

## НАУКОВИЙ АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ

Miskinis A., doctor of social sciences (розділ 3.7); Вітлінський В.В., д.е.н., професор (розділи 2.2, 2.3); Діордіца С.Г., д.е.н., професор (розділ 1.4); Захарченко П.В., д.е.н., професор (розділ 1.5); Іванов М.М., д.е.н., професор (розділ 2.5); Кібальник Л.О., д.е.н., доцент (розділ 1.6); Курбанов К.Р., д.т.н., професор (розділ 3.5); Лакіс В.Ю., д.е.н., професор (розділ 3.6); Порохня В.М., д.т.н., д.е.н., професор (розділ 3.8); Рамазанов С.К., д.т.н., д.е.н., професор (розділ 1.7); Таушанжи К.П., д.е.н., доцент (розділ 3.9); Соловійов В.М., д.ф.-м.н., професор (розділи 1.1, 2.4); Тюфекчи Фередун, д.е.н. (розділ 3.9); Черняк О.І., д.е.н., професор (розділ 1.9)

Dzemydaite G., doctor of social sciences (розділ 3.1); Lauzadyte-Tutliene A., doctor of economics and management, associate professor (розділ 3.3); Paliulyte R., dr., associated professor (розділ 3.2); Rasteniene A., dr., associated professor (розділ 3.2); Баженова О.В., к.е.н., доцент (розділ 3.4); Бегун А.В., к.е.н., професор (розділ 2.1); Гострик О.М., к.е.н., доцент (розділ 1.2); Гриценко К.Г., к.т.н., доцент (розділ 1.3); Данильчук Г.Б., к.е.н. (розділ 2.4); Ігнатова Ю.В., к.е.н. (розділ 2.1); Кобець В.М., к.е.н., доцент (розділ 1.4); Меняйлова Г.Є., к.е.н., доцент (розділ 3.5); Осипова О.І., к.е.н. (розділ 2.1); Пушкар О.І., к.е.н. (розділ 3.5); Скіцько В.І., к.е.н., доцент (розділ 2.3); Соловійова В.В., к.е.н., доцент (розділ 1.2); Тішков Б.О., к.е.н., доцент (розділ 1.8); Шерстенников Ю.В., к.ф.-м.н., доцент (розділ 3.8)

Водолєєва І.Є. (розділ 1.1); Засядько О.А. (розділ 2.4); Котлярова Ю.О. (розділ 1.8); Кузьмич Н.В. (розділ 1.6); Лазаренко А.О. (розділ 1.1); Якимчук Б.Б. (розділ 1.9)

України [Текст] / О. Л. Черненко // Актуальні проблеми економіки. – 2013. – № 9. – С. 75-81. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape\\_2013\\_9\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ape_2013_9_12)

9. Bankole, A.S., and Ayinde, T.O. (2014), «Capital Account Liberalisation and Foreign Direct Investment in Nigeria: A Bound-Testing Approach». Botswana Journal of Economics, Botswana. Vol. 12, No. 2, Pp. 14-32.

10. Buss, Samuel R., and Kim, Jin-Su (2005), «Selectively Damped Least Squares for Inverse Kinematics». In Journal of Graphics Tools. Vol. 10, No. 3, pp. 37-49.

11. Giovannoni, Olivier G. (2014), «Income Distribution Macroeconomics». Levy Economics Institute, Working Papers Series No. 807. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2445975>

### **2.3. МОДЕЛЮВАННЯ В ОЦІНЮВАННІ ЛОГІСТИЧНОГО РИЗИКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОЇ ІМУННОЇ СИСТЕМИ**

*Анотація.* Аналізується актуальність проблеми управління логістичного ризику як одного із основних ділових ризиків за сучасних умов ведення бізнесу. Наведені існуючі підходи до оцінювання логістичного ризику. Описано основні поняття штучних імунних систем. Побудовано модель оцінювання логістичного ризику з використанням клонового алгоритму відбору в штучній імунній системі для умовного прикладу.

#### *Логістичний ризик за сучасних умов ведення бізнесу.*

Проблема управління ризиками в бізнесі наразі є актуальною як ніколи. Це підтверджує, зокрема, той факт, що великі міжнародні аудиторські та страхові компанії, впливові світові організації на своїх сайтах розміщують різні звіти, аналітичну інформацію, повідомлення тощо, які присвячені різним аспектам управління ризиками. Зокрема, провідна страхова компанія «Allianz Global Corporate & Specialty» (AGCS) випускає щорічник Allianz Risk Barometer – збірник

різних актуальних рейтингів ризиків за низкою ознак, які побудовані на основі обробки думок фахівців з різних країн світу (було опитано близько 1200 фахівців з більше ніж 50 країн світу [1]), а на сайті цієї компанії [2] можна ознайомитися з іншими звітами, статтями, оглядами тощо стосовно проблеми управління ризиками. Ризикам присвячено окремий розділ «Risk Advisory» (консультації щодо ризику) на сайті компанії «Deloitte» [3], в якому розміщена інформація стосовно різних аспектів управління репутаційними, фінансовими, операційними ризиками, кібер-ризиками тощо. На сайті Світового економічного форуму за ключовим словом «risk» можна знайти низку актуальних статей щодо ризиків, зокрема, 12-е видання Звіту з глобальних ризиків за 2017 рік [5].

Підвищений інтерес до аналізу ризиків викликаний, зокрема, мінливістю сучасного світу, що у свою чергу зумовлює різноманітні структурні зрушення в економіці та суспільстві, які мають значний вплив на їх подальший розвиток. Наприклад, Інтернет і постійний розвиток інформаційно-комунікаційних засобів і технологій змінюють способи комунікації між людьми у побуті та бізнесі, зумовлюють появу нових товарів (смартфони, планшети, електронні книги тощо) та послуг (мобільний банкінг, купівля електронних квитків на різні види транспорту, в кіно, до театру, на концерти).

У реальному секторі економіки до таких зрушень можна віднести новий тренд розвитку економіки «Індустрія 4.0», який зумовлює зміни не лише у виробництві, а й інших сферах економіки, освіти, науки та робить проблему управління ризиками ще більш актуальною, зокрема, через цілковиту його (тренду) інноваційність [6, 7]. Одним із ризиків, який наразі є основним глобальним діловим ризиком за версією [1] і буде таким, на нашу думку, й надалі (навіть, в умовах впровадження у реальне виробництво концепції «Індустрія 4.0»), є логістичний ризик.

*Логістичний ризик підприємства* – це економічна категорія, яка відображає особливості сприйняття менеджментом підприємства існуючих невизначеності та конфліктності, відсутності повної (вичерпної) інформації на

момент прийняття рішень, які притаманні процесам прогнозування, планування, управління, координації та контролю матеріальних, сервісних, інформаційних, фінансових потоків та потоку інтелектуально-трудоових ресурсів [8]. Управління логістичним ризиком може здійснюватися на підґрунті різних концептуальних підходів з дотриманням відповідних принципів, проте у будь-якому випадку одне із головних місць займає оцінювання такого ризику [8-10].

### ***Класичні підходи до оцінювання логістичного ризику.***

Якщо збитки (небажані наслідки, невдачі, непередбачені витрати тощо), які виникли в результаті прояву деякого логістичного ризику, можна кількісно оцінити, то в абсолютному вираженні такий ризик можна визначити як добуток значень ймовірності небажаних наслідків та величини цих можливих збитків:

$$L = p \cdot x, \quad (1)$$

де  $L$  – величина логістичного ризику,  $p$  – ймовірність небажаних наслідків,  $x$  – величина (обсяг) цих небажаних наслідків [9].

Зокрема, за допомогою формули (1) можна оцінити логістичний ризик як непередбачені витрати на доставку продукції (що може бути виражено у грошових одиницях та в одиницях часу).

*Приклад.* Припустимо, доставка продукції від логістичного центру до супермаркету здійснюється протягом 5 годин і коштує дистриб'ютору 1 тис. грн (включаючи витрати на паливо, амортизацію, вартість роботи водіїв, експедиторів тощо). З ймовірністю 0,3 очікується, що, в результаті можливих заторів на дорогах, погіршення погодних умов тощо, обсяг непередбачених витрат може становити близько 200 грн та призвести до збільшення часу доставки на 2 години. У цьому випадку величина відповідного логістичного ризику дорівнює у грошовому виразі  $0,3 \cdot 200 \text{ грн} = 60 \text{ грн}$  та в одиницях часу  $0,3 \cdot 120 \text{ хв} = 36 \text{ хв}$ .

Величину (ступінь) логістичного ризику в деяких ситуаціях можна визначити як ймовірність настання небажаних

наслідків:

$$L = p, \quad (2)$$

де  $L$  – величина логістичного ризику,  $p$  – ймовірність небажаних наслідків [9].

*Приклад.* Припустимо, що серед доставленої продукції, з попереднього прикладу, зазвичай виявляється 1% продукції, що не може бути реалізована кінцевому споживачеві та повернена виробникові з вини дистриб'ютора (втрачено товарний вигляд упаковки продукції, суттєво пошкоджено продукцію під час транспортуванні без права повернення виробникові тощо). Отже, ймовірність того, що буде повернено продукцію дистриб'ютору дорівнює 0,01. Тобто, логістичний ризик, який пов'язаний зі збитками від повернення пошкодженої продукції, дорівнює 0,01.

Коли для деякого одного рішення (події) у сфері логістики можна оцінити величини небажаних наслідків, що можуть мати місце за різних умов його (рішення) реалізації, та ймовірності їх настання, то оцінити логістичний ризик можна як величину ризику очікуваної (сподіваної) невдачі з використанням формули математичного сподівання:

$$L = M(X) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i, \quad (3)$$

де  $L$  – величина логістичного ризику;  $M(X)$  – математичне сподівання випадкової величини  $X$ ;  $x_i$  – величина (обсяг) небажаних наслідків в  $i$ -их умовах реалізації рішення,  $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$  – досліджувана дискретна випадкова величина, що відповідає небажаним наслідкам рішення;  $p_i$  – ймовірність небажаних наслідків в  $i$ -их умовах реалізації рішення,  $P = \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_n\}$  – розподіл ймовірностей

настання можливих значень випадкової величини  $X$ ,  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$

[9, 11].

*Приклад.* Дистриб'ютор здійснює доставку продукції до супермаркету тривалий час та хоче оцінити можливі збитки,

що зумовлені невчасною доставкою продукції, з метою перегляду умов доставки, якщо ці витрати перевищують 100 гривень. Кожна хвилина затримки доставки продукції зумовлює обсяг додаткових непередбачених витрат для дистриб'ютора в сумі 5 грн. Можливі затримки в процесі доставки продукції пов'язані з заторами на дорогах, виникнення яких спрогнозувати досить складно, проте дистриб'ютор, володіючи деякою власною статистичною інформацією доставки продукції за минулі періоди, сформував таблицю даних (див. табл.1), на основі якої можна визначити сподівану величину можливих збитків (ризик).

Таблиця 1

Можливі ситуації на дорогах	Величина можливих затримок (хв)/ Величина можливих збитків (грн)	Значення ймовірності
Без заторів	0 / 0	0,15
Незначні затори	20 / 100	0,25
Значні затори	60 / 300	0,4
Суттєві затори	100 / 500	0,2

У даному випадку, випадкова величина  $X$  може відповідати можливим збиткам у грошових одиницях  $X = \{0;100;300;500\}$ , а відповідні ймовірності їх настання  $P = \{0,15;0,25;0,4;0,2\}$ . Тоді величина ризику, що відповідає величині сподіваних збитків, може бути обчислена за формулою (3):

$$L = 0,15 \cdot 0 + 0,25 \cdot 100 + 0,4 \cdot 300 + 0,2 \cdot 500 = 245(\text{грн}) .$$

Величина ризику (сподіваних збитків) дорівнює 245 грн, що в 2,45 рази перевищує 100 грн, а тому дистриб'ютору необхідно переглянути умови доставки продукції до супермаркету.

Класичним підходом щодо оцінювання величини ризику, зокрема й логістичного, є використання дисперсії (варіації) чи середньоквадратичного відхилення, що характеризують розсіювання значень випадкової величини відносно її

сподіваної величини (математичного сподівання) [9, 11]:

- дисперсія випадкової величини  $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ , для якої відомі відповідні ймовірності настання їхніх значень

$P = \{p_1, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ ,  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ , обчислюється за формулою:

$$V(X) = \sum_{i=1}^n p_i \cdot (x_i - M(x))^2 ; \quad (4)$$

- середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma(X) = \sqrt{V(X)} . \quad (5)$$

Вважають, чим більше значення дисперсії (або середньоквадратичного відхилення), тим більший ступінь логістичного ризику. В оцінюванні логістичного ризику можна використати також семіваріацію та семіквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, коефіцієнт семіваріації, формули розрахунку яких наведено, зокрема в [9, 11]. Дані показники доречно використовувати, наприклад, коли є кілька можливих результатів (альтернативних варіантів) деякого рішення та існує потреба в їх порівнянні з урахуванням ризику.

*Приклад.* Дистриб'ютор, з попереднього прикладу, має дані щодо доставки продукції до іншого супермаркету (див. табл. 2) та бажає оцінити роботу системи доставки продукції до кожного із супермаркетів.

Таблиця 2

Можливі ситуації на дорогах	Величина можливих затримок (хв)/ Величина можливих збитків (грн)	Значення ймовірності
Без заторів	0 / 0	0,1
Незначні затори	38 / 190	0,5
Значні затори	70 / 350	0,3
Суттєві затори	90 / 450	0,1

Для другого супермаркету величина сподіваних збитків дорівнює  $L = 0,1 \cdot 0 + 0,5 \cdot 190 + 0,3 \cdot 350 + 0,1 \cdot 450 = 245(\text{грн})$ .

Тобто, в обох випадках величина сподіваних збитків є однаковою і не можна віддати перевагу одній із двох доставок.

Дисперсія випадкових величин збитків під час доставки продукції до супермаркетів дорівнює:

- для першого супермаркету:

$$V(X) = 0,15 \cdot (0 - 245)^2 + 0,25 \cdot (100 - 245)^2 + 0,4 \cdot (300 - 245)^2 + 0,2 \cdot (500 - 245)^2 = 85050$$

- для другого супермаркету:

$$V(X) = 0,1 \cdot (0 - 245)^2 + 0,5 \cdot (190 - 245)^2 + 0,3 \cdot (350 - 245)^2 + 0,1 \cdot (450 - 245)^2 = 82100$$

Середньоквадратичне відхилення випадкових величин збитків під час доставки продукції до супермаркетів дорівнює:

- для першого супермаркету:

$$\sigma(X) = \sqrt{85050} \approx 291,63(\text{грн});$$

- для другого супермаркету:

$$\sigma(X) = \sqrt{82100} \approx 286,53(\text{грн}).$$

Якщо за міру ризику узяти середньоквадратичне відхилення, то можна зробити висновок, що ризик отримати додаткові збитки від невчасної доставки продукції до другого супермаркету є ненабагато меншим за ризик отримання додаткових збитків від невчасної доставки продукції до першого супермаркету.

Теоретичним підґрунтям того факту, що мірою ризику може бути дисперсія (середньоквадратичне відхилення) є [9]:

- лема Маркова: якщо випадкова величина  $X$  не набуває від'ємних значень, то для будь-якого додатного числа  $\varepsilon$  буде справедливою нерівність  $P\{X > \varepsilon\} \leq \frac{M(X)}{\varepsilon}$ , де  $M(X)$  – математичне сподівання випадкової величини  $X$ ;

- нерівність Чебишева: ймовірність того, що випадкова величина  $X$  відхиляється за модулем від свого математичного сподівання  $M(X)$  більше, ніж на заданий допуск  $\delta$ , не перевищує її дисперсії (варіації)  $V(X) = \sigma^2(X)$ , поділеної на



квадрат допуску  $\delta^2$ , тобто  $P\{|X - M(X)| > \delta\} \leq \frac{V(X)}{\delta^2} = \frac{\sigma^2(X)}{\delta^2}$ .

*Приклад.* Дистриб'ютор, з попереднього прикладу, розрахував, що сподівані збитки за однією доставкою до супермаркету дорівнюють 245 грн. Він збирається змінити умови доставки. Тому, щоб убезпечити себе від ще більших незапланованих додаткових витрат (збитків), дистриб'ютора цікавить ймовірність виникнення ситуації, коли ці витрати зможуть перевищити 500 грн.

За лемою Маркова  $P\{X > 500\} \leq \frac{245}{500} \approx 0,49$ , тобто

ймовірність того, що додаткові витрати будуть більшими за 500 грн, дорівнює 49%. Перевищення додаткових витрат є небажаною ситуацією для дистриб'ютора, тому ймовірність виникнення цієї ситуації можна розглядати як показник ризику. Тоді можна сказати, що ризик перевищення додатковими витратами порогу в 500 грн становить 49%. У контексті попереднього прикладу це означає відставання від існуючого графіка поставок, а тому дистриб'ютору бажано змінити існуючу систему доставки продукції.

Окрім того, логістичний ризик (наприклад, пов'язаний з побудовою деякого логістичного ланцюга постачання) можна виміряти за допомогою відповідного коефіцієнту:

$$L = \frac{x}{F}, \quad (6)$$

де  $L$  – коефіцієнт логістичного ризику;  $x$  – максимально можливий обсяг збитків, що може мати місце, наприклад, у результаті функціонування деякого логістичного ланцюга постачання;  $F$  – обсяг грошових коштів, які залучені, наприклад, для побудови досліджуваного логістичного ланцюга постачання.

Жоден із зазначених та інших показників кількісного оцінювання ступеня ризику (зокрема й логістичного) окремо не спроможний показати адекватні результати за мінливих умов ведення бізнесу [12, 13]. В [9, с. 183] зроблено припущення, що кількісна оцінка ризику є вектором, компоненти якого мають

враховувати різні цілі досліджень, прийняту систему гіпотез, суб'єктивний чинник, що характеризує ставлення суб'єкта ризику (особи, що приймає рішення) до ризику тощо.

### ***Сучасні засоби економіко-математичного моделювання. Основні поняття штучної імунної системи.***

Постійно зростаюча обчислювальна потужність комп'ютерної техніки дозволяє вирішувати складні задачі набагато швидше, ніж це було раніше. Окрім того, розвиток інформаційно-комунікаційних технологій можна вважати одним із чинників розвитку сучасних засобів моделювання, що використовуються для вирішення складних слабо структурованих багатоцільових та багатокритеріальних задач із різних сфер життєдіяльності людини та бізнесу, зокрема й логістики. Наразі популярними є штучні нейронні мережі, генетичні алгоритми, мережі Петрі, мурашині алгоритми, бджолині алгоритми, штучні імунні системи тощо.

*Штучна імунна система* є адаптивною обчислювальною системою, функціонування якої в спрощеному виді подібне до функціонування природної імунної системи живих організмів. Природна імунна система, зокрема, виконує наступне: розпізнає різні загрози; запускає відповідні захисні механізми організму; за можливості, усуває (знижує) ці загрози; запам'ятовує інформацію про загрози та своє поведіння щодо них, що дозволяє у майбутньому значно швидше зреагувати на подібну загрозу (вторинна імунна відповідь) тощо.

Штучній імунній системі (як і природній) притаманне наступне: самоорганізація; навчання; наявність пам'яті; здатність до асоціативного пошуку, розпізнавання, виокремлення особливостей оточуючих клітин; різноманітність; розподілений пошук; наявність порогу, що є критерієм запуску імунних операцій (наприклад, розмноження клітин); спільна стимуляція тощо [14-16].

Основними поняття штучної імунної системи є наступні [14-19].

*Антитіло* є внутрішньою клітиною імунної системи (лімфоцитом), що в контексті штучної імунної системи

відповідає можливому вирішенню задачі. Множина (популяція) антитіл формує область допустимих рішень задачі.

*Антиген* є потенційною зовнішньою загрозою (бактерія, вірус) зовнішнього середовища, що здійснює вплив на імунну систему. Антиген штучної імунної системи, що використовується для вирішення оптимізаційних задач, може відповідати цільовій функції такої задачі.

*Афінність* в імунології кількісно описує силу взаємодії антигену та антитіла. У контексті штучних імунних систем афінність визначає ступінь подібності генетичних наборів клітин (антигену та антитіла, антигенів між собою). У разі використання бінарного кодування в штучній імунній системі афінність може бути оцінена з використанням відстані Хемінга, у випадку дійсного кодування – евклідової відстані. Вважають, що зі зменшенням відстані Хемінга між клітинами підвищується їх афінність.

В якості механізмів адаптації в імунній штучній системі використовуються наступні імунні алгоритми [14, 17-19]:

- клоновий алгоритм відбору *CLONALG*, в якому з підвищенням афінності клітин зростає кількість їх копій та знижується ймовірність мутацій у цих клітинах;
- негативний алгоритм відбору передбачає використання оператора негативної селекції, завдяки якому відбираються для зберігання у пам'яті штучної імунної системи клітин, які їй не властиві;
- імунний мережний алгоритм представляє собою по суті мережний граф, вузли якого є антитілами, афінність яких відповідає відстані між вузлами;
- дендритний алгоритм передбачає обробку та представлення інформації про антиген дендритними клітинами.

***Модель оцінювання логістичного ризику з використанням клонного алгоритму відбору в штучній імунній системі.***

*Постановка задачі.* Дистриб'ютор доставляє власним автотранспортом продукцію до різних супермаркетів. Через низку причин (погодні умови, затори на дорогах, поломки

тощо) доставки можуть відбуватися з запізненням, що зумовлює виникнення додаткових непередбачуваних витрат (прояв відповідного логістичного ризику). Окрім того, в деяких випадках можливе повернення супермаркетом щойно доставленої продукції, зокрема, через втрати продукцією товарного виду тощо. Перед дистриб'ютором виникли наступні питання: виявити супермаркет з найбільшим ступенем логістичного ризику; оцінити логістичний ризик в цілому за існуючої системи доставки продукції; виявити можливості зниження ступеню досліджуваного логістичного ризику.

*Основні поняття моделі.* У контексті штучних імунних систем для даної задачі припустимо, що антиген відповідає деякій «ідеальній» (еталонній) доставці продукції, для якої ступінь логістичного ризику є мінімальним чи допустимим, що цілковито задовольняє дистриб'ютора. За бінарного кодування структура антигена може представляти собою бінарний рядок, частини якого будуть відповідати економічним показникам, що характеризують доставку продукції. У нашій задачі обмежимося двома показниками: час затримки доставки продукції; обсяг непередбачених витрат. Для еталонної доставки ці показники можуть бути відповідно 0 хв та 0 грн.

Кожне антитіло буде відповідати деякій існуючій (або можливій) одній доставці продукції, що характеризується зазначеними вище двома показниками. Окрім того, в структурі антитіла можна передбачити частину, яка буде відповідати конкретному супермаркету, і ця частина не буде змінюватися для конкретного антитіла у процесі функціонування штучної імунної системи. Антитіло структурно буде складатися з трьох частин, що відповідають унікальному номеру (коду) супермаркету в комп'ютерній системі управління дистриб'ютора, часу затримки доставки продукції, обсягу непередбачених витрат.

Вважатимемо, що афінність конкретного антитіла може відповідати ступеню логістичного ризику конкретної доставки продукції. Тоді зі збільшенням афінності (для бінарного кодування – зі зменшенням відстані Хемінга) між антигеном та антитілом зменшується ступінь логістичного ризику. У

множині всіх антитіл можна виокремити підмножини антитіл для кожного із супермаркетів. У кожній із цих підмножин на кожному етапі функціонування імунного алгоритму найбільший інтерес представляють антитіла, афінність яких є максимальною. Вибравши по одному антитілу із кожної підмножини, можна утворити сукупність антитіл, яка буде відповідати загальній системі доставки продукції з мінімальним ступенем логістичного ризику в цілому за даних умов доставки.

*Основні кроки модифікованого імунного алгоритму відбору (на основі класичного клонового алгоритму відбору CLONALG).*

Крок 1. Утворення початкової популяції (множини) антитіл наступним чином. Розмір популяції не може бути меншим за кількість супермаркетів, які обслуговує дистриб'ютор. Бажано, щоб розмір популяції був кратний кількості супермаркетів, у цьому випадку в початковій популяції кожному із супермаркетів буде відповідати однакова кількість випадковим чином обраних антитіл із загальної кількості усіх антитіл. Якщо розмір популяції не є кратним кількості популяцій, то кількість антитіл одних супермаркетів буде більша ніж інших. Для роботи алгоритму відбору це не принципово. Головне, щоб у популяції антитіл на кожному такті циклу функціонування алгоритму для кожного із супермаркетів відповідало принаймні одне антитіло.

Крок 2. Для кожного антитіла популяції визначається афінність відносно антигену як відстань Хемінга. Здійснюється упорядкування антитіл за значеннями афінності.

Крок 3. В упорядкованій множині антитіл з кроку 2 обирається деяка кількість антитіл з найбільшим значенням афінності (меншим значенням відстані Хемінга), які утворюють підмножину антитіл, що допускаються до операції клонування (репродукції).

Крок 4. Здійснення операції клонування. Кількість клонів для кожного антитіла є різною і може бути визначена за формулою:

$$N_{C_i} = \text{round}\left(\frac{\beta \cdot N}{i}\right),$$

де  $N_{C_i}$  – кількість клонів для антитіла, що посідає  $i$ -е місце в упорядкуванні з кроку 2 та 3;  $\text{round}()$  – операція округлення до найближчого цілого числа;  $\beta > 0$  – множник, який регулює кількість клонів відібраних антитіл (множником може бути будь-яке число більше нуля, зокрема й дробове);  $N$  – розмірність популяції антитіл (на початку це початкова популяція антитіл, далі – популяція усіх антитіл на кожному такті функціонування імунного алгоритму);  $i$  – порядковий номер місця, яке посідає антитіло в упорядкованій за значенням афінності множині антитіл, що допущені до клонування.

Крок 5. Застосування до множини новоутворених клонів операції мутації, ймовірність виникнення якої залежить від значення їх афінності, що ідентично значенню батьківської клітини (антитіла), оскільки клон є абсолютним відтворенням оригіналу. Зі збільшенням значення афінності зменшується ймовірність виникнення мутації в клоні. Мутація не застосовується до частини антитіл, що відповідає порядковому номеру супермаркету.

Крок 6. Для новоутворених антитіл (після операції мутації) визначається афінність відносно антигену.

Крок 7. Серед новоутворених антитіл обираємо деяку задану кількість клітин, значення афінності яких є найбільшим. Якщо значення афінності клітини після кроку 5 (новоутвореного антитіла-клону після мутації) є більшим за значення афінності батьківської клітини, то батьківська клітина замінюється на новоутворену клітину.

Крок 8. З метою підтримки різноманіття деяка задана кількість клітин, афінність яких є найменшою серед загальної множини антитіл, замінюється на вибрані випадковим чином нові клітини.

Крок 9. Здійснюється перевірка представлення кожного супермаркету в новій множині антитіл. Якщо деякий супермаркет виявиться не представленим, то для нього додаємо в популяцію клітин обране випадковим чином відповідне антитіло (подібно до кроку 1).

Кроки 2-9 повторюються до тих пір, поки не виконається критерій зупинки імунного алгоритму, в якості якого може бути кількість побудованих поколінь; час, який відведено на еволюцію тощо. У результаті функціонування імунного алгоритму отримаємо популяцію антитіл, значення афінності яких має бути більшими за значення афінності антитіл початкової популяції.

Використовуючи класичні підходи оцінювання логістичного ризику для поставленої задачі ми можемо вирішити проблеми наступним чином:

- аналогічно наведеним раніше прикладам прийнявши за міру ризику, наприклад, середньоквадратичне відхилення виявити супермаркет з найбільшим ступенем логістичного ризику за нинішньої системи доставки;

- оцінити логістичний ризик для усієї системи доставки продукції можна, зокрема, побудувавши агрегований показник логістичного ризику. Наприклад, якщо за міру логістичного ризику прийняти ймовірність настання небажаних видатків, то розрахувавши значення такої міри ризику для кожного супермаркету можна побудувати агрегований показник, що буде представляти собою звичайну суму значень оцінок логістичного ризику усіх супермаркетів. Максимальне значення агрегованого показника буде дорівнювати кількості супермаркетів і відповідати максимальному значенню ступеню ризику, а мінімальне значення буде дорівнювати нулю.

За допомогою наведеної моделі штучної імунної системи можна виявити можливості існуючої системи доставки продукції щодо зниження ступеню логістичного ризику. Маючи для кожного супермаркету значення афінності антитіл початкової та кінцевої популяції, можна зробити висновок щодо наявного потенціалу існуючої системи доставки продукції для зменшення часу затримки доставки продукції та обсягу непередбачених витрат. Якщо афінність збільшилась, то значення відповідного ризику можна зменшити. Аналогічні висновки можна зробити в цілому по системі доставки.

Дана модель може бути використана після відповідних змін для оцінювання різних видів логістичного ризику. Зокрема, за потреби врахування більшої кількості показників,

може бути змінено структуру антигену та антитіл, незмінна частина антитіл може бути взагалі усунута, змінено спосіб розрахунку афінності, кількості клонів тощо. Для різних конкретних моделей, побудованих на основі розглянутого інструментарію, в цілому сутність кроків клонового алгоритму відбору буде сталою, як і загалом сутність роботи штучної імунної системи.

**Висновки.** Завжди актуальною буде проблема щодо використання адекватних моделей оцінювання ризику у прийнятті ефективних управлінських рішень, які б враховували якомога більший обсяг доступної інформації.

Мінливість сучасних економічних процесів потребує постійного удосконалення існуючих та розроблення нових моделей оцінювання ступеня ризику на підґрунті сучасного дієвого інструментарію моделювання. Перспективним напрямком в економіко-математичному моделюванні є засоби природних обчислень: мурашині алгоритми, бджолині алгоритми, штучні імунні системи, метод рою часток тощо.

Дані дослідження є логічним продовженням роботи [20], в якій нами було сформульовані концептуальні аспекти використання деяких із засобів природних обчислень у моделюванні різних видів логістичного ризику. У подальших дослідженнях доцільно розглянути кроки роботи інших імунних алгоритмів відбору в штучній імунній системі в контексті моделювання та оцінювання ступеня логістичного ризику, можливість комп'ютерної реалізації таких моделей.

#### **Список використаних джерел:**

1. Allianz Risk Barometer 2017. URL: [http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/Allianz\\_Risk\\_Barometer\\_2017\\_EN.pdf](http://www.agcs.allianz.com/assets/PDFs/Reports/Allianz_Risk_Barometer_2017_EN.pdf)
2. Офіційний сайт компанії «Allianz Global Corporate & Specialty». URL: <http://www.agcs.allianz.com>
3. Офіційний сайт компанії «Deloitte». URL: <https://www2.deloitte.com/global/en.html>
4. Офіційний сайт Світового економічного форуму. URL: <https://www.weforum.org/>



5. The Global Risks Report 2017. 12<sup>th</sup> Edition. URL: [http://www3.weforum.org/docs/GRR17\\_Report\\_web.pdf](http://www3.weforum.org/docs/GRR17_Report_web.pdf)
6. Скіцько В.І. Індустрія 4.0 як промислове виробництво майбутнього. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. №5. С. 33-40. URL: [http://www.investplan.com.ua/pdf/5\\_2016/8.pdf](http://www.investplan.com.ua/pdf/5_2016/8.pdf)
7. Вітлінський В.В., Скіцько В.І. Ризики в Індустрії 4.0. *Вісник Черкаського університету. Серія «Економічні науки»*. 2016. №3. С. 17-26.
8. Вітлінський В. В., Скіцько В. І. Концептуальні засади моделювання та управління логістичним ризиком підприємства. *Проблеми економіки*. 2013. № 4. С. 246–253.
9. Вітлінський В.В., Великоіваненко Г.І. Ризикологія в економіці та підприємстві: Монографія. К.: КНЕУ. 2004. 480с.
10. ISO. Risk Management – Principles and guidelines ISO 31000. Switzerland: ISO. 2009. 24p.
11. Вітлінський В.В., Наконечний С.І. Ризик у менеджменті. Київ. ТОВ «Борисфен-М». 1996. 336с.
12. Вітлінський В.В. Аналіз, оцінка і моделювання економічного ризику. К.: ДЕМІУР. 1996. 212с.
13. Шарп У., Александер Г., Бэйли Дж. Инвестиции. Пер. с англ. М.:ИНФРА-М. 1997. 1024с.
14. Искусственные иммунные системы и их применение. Под ред. Д. Дасгупты. Пер. с англ. под ред А.А. Романюхи. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2006. 344 с.
15. Брюховецкий А.А., Скатков А.В. Применение моделей искусственных иммунных систем для решения задач многомерной оптимизации. *Оптимізація виробничих процесів: зб. наук. пр.* Севастополь: СевНТУ. 2010. Вип. 12. С. 119-122. URL:[http://www.nbu.gov.ua/old\\_jrn/natural/ovp/2010\\_12/opt\\_12/opt12-22.pdf](http://www.nbu.gov.ua/old_jrn/natural/ovp/2010_12/opt_12/opt12-22.pdf)
16. De Castro L.N., Timmis J. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach. N.Y.: Press. 2002. 357p.
17. Кушнир Н.В., Кушнир А.В., Анацкая Е.В., Катышева П.А., Устинов К.Г. Искусственные иммунные системы: обзор и современное состояние. *Научные труды КубГТУ*. 2015. №12. URL: <http://ntk.kubstu.ru/file/714>

18. De Castro L.N., Von Zuben F.J. Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Special Issue on Artificial Immune Systems*. 2002. Vol. 6, no. 3. P. 239-251. DOI: 10.1109/TEVC.2002.1011539
19. Карпенко А. П., Щербакова Н. О., Буланов В. А. Гибридный алгоритм глобальной оптимизации на основе алгоритмов искусственной иммунной системы и роя частиц. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2014. №3. С.255-274. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/700457.html>, DOI: 10.7463/0314.0700457
20. Вітлінський В. В., Скіцько В. І. Концептуальні аспекти моделювання логістичного ризику інформаційно-мережної економіки з використанням інструментарію природних обчислень. *Проблеми економіки*. 2016. №4. С. 231–237.

#### **2.4. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ПРИ ОЦІНЦІ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПІДПРИЄМСТВА**

У статті оцінюється фінансова стійкість підприємства Мотор Січ мережними мірами та із використанням ентропії перестановок. Проведено аналіз та порівняння отриманих мір із інтегральною оцінкою фінансової безпеки підприємства. Зроблено висновки щодо можливості використання методів теорії складних систем при оцінці економічної безпеки підприємств.

**Ключові слова:** економічна безпека, фінансова стійкість, мережні міри, спектральний розрив, ентропія перестановок, інтегральна оцінка.

**Постановка проблеми.** Сучасний економічний простір схильний до потрясінь та криз різного походження, які суттєво впливають на систему економічної безпеки підприємств, і потребує нового інструментарію моделювання та прогнозування фінансової стійкості суб'єктів господарювання.