетто-імпортером у всі наступні періоди. Тому це припущення занадто спрощує пояснення торгівлі [26]. Крім того, це припущення не може замінити моделювання недосконалої конкуренції (олігополістичної взаємодії) для оцінки впливу лібералізації торгівлі на характер торгівлі у межах галузі [34].

Аналогічно оцінювання торгівлі та добробуту потребує методів індустріальної організації [2, 9].

На агрегованому рівні ринок Європи на природний газ визначається попитом і пропозицією. Робота цього ринку також залежить від його особливостей – природи продуктів, числа продавців і покупців, трансакційних витрат, ступеня економії за рахунок масштабу виробництва і розподілу, часових і просторових параметрів, невизначеностей у довгостроковому розвитку тощо.

За винятком низькокалорійного газу біля м.Гронінген (Нідерланди), газ з інших родовищ змішується у трубопроводах. Важлива природа продукту: загалом природний газ вважається однорідним продуктом, хоча споживачі можуть надавати перевагу поставкам від конкретного продавця, виходячи з інших умов продажу, наприклад, умов безпеки та надійності. Тоді при цінній конкуренції теорія передбачає закон однієї ціни: тести коінтеграції показують, що різні ціни газу на кордонах Німеччини [7] чи Франції [8] з часом змінюються пропорційно, вказуючи на інтегрованість ринку.

Число гравців теж характеризує моделі галузі природного газу Європи. У цій галузі є кілька дуже великих постачальників (які перекачують і розподіляють продукт) і споживачів, хоча малі споживачі становлять більшість. Нечисленність і розмір гравців означають ринкову владу, тобто здатність впливати на ціну. Нечисленність виробників продукту пов'язана з наявністю ресурсів: мало країн мають великі запаси природного газу. Більше того, право на видобуток надають лише декільком компаніям. Нечисленність гравців у транспортуванні продукту спричинена великою економією від масштабу стосовно розміру трубопроводу у термінах його прокладання й експлуатування. Мережі передачі та розподілу природного газу є прикладами природних монополій. Незважаючи на стимул до встановлення великих потужностей, наявні трубопроводи чи монополістична конкуренція можуть стримувати потоки природного газу й заважати доступу деяких продавців до ринку, перешкоджаючи конкуренції. Окремого аналізу потребує визначення стратегічної цінності додаткового трубопроводу, скажімо, трубопроводу North Stream з Російської Федерації (РФ) через Балтійське море [30], зважаючи на парадокс Браесса.

Нехай один або кілька виробників В продають природний газ транспортній компанії Т, яка його перекачує і перепродає кінцевим споживачам С. Виробники користуються ринковою владою ВТ відносно транспортувальників як ціноотримувачів; водночас транспортувальники користуються ринковою владою ТВ відносно виробників як ціноотримувачів. Аналогічно транспортувальники користуються ринковою владою ТС відносно споживачів, а споживачі користуються ринковою владою СТ відносно транспортувальників. Комбінації цих взаємозв'язків через ринкову владу ускладнюють моделювання і створюють проблему однозначності розв'язку моделі.

Взаємозв'язок (через ринкову владу) ВТ моделюється олігополією виробників, а через ринкову владу ТВ – олігопсонією покупців. Поведінку олігополії вивчає відома у теорії некооперативних ігор модель Курно. Комбінація взаємозв'язків ВТ і ТС задає послідовну ринкову владу від В до Т, а потім від Т до С. Комбінація взаємозв'язків ТС і ТВ задає ринкову владу транспортувальника як на ринку факторів, так і на ринку продуктів.

Комбінація взаємозв'язків ВТ і ТВ говорить про ринкову владу обох сторін – В і Т, тобто про так звану двосторонню монополію, яка характеризується множинністю розв'язків відповідної моделі. Проблему однозначності розв'язку моделі можна розв'язувати, використовуючи поняття рішення поділу Неша з кооперативної теорії ігор [28].

Простір є важливим чинником ринку Європи на природний газ, зважаючи на великі відстані до Центральної Європи від головних родовищ в Алжирі, Норвегії, РФ, а також на істотні відстані між різними регіонами-споживачами. Ці відстані впливають на ціни даного постачальника у різних регіонах, а відтак на його рішення про постачання різних регіонів.

Час також є чинником ринку Європи на природний газ. В економічній теорії добувні галузі вивчаються з точки зору оптимальних за часовими періодами шляхів вичерпування ресурсів [16]. При ускладненні ринкових стратегій за наявності ряду чинників часу нерідко надається вищий пріоритет, ніж простору. Оскільки проміжок часу між рішенням розробляти родовище чи будувати великий трубопровід і відповідними поставками на ринок вимірюється роками, а інвестиційні витрати вимірюються мільярдами доларів, то майбутні ринкові умови й економічна доцільність проекту будуть доволі невизначеними, а виробники наполягатимуть на довгострокових контрактах про незворотні стратегічні інвестиції [36]. Контракт зазначає досить докладні умови про обсяги й ціни, які допускають гнучку адаптацію його сторін до нових умов. Крім того, сподівання на нові контракти у майбутньому сприяє готовності сторін переглядати положення існуючих контрактів. Таким чином, ринок Європи на природний газ можна аналізувати, зважаючи ціни достатньо гнучкими для врівноваження попиту і пропозиції [7].

Один з аспектів чинників часу – сезонність протягом року: деякі споживачі мають попит на природний газ взимку значно вищий, ніж влітку. Тоді при дорогих виробничих потужностях може бути вигідніше орієнтуватися на середній рівень виробництва та використовувати запас для балансування сезонного попиту, а також допускати збільшення зимової спотової ціни (ціноутворення пікового навантаження). Для цього використовуються газосховища України.

Вищезгадані риси та численні характеристики кожного чинника ринку потрібні для деяких досліджень. Хоча сучасні комп'ютери мають величезну обчислювальну потужність, окремий клас досліджень

не потребуватиме всіх деталей. До того ж мета моделювання – підтримка прийняття рішень, а не прийняття рішень зі всіма наслідками. Тому корисно розуміти механізми ринкової моделі та обґрунтування її розв'язків.

Звернімо увагу на моделі, які можуть підтримувати аналіз формування цін у середньостроковому періоді. Модель торгівлі газом, розроблена в лабораторії системної оптимізації Стенфордського університету [10], – одна з перших спроб моделювання ринку природного газу. Подібна модель була застосована для Європи [13]. Ця багаторегіональна транспортна модель припускає, що з боку попиту і пропозиції спостерігається поведінка ціноотримувачів. Така модель відстежує питому вартість транспортування різними шляхами товару між пунктами відправлення і призначення. Мережева модель може також містити проміжні вузли, які не є пунктами відправлення або призначення.

Знаючи, що на ринку газу Європи домінує мало гравців, аналізувалася різна поведінка продавців – як ціноотримувачів, олігополістів або змовників [32, 33]. Виявилось, що поведінка продавців (Алжиру, Норвегії, СРСР), як олігополіт Курно, краще пояснювала спостережуваний характер продажів, цін і прибутків галузі. Торгівля природним газом в Європі відбувалася, головним чином, через довгострокові контракти, а конкуренція – через зміни обсягів постачання газу [36]. У цей аналіз було включено мережу трубопроводів певних потужностей [33] для використання підрозділом маркетингу державної нафтогазової монополії Норвегії Statoil [19].

Аналіз виявив неконкурентну природу ринку газу Європи, де постають питання регулювання й дерегулювання [21, 22]. Відомі моделі торгівлі газом у Європі та світі основані на задачі доповнюваності, а моделі торгівлі газом у Північній Америці – на задачі оптимізації [20]. У багаторегіональній мережевій моделі ринку газу розглядалася послідовна олігополія [12] і подальша дезагрегація ланцюга вартості [17].

Водночас є моделі, основані на ідеї централізованого плановика, який оптимізує загальний суспільний добробут і передбачає постачання газу в Європу на довгостроковий період [11]. Транснаціональна компанія McKinsey запропонувала докладну модель дерегуляції ринку газу з великою кількістю родовищ, трубопроводів, видів споживачів, де всі гравці (зокрема, виробники) є ціноотримувачами [35].

Один з авторів роботи [35] – норвезький економіст Свейн Харальд Оейгард, який працює на керівних посадах у McKinsey, починаючи 1995 р., з перервою на лютий–серпень 2009 р., коли був запрошений очолити Центральний банк (ЦБ) Ісландії під час фінансово-економічної кризи. Наприкінці 2008 р. Ісландія, опинившись на межі банкрутства, націоналізувала всі найбільші банки. ЦБ Ісландії підняв облікову ставку до 18%, а уряд Ісландії подав у відставку. Вакансія голови ЦБ Ісландії виникла тоді, коли прем'єр-міністр

Ісландії Йоханна Сігурддоттір наполягла на зміні законодавства Ісландії, за якою голова ЦБ Ісландії має бути принаймні магістром економіки. Оейгард має науковий ступінь магістра економіки університету Осло, у 1990–1994 рр. працював державним секретарем Міністерства фінансів Норвегії у третьому кабінеті міністрів Гру Харлем Брундтланд.

Виробники природного газу Європи краще пристосовуються до умов ринкової дерегуляції, вищої конкуренції і нижчої споживчої ціни, ніж оптові й роздрібні продавці та газотранспортні компанії. Зазвичай дерегуляція на інших енергоринках Європи і США вела до перерозподілу добробуту від протитечійних до течійних гравців (через нижчі ціни виробників) і до споживачів (через роздрібні знижки).

Модель McKinsey, беручи до уваги структуру і динаміку ринку природного газу Європи [35], є важливим засобом для оцінювання інвестиційних можливостей у надзвичайно складній галузі природного газу Європи.

Ця модель припускає швидку дерегуляцію, виходячи з директив Європейського Союзу (ЄС), враховуючи потужності та витрати 500 наявних і можливих джерел газу, квартальні криві попиту на промислову енергогенерацію, споживання домогосподарств у 20 регіонах, вартості та потужності трубопроводів і газосховищ Європи.

Крім того, ця модель дозволяє імітувати сценарії, які беруть до уваги більшість факторів, необхідних для оцінювання ділових можливостей: політичні (національні виробничі обмеження внаслідок консервації ресурсів), регуляторні (податки на енергію та різні ступені лібералізації на різних ринках), комерційні (перспектива того, що газовиробники можуть налаштувати рівні свого виробництва та відповідні ціни до довгострокових реінвестиційних витрат).

Зазначені фактори свідчать про стійкість і робастність середньої ціни постачальника, який продає газ оптовим торговцям, скажімо, на спотовому ринку. Такими постачальниками є великі газовиробники Європи – Statoil, Royal Dutch Shell, Exxon Mobil, British Petroleum (BP), Газпром, Sonatrach.

Водночас дерегуляція вестиме до мінливіших цін безпосередньо через ланцюг цінності. Ціни газу, зв'язані з референтними цінами нафти у довгострокових газових контрактах, виявляють невелику сезонну мінливість, хоча взимку споживання газу вдвічі більше, ніж влітку. Цей зв'язок ціни газу з ціною нафти, мабуть, замінюватиметься на зв'язок з цінами ліквідного спотового ринку газу, що розвивається. Прогнозовані McKinsey сезонні цінові відмінності, спричинені вартістю потужностей зберігання газу, не перевищуватимуть 4 євроценти за кубічний метр газу.

У Міжнародному інституті прикладного системного аналізу (Лаксенбург, Австрія), Інституті кібернетики АН УРСР (Київ), Сибірському енергетичному інституті Сибірського відділення (СВ) АН СРСР (Іркутськ) [4, 18] досліджувалася імітаційна модель міжнарод-

ної нафтової торгівлі країн – членів ОПЕК [2, с. 11–15] (зараз Сибірський енергетичний інститут – це Інститут систем енергетики імені Л.А.Мелентьєва СВ РАН [3]). Є n країн-експортерів нафти; i -й експортер продає обсяг x_i нафти й отримує прибуток

$$f_i = x_i r(x_1 + x_2 + \dots + x_n) - \int_0^{x_i} p_i(z) dz,$$

де $r(\cdot)$ – ціна одиниці обсягу нафти; ця ціна залежить від загальної кількості $\sum x_j$ нафти на ринку, $p_i(z)$ – (маргінальні) витрати i -го експортера на видобуток одиниці обсягу нафти при загальному об'ємі видобутку z i -м експортером, $i = 1, \dots, n$. У загальному випадку $f_i \in \text{деякою функцією від } x_1, x_2, \dots, x_n$, тобто $f_i = f_i(x_1, \dots, x_n)$, а під x_i розуміється вектор (управління i -го експортера). Вважаємо, що кожний i -й експортер знає «свою» функцію $f_i(x_1, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_n)$ при будь-яких фіксованих (допустимих) значеннях $x_1, \dots, x_{i-1}, x_{i+1}, \dots, x_n$ і прагне її максимізувати у кожній ситуації. Однак i -й експортер може управляти лише значенням вектора x_i . Тому i -й експортер змінює «свій» вектор (управління) x_i у напрямку градієнта по x_i «свої» функції f_i (вважаємо, що $f_i(x_1, \dots, x_n)$ диференційована по x_i , $i = 1, \dots, n$). Цей градієнт обчислюється у точці $x(s) = (x_1(s), \dots, x_n(s))$, де $x_i(s)$ – вектор управління i -го експортера у момент часу $s = 0, 1, 2, \dots$ (вважаємо, що всім експортерам у момент часу s відомий вектор $x(s)$). Таким чином, приходимо до процесу $x_i(s+1) = x_i(s) + \lambda_i(s) \times \nabla_{x_i} f_i(x_1(s), \dots, x_{i-1}(s), x_i, x_{i+1}(s), \dots, x_n(s))|_{x_i=x_i(s)}$,

$$\lambda_i(s) > 0, i = 1, \dots, n, s = 0, 1, 2, \dots,$$

що моделює поведінку експортерів на нафтовому ринку. Перепишемо цей процес в еквівалентній формі $x(s+1) = x(s) + \Lambda_s \nabla_y F(x(s), y)|_{y=x(s)}$,

$$\text{де } \Lambda_s = \begin{pmatrix} \lambda_1(s) & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \lambda_n(s) \end{pmatrix}, F(x, y) = \sum_{i=1}^n f_i(x_1, \dots, x_{i-1}, y_i, x_{i+1}, \dots, x_n).$$

Числовий приклад пов'язаний з дослідженням моделі нафтової торгівлі, що розглядалася у вступі. У цій моделі згідно [4, 18]

$$r(z) = cz + d, p_i(z) = a_i z + b_i, i = 1, \dots, n.$$

Імітація процесу торгівлі за допомогою ітеративного процесу здійснювалася для трьох характерних представників країн – членів ОПЕК. При цьому

$$f_i(x) = f_i(x_1, x_2, x_3) = x_i [c(x_1 + x_2 + x_3) + d] - \frac{a_i}{2} (x_i)^2 - b_i x_i,$$

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^3 \left\{ y_i \left[c \left(y_i + \sum_{j=1, j \neq i}^3 x_j \right) + d - b_i \right] - \frac{a_i}{2} (y_i)^2 \right\};$$

$$g_i = c(x_1 + x_2 + x_3) + d - b_i + x_i(c - a_i), i = 1, \dots, n,$$

де $g(x) = \nabla_y F(x, y)|_{y=x}$, $[g(x)]^T = (g_1(x), g_2(x), g_3(x))$. Легко перевірити, що при $c < 0$, $a_i > 0$ справедлива умова строгого спадання для оператора $g(x)$

$$\langle g(y) - g(x), x - y \rangle > 0 \quad \forall x \neq y,$$

з якої, в свою чергу, випливає виконання умови (5.5) [1, с. 63]. Тому за теоремою 5.1 [1, с. 63] при $c < 0$, $a_i > 0$ всі граничні точки ітеративного процесу є рівновагами Неша.

Провідною організацією дисертації [1] був Обчислювальний центр АН СРСР (Москва), де на загальному

семінарі у 1984 р. було запропоновано перевірити вищезазначену модель міжнародної нафтової торгівлі на реальних даних. Для цього було використано дані Щорічників Великої Радянської енциклопедії за 1970–1982 рр. [1, с. 123]. Для країн-експортерів 1, 2, 3 припускалося, що

$$c = -3 \times 10^{-4}; d = 4 \times 10^{-3}; b_1 = b_2 = b_3 = -0.4;$$

$$a_1 = 10^{-3}; a_2 = 1.3 \times 10^{-3}; a_3 = 0.2 \times 10^{-3}; x_1^0 = 200; x_2^0 = 50; x_3^0 = 190.$$

У чисельному методі брався крок $\lambda_s = 10 \times s^{-0.7}$. Отримані результати імітації процесом в цілому задовільно відбивали тенденції зміни стратегій x_1, x_2, x_3 :

s	x1	x2	x3
0	200	50	190
11	200.5	79.3	219.4
22	199.8	89.3	231.2
121	191.8	118.2	278.1
220	184.8	126.8	303.8
341	177.7	130.5	325.4
462	171.9	131.4	342.7
583	167.0	130.9	357.0
803	160.2	128.6	378.5
1078	154.0	125.1	400.2

Ці результати були одними з перших вітчизняних числових розрахунків для імітаційного моделювання міжнародної нафтової торгівлі. Крім того, ці результати передбачали зниження світової ціни нафти у 1980-х роках.

Оскільки потенційна пропозиція газу набагато перевищує поточний попит Європи на газ, то дерегуляція вестиме до зниження цін газу. Проте у довгостроковій перспективі можливе зростання попиту на природний газ внаслідок поширення нових та екологічно чистих електростанцій. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, до 2020 р. на енергоринку Європи газ стане важливішим енергоресурсом, ніж вугілля чи ядерне паливо.

Очікується багато поставок газу від джерел з високою собівартістю – виробників зрідженого природного газу (liquefied natural gas, LNG), виробників Алжиру та РФ поза Європою, де потрібні значні інвестиції в інфраструктуру газопостачання до Європи. Виснаження існуючих родовищ Західної Європи з низькою собівартістю підвищуватиме ціну газу.

Основний сценарій McKinsey передбачав встановлення до 2005 р. єдиного базового ринку газу Європи, що включає Бенілюкс, Німеччину, Францію, а також Північну Італію та деякі держави Східної Європи, зв'язані мережею трубопроводів. Транзитних потужностей буде досить, а ціни рухатимуться паралельно до спредів транспортних тарифів. Коли великі споживачі газу вибиратимуть постачальників відповідно до директив ЄС, то нові газопостачальники, які отримують доступ до транзитних мереж через угоди з третіми сторонами, гостріше конкуруватимуть з колишніми монополіями – Gasunie, Gaz de France (GdF), Ruhrgas.

Висновки з проведеного дослідження. Спосіб поведінки фірми визначається її ставленням до конкуренції. Для моделювання конкуренції є небагато теоретичних, аналітичних та емпіричних підходів. Щоб показати вплив способу поведінки фірм на характер цін, використовують дві найвідоміші моделі конкуренції – олігополію Курно та модель поведінки ціноотримувачів. Ціноотримувач вважає, що встановлення ціни перебуває поза межами його впливу, а тому не звертає уваги на своїх конкурентів. Гравець з ринковою владою знає, що ціна залежить від його дій, а тому його дії впливають на суперників. Ці способи поведінки мають різні наслідки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Горбачук В.М. Методы негладкой и стохастической оптимизации в задачах поиска равновесий по Нэшу: дисс. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук: 01.01.09 / Киев, 1985. – 139 с.
2. Горбачук В.М. Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства. – К.: А.С.К., 2010. – 224 с.
3. Горбачук В. М., Пепеляев В. А. Макромодель енергетики и экономического роста / Стохастическое программирование и его приложения в энергетике. – Иркутск: ИСЭ СО РАН, 2012. – С. 278–306.
4. Ермольев Ю.М., Урясьев С.П. О поиске равновесия по Нэшу в играх многих лиц // Кибернетика. – 1982. – № 3. – С. 85–88.
5. Anderson S.P., de Palma A., Thisse J.-F. Spatial price policies reconsidered // Journal of industrial economics. – 1989. – 38 (1). – P. 1–18.
6. Anderson S.A., Neven D.J. Cournot competition yields spatial agglomeration // International economic review. – 1991. – 32 (4). – P. 793–808.
7. Asche F., Osmundsen P., Tveteras R. European market integration for gas? Volume flexibility and political risk // Energy journal. – 2002. – 24 (3). – P. 249–265.
8. Asche F. Natural gas demand in the European household sector // Energy journal. – 2008. – 29 (3). – P. 27–46.
9. Balistreri E.J., Hillberry R.H., Rutherford T.F. Trade and welfare: does industrial organization matter? // Economic letters. – 2010. – 109 (2). – P. 85–87.
10. Beltramo M.A., Manne A.S., Weyant J.P. North American gas trade model (GTM) // Energy journal. – 1986. – 7 (5). – P. 15–32.
11. Boothe D., Seeliger A. Forecasting European gas supply. Selected results from EUGAS model and historical verification. – Cologne, Germany: Institute of Energy Economics; University of Cologne, 2005. – 18 p. – EWI working paper 05.01.
12. Boots M.G., Rijkers F.A.M., Hobbs B.F. Trading in the downstream European gas market: a successive oligopoly approach // Energy journal. – 2004. – 25 (3). – P. 73–102.
13. Boucher J., Smeers Y. Simulation of the European gas market up to the year 2000. – Louvain-la-Neuve, Belgium: CORE, 1984. – Discussion paper 8448.
14. Brander J.A. Intra-industry trade in identical commodities // Journal of international economics. – 1981. – 11 (1). – P. 1–14.
15. Brander J.A., Krugman P. A «reciprocal dumping» model of international trade // Journal of industrial economics. – 1983. – 15 (3–4). – P. 313–321.
16. Brekke K.A., Gjelsvik E., Vatne B.H. A dynamic supply side game applied to the European gas market. – Oslo, Norway: Central Bureau of Statistics, 1987. – 28 p. – Discussion paper 22.
17. Egging R., Gabriel S.A., Holz F., Zhuang J. A complementarity model for the European natural gas market // Energy policy. – 2007. – 36 (7). – P. 2385–2414.
18. Ermoliev Yu., Papin A. An approach to the simulation of international oil trade. – Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1982. – 51 p. – WP-82-045.
19. Fuglseth A.M., Gronhaug K. Can computerised market models improve strategic decision-making? An exploratory study // Journal of socio-economics. – 2003. – 32 (5). – P. 503–520.
20. Gabriel S.A., Rosendahl K.E., Egging R., Avetisyan H.G., Siddiqui S. Cartelization in gas markets: studying the potential for a «Gas OPEC» // Energy economics. – 2012. – 31 (4). – P. 137–152.
21. Golombek R., Gjelsvik E., Rosendahl K.E. Effects of liberalizing the natural gas markets in Western Europe // Energy journal. – 1995. – 16 (1). – P. 85–111.
22. Golombek R., Gjelsvik E., Rosendahl K.E. Increased competition on the supply side of the Western European natural gas market // Energy journal. – 1998. – 19 (3). – P. 1–18.
23. Gorbachuk V. M. The cartel optimum and the reasonable Cournot–Nash equilibrium for fractional objective functions // Journal of automation and information sciences. – 2008. – 40 (12). – P. 61–69.
24. Greenhut J.G., Greenhut M.L. Spatial price discrimination, competition and locational effects // Economica. – 1975. – 42 (168). – P. 401–419.
25. Greenhut J.G., Lee C.S., Mansur Y. Spatial discrimination, Bertrand vs. Cournot: comment // Regionalscienceandurbaneconomics. – 1991. – 21 (1). – P. 127–134.
26. Haaland J.I., Norman V.D., Wergeland T., Rutherford T. VEMOD: a Ricardo-Heckscher-Ohlin-Jones model of world trade // Scandinavian journal of economics. – 1987. – 89 (3). – P. 251–270.
27. Hamilton J.H., Thisse J.-F., Weskamp A. Spatial discrimination. Bertrand vs. Cournot in a model of locational choice // Regional science and urban economics. – 1989. – 19 (1). – P. 87–102.
28. Hoel M., Holtmark B., Vislie J. The market for natural gas in Europe: the core of a game. – Oslo, Norway: Department of Economics; University of Oslo, 1987. – Memo 13.
29. Hotelling H. Stability in competition // Economic journal. – 1929. – 39 (153). – P. 41–57.
30. Hubert F., Ikonnikova S. Investment options and bargaining power: the Eurasian supply chain for natural gas // Journal of industrial economics. – 2011. – 59 (1). – P. 85–116.
31. Kolstad C.D., Burris A.E. Imperfectly competitive equilibria in international commodity markets // American journal of agricultural economics. – 1986. – 86 (1). – P. 27–36.
32. Mathiesen L. Price patterns resulting from different producer behavior in spatial equilibrium. – Bergen, Norway: Norwegian School of Economics, 2012. – 19 p. – Discussion paper.
33. Mathiesen L., Roland K., Thonstad K. The European natural gas market: degrees of market power on the selling side / Natural gas markets and contracts. R. Golombek, M. Hoel, J. Vislie (eds.) – Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1987.
34. Norman V.D. Assessing trade and welfare

effects of trade liberalization. A comparison of alternative approaches to CGE modeling with imperfect competition // *European economic review*. – 1990. – 34 (4). – P. 725–751.

35. Oygard S.H., Tryggestad J.C. Volatile gas // *McKinsey quarterly*. – 2001, Summer. – 3.

36. Smeers Y. Computable equilibrium models and the restructuring of the European electricity and gas markets // *Energy journal*. – 1997. – 18 (4). – P. 1–31.

REFERENCES:

1. Horbachuk V.M. Методы нелинейной и стохастической оптимизации в задаче поиска равновесия по Нэшу: дисс. на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук: 01.01.09 / Киев, 1985. – 139 с.

2. Horbachuk V.M. Методы industrial'noy orhanizatsiyi. Keysy ta vpravy. Ekonomika ta orhanizatsiya vyrobnytstva. Ekonomichna kibernetika. Ekonomika pidpryyemstva. – K.: A.S.K., 2010. – 224 s.

3. Horbachuk V. M., Pepelyaev V. A. Makromodel' enerhetykuyekonomycheskoho rosta/Stokhastycheskoe prohrammyrovanye y eho prylozhenyya v enerhetyke. – Yrkut'sk: YSЭ SO RAN, 2012. – S. 278–306.

4. Ermol'ev Yu.M., Uryas'ev S.P. O poyske ravnovesyya po Nэshu v yhrakh mnohykh lyts // *Kybernetika*. – 1982. – No 3. – S. 85–88.

5. Anderson S.P., de Palma A., Thisse J.-F. Spatial price policies reconsidered // *Journal of industrial economics*. – 1989. – 38 (1). – P. 1–18.

6. Anderson S.A., Neven D.J. Cournot competition yields spatial agglomeration // *International economic review*. – 1991. – 32 (4). – P. 793–808.

7. Asche F., Osmundsen P., Tveteras R. European market integration for gas? Volume exibility and political risk // *Energy journal*. – 2002. – 24 (3). – P. 249–265.

8. Asche F. Natural gas demand in the European household sector // *Energy journal*. – 2008. – 29 (3). – P. 27–46.

9. Balistreri E.J., Hillberry R.H., Rutherford T.F. Trade and welfare: does industrial organization matter? // *Economic letters*. – 2010. – 109 (2). – P. 85–87.

10. Beltramo M.A., Manne A.S., Weyant J.P. North American gas trade model (GTM) // *Energy journal*. – 1986. – 7 (5). – P. 15–32.

11. Boothe D., Seeliger A. Forecasting European gas supply. Selected results from EUGAS model and historical verification. – Cologne, Germany: Institute of Energy Economics; University of Cologne, 2005. – 18 p. – EWI working paper 05.01.

12. Boots M.G., Rijkers F.A.M., Hobbs B.F. Trading in the downstream European gas market: a successive oligopoly approach // *Energy journal*. – 2004. – 25 (3). – P. 73–102.

13. Boucher J., Smeers Y. Simulation of the European gas market up to the year 2000. – Louvain-la-Neuve, Belgium: CORE, 1984. – Discussion paper 8448.

14. Brander J.A. Intra-industry trade in identical commodities // *Journal of international economics*. – 1981. – 11 (1). – P. 1–14.

15. Brander J.A., Krugman P.A. «reciprocal dumping» model of international trade // *Journal of industrial economics*. – 1983. – 15 (3–4). – P. 313–321.

16. Brekke K.A., Gjelsvik E., Vatne B.H. A dynamic supply side game applied to the European gas market. – Oslo, Norway: Central Bureau of Statistics, 1987. – 28 p. – Discussion paper 22.

17. Egging R., Gabriel S.A., Holz F., Zhuang J. A complementarity model for the European natural gas market // *Energy policy*. – 2007. – 36 (7). – P. 2385–2414.

18. Ermoliev Yu., Papin A. An approach to the

simulation of international oil trade. – Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis, 1982. – 51 p. – WP-82-045.

19. Fuglseth A.M., Gronhaug K. Can computerised market models improve strategic decision-making? An exploratory study // *Journal of socio-economics*. – 2003. – 32 (5). – P. 503–520.

20. Gabriel S.A., Rosendahl K.E., Egging R., Avetisyan H.G., Siddiqui S. Cartelization in gas markets: studying the potential for a «Gas OPEC» // *Energy economics*. – 2012. – 31 (4). – P. 137–152.

21. Golombek R., Gjelsvik E., Rosendahl K.E. Effects of liberalizing the natural gas markets in Western Europe // *Energy journal*. – 1995. – 16 (1). – P. 85–111.

22. Golombek R., Gjelsvik E., Rosendahl K.E. Increased competition on the supply side of the Western European natural gas market // *Energy journal*. – 1998. – 19 (3). – P. 1–18.

23. Gorbachuk V. M. The cartel optimum and the reasonable Cournot–Nash equilibrium for fractional objective functions // *Journal of automation and information sciences*. – 2008. – 40 (12). – P. 61–69.

24. Greenhut J.G., Greenhut M.L. Spatial price discrimination, competition and locational effects // *Economica*. – 1975. – 42 (168). – P. 401–419.

25. Greenhut J.G., Lee C.S., Mansur Y. Spatial discrimination, Bertrand vs. Cournot: comment // *Regionalscienceandurbaneconomics*. – 1991. – 21 (1). – P. 127–134.

26. Haaland J.I., Norman V.D., Wergeland T., Rutherford T. VEMOD: a Ricardo-Heckscher-Ohlin-Jones model of world trade // *Scandinavian journal of economics*. – 1987. – 89 (3). – P. 251–270.

27. Hamilton J.H., Thisse J.-F., Weskamp A. Spatial discrimination. Bertrand vs. Cournot in a model of locational choice // *Regional science and urban economics*. – 1989. – 19 (1). – P. 87–102.

28. Hoel M., Holtmark B., Vislie J. The market for natural gas in Europe: the core of a game. – Oslo, Norway: Department of Economics; University of Oslo, 1987. – Memo 13.

29. Hotelling H. Stability in competition // *Economic journal*. – 1929. – 39 (153). – P. 41–57.

30. Hubert F., Ikonnikova S. Investment options and bargaining power: the Eurasian supply chain for natural gas // *Journal of industrial economics*. – 2011. – 59 (1). – P. 85–116.

31. Kolstad C.D., Burris A.E. Imperfectly competitive equilibria in international commodity markets // *American journal of agricultural economics*. – 1986. – 86 (1). – P. 27–36.

32. Mathiesen L. Price patterns resulting from different producer behavior in spatial equilibrium. – Bergen, Norway: Norwegian School of Economics, 2012. – 19 p. – Discussion paper.

33. Mathiesen L., Roland K., Thonstad K. The European natural gas market: degrees of market power on the selling side / *Natural gas markets and contracts*. R.Golombek, M.Hoel, J.Vislie (eds.) – Amsterdam: North Holland Publishing Company, 1987.

34. Norman V.D. Assessing trade and welfare effects of trade liberalization. A comparison of alternative approaches to CGE modeling with imperfect competition // *European economic review*. – 1990. – 34 (4). – P. 725–751.

35. Oygard S.H., Tryggestad J.C. Volatile gas // *McKinsey quarterly*. – 2001, Summer. – 3.

36. Smeers Y. Computable equilibrium models and the restructuring of the European electricity and gas markets // *Energy journal*. – 1997. – 18 (4). – P. 1–31.