

Використання закону розподілу трендових залишків врожайності для моделювання ризиків виробництва зерна

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2025.089>

Максим Гаврилюк

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
m.s.havryliuk@nuwm.edu.ua

Петро Грицюк

Національний університет водного господарства та природокористування
м. Рівне, Україна
p.m.hrytsiuk@nuwm.edu.ua

Зерновиробництво є основою аграрної галузі України, відіграючи ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки, формуванні експортного потенціалу та розвитку сільськогосподарських угідь. Завдяки сприятливим природно-кліматичним умовам і наявності родючих ґрунтів, Україна традиційно залишається одним із провідних виробників і експортерів зерна у світі. Однак, ця галузь економіки залишається високоризикованою через значні коливання врожайності культур та закупівельних цін. У даному дослідженні поставлено завдання дослідити різні підходи до оцінювання ризику зерновиробництва, пов'язаного з міжрічними коливаннями врожайності. В якості досліджуваної культури обрано пшеницю. Враховуючи помітне зростання врожайності пшениці за останні роки, для статистичного аналізу були використані не значення врожайності, а відхилення врожайності від лінійного тренду. Розвинуті два підходи до оцінювання ризику: порівняльний, який дозволяє порівнювати ступінь ризику зерновиробництва у двох регіонах, та квантильний, який дозволяє оцінити імовірність фіксованих втрат зерна у даному регіоні. Дані підходи можуть бути використані як аналітичний інструмент при плануванні агропромислового виробництва, особливо в умовах зростаючих кліматичних ризиків. Результати дослідження мають практичне значення для аграрних менеджерів, економістів та державних органів, зацікавлених у підвищенні стабільності та прогнозованості виробництва зернових культур. Запропоновані підходи до кількісного оцінювання ризику дозволяють не лише визначити ступінь можливих втрат, але й формувати ефективні стратегії зниження негативного впливу несприятливих факторів.

Ключові слова – зерновиробництво; врожайність пшениці; аграрний ризик; квантильний підхід; оцінювання ризиків.

I. ВСТУП

Виробництво зерна є однією з найважливіших галузей економіки України, що забезпечує продовольчі потреби населення та стабільний приплив валюти. В той же час, зерновиробництво є високоризиковим бізнесом з огляду на те, що на

врожайність дуже сильно впливають зміни погодно-кліматичних умов. Сучасний підхід до оцінювання економічних ризиків опирається на статистичний аналіз дохідності активу. В ролі дохідності зерновиробництва зазвичай вибирають рентабельність зерновиробництва, значення якої надають статистичні джерела [1].

II. ВКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

A. Статистичні методи оцінювання ризику

Класичним методом оцінювання ризику в економіці є використання стандартного відхилення дохідності активу. Для використання такого підходу необхідно виконання двох умов: стаціонарність дохідності та відповідність даних до нормального закону розподілу. У нашому дослідженні аналогом дохідності виступає врожайність. При цьому перша з вказаних вище умов не виконується, оскільки врожайність пшениці зростає в усіх регіонах України. Тому ми використовуємо модифікований варіант стандартного відхилення для нестационарних даних.

Інший підхід, який є ефективним для порівняльного аналізу ступеня ризику вирощування пшениці в областях України – це ранжування областей за ступенем спадання ризику. При цьому ранг 1 відповідає регіону з найвищим ступенем ризику. Аналіз таблиці показує, що практично немає різниці між методами оцінки ризику R3 та R4. Різниця між методами R1 та R2 також є невеликою. Звідси слідує висновок, що метод семіваріації не вносить суттєвого покращення в оцінку ризику зерновиробництва. Різниця між підходами R1 та R3 також не дуже велика. Таким чином, остаточний висновок полягає у тому, що варіація трендових відхилень врожайності R1 є достатньо надійним методом оцінювання ризику зерновиробництва. Метод ранжування дає найвищі оцінки ризику зерновиробництва для Харківської, Дніпропетровської, Кіровоградської та Одеської областей. Найменші ризики зерновиробництва є

характерними для Рівненської, Волинської, Львівської та Закарпатської областей.

В. Ідентифікація закону розподілу врожайності

Аналіз кореляційної матриці, побудованої на основі часових рядів детрендованої врожайності, дозволив нам виділити три агрокліматичні зони на території України: степова зона (Одеська, Херсонська, Миколаївська, Дніпропетровська, Запорізька та Кіровоградська області); лісостепова зона (Сумська, Харківська, Полтавська, Київська, Черкаська та Вінницька області); західна зона (Волинська, Рівненська, Житомирська, Львівська, Тернопільська та Хмельницька області). Для групування областей ми використовували кореляційний аналіз часових рядів детрендованої врожайності. Такий підхід пояснюється тим, що значення трендових залишків врожайності найбільш адекватно відображає вплив погодно-кліматичних умов на врожайність пшениці. Якісно відмінний характер динаміки врожайності в інших областях України, які не включені до даного переліку, не дозволив віднести їх до жодної з вищезазначених зон [2].

Наші дослідження показали, що трендові залишки врожайності добре підкоряються нормальному закону розподілу у західному регіоні України і, дещо гірше, у лісостеповому регіоні. Розподіл залишків врожайності для степового регіону має характерні «важкі хвости» і найкраще описується розподілом Лапласа [3]. Використання асиметричного розподілу Лапласа дає лише невеликі поправки до симетричного розподілу трендових залишків врожайності (коефіцієнт асиметрії $k=0,994$). Це свідчить про незначну асиметрію розподілу.

С. Квантильні методи оцінювання ризиків

У даному дослідженні ми використовуємо методику оцінювання ризиків, прийняту для оцінювання фінансових ризиків. Довгий час традиційним методом вимірювання фінансових ризиків було стандартне відхилення дохідності. Цей підхід ґрунтується на припущенні про нормальний розподіл доходів. Коли з'ясувалося, що нормальний розподіл не характерний для дохідності фінансових інструментів, стали використовуватися інші методи оцінки ризику. Найбільш поширеними серед них є кількісні оцінки ризику, які спираються на гіпотези про тип розподілу дохідності фінансового інструмента.

У сучасній теорії ризиків найкращими вважаються міри, які обчислюють ризик на основі відповідних квантилів функції втрат. Сьогодні найпоширенішою квантильною мірою є *Value-at-Risk* (VaR) [4]. VaR_α – це мінімальний рівень втрат з імовірністю $(1-\alpha)$, або ж максимальний рівень втрат з імовірністю α . VaR_α – це оцінка втрат, яку очікувані збитки не перевищать протягом даного періоду часу з заданою ймовірністю α . Для обчислення точного значення квантилі необхідно знати функцію розподілу дохідності досліджуваного активу $F_X(x)$. При відомому рівні довіри α для VaR_α ризик фінансового активу з дохідністю x_i дорівнює

$$VaR_\alpha(x_i) = \sup\{x \in \mathbb{R} : F_X \leq \alpha\} \quad (1)$$

VaR_α характеризується трьома параметрами: рівнем довіри (зазначена ймовірність), часовим горизонтом і одиницями вимірювання. Для статистики врожайності ми використовували рівень довіри 90% ($\alpha=0,10$). Такий вибір пояснюється значними коливаннями врожайності пшениці у різні роки спостережень. Наприклад, для Дніпропетровської області середньоквадратичне відхилення залишків врожайності становить 8,29 ц/га, для Харківської області цей показник становить 8,18 ц/га. Період часу у наших оцінках становить 1 рік, одиницею вимірювання є одиниця вимірювання врожайності – 1 ц/га.

Недоліком методу VaR є те, що він дає оцінку ризику тільки для зазначеного рівня достовірності. Крім того, міра ризику VaR не є адитивною. Цей недолік відсутній в методі умовного значення під ризиком ($CVaR$), який заснований на методі VaR . Умовна вартість під ризиком – це зважений за ймовірністю очікуваний збиток у хвості розподілу за межами порогу VaR . Формальне визначення $CVaR$ можна записати наступним чином:

$$CVaR_\alpha(X) = E(F(X) | X > VaR_\alpha) \quad (2)$$

Використовуючи форму функції розподілу Лапласа, аналітичний вираз для VaR_α можна знайти при заданому довірчому рівні VaR_α

$$VaR_\alpha = \mu + \frac{1}{\nu} \ln(2\alpha) \quad (3)$$

Використовуючи отримані вирази та програмне середовище Python за підтримки бібліотеки Scipy, ми розрахували оцінки ризику VaR та $CVaR$ на довірчому рівні 90% для кожної агрокліматичної зони (Table 1). Для розрахунку $CVaR$ ми виконували чисельне інтегрування функції розподілу $F(x)$ згідно із співвідношенням

$$CVaR_\alpha = \frac{\int_{-VaR_\alpha}^{VaR_\alpha} x \cdot F(x) dx}{\int_{-VaR_\alpha}^{VaR_\alpha} F(x) dx} \quad (4)$$

TABLE 1. Міри ризику VaR і $CVaR$ для різних агрокліматичних зон (рівень надійності 90%)

	Степ	Лісостеп	Захід
Розподіл залишків	Лапласа	нормальний	нормальний
VaR , (ц/га)	-9.43	-8.40	-5.67
$CVaR$, (ц/га)	-15.84	-11.51	-7.76

Наведене у Table 1 значення $CVaR$ дає оцінку можливих втрат врожайності (ц/га) у порівнянні з очікуваним трендовим значенням, які можуть настати з імовірністю 10% і менше. Як показує аналіз таблиці 3, міра ризику $CVaR$ дає оцінку ризику на 37% вищу, ніж міра ризику VaR у випадку нормального розподілу; міра ризику $CVaR$ дає оцінку ризику на 68% вищу, ніж міра ризику VaR у випадку розподілу Лапласа. З таблиці видно, що степова зона є найбільш ризикованим регіоном з точки зору вирощування пшениці. Захід є найменш ризикованим регіоном завдяки малій імовірності літньої спеки та посухи. Однак, зміни клімату, які тривають, можуть змінити отримані нами оцінки.

III. Висновки

Таким чином, використовуючи сучасні інструменти оцінювання ризиків ми отримали можливість оцінювати імовірність настання низьких врожаїв. Отримані результати представляють інтерес для аграріїв та інвесторів, оскільки дозволяють планувати посіви зернових з урахуванням імовірних ризиків.

Література

[1] Державна служба статистики України [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>.

- [2] Грицюк П.М., Гаврилюк М.С., Джоші О.І. Ідентифікація закону розподілу трендових залишків врожайності як інструмент моделювання ризиків зерновиробництва. Штучний інтелект (2025) 30(2): 72-83. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2025.02.072>.
- [3] Petro Hrytsiuk, Tetiana Babych (2020). The cryptocurrencies risk measure based on the Laplace distribution. Machine Learning for Prediction of Emergent Economy Dynamics 2020. International Conference on Monitoring, Modeling & Management of Emergent Economy, Odesa, Ukraine, January 2022, pp. 261-276.
- [4] Dowd, Kevin, «Measuring Market Risk. John Wiley & Sons», 2005