

*Старушенко Г. А., канд. техн. наук, професор,
Фургалю Д. Ю., магістр з управління проектами,
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*

ЦИФРОВА МОДЕЛЬ РИЗИК-МЕНЕДЖМЕНТУ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ

Управління ризиком відіграє особливу роль у публічному управлінні, що є специфічним для сфери діяльності, де неможливо запобігти випадковості та конфліктності, які виникають із різноманітних причин: політичних подій, податкового регулювання, законодавчих змін, коливань цін і курсів валют, конкуренції, невиконання договірних зобов'язань, природних явищ та багатьох інших факторів.

У зв'язку з цим на кожному етапі управлінської діяльності необхідні обов'язкові оцінки ризиків, націлені на прогнозування кінцевих результатів і вибір оптимальних стратегій в умовах невизначеності, щоб перетворити невизначеність на можливість.

На сьогодні багатьма українськими та зарубіжними науковцями проводяться різнопланові дослідження стосовно ризик-менеджменту та управління ризиками. Це підкреслює в своїх дослідженнях П. Михно (2012), наголошуючи, що розвинені країни світу приділяють значну увагу створенню ефективних інструментів управління ризиками на всіх рівнях – як в державному управлінні, так і в приватному секторі економіки.

Єдиного механізму управління ризиками не існує, тому що завжди необхідно враховувати особливості конкретного ризику, його специфіку, вплив внутрішнього та зовнішнього середовищ, питання правового характеру та багато інших факторів. Саме тому в публічно-управлінській діяльності так важливо правильно ідентифікувати ризикові ситуації, коректно прогнозувати результати обраних альтернатив, адекватно з кількісної сторони оцінювати ризики, системно й грамотно управляти ними.

Так, в публікаціях В. Вітлінського (2010) та В. Вітлінського і В. Скіцько (2018) досліджені методи кількісних оцінок, моделювання та оптимізації управління економічним ризиком, висвітлені питання ризик-менеджменту в умовах цифрової економіки. В монографії О. Мороза і А. Матвійчука (2003) розглядаються питання оптимального управління економічними системами в умовах невизначеності та ризику. У роботі І. А. Лагунової (2018) проаналізовано сутність і сформульовані принципи формування системи ризик-менеджменту, розглянуто елементи ефективної системи моніторингу ризиків. В статті М. Левченко (2011) встановлені загальні фактори впливу на визначення внутрішніх і зовнішніх ризиків діяльності підприємства та проведена їх класифікація. В науковій праці Т. Головач зі співавт. (2009)

досліджені функції й основні етапи ризик-менеджменту, теоретичні та практичні аспекти його застосування на підприємствах, ключові міжнародні стандарти ризик-менеджменту.

Метою даної роботи є розробка цифрової моделі ризик-менеджменту в публічно-управлінській діяльності для оцінки ефективності інвестицій та уникнення ризику банкрутства при інвестуванні за рахунок узятого під процент кредиту.

З математичної точки зору модель заснована на використанні нерівності Чебишева (В. Барковський зі співавт., 2010), узагальненої з урахуванням закону розподілу випадкової величини ефективності інвестицій.

Нерівність Чебишева дає можливість при будь-якому законі розподілу випадкової величини x оцінити ймовірність:

$$P(|x - m_x| < \varepsilon) \geq 1 - \frac{D_x}{\varepsilon^2}, \quad (1)$$

де m_x – математичне сподівання випадкової величини x , D_x – дисперсія.

Якщо відомий закон розподілу випадкової величини x , то нерівність (1) перетворюється на строгу рівність. Так, якщо випадкова величина x має нормальний розподіл, то співвідношення (1) приймає вигляд (G. Starushenko, E. Starushenko, 2009):

$$P(|x - m_x| \geq \varepsilon) = 1 - 2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_x}\right), \quad (2)$$

де σ_x – середнє квадратичне відхилення, Φ – функція Лапласа (В. Барковський зі співавт., 2010).

Нерівність Чебишева може бути застосована у практиці ризик-менеджменті для оцінки ймовірності банкрутства. Якщо R – випадкова величина ефективності інвестицій, здійснюваних за рахунок кредиту, взятого під відсоток r_s , то за нерівністю Чебишева ймовірність банкрутства P_b визначається у вигляді (G. Starushenko, E. Starushenko, 2009):

$$P_b \begin{cases} \leq \left(\frac{\sigma_R}{m_R - r_s}\right)^2 & \text{при } m_R - r_s \geq \sigma_R, \\ = 1 & \text{при } m_R - r_s \leq \sigma_R \end{cases}, \quad (3)$$

де m_R – математичне сподівання ефективності інвестицій, σ_R – середнє квадратичне відхилення.

За умови відомого нормального розподілу випадкової величини ефективності інвестицій R зі співвідношень (2), (3) отримуємо формулу для ймовірності банкрутства (G. Starushenko, E. Starushenko, 2009):

$$P_b = 1 - 2\Phi\left(\frac{mR - r_s}{\sigma R}\right). \quad (4)$$

Кількісний аналіз ризикової моделі (4) проведено в математичному редакторі Maple 18.

1) Функція ймовірності банкрутства (4) при фіксованому значенні відсотку за кредитом r_s (при розрахунках умовно прийнято $r_s = 10\%$) проілюстрована на рис. 1.

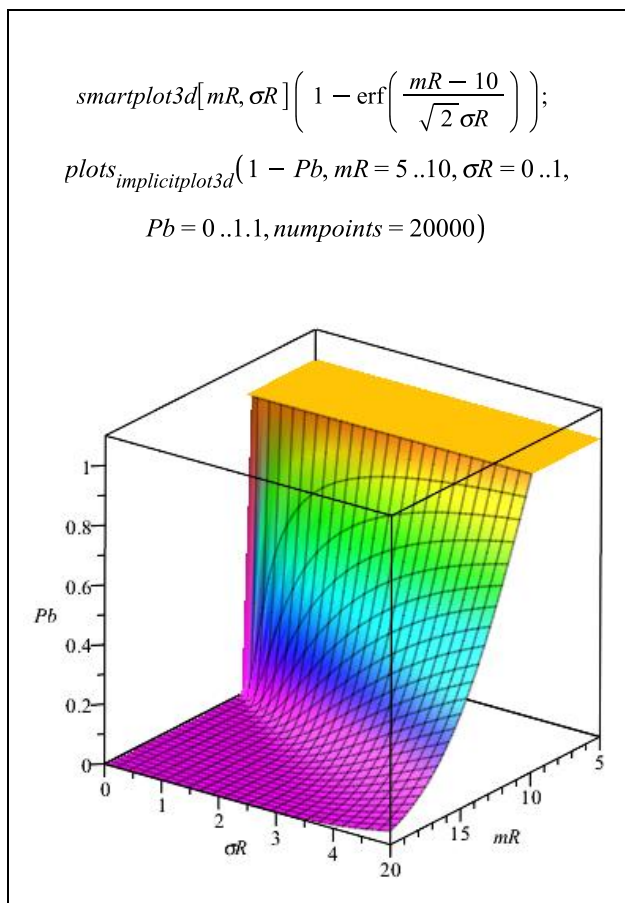


Рис. 1 – Функція ймовірності банкрутства (4) при фіксованому значенні відсотку за кредитом $r_s = 10\%$

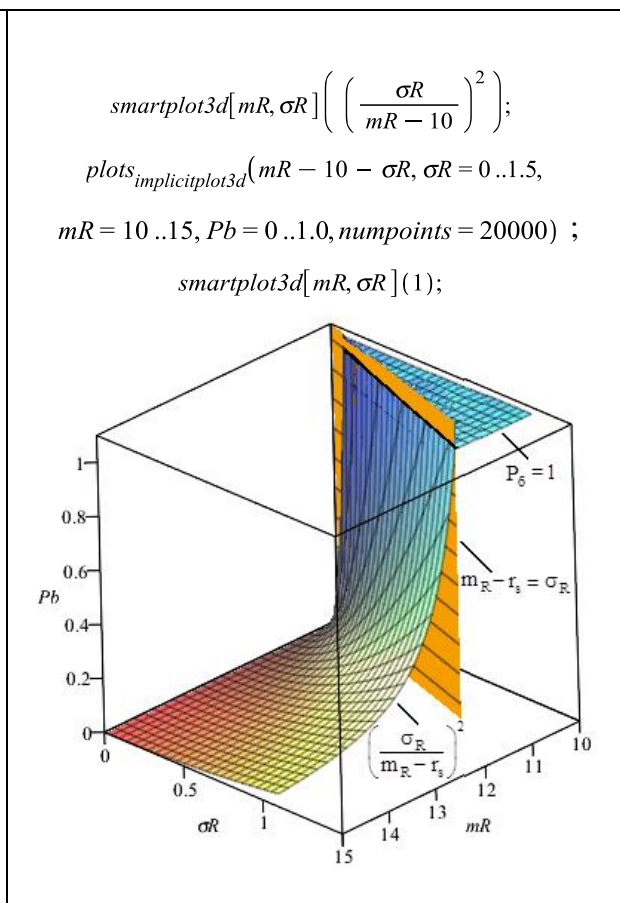


Рис. 2 – Функція ймовірності банкрутства (3) при $r_s = 10\%$ без урахування закону розподілу випадкової величини ефективності інвестицій R

Для порівняння, на рис. 2 показана функція ймовірності банкрутства (3), знайдена при $r_s = 10\%$ без урахування закону розподілу випадкової величини ефективності інвестицій R .

2) Кількісна оцінка мінімального ризику, тобто при $P_b \rightarrow 0$, при значенні відсотку за кредитом $r_s = 10\%$ наведена на рис. 3, де $\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ – функція помилок. В даному

випадку мінімальна ймовірність банкрутства $P_{b \min} = 0,7772 \cdot 10^{-17} \rightarrow 0$ при $m_R = 12,4517$, $\sigma_R = 0,3043$.

Графічна оцінка мінімального ризику при $r_s = 10\%$ проілюстрована на рис. 4.

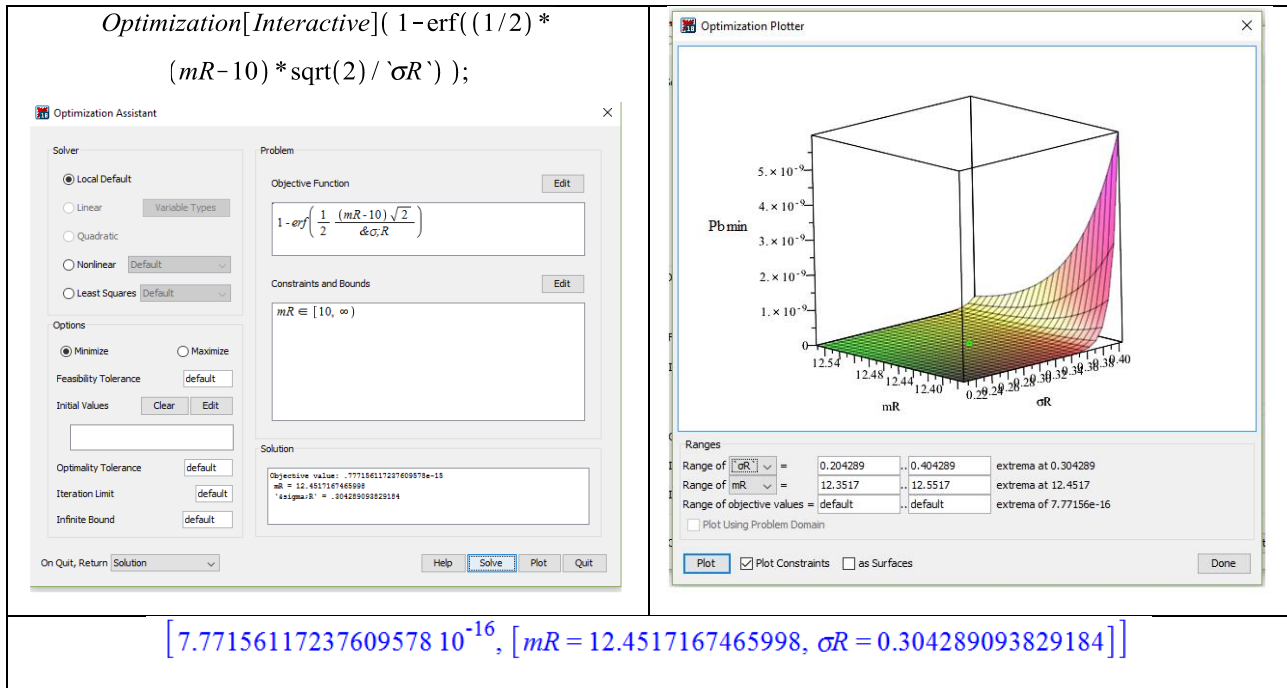


Рис. 3 – Кількісна оцінка мінімального ризику

Рис. 4 – Графічна оцінка мінімального ризику при значенні відсотку за кредитом $r_s = 10\%$

1) При мінімальній імовірності ризику і заданому відсотку за кредитом r_s залежність $\sigma_R = f(m_R)$ для різних значень r_s представлена на рис. 5.

2) На рис. 6 надано графік осередненої величини ймовірності банкрутства \tilde{P}_b при зміні математичного сподівання ефективності інвестицій у проміжку $10 \leq m_R \leq 30$.

Як очевидно слідує з рис. 6, осереднена величина ймовірності банкрутства швидко зростає при збільшенні середнього квадратичного відхилення σ_R і досягає критичного значення $\tilde{P}_b = 0,8700$. При цьому критичне значення ймовірності \tilde{P}_b закономірно збільшується зі зростанням величини відсотку за кредитом r_s .

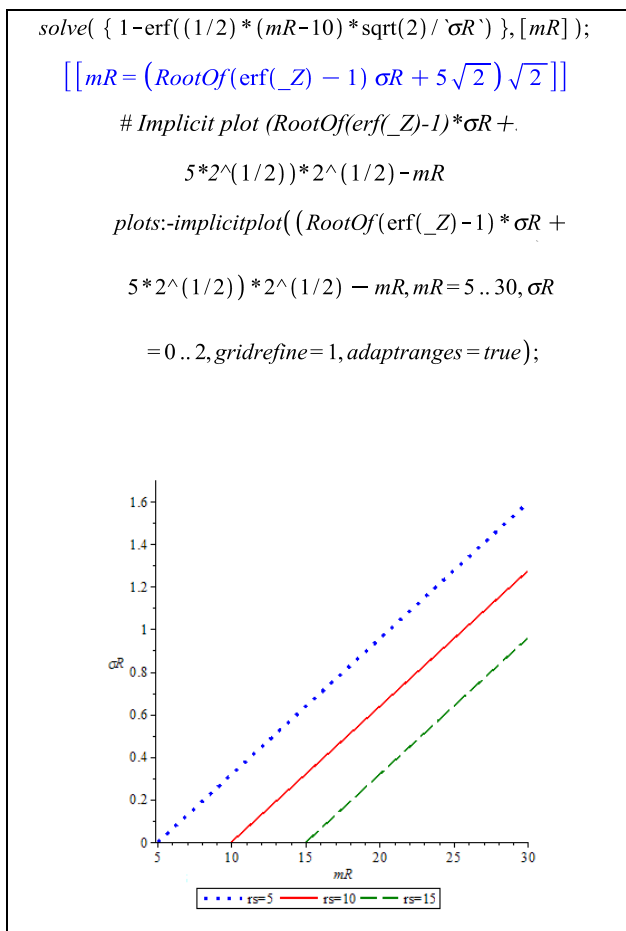


Рис. 5 – Функція $\sigma_R = f(m_R)$ для різних значень r_s , яка відповідає мінімальній імовірності ризику

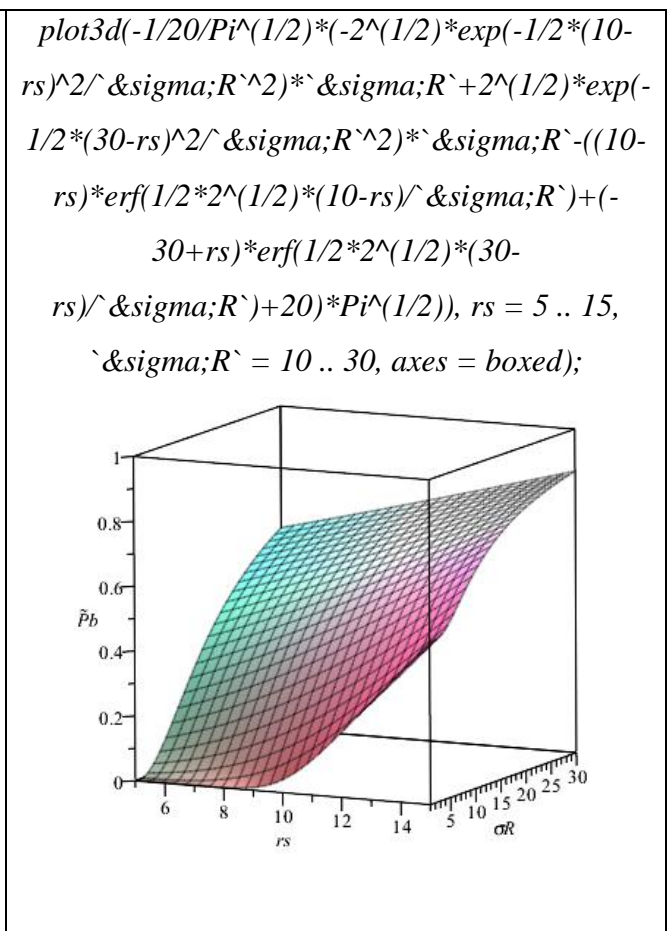


Рис. 6 – Функція ймовірності банкрутства \tilde{P}_b , осереднена за математичним сподіванням ефективності інвестицій

В загальному вигляді осереднена величина ймовірності банкрутства \tilde{P}_b при зміні математичного сподівання ефективності інвестицій у проміжку $m_{R0} \leq m_R \leq m_{R1}$, тобто

$$\tilde{P}_b = \frac{1}{m_{R1} - m_{R0}} \int_{m_{R0}}^{m_{R1}} \left[1 - 2\Phi\left(\frac{m_R - r_s}{\sigma_R}\right) \right] dm_R,$$

описується аналітичним співвідношенням:

$$\tilde{P}_b = \frac{\sqrt{2} \sigma_R (e^{-\alpha_1^2} - e^{-\alpha_0^2}) + (m_{R1} - r_s) \operatorname{erf}(\alpha_1) - (m_{R0} - r_s) \operatorname{erf}(\alpha_0) + (m_{R1} - m_{R0})}{(m_{R0} - m_{R1}) \sqrt{\pi}}$$

де

$$\alpha_0 = \frac{m_{R0} - r_s}{\sqrt{2} \sigma_R}; \quad \alpha_1 = \alpha_0 (m_{R0} \rightarrow m_{R1}).$$

3) Кількісний та якісний характер функції максимального ризику (максимальної ймовірності банкрутства $P_b \rightarrow 1$) показано на рис. 7, 8.

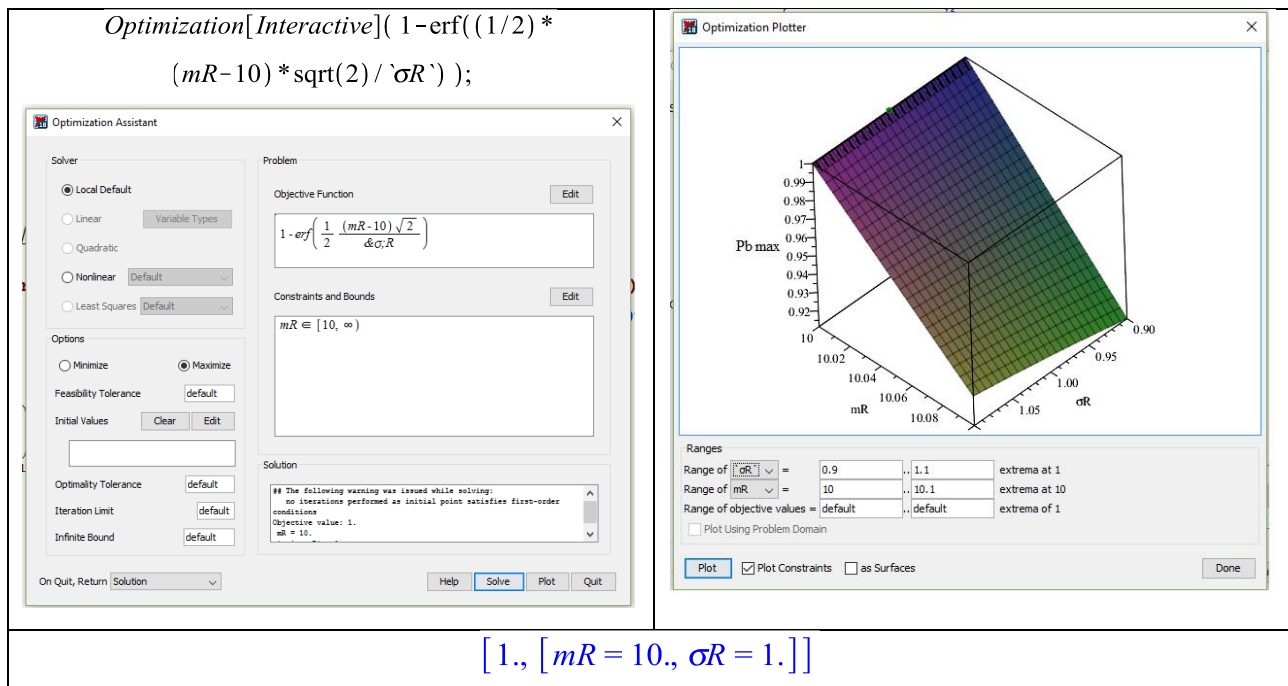


Рис. 7 – Кількісна оцінка максимального ризику

Рис. 8 – Графічна оцінка максимального ризику при значенні відсотку за кредитом $r_s = 10\%$

Як видно з рис. 8, при значеннях $m_R \sim r_s$ максимальна ймовірність банкрутства прогнозовано наближається до граничного значення $P_{b \max} \rightarrow 1$.

4) Для функції ймовірності уникнення банкрутства P_{ub} отримуємо зі співвідношень (3), (4) відповідно вирази:

- без урахування закону розподілу випадкової величини ефективності інвестицій:

$$P_{ub} \begin{cases} \geq 1 - \left(\frac{\sigma_R}{m_R - r_s} \right)^2 & \text{при } m_R - r_s \geq \sigma_R ; \\ = 0 & \text{при } m_R - r_s \leq \sigma_R \end{cases} \quad (5)$$

- за умови нормального розподілу випадкової величини ефективності інвестицій:

$$P_{ub} = 2\Phi\left(\frac{m_R - r_s}{\sigma_R}\right). \quad (6)$$

Очевидно, що аналіз співвідношень (5), (6) може бути проведений по аналогічній розробленій вище схемі для функції ймовірності банкрутства P_b .

Висновки:

1) Урахування закону розподілу випадкової величини ефективності інвестицій значущо впливає на ймовірність банкрутства (уникнення банкрутства). Отже, для уникнення ризику банкрутства при інвестуванні за рахунок узятого під процент кредиту й оцінки ефективності інвестицій доцільним є урахування їх закону розподілу.

2) Побудована цифрова модель ризик-менеджменту дає можливість з використанням сучасних цифрових технологій змодельювати ризикову ситуацію стосовно ефективності інвестицій, дати їй адекватну кількісну оцінку й вибрати оптимальну стратегію задля зменшення ризику до прийнятних меж.

Як напрямок для подальших досліджень вважаємо доцільним побудову й аналіз цифрової моделі ризик-менеджменту стосовно оцінки ефективності інвестицій за умови їх рівномірного розподілу.

Список використаних джерел:

1. Михно, П. (2012). Державне управління ризиком як механізм мінімізації невизначеності. Збірник наукових праць Національної академії державного управління при Президентові України, 2, 90–100. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpnadu_2012_2_12.

2. Вітлінський, В. В. (2010). Кількісне оцінювання ступеня економічного ризику. Вісник ЖДТУ: Економіка, управління та адміністрування, 1 (51), 159–162. URL: [https://doi.org/10.26642/jen-2010-1\(51\)-159-162](https://doi.org/10.26642/jen-2010-1(51)-159-162).

3. Вітлінський, В. В., & Скіцько, В. І. (2018). Ризик-менеджмент ланцюгів постачання в умовах цифрової економіки. Бізнес-інформ, 4, 384–392. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2018_4_55.

4. Мороз, О. В., & Матвійчук А. В. (2003). Оптимальне управління економічними системами в умовах невизначеності та ризику : монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця. 177 с.

5. Лагунова, І. А. (2018). Сутність та принципи концепції ризик-менеджменту. Актуальні проблеми державного управління, 1 (53), 44–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/apdy_2018_1_9.

6. Левченко, М. О. (2011). Фактори визначення внутрішнього та зовнішнього ризиків діяльності підприємства. Вісник Хмельницького національного університету, 5 (1), 166–169. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2011_5_1/166-169.pdf.

7. Головач, Т. В., Грушевицька, А. Б., & Швид В. В. (2009). Ризик менеджмент: зміст і організація на підприємстві. Вісник Хмельницького національного університету, 3 (1), 157–163. URL: http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2009_3_1/pdf/157-163.pdf.

8. Барковський, В. В., Барковська, Н. В., & Лопатін, О. К. (2010). Теорія ймовірностей та математична статистика. Київ : Центр учбової літератури. 424 с.

9. Starushenko, G. A., & Starushenko, E. A. (2009). Application of Chebyshev's inequality to risk management // Современный научный вестник. Экономика. Государственное управление. Право, 23 (79), 105–114.