

## ГРАВІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ У СИСТЕМІ ДОСТАВКИ ТОВАРНОЇ ПРОДУКЦІЇ

### GRAVITY MODEL TO DETERMINE THE RELATIONSHIP IN THE DELIVERY SYSTEM OF COMMODITY PRODUCTION

*У роботі проведений аналіз взаємозв'язків у системі доставки товарної продукції. Проведені дослідження обумовили вибір гравітаційної моделі для визначення зв'язку між пропозицією підприємства з виробництва хліба, хлібобулочних та борошняних виробів (кількість виробленої продукції) і попитом цієї продукції.*

*За результатами проведеного дослідження сформована гравітаційна модель мережі каналів розподілу для підприємства реалізації хліба, хлібобулочних та інших борошняних виробів, яка дозволяє визначити ефективність взаємодії підприємства виробника і торгівлі.*

*Результати роботи можуть бути використані в організації руху товарно-транспортного потоку для підприємств з виробництва хліба, хлібобулочних та борошняних виробів.*

**Ключові слова:** гравітаційна модель, товарний потік, канал розподілу, підприємства торгівлі, економічна ефективність.

*В работе проведен анализ взаимосвязей в системе доставки товарной продукции. Проведенные исследования обусловили выбор гравитационной модели для определения связи между предложением предприятия по производству хлеба, хлебобулочных и мучных изделий (количество произведенной продукции) и спросом этой продукции в торговой сети.*

*По результатам проведенного исследования сформирована гравитационная модель*

*сети каналов распределения на предприятии реализации. Гравитационная модель позволяет определить эффективность взаимодействия предприятия производителя и торговли.*

*Результаты работы могут быть использованы в организации движения товарно-транспортного потока для предприятий по производству хлеба, хлебобулочных и мучных изделий.*

**Ключевые слова:** Гравитационная модель, товарный поток, канал распределения, предприятия торговли, экономическая эффективность.

*Analysis of relationships in the system of delivery of commercial products. Studies have determined the choice of the gravity model to determine the relationship between the supply of venture for the production of bread, bakery and pastry (the number of output) and demand of these products in the trading network.*

*According to the results of the study formed the gravitational model of the network of distribution channels in the enterprise implementation. The gravity model to determine the efficiency of interaction of the manufacturer and the trade.*

*The results can be used in the organization of the movement of commodity-transport stream for companies for the production of bread, bakery and pastry.*

**Keywords:** gravitational model, product flow, channel distribution, trade, economic efficiency.

УДК 164.01:504.06:656.025.4:338:004.942

**Хрутьба Ю.С.**

аспірантка  
кафедри екологічного менеджменту та підприємництва  
Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями.** Інтеграція економіки та глобалізація економічних процесів сприяють підвищенню темпів виробництва і споживання товарної продукції, нормальний розвиток підприємства може здійснюватися тільки за постійного збільшення товаротранспортного потоку, що забезпечується регулярним надходженням продукції від виробників до споживачів. Обсяг і структура товаротранспортних потоків розподілу готової продукції підприємства залежить рівня сформованості мережі доставки товару, що дозволяє задовольнити попит споживачів району діяльності цього підприємства.

У сучасних умовах стабільність руху товарно-транспортних потоків доставки готової продукції залежить від рівня економічної взаємодії між суб'єктами господарювання в системі виробник-споживач. Зв'язок між початком і кінцем товарно-транспортного потоку, тобто між підприємством та закладам торгівлі, можна визначати за просторовою гравітаційною моделлю (ГМ), яка дозволяє визначити ефективність взаємодії між підприємством виробником і закладом торгівлі. Однією з потенційних областей застосування гравітаційних моделей

зовнішньої торгівлі є прогнозування обсягів торговельних потоків [1].

Зазвичай для оцінки інтенсивності транспортних потоків використовується гравітаційна модель кореспонденцій, що дозволяє оцінити «тяжіння» між різними транспортними районами (мікрорайонами) міста, ґрунтуючись на даних про населення цих районів, кількість робочих місць у них і обсязі наданих культурно-побутових послуг. Також гравітаційна модель кореспонденцій враховує взаємну транспортну доступність районів [2]. Гравітація є однією із найуспішніших емпіричних моделей в економіці. У гравітаційній моделі спостерігається зміна економічної взаємодії через простір в обох торгових точках і факторів руху. В емпіричній літературі припускають, що модель добре підходить щодо кластеризації оціночних коефіцієнтів.

Актуальність проблеми своєчасної взаємодії підприємств-виробників із споживачами, швидке реагування на зміни попиту на продукції, формування оптимальної логістичної системи по доставці продукції, а також недостатня теоретична та практична розробка цих питань визначили тему публікації.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є формування моделі товарно-транспортних потоків

від підприємства виробника до підприємства реалізації хліба.

Для досягнення цієї мети були вирішені такі завдання:

1. Визначити історичні передумови, структуру та вимоги до застосування гравітаційної моделі.

2. Сформувані потокоутворюючі фактори логістичного ланцюга та еколого-економічної оцінки каналу розподілу.

3. Розробити еколого-економічну гравітаційну модель розподілу продукції для доставки хлібобулочної продукції: хліба, хлібобулочних і борошняних виробів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стан і перспективи розвитку хлібопереробної галузі, проблеми та економічний розвиток присвячені роботи вчених-економістів: П. Борщевський, О. Васильченко, В. Герасименко, М. Загорняк, І. Лукінов, Е. Македонська, А. Побережна, Н. Скригун, А. Череп та ін., які розширили наукові дослідження економічних процесів в існуючому макроекономічному середовищі. Молоді науковці Т.В. Арестенко, Л.Г. Баги, І.В. Бугай, О.П. Величко, А.Г. Зубченка, Л.Н. Письмаченко вивчали транспортування в аграрному секторі економіки. Дослідження Т. Москвітіної присвячена управлінню рухом швидкопсувних товарів на засадах логістики. Дослідження російських вчених К.А. Журабоєва, В.К. Мироненка, М.М. Шаповаленка присвячені вдосконаленню перевезень швидкопсувних вантажів на основі корегування логістичного ланцюга, та ін. Однак, при аналізі публікацій виявлено, що увага авторів більшою мірою сконцентрована на організації перевезень і досі не сформована оптимальна модель моделі товарно-транспортних потоків від підприємства виробника до підприємства реалізації хліба. Тому доцільним вважається дослідження стану і вимог до формування моделі товарно-транспортних потоків від підприємства виробника до підприємства реалізації хліба.

**Виклад основного матеріалу.** Гравітаційна модель визначає ступінь зв'язку між двома або декількома суб'єктами господарювання. У нашій роботі необхідно визначити наявність зв'язку між пропозицією хлібопереробного підприємства та попитом цієї продукції. Основна ідея гравітаційної моделі полягає в наступному: обсяг товарного потоку, що переміщений з одного місця (країни, району, підприємства-виробника) в інше (країни, району, підприємства торгівлі), прямо пропорційний загальному обсягу відправленого товару і загальному обсягу доставленого товару з одного центру в інший, і обернено пропорційний відстані (ступеня близькості / міжканальної взаємодії) між цими центрами [3].

Стандартна гравітаційна модель виглядає наступним чином [4]:

$$M_{ij} = k \cdot \frac{p_i p_j}{d_{ij}^2}, \quad (1)$$

де:  $M_{ij}$  – показник взаємодії між об'єктами,  $i$  і  $j$ ;

$k$  – коефіцієнт відповідності;

$p$  – деяка міра значущості об'єкта (напр., чисельність населення міста  $i$  и  $j$ );

$d_{ij}^2$  – відстань між об'єктами.

Вперше класичний вигляд гравітаційної моделі зовнішньої торгівлі була використана в праці Тімбергера [5]:

$$E_{ij} = \alpha_0 Y_i^{\alpha_1} Y_j^{\alpha_2} D_{ij}^{\alpha_3}, \quad (2)$$

де  $E_{ij}$  – обсяг експорту з країни  $i$  в країну  $j$ ,  $Y_i$  – ВВП країни експортера, що слугує проксі-змінною для визначення обсягу вироблених товарів, які ця країна потенційно може запропонувати на міжнародний ринок;  $Y_j$  – ВВП країни імпортера, який характеризує обсяг її внутрішнього ринку;  $D_{ij}$  – відстань між країнами  $i$  і  $j$ .

Удосконалена голландським економістом Х. Ліннеманом у 1966 році [6] гравітаційна модель виглядає таким чином:

$$E_{ij} = a_0 (Y_i)^{a_1} (Y_j)^{a_2} (N_i)^{a_3} (N_j)^{a_4} (D_{ij})^{a_5} (A_{ij})^{a_6} (P_{ij})^{a_7} + \varepsilon, \quad (3)$$

де:  $E_{ij}$  – вартість товарообігу з країни  $i$  в країну  $j$ ;  $Y_i, Y_j$  – показники, що характеризують номінальний ВВП відповідних країн;  $N_i, N_j$  – чисельність населення країн  $i$  та  $j$ ;  $A_{ij}$  – будь-який інший фактор, що перешкоджає чи сприяє торгівлі, торгові бар'єри (наприклад, наявність кордонів або антидемпінгових режимів в одній із країн);  $P_{ij}$  – торгові преференції, що існують між державами (якщо такі відсутні,  $P_{ij} = 1$ ; в іншому випадку;  $P_{ij} = 2$ );  $D_{ij}$  – відстань між країнами  $i$  і  $j$ ;  $a_1 - a_7$  – коефіцієнти еластичності експорту відповідно від ВВП країни-експортера, від ВВП країни-імпортера, від чисельності населення країни  $i$ , від чисельності населення країни  $j$ , від відстані між країнами  $i$  і  $j$ , від будь-якого іншого фактора та від торгових преференцій;  $a_0$  – вільний член;  $\varepsilon$  – випадкова помилка.

Для оцінки транспортного потоку ГМ має вигляд [7]:

$$T_{ij} = \frac{A_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_{all zones} A_n F_{ij} K_{in}} \times P_i, \quad (4)$$

де:  $T_{ij}$  – кількість поїздок, що здійснюються із зони  $i$  в зону  $j$ ;  $P_i$  – загальна кількість поїздок, що здійснюються із зони  $i$ ;  $A_j$  – загальна кількість поїздок, що здійснюються в зону  $j$ ;  $F_{ij}$  – калібрувальний множник для поїздок, що здійснюються між зонами  $ij$ , («коефіцієнт незручності») або коефіцієнт тривалості поїздки ( $F_{ij} = \frac{C}{t_{ij}^c}$ );  $C$  – калібрувальний множник для коефіцієнта незручності;  $K_{ij}$  – соціально-економічний поправочний коефіцієнт для поїздок, що здійснюються між зонами  $ij$ ;  $i$  – вихідна зона;  $j$  – кінцева зона;  $n$  – кількість зон.

ГМ у дослідженні [8] запропоновано представити виразами, що визначають кореспонденцію пересилання за умов балансного стану (4):

$$M_{ij} = A_i B_j C_i D_j T(r_{ij}) \quad (4)$$

$$\sum_{i \in R} A_i = \sum_{j \in R} B_j$$

де:  $M_{ij}$  – кореспонденція з одного району / вузла системи,  $T(r_{ij})$  – функція тяжіння, яка залежить від транспортної відстані  $r_{ij}$ ,  $A_i$  – обсяг відправлення / передачі в район / канал,  $B_j$  – обсяг прибуття / отримання в район / в каналі.

Залежно від типу кореспонденцій обсяги  $A_i$  і  $B_j$  вимірюються в автомобілях, пасажирів / бітах, пакетах, інших зручних транспортних одиницях і визначаються з умов:

$$\sum_{j \in R} M_{ij} = A_i, i \in R$$

$$\sum_{i \in R} M_{ij} = B_j, j \in R$$

$$M_{ij} \geq 0, i, j \in R \quad (5)$$

де: деяка множина  $R$  – район прибуття-відправлення, з'єднаних між собою шляхами по транспортній мережі.

Найбільш вагомим фактором є зміна обсягів виробленої продукції. А це у свою чергу потребує розробки плану товарно-транспортних потоків підприємства

Проведені дослідження обумовили вибір гравітаційної моделі для визначення зв'язку між пропозицією підприємства з виробництва хліба, хлібобулочних та борошняних виробів (кількість виробленої продукції) і попитом цієї продукції.

Аналіз попередніх даних показав, що попит залежить від наступних факторів: купівельної спроможності населення ( $S_j$ ); кількості населення в регіоні ( $N_j$ ); щільності населення в регіоні ( $\rho_j$ ); наявності товарів-замінників ( $SG_j$ ); кількості асортиментності товарів ( $M_j$ ), кількість реалізованої продукції ( $r_{ij}$ ).

Питання пропозиції обмежуються: виробничими потужностями підприємства ( $VP_j$ ); дохідністю підприємства ( $R_j$ ); відстанню між виробником та підприємством реалізації ( $D_{ij}$ ); особливості організації логістичного процесу руху товарно-транспортних потоків ( $L_j$ ); екологічними показниками ( $Ek_j$ ).

Використовуючи модель Х. Ліннемана [6], ми отримуємо наступний вигляд моделі:

$$E_{ij} = a_0(Y)^{a1}(Y)^{a2}(N)^{a3}(D_{ij})^{a4}(A_{ij})^{a5}(P_{ij})^{a6}(M_{ij})^{a7}(S_j)^{a8} + \varepsilon \quad (6)$$

де:  $E_{ij}$  – вартість товарного потоку від суб'єкта виробництва  $i$  до суб'єкта реалізації продукції  $j$ ,  $Y_i$  – показники, які характеризують діяльність суб'єкта виробництва продукції (дохідність, тис. грн.);  $Y_j$  – показники, які характеризують потік споживання продукції, тис. грн.;  $D_{ij}$  – фізична віддаленість між суб'єкта виробництва до суб'єкта реалізації продукції,  $i$  та  $j$ , км;  $N_i$  – кількість населення в даному регіоні;  $A_{ij}$  – будь-який фактор, що сприяє або заважає торгівлі (наприклад, наявність прямого маршруту або дотація держави);  $P_{ij}$  – торгіві

преференції, що існують між суб'єктом виробництва  $i$  до суб'єкта реалізації продукції  $j$  (якщо власна мережа,  $P_{ij}=1$ ; в іншому випадку,  $P_{ij}=2$ );  $S_j$  – купівельна спроможність населення;  $a_1$ – $a_8$  – коефіцієнти еластичності,  $a_0$  – вільний член рівняння;  $\varepsilon$  – випадкова помилка.

Логарифмування дозволяє перейти від мультиплікативної форми до більш зручної адитивної.

$$\ln E_{ij} = \ln a_0 + \ln Y_i^{a1} + \ln Y_j^{a2} + \ln N_i^{a3} + \ln D_{ij}^{a4} + \ln A_{ij}^{a5} + \ln P_{ij}^{a6} + \ln S_j^{a7} + \ln M_j^{a8} + \varepsilon \quad (7)$$

Залежно від типу кореспонденцій обсяги визначаються з умов:

$$\sum_{j \in R} E_{ij} = Y_i, i \in R$$

$$\sum_{i \in R} E_{ij} = Y_j, j \in R$$

$$E_{ij} \geq 0, i, j \in R \quad (8)$$

де:  $Y_i = f(VP_p, R_p, Ek_p, L_j)$ ;  $Y_j = f(\rho_{jis}, SG_{jis}, M_{jis}, r_{jis})$ ,

де:  $Ek_j$  – еколого-економічні впливи, що визначаються вихідною множиною:  $Ek_j = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9\}$ , де:  $A_1$  – кількість товарів виробництва/споживання/утилізації,  $A_2$  – кількість товарів перевезених автомобільним транспортом,  $A_3$  – завантажено товару (т),  $A_4$  – перевезено товару, т-км,  $A_5$  – загальна кількість транспортних перевезень, ткм,  $A_6$  – внесок в транспортні затори,  $A_7$  – енергоспоживання,  $A_8$  – енергія зовнішніх джерел,  $A_9$  – шум, вібрація, кількість нещасних випадків, ДТП,  $A_{10}$  – інші шкідливі гази.

$L_j$  – взаємозв'язок між вхідним рухом матеріальних потоків і вихідними економічними показниками та грошовою вартістю з врахуванням впливу логістичної діяльності, що визначаються вихідною множиною:  $L_j = (L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6, L_7, L_8, L_9)$ , де  $L_1$  – аналізу виду транспорт;  $L_2$  – фактор середнього використання транспорту;  $L_3$  – середня довжина маршруту, тонно-км;  $L_4$  – середнє навантаження в поїзді;  $L_5$  – середній відсоток порожнього пробігу;  $L_6$  – енергоефективність (визначається, як відношення відстані до енергії, яка споживається);  $L_7$  – викиди на одиницю енергії враховують кількість  $CO_2$  і шкідливих газів, що утворюються на одиницю споживаної енергії, яка може змінюватися в залежності від виду енергії /палива, характеру двигуна при перетворенні цієї енергії в логістичній діяльності (рух, опалення, охолодження, інформаційні процеси – ІТ) і вихлопних газів системи фільтрації;  $L_8$  – інші зовнішні фактори впливу одного транспортного засобу на одиницю продуктивності, що не враховують функції, які пов'язані із споживанням енергії;  $L_9$  – грошова оцінка чинників впливу на навколишнє середовище

До того, як гравітаційну модель можна буде використовувати для перспективного планування

майбутніх товаротранспортних потоків, її необхідно відкалібрувати. Калібрування проводиться за допомогою введення різних поправочних коефіцієнтів у гравітаційну модель до наявних даних з бази даних з розподілу поїздок за місяць.

Для побудови просторової гравітаційної моделі товаротранспортних потоків від підприємства виробника до підприємства реалізації хліба, хлібобулочних та інших борошняних виробів потоків приймаємо наступне:

- потік товарів та/або послуг з підприємства блоку 1 до пункту реалізації блоку 2 в місяць  $t$  залежить від дохідності регіону в рік  $t$  відповідно, а також від відстані, км;

- формула, що задає розмір потоку, є мультиплікативною (всі основні її елементи об'єднуються дією множення);

- залежність від дохідності підприємства та регіону і відстаней є ступенневою;

- зі зростанням дохідності регіону як одного блоку, так і іншого зростає;

- зі зростанням відстані між пунктом реалізації – спадає;

- факторами, що сприяють торгівлі, є соціальні зв'язки між державою та підприємством виробником продукції, державні дотації;

- в якості товаротранспортної преференції є ступінь глибини інтеграції (наявність/відсутність торговельних угод);

- параметри моделі  $Y_p, Y_j, N_i, N_j$ , є динамічними, тобто змінюються в часі;

- параметр  $D_{ij}$  та  $M_{ij}$  є сталими;

- параметр  $S_{ij}$  може змінюватися в часі.

Фактором, що ускладнює верифікацію моделі, є наявність параметрів, які залежать від часу, в тому числі коефіцієнти еластичності моделі  $a_1$ – $a_7$  можуть різнитися в тому чи іншому періоді, наявність/відсутність торговельних угод теж має змінний характер.

Можливим шляхом для ідентифікації моделі може бути вибір одного із варіантів: припущення, що значення коефіцієнтів еластичності моделі  $a_1$ – $a_7$  для всього періоду, що вивчається, є незмінними (сталими); або проводити аналіз на певних часових проміжках.

**Висновки.** Отже, за результатами проведеного дослідження сформована гравітаційна модель мережі каналів розподілу для підприємства реалізації хліба, хлібобулочних та інших борошняних виробів, яка дозволяє визначити ефективність взаємодії підприємства виробника і торгівлі.

Для визначення транспортної доступності межі районування обчислюються середні значення відстаней до цього району й розподіляються на зони за способом транспортування продукції. Щоб визначити ці значення, обчислюються всі відстані для кожного транспортного району, і потім з використанням спеціальних експертних алгоритмів оцінюється прийнятність пересувань.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. McCallum, National Borders Matter: Canada-U.S. Regional Trade Patterns // *The American Economic Review*. – Vol. 85. – №. 3.

2. Питтель Б.Г. Математическая модель и алгоритм расчета пассажиропотоков в городской транспортной сети / Б.Г. Питтель // *Город и пассажир*; Л.: ЛенНИИП градостроительства, 1969.

3. Попков Ю.С., Посохин М.В., Гутнов А.Э., Шмульлян Б.Л. Системный анализ и проблемы развития городов. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – С. 59.

4. Anderson, James and Eric van Wincoop (2003) «Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle» *American Economic Review*, 170-192.

5. Tinbergen J. *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. New York: Twentieth Century Fund, 1962.

6. Linneman, H. *An econometric study of world trade flows*. – North Holland Publishing, Amsterdam, 1966.

7. Baier, SL; Bergstrand, JH (2009). «Bonus Vetus OLS»: A Simple Method for Approximating International Trade-Cost Effects Using the Gravity Equation». *Journal of International Economics*. 77: 77–85.

8. Пакляченко Марина Юрьевна. Математические модели и алгоритмы функционирования технических систем со структурой «делитель-сумматор мощности»: диссертация ... кандидата Технические наук: 05.13.18 / Пакляченко Марина Юрьевна; [Место защиты: Воронежский институт Министерства внутренних дел Российской Федерации], 2016.

9. Zhang J. A Gravity Model with Variable Coefficients: The EEC Trade with Third Countries / J. Zhang, G. Kristensen // *Geographical Analysis*. – 2010. – Vol. 27, Issue 4. – P. 307–320.

## REFERENCES:

1. McCallum, National Borders Matter: Canada-U.S. Regional Trade Patterns // *The American Economic Review*. – Vol. 85. – #. 3

2. Pyttel B.H. Matematycheskaia model y alhorytm rascheta passazhyropotokov v horodskoi transportnoi sety / B.H. Pyttel // *Horod y passazhyr*; L.:LenNYYP hradostroytelstva, 1969

3. Popkov Yu. S., Posokhyn M. V., Hutnov A. E., Shmulian B. L. Systemnyi analiz y problemy razvytiya horodov. M.: Nauka. Hlavnaia redaktsiia fizyko-matematicheskoi lyteratury, 1983. – s. 59

4. Anderson, James and Eric van Wincoop (2003) «Gravity with Gravitas: A Solution to the Border Puzzle» *American Economic Review*, 170-192.

5. Tinbergen J. *Shaping the World Economy: Suggestions for an International Economic Policy*. New York: Twentieth Century Fund, 1962.

6. Linneman, H. *An econometric study of world trade flows*. – North Holland Publishing, Amsterdam, 1966

7. Baier, SL; Bergstrand, JH (2009). "Bonus Vetus OLS:"A Simple Method for Approximating International Trade-Cost Effects Using the Gravity Equation". *Journal of International Economics*. 77: 77–85.

8. Pakliachenko Maryna Yurevna. Matematycheskye modely y alhorytmy funktsyonyrovaniya tekhnicheskikh system so strukturoi "delytel-summator moshchnosti": dySSERTatsiya ... kandydata Tekhnicheskikh nauk: 05.13.18 / Pakliachenko Maryna Yurevna; [Mesto zashchyty: Voronezhskiy ynstytut Mynysterstva vnutrennykh del Rosyyskoi Federatsyy], 2016

9. Zhang J. A Gravity Model with Variable Coefficients: The EEC Trade with Third Countries / J. Zhang, G. Kristensen // *Geographical Analysis*. – 2010. – Vol. 27, Issue 4. – P. 307–320