

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 658.865

DOI: <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2023-4-13>

ВИКОРИСТАННЯ УМОВИ ЛІПШИЦЯ В СТРАТЕГІЯХ ЦІНОУТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ПОПИТУ

Я. С. ВЕРБИЦЬКИЙаспірант,
Європейський Університет

Анотація. Метою статті є дослідження застосування умови Ліпшиця в стратегіях ціноутворення на основі попиту в роздрібній торгівлі, приділяючи особливу увагу вирішенню проблем цінової стабільності. **Методика дослідження.** Дослідження базується на літературному аналізі та систематизації наукових джерел, пов'язаних з динамічним ціноутворенням, вивченні математичних інструментів та алгоритмів, а також впровадженні умови Ліпшиця у модель ціноутворення. **Результати.** У статті розглянуто, яким чином умова Ліпшиця може бути застосована у динамічному ціноутворенні, а також зроблена спроба продемонструвати, яким чином вона може бути використана для забезпечення пропорційних і стабільних змін у ціноутворенні. На основі зібраних даних була побудована модель ціноутворення, до якої була застосована умова Ліпшиця. **Практична значущість результатів дослідження.** Отримані результати дають цінну інформацію для дослідників, зацікавлених в оптимізації стратегій ціноутворення в секторі роздрібної торгівлі. Включення умови Ліпшиця в моделі ціноутворення забезпечує компаніям математично стабільний інструмент для швидкого адаптування цін відповідно до коливань функції попиту.

Ключові слова: оптимізація цін, алгоритми, аналіз даних, умова Ліпшиця, ринкове ціноутворення, стабільність цінової функції, моделювання попиту.

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Розробка цінових стратегій стає ще більш складним і важливим процесом у період зниження потенціалу економічного зростання, а також структурних змін в економіці пов'язаних з політичною нестабільністю. Гнучкість у реагуванні на зміни стає основою перевагою динамічного ціноутворення, що дозволяє компаніям швидко аналізувати попит і встановлювати оптимальні ціни. Динамічне ціноутворення широко використовується для максимізації прибутку у роздрібній торгівлі, а також у тих сферах де реагування на зміни у ціні являються вкрай важливими для збереження конкурентоспроможності. Але у динамічного ціноутворення є негативна риса, пов'язана з постійною нестабільністю цін, що може призводити до незадоволеності клієнтів. Для мінімізації такого явища використовується один із підвидів динамічного ціноутворення, а саме – ціноутворення на основі попиту, основна ідея якого полягає у корекції ціни відповідно до попиту з боку споживачів. З вирішенням проблеми стабілізації ціни може допомогти використання умови Ліпшиця, завдяки якому можна домогтися зменшення коливань попиту, що в свою чергу зможе покращити стабільність цінової функції. На основі цього можна

розробити рішення для підприємств роздрібної торгівлі, у періоди, коли попит погано передбачається, а також допомогти з впровадженням ефективних стратегій ціноутворення на основі попиту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанню динамічного ціноутворення приділено багато уваги. Наприклад, у статті Левіна, Нед'яка [1] була представлена модель динамічного ціноутворення для диференційованих товарів. Ціноутворення на основі попиту було представлено у працях Ларсона [2] і Н. Гарляну, Л. Педерсена, А. М. Потешмана [3]. Емпірично автори визначили, що ефекти тиску попиту сприяють вирішенню добре відомих головоломок ціноутворення опціонів. Їхні результати тести часових рядів показують, що попит допомагає пояснити загальну дорожнечу та асиметрію як індексних опціонів, так і опціонів на окремі акції, що може бути корисним і для торгівлі. У роботі Лігуан Лю і Пітера Сьогрена [4] визначається, як умова Ліпшиця може бути застосована в моделях ціноутворення, які включають стохастичні елементи або складні фінансові інструменти.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою роботи є дослідження застосування умови Ліпшиця в стратегіях ціноутворення на основі попиту в роздрібній торгівлі, приділяючи особливу увагу вирішенню проблем цінової стабільності.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для початку необхідно розглянути сутність і структуру динамічного ціноутворення. У роздрібній торгівлі стає можливим гнучке налаштування цін майже в реальному часі на основі факторів, таких як попит і пропозиція, ціни конкурентів, поведінка споживачів. Як і при будь якій моделі ціноутворення, ключовий фактор полягає в здатності максимізувати прибуток [3, с. 2]. У динамічному ціноутворенні є кілька підгруп:

1. Ціноутворення на основі часу: ціни коригуються відповідно до певного часу доби, тижня або року, щоб відобразити зміни в попиті.

2. Ціноутворення на основі цін конкурентів: ціни коригуються у відповідь на ціни конкурентів, що дозволяє бізнесу залишатися конкурентоспроможним на ринку.

3. Ціноутворення, орієнтоване на споживача: ціни коригуються на основі характеристик клієнта, таких як лояльність або історія покупок.

4. Контекстне ціноутворення: ціни коригуються на основі контекстуальних факторів, таких як місце розташування або погодні умови.

5. Ціноутворення на основі аукціону: ціни визначаються в процесі торгів, де клієнти роблять ставки, і той, хто запропонує найвищу ціну, отримує товар або послугу.

6. Ціноутворення на основі попиту: за такого підходу ціни встановлюються на основі сприйнятої цінності продукту або послуги для споживача, і вони можуть коливатися залежно від того, скільки клієнти готові платити в конкретний момент часу.

Хоча динамічне ціноутворення охоплює низку факторів, які можуть впливати на коригування цін, ціноутворення на основі попиту зосереджується на попиті клієнтів як основному рушійному факторі цінних змін. Ціноутворення, орієнтоване на попит, має на меті отримати вигоду з готовності клієнтів платити більше в періоди пікового попиту, а також скористатися потенціалом залучення більшої кількості клієнтів, коли попит є низьким, завдяки гнучкому встановленню цін. [8, с. 816]. Включення умови Ліпшиця в моделі ціноутворення забезпечує компаніям математично стабільний інструмент для швидкого адаптування цін відповідно до коливань попиту, оскільки вона забезпечує стійкість і стабільність функції.

Для функції Ліпшиця f існує константа K така, що для кожної пари точок x_1, x_2 виконується:

$$|f(x_1) - f(x_2)| \leq K |y_1 - y_2|.$$

Ця умова гарантує, що невеликі зміни на вході призводять до пропорційних змін на виході, запобігаючи різким коливанням. [7, с. 6]. В випадку ціноутворення на основі попиту умова Ліпшиця може гарантувати, що невеликі зміни в ціні не призведуть до непропорційних змін у попиті. Вона є важливою для підтримки стабільності еко-

номічних моделей і запобігання нереалістичним прогнозам.

Однією з особливостей роздрібної торгівлі можна вважати доступ до великої кількості різноманітних даних про поведінку клієнтів, ринкові тенденції, історію покупок, поведінку в інтернеті тощо. Аналіз даних дозволяє виявити певні закономірності та тенденції, які можуть бути використані для побудови моделей ціноутворення. За допомогою правильних аналітичних інструментів і методів інтернет-магазини можуть використовувати ці дані для оптимізації своїх цінних стратегій, поліпшення клієнтського досвіду і, в кінцевому підсумку, для зростання економічних показників [5, с. 3]. У випадку інтеграції умови Ліпшиця для ціноутворення на основі попиту, потрібно зібрати певні специфічні типи даних. По-перше, історію продажів, оскільки вони дають уявлення про те, як попит на продукт або послугу змінювався з плином часу. Також необхідна історія цін конкурентів, якщо до неї є доступ, а також дані про поведінку споживачів. На основі отриманої інформації можливо створити такий набір даних, який більш коректно підходить для кожного конкретного випадку. Для того, щоб набір даних більш точно відображав необхідні критерії, до нього можна додати географічну інформацію, історію переглядів, кількість кліків та історію закупівель. Крім того, ринкові дані, такі як ціни конкурентів, ринкові тенденції та економічні показники, можуть бути використані для розуміння ширшого ринкового середовища та його впливу на попит. Для побудови умови Ліпшиця для ціноутворення на основі попиту також необхідні дані про цінову еластичність попиту. Цінова еластичність вимірює, наскільки чутливим є попит на товар чи послугу до зміни ціни. Ця інформація має вирішальне значення для розуміння того, як зміни в ціні впливають на попит, і може бути використана для відповідної оптимізації цінних стратегій. Набір даних для побудови моделі ціноутворення, що представлена в цій статті (рис. 1), включає наступні показники: детальну інформацію про товар, канал збуту, кількість і оцінку проданих товарів, вартість (що безпосередньо пов'язана з ціноутворенням, і яка необхідна для аналізу того, як ціна впливає на продажі), ідентифікатори просування (необхідні для розуміння впливу акцій та знижок на ціноутворення та продажі.), дату проведення операцій, якість обслуговування, географічні дані. Також були враховані дані про фізичних осіб і бізнес-клієнтів, оскільки підхід до кожної з груп дещо відрізняється.

Було використано регресійні моделі Ridge та Lasso для регуляризації. Регуляризація допомагає контролювати величину коефіцієнтів, тим самим гарантуючи, що вихід моделі змінюється контрольованим чином по відношенню до входів, що є вимогою безперервності Ліпшиця.

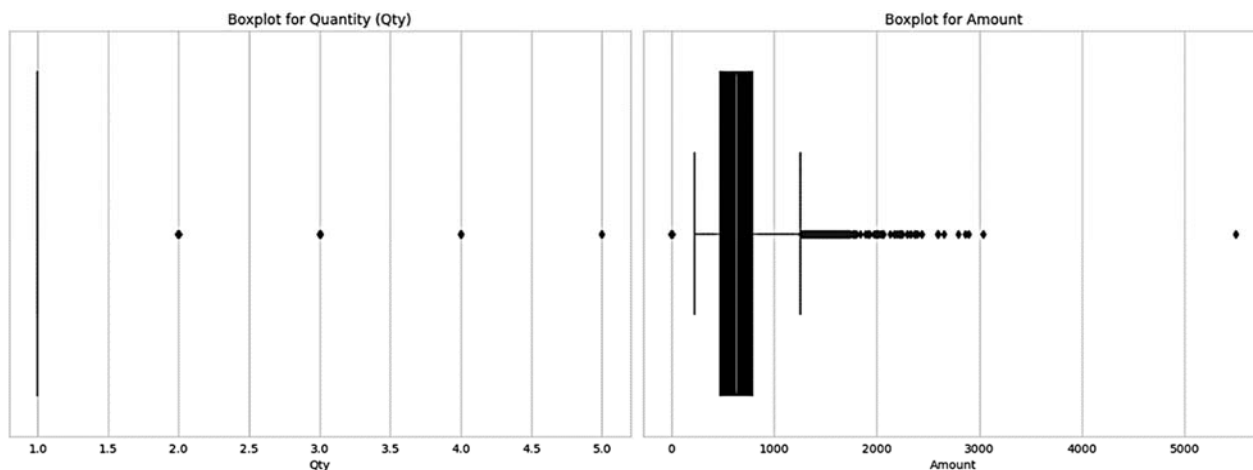


Рис. 1. Графічне відображення обраного набору даних з розподіленням значень кількості товарів

Джерело: сформовано автором за [9; 10]

Ridge Regression продемонструвала більшу стабільність у показниках R^2 на різних рівнях регуляризації, що свідчить про її надійність для цього набору даних і завдання.

Lasso Regression, яка також виконує відбір ознак, показала зниження продуктивності зі збільшенням рівня регуляризації. Це свідчить про те, що необхідно ретельно підходити до вибору рівня регуляризації, щоб підтримувати продуктивність моделі, забезпечуючи при цьому неперервність Ліпшиця.

Використовуючи вищеназвані методи регуляризації, ми опосередковано забезпечили певну форму неперервності Ліпшиця. (R^2 Score: 0.4639/0.4636 відповідно).

Менші коефіцієнти, означають, що прогнози цінової моделі не змінюються кардинально при невеликих змінах вхідних характеристик. Забезпечення точної неперервності Ліпшиця в складних реальних наборах даних може бути складним завданням, але підхід, застосований тут, є практичним способом наближення до цієї умови.

Процес відбору ознак, заснований на кореляційному аналізі та подальшому вдосконаленні за допомогою регресії Лассо, допоміг визначити найбільш впливові змінні на ціноутворення.

Масштабування ознак було важливим для нормалізації впливу різних ознак, що сприяло підтримці послідовної та контрольованої зміни обсягу виробництва. Використані лінійні моделі забезпечили розумний баланс між складністю та інтерпретованістю. Хоча більш складні моделі можуть краще відображати нелінійні взаємозв'язки, вони також можуть порушувати умову Ліпшиця, якщо їх ретельно не контролювати. Графік (рис. 2) відображає, що за умови Ліпшиця можна перевірити, чи може бути швидкість зміни ціни відносно зміни кількості обмеженою. Якщо нахил цієї кривої є стабільно крутим або пологим, це свідчить про більш чутливу або менш чутливу цінову стратегію до зміни кількості відповідно.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. Інтеграція безперервності Ліпшиця в модель ціноутворення була здійснена за допомогою лінійних моделей з регуляризацією, масштабуванням ознак та ретельним відбором ознак. Цей підхід мав на меті забезпечити стабільні та контрольовані цінові прогнози, що є ключовим аспектом застосування умови Ліпшиця в практичних сценаріях. Майбутні кроки можуть включати вивчення більш складних моделей, подальшу розробку функцій або вдосконалені методи регуляризації для вдосконалення моделі, зберігаючи при цьому бажану властивість Ліпшиця.

Використання умови Ліпшиця в стратегіях ціноутворення на основі попиту є особливо корисним для забезпечення стабільності та надійності функцій ціноутворення. Гарантуючи, що невеликі зміни попиту призводять до пропорційних змін ціни, умова Ліпшиця запобігає різким коливанням цін, які можуть негативно вплинути на задоволеність клієнтів та ефективність бізнесу. Ця стабільність має вирішальне значення для підтримки цілісності цінових стратегій і забезпечення їх відповідності динаміці ринку та очікуванням клієнтів. Таким чином, інтеграція умови Ліпшиця в стратегії ціноутворення на основі попиту пропонує вирішення проблем, з якими стикаються продавці при впровадженні ефективних і зручних для клієнтів стратегій динамічного ціноутворення. За допомогою аналізу великої кількості доступних даних, стає можливим оптимізація своїх цінових стратегій. Це дає можливість підвищити рівень задоволеності клієнтів і, зрештою, сприяти зростанню бізнесу. Умова Ліпшиця забезпечує міцну математичну основу для досягнення цих цілей, гарантуючи, що функції ціноутворення є стабільними, добре керованими та узгодженими з динамікою ринку та очікуваннями клієнтів.

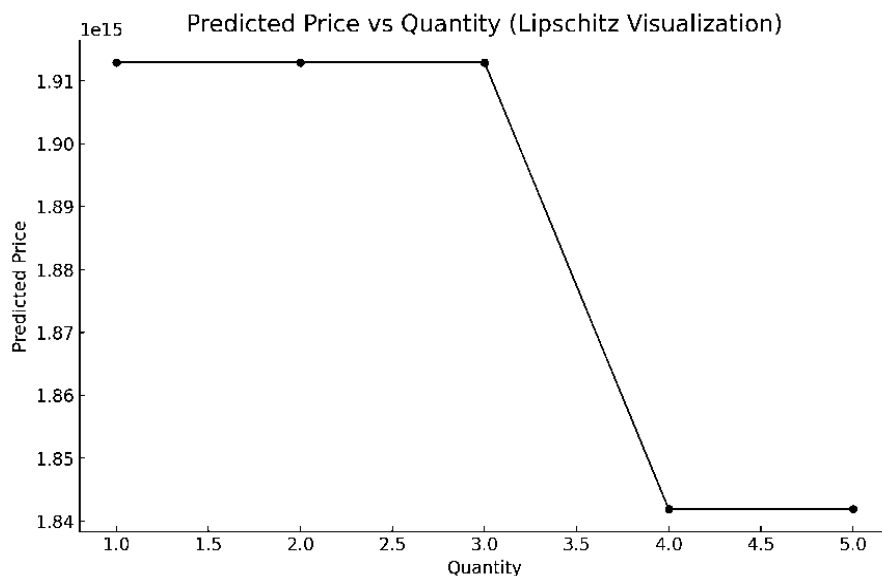


Рис. 2. Графік залежності між кількістю та прогнозованою ціною

Джерело: сформовано автором за [9; 10]

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Levin Y., Nediak M. (2009) Dynamic Pricing in the Presence of Strategic Consumers and Oligopolistic Competition. *Manag. Science*, vol. 55, pp. 32–446.
2. Larson R.B. (2019). Promoting demand-based pricing. *Journal of Revenue and Pricing Management*, vol. 18, pp. 42–51.
3. Gârleanu N., Pedersen L.H., Poteshman A.M. (2009). Demand-Based Option Pricing. *The Review of Financial Studies*, vol. 22(10), pp. 4259–4299.
4. Liu L., Sjögren P. (2015) On the Global Gaussian Lipschitz Space. *Proceedings of the Edinburgh Mathematical Society*, vol. 60, pp. 707–720.
5. Mao, Jieming, Renato Paes Leme and Jon Schneider (2018) Contextual Pricing for Lipschitz Buyers. *Neural Information Processing Systems*.
6. Luo, Yiyun, Will Wei Sun and Yufeng Liu (2022) Contextual Dynamic Pricing with Unknown Noise: Explore-then-UCB Strategy and Improved Regrets.” *Neural Information Processing Systems*.
7. Heinonen, Juha M. (2005) Lectures on Lipschitz analysis. University of Jyväskylä. Department of Mathematics and Statistics, 77 p.
8. Ellickson P. B., Misra S. (2008) Supermarket Pricing Strategies. *Marketing Science*, vol. 27, pp. 811–828.
9. Kaggle Inc. (2022). E-Commerce Sales Dataset. The Devastator Available at: <https://www.kaggle.com/datasets/thedevastator/unlock-profits-with-e-commerce-sales-data/>
10. Verbytskyi Y. Analysis data and modelling using lipschitz. GitHub. 2023. Available at: <https://github.com/verbytsky/Lipschitz-analysis/blob/main/Lipshitz.ipynb>

Yaroslav Verbytsky, European University, Use of lipschitz condition in demand-based pricing strategies.

Annotation. The purpose of the article is to delve into the integration of the Lipschitz condition in demand-driven pricing strategies within the retail sector, emphasizing its potential to address challenges related to price stability. This research aims to provide a detailed exploration of the Lipschitz condition's application, contributing to the ongoing discourse on dynamic pricing models and their optimization. **Methodology.** The study adopts a multifaceted approach, incorporating a comprehensive literature review and systematic analysis of academic sources pertinent to dynamic pricing. It further involves an in-depth examination of mathematical methodologies and algorithms, centering on the integration of the Lipschitz condition into retail pricing models. This methodology ensures a robust framework for analyzing the theoretical and practical implications of the Lipschitz condition in dynamic pricing. **Findings.** The article presents an intricate analysis of how the Lipschitz condition can be strategically employed within dynamic pricing structures. It seeks to illustrate the potential of this condition to facilitate proportional and consistent pricing adjustments, thereby enhancing price stability in the retail sector. A pricing model incorporating the Lipschitz condition was developed and scrutinized, utilizing empirical data. This model serves as a critical case study demonstrating the practical application and efficacy of the Lipschitz condition in dynamic pricing. **Practical value.** The findings of this research offer significant insights for both academics and practitioners involved in the development and optimization of pricing strategies in retail. The incorporation of the Lipschitz condition into pricing models emerges as a noteworthy contribution, providing a mathematically robust framework that enables businesses to rapidly adjust prices in response to dynamic changes in demand. This study thereby adds a valuable dimension to the existing body of knowledge in the field of retail pricing strategy, offering a novel perspective on the use of mathematical conditions in formulating responsive and stable pricing models.

Keywords: price optimization, algorithms, data analysis, Lipschitz condition, market pricing, stability of the price function, demand modeling.