

КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 519.711.3

DOI:10.34229/2707-451X.22.3.4

К.Л. АТОЄВ, П.С. КНОПОВ

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ, СОЦІАЛЬНОЇ, УПРАВЛІНСЬКОЇ ТА ТЕХНОГЕННОЇ СКЛАДОВИХ РИЗИКІВ ІНВЕСТУВАННЯ

Вступ. Для оцінки інвестиційних ризиків і можливостей розвитку підприємств останнім часом все частіше використовуються нефінансові фактори, що характеризують екологічні, соціальні, управлінські та техногенні (ЕСУТ) особливості об'єктів можливого фінансування. Завданням такого аналізу даних є з'ясування того, як ЕСУТ-показники компаній можуть відображати їх фінансове здоров'я і перспективи функціонування у швидко мінливому світі. Побудувавши за допомогою математичних моделей профіль ЕСУТ ризиків компанії, на наступному етапі приступають до вирішення задачі оптимального управління ризиками з метою їх мінімізації при заданій системі обмежень. На основі отриманих рішень (розрахунку траєкторій зміни параметрів управління) визначається стратегія практичних заходів, пов'язаних з перерозподілом ресурсів, впровадженням нових технологій, встановленням очисних споруд, внесенням інших змін, що стосуються експлуатації об'єкта інвестування. Однак при розробці систем моделювання для вирішення даного завдання, слід врахувати ряд принципових моментів, які ускладнюють використання традиційних методів оцінки ризиків: 1) зростання фактору невизначеності, пов'язаного з появою великої кількості нових ризиків (чим вищий ступінь новизни ризиків, тим нижча якість прийнятих рішень оскільки унікальність (новизна) явища призводить до відсутності або неповноти статистичних даних); 2) системний характер ризиків, обумовлений великою кількістю системних зв'язків між численними видами різних структур сучасної техносфери людини, призводить до ситуації, коли малі флуктуації параметрів управління можуть призводити до непередбачуваних катастрофічних наслідків; 3) ступеневий характер розподілу щільності ймовірності збитків катастроф, що зменшується повільніше гауссової залежності, що не дозволяє нехтувати ймовірністю виникнення гігантських катастроф, оскільки відповідно до ступеневого розподілу вони відбуваються недостатньо рідко.

Розроблено математичну модель для оцінки екологічної, управлінської, техногенної та соціальної складових ризиків інвестування. Моделі дозволяють визначити оптимальні стратегії підвищення інвестиційної привабливості підприємства, життя населення.

Ключові слова: математичне моделювання, системний аналіз, інвестиційні ризики.

© К.Л. Атоєв, П.С. Кнопов, 2022

Крім того, безпека та ефективність складних виробничих систем багато у чому визначаються збалансованістю окремих їх ланок. Такої собі своєрідний «мобіль» безпеки (динамічний інваріант), коли негативна динаміка одних показників компенсується за рахунок інших. Тому кількісна оцінка ризиків вимагає створення методів, що дозволяють формалізувати залежність параметрів, що характеризують інвестиційну привабливість (ІП) компаній, від екологічних, соціальних і управлінських факторів для комплексного управління рівнем кредитних, ринкових, страхових та операційних ризиків за умов невизначеності. Мета роботи – розробка математичних моделей для кількісної оцінки ІП об'єкта дослідження та визначення реальних витрат на покращення його менеджменту, соціальної та технологічної структури, мінімізації забруднення довкілля.

Алгоритм оцінки ризику. Одним із підходів до вирішення даної проблеми може бути використання методу комплексної оцінки ризику, що базується на застосуванні теорії особливостей гладких відображень (ТОГВ) [1–8], який використовувався для комплексної оцінки екологічних, техногенних та соціальних ризиків при дослідженні ефективності ліквідації наслідків катастрофи на Чорнобильській АЕС [1], оцінки комплексних ризиків природно-техногенних та соціально-економічних загроз для потенційно небезпечних об'єктів (ПНО), у житлово-комунальному комплексі України та побудови профілів інтегрального ризику та окремих його компонентів для різних регіонів України [4], оцінки ефективності природокористування при збільшенні викидів у атмосферу CO₂ та інших парникових газів [7]. Мірою ризику виступає ступінь наближеності параметрів системи до їх біфуркаційним значенням, досягнення яких викликає стрибкоподібну зміну траєкторії розвитку. Наприклад, коли стаціонарний стан, що характеризує норму, втрачає стійкість, система стрибкоподібно переходить у інший стаціонарний стан (передкризовий або кризовий). Головна перевага запропонованого підходу і те, що дозволяє ввести поняття динамічного ризику як функції змінних що описують процес, оскільки параметри системи визначаються з урахуванням динамічних величин.

Інвестиційна привабливість може розглядатися як комплекс складних взаємодій у «квадраті ризиків», який визначається екологічними, соціальними, управлінськими та техногенними факторами. Таким чином, ризик може розглядатися як деякий вектор у 4-мірному просторі зазначених вимірів. Нехай поле інвестиційних ризиків описується функцією $U(X)$ змінної X , що характеризує рівень інвестиційної привабливості системи, причому $U(X)$ має безперервність і наявність локальних екстремумів, у яких похідні за часом змінної X звертаються в нуль. Для простору чотирьох параметрів управління у формалізмі ТОГВ $U(X)$ описується поліномом шостого ступеня щодо X . У цьому випадку маємо:

$$-\partial U(X, A) / \partial X = X^5 + A_1 X^3 + A_2 X^2 + A_3 X + A_4, \quad (1)$$

де A – простір управління, причому параметр A_1 відповідає за керування системою; A_2 – за її внутрішню структуру; A_3 – за її здатність нейтралізувати зовнішні небезпеки (параметр біфуркації); A_4 – характеризує зовнішній вплив на систему (фактор асиметрії). При розв'язанні задачі оцінки інвестиційних ризиків параметр A_1 характеризує управлінські, A_2 – техногенні, A_3 – соціальні, A_4 – екологічні особливості об'єкта інвестування. Кожен із зазначених параметрів є узагальненим, тобто, для його розрахунку необхідні дані про широкий спектр динамічних змінних, що описують систему, яка вивчається.

У разі (1) маємо 5 стаціонарних станів, 3 із яких стійкі. Вважатимемо, що перший стійкий стан (X_1) – норма, коли рівень інвестиційної привабливості досить високий, а екологічні соціаль-

ні, управлінські та техногенні показники досить хороші. І тут підприємство є вдалий об'єкт для інвестування. Другий (X_2) – передкризовий, коли рівень привабливості знизився, але ще не досяг кризового порогу, а ЕСУТ-показники системи та її адаптаційні можливості хоч і погіршилися, але при досить ефективному управлінні їх можна повернути до норми. Третій (X_3) – кризовий, коли рівень привабливості вкрай низький. На рис. 1 показана екранна форма для розрахунку біфуркаційних поверхонь системи, при перетині яких змінюється число або характер стаціонарних станів та стрибкоподібно змінюється рівень інвестиційної привабливості.

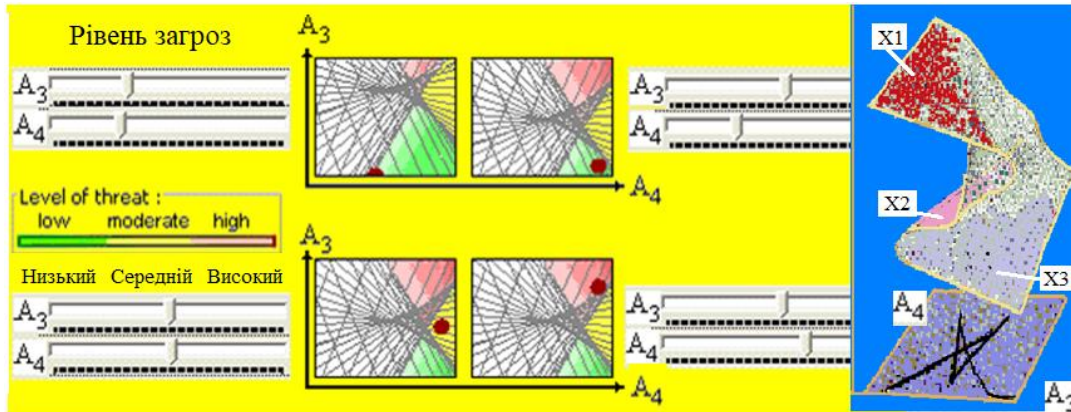


РИС. 1. Розрахунок біфуркаційних поверхонь системи

Індекс управлінських ризиків A_1 визначається за даними щодо складу ради директорів W_{11} ; системи комітету з аудиту W_{12} ; рівня корупції W_{13} ; винагороди керівників W_{14} ; нерівності за доходами W_{15} ; політичних внесків W_{16} ; схемах інформування про порушення W_{17} .

Індекс техногенних ризиків A_2 визначається за даними щодо кількості ПНО (АЕС, шахти, пожежо-, радіаційно-, вибухо-, хімічно- та біологічно небезпечні підприємства, гідротехнічні споруди) W_{21} ; величини площ потенційно небезпечних територій, на яких можлива дія вражаючих факторів, і кількості людей, що на них проживають W_{22} ; уразливості систем поводження з вуглецевими видами палива W_{23} ; ймовірності великих пожеж із руйнівними наслідками для довкілля, стихійних лих, що супроводжуються викидами великих обсягів парникових газів W_{24} .

Індекс соціальних ризиків A_3 визначається за даними щодо задоволеності клієнтів W_{31} ; рівня захисту даних та конфіденційності W_{32} ; гендерної особливості та різноманіття W_{33} ; прав людини W_{34} ; трудових норм W_{35} ; залученості співробітників W_{36} ; рівня їх соціальної захищеності W_{37} .

Індекс екологічних ризиків A_4 визначається за даними щодо змін клімату (обсяги викидів CO_2 в атмосферу внаслідок спалювання вуглецевмісних видів палива, його видобутку, обробки, зберігання, транспортування та споживання; обсяги викидів CH_4 внаслідок видобутку вугілля, транспортування та переробки нафти та газу, внутрішньої ферментації та відходів тваринництва, спалювання біомаси; обсяги поглинання CO_2 у наступних резервуарах: жива біомаса, мертва органіка, ґрунти) W_{41} ; забруднення повітря та води W_{42} ; біорізноманіття W_{43} ; вирубування лісів W_{44} ; ефективності використання енергії W_{45} ; якості управління відходами W_{46} ; нестачі води W_{47} ; числа інших надзвичайних ситуацій природного характеру на рік W_{48} ; величини площі потенційно

небезпечних територій, на яких можлива дія смерчів, повеней, землетрусів, ураганів, інших стихійних лих та кількості людей, які проживають на цих територіях W_{49} . Розрахунок індексів здійснюється таким чином:

$$A_1 = \sum_{i=1}^7 a_{1i} W_{1i}, \quad A_2 = \sum_{j=1}^4 a_{2j} W_{2j}, \quad A_3 = \sum_{k=1}^7 a_{3k} W_{3k}, \quad A_4 = \sum_{l=1}^9 a_{4l} W_{4l}.$$

Сума вагових коефіцієнтів a для кожного індексу дорівнює 1.

Математична постановка завдання може бути сформульована в такий спосіб. Дано параметри, що дозволяють оцінити індекси $A_i (i=1,4)$, надано математичні моделі, що дозволяють описати динаміку деяких із вищевказаних параметрів. Потрібно визначити динаміку зміни інтегрального ризику R та його екологічного, соціального, управлінського та техногенного компонентів.

Змістовна постановка завдання може бути сформульована наступним чином: провести ранжування ризиків зниження інвестиційної привабливості для природних, соціальних, управлінських та техногенних ризиків, провести ретроспективний аналіз та довгостроковий прогноз вкладу різних складових A_i , у формуванні інтегральної інвестиційної привабливості з метою виявлення вузьких місць, динаміки їх зміни та виявлення оптимальної стратегії підвищення інвестиційної привабливості підприємства.

На основі робіт, пов'язаних із застосуванням методів ТОГВ для оцінки ризику, запропоновано наступний алгоритм оцінки інвестиційного ризику: 1) визначення індексів його складових за допомогою даних статистики (рис. 2); 2) розрахування біфуркаційних значень індексів за допомогою методів ТОГВ (рис. 3); 3) ранжування індексів за рівнем їх наближеності до біфуркаційних значень для визначення найбільш слабких ланок об'єкта дослідження, з якими пов'язано зниження ІІ; 4) визначення пріоритетних заходів, щодо запобігання зниження ІІ або її відновлення до заданого рівня та мінімізації негативних впливів екстремальних явищ та забезпечення сталого розвитку.

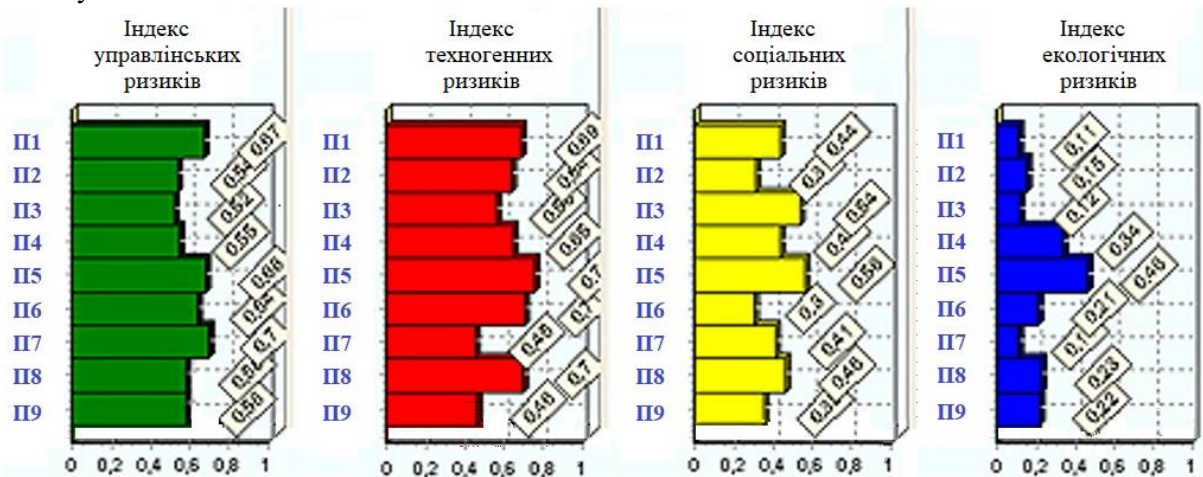


РИС. 2. Визначення індексів ризику для підприємств П1-П9

На рис. 3 показаний приклад розрахунку ризиків для випадку двох параметрів управління a і b , які визначаються за допомогою вектора A наступним чином:

$$a = c_1 A_1 + c_2 A_2, \quad b = c_3 A_3 + c_4 A_4,$$

де c_i – вагові коефіцієнти, $c_1 + c_2 = 1$, $c_3 + c_4 = 1$.

Біфуркаційна крива, що розділяє параметри об'єктів з високою та низькою ПІ, визначається так:

$$4a^3 + 27b^2 = 0.$$

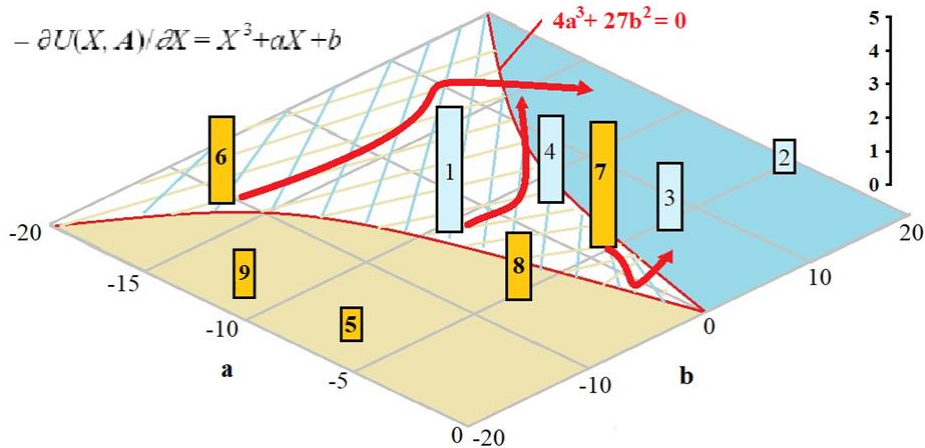


РИС. 3. Проекція поверхні стану ПІ об'єктів на площину параметрів керування (a, b)

Світлі стовпчики відображають величину ризику відходу об'єкта з групи високої ПІ. Темні – відображають рівень можливостей для об'єктів перейти до цієї групи. Стрілки відображають оптимальні траєкторії зміни параметрів керування для здійснення такого переходу. Розмір стовпчиків відповідає негативній величині натурального логарифму інвестиційного ризику.

Використання методу аналізу ієрархій. При побудові індексів ризику ми виходимо з того, що маємо достатню та достовірну інформацію для їх оцінки. Однак, трапляються випадки, коли статистична вибірка виявляється неповною, а дані можуть бути спотворені через об'єктивні або суб'єктивні причини, що трапляється особливо при оцінці управлінської та соціальної складових ризику. Крім того, розглядаючи соціальні процеси, потрібно враховувати і фактор невизначеності, пов'язаний із психологічними особливостями процесу прийняття рішень. Д. Канеманн [9] показав, що суб'єкти ринку часто приймають управлінські рішення, нерозумні з економічної точки зору і часто невігідні їм самим, спираючись при їх прийнятті не на об'єктивні умови, а на свою інтерпретацію цих умов. Очевидно, що необхідно враховувати ці «рефлексивні механізми» при оцінці соціальних та управлінських компонентів ризику в умовах, далеких від рівноважних, коли відбувається суттєва неузгодженість сприйняття та реальності.

Одним з підходів до вирішення поставлених завдань може бути використання методу аналізу ієрархій (МАІ), запропонований Т. Сааті [10]. З його допомогою може проводитися оцінка сценаріїв, що дозволяють вирішити основну мету – максимізувати ефективність інвестиційної політики банку. Її досягнення залежить від низки зовнішніх та внутрішніх чинників. До перших можна зарахувати якість законодавства, громадські інститути, соціально-політичний клімат, рівень життя населення, ефективність правоохоронної системи, рівень корупції. До других – професіоналізм співробітників банку, справедливий розподіл доходів, наявність обладнання, позабанківська діяльність (реклама, благодійність та інше). Ці чинники визначаються наступними акторами: адміністрацією банку, його співробітниками, клієнтами банку, ефективністю об'єктів інвестування. Кожен із акторів має свої цілі: співробітники хотіли б зберегти роботу, збільшити свої доходи та статус у

службовій ієрархії банку, підвищити свій професійний статус; клієнти – отримувати гарантовані виплати за відсотками, захист своїх заощаджень, отримання зисків від кредитної та інвестиційної політики банку. Нарешті, є кілька можливих сценаріїв досягнення основної мети: статус-кво, облік ЕСУТ-факторів при здійсненні інвестиційної політики банку, зміна профілю банку. Після побудови ієрархії взаємовідносин у системі вирішується завдання визначення сили, з якою різні елементи одного рівня впливають на елементи попереднього рівня, щоб можна було обчислити величину впливу елементів найнижчого рівня на загальну мету. У результаті визначається дієвість кожного зі сценаріїв у забезпеченні спільної мети.

Як приклад розглянемо аналіз вибору об'єкта інвестування із трьох опцій – А, В і С. Виберемо для порівняння такі незалежні характеристики оцінювання: фінансові (Ф), управлінські (У), екологічні (Е) і соціальні (С). Спочатку проводиться порівняння характеристик щодо загальної мети підвищення ефективності банку. Будується шкала пріоритетів щодо сили впливу кожного компонента один до одного. Т. Сааті використовував наступну шкалу [10]: 1 – А і В однаково важливі; 3 – А трохи важливіше В; 5 – А значно важливіше; 7 – А явно важливіше; 9 – А абсолютно перевершує В. Парні числа від 2 до 8 використовуються для позначення проміжних станів. Будується матриця попарних порівнянь, діагональ якої складають одиниці. Наступний етап – обчислення вектора пріоритетів. У математичних термінах це – обчислення головного власного вектора, який після нормалізації стає вектором пріоритетів. Існує кілька способів, що відрізняються точністю оцінок. Наприклад, можна розділити елементи кожного стовпця на суму елементів цього стовпця, потім скласти елементи кожного отриманого рядка і розділити цю суму на кількість елементів рядка (усереднення нормалізованих стовпців).

Припустимо, що є матриці попарних порівнянь (табл. 1 та 2).

ТАБЛИЦЯ 1. Порівняння характеристик щодо пріоритетів під час вибору об'єкта інвестування

Чинники	Фінансові	Управлінські	Екологічні	Соціальні
Фінансові	1	2	6	6
Управлінські	1/2	1	3	3
Екологічні	1/6	1/3	1	1
Соціальні	1/6	1/3	1	1

Вектор пріоритетів цієї матриці дорівнює (0,545; 0,273; 0,091; 0,091).

ТАБЛИЦЯ 2. Порівняння об'єктів щодо вибраних характеристик

Чинники	Фінансові			Управлінські			Екологічні			Соціальні		
	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С
А	1	1	1	1	3	6	1	1/3	1/6	1	2	1/2
В	1	1	1	1/3	1	2	3	1	1/2	1/2	1	1/4
С	1	1	1	1/6	1/2	1	6	2	1	2	4	1

Розрахунок векторів пріоритетів цієї матриці наведено в табл. 3.

ТАБЛИЦЯ 3. Вектори пріоритетів вибраних характеристик

Об'єкти	Чинники			
	Фінансові	Управлінські	Екологічні	Соціальні
А	0,333	0,667	0,1	0,286
В	0,333	0,222	0,3	0,143
С	0,333	0,111	0,6	0,571

Щоб отримати ранжування об'єктів інвестування помножимо матрицю табл. 3 на транспонований вектор-рядок ваги характеристик, розрахований з табл. 1

$$A = 0,33 \cdot 0,545 + 0,667 \cdot 0,273 + 0,1 \cdot 0,091 + 0,286 \cdot 0,091 = 0,397$$

$$B = 0,33 \cdot 0,545 + 0,222 \cdot 0,273 + 0,3 \cdot 0,091 + 0,143 \cdot 0,091 = 0,280$$

$$C = 0,33 \cdot 0,545 + 0,111 \cdot 0,273 + 0,6 \cdot 0,091 + 0,571 \cdot 0,091 = 0,316$$

Таким чином, на підставі проведеного аналізу методом МАІ кращим для інвестування виявляється об'єкт А. Ієрархія для пріоритетів вибору об'єкта інвестування показана на рис. 4.

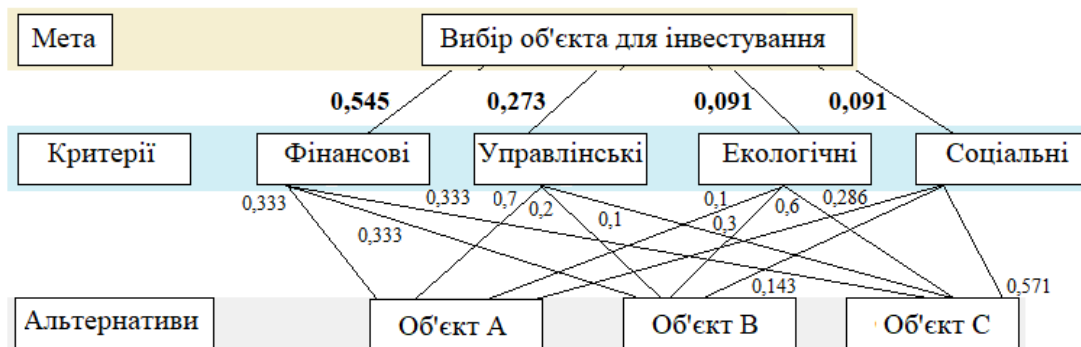


РИС. 4. Ієрархія пріоритетів

Розглянуті в роботі підходи до проблеми оцінки ризиків інвестування доповнюють один одного. Метод МАІ може використовуватися для більш точних оцінок індексів ризиків. Саме такий комбінований підхід використовувався в [11] для оцінки викликів безпеки Середземномор'я.

Висновки. Отримані результати показують, що важливим інструментом оцінки ІІ за умов невизначеності є математичні моделі які базуються на використанні методів ТОГВ та МАІ. Вони дозволяють: 1) розраховувати ступінь наближеність параметрів, що характеризують функціонування об'єкта, до їх критичних значень, коли настає зміна ІІ; 2) визначати ефективні управління, які дозволяють мінімізувати ризик втрати ІІ, або мінімізують час та втрати на повернення ІІ; 3) враховувати фактор невизначеності, пов'язаний з особливостями процесу прийняття рішень.

Розвиток цієї роботи буде направлено на створення інформаційної системи оцінки ІІ для комплексного управління рівнем кредитних, ринкових, страхових та операційних ризиків за умов невизначеності та визначення ефективних сценаріїв мінімізації ризиків інвестування.

Список літератури

1. Sergienko I.V., Yanenko V.M., Atoev K.L. A conceptual framework for managing the risk of ecological, technogenic, and sociogenic disasters. *Cybernetics and Systems Analysis*. 1997. **33** (2). P. 201–219. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02665894>
2. Атоев К.Л., Пепеляев В.А., Томин А.А. Нелинейная динамическая модель для интегральной оценки системных рисков в техногенной сфере. *Компьютерная математика*. 2006. № 1. С. 29 – 40.
3. Atoev K.L. Multicriteria Decision-Making Tool for Optimal Water Resource Management. In *Wastewater Reuse–Risk Assessment, Decision-Making and Environmental Security*. Zaidi M. (Ed.). Dordrecht: Springer, 2007. P. 111–144. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6027-4_14
4. Пепеляев В.А., Кнопов П.С., Атоев К.Л., Бігдан В.Б., Чорний Ю.М. Інформаційно-аналітична система для аналізу комплексних ризиків природно-техногенних та соціально-економічних загроз в галузі житлово-

- комунального господарства України. *Наука та інновації*. 2010. **6** (3). С. 19–46. <http://dx.doi.org/10.15407/scin6.03.039>
5. Атоєв К.Л. Комплексна оцінка інвестиційної привабливості аграрних регіонів в умовах зростання невизначеності та ризиків. *Математичне моделювання в економіці*. 2015. № 1. С. 96–106. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131766>
 6. Атоєв К.Л. Комплексне моделювання впливу глобальних змін на взаємозв'язок між водними, продовольчими та енергетичними ресурсами. *Теорія оптимальних рішень*. 2017. С. 3–8. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131430>
 7. Атоєв К.Л., Кнопов П.С., Пепеляєва Т.В. Розробка нових моделей оцінювання ефективності природокористування за умов змін клімату та зростання невизначеності. *Теорія оптимальних рішень*. 2017. С. 72–77. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/131440>
 8. Atoyev K., Knopov P., Pepeliaev V., Kisala P., Romaniuk R., Kalimoldayev M. The mathematical problems of complex systems investigation under uncertainties. In *Recent advanced in information technology* / W. Wojcik and J. Sikora, Eds. – London: CRC Press Taylor Francis Group, 2018. P. 115–171. <http://dx.doi.org/10.1201/9781351243179-7>
 9. Kahnemann D., Tversky A. Subjective probability: a judgement of representativeness. *Cognitive Psychology*. 1972. V. 3. P. 430–454.
 10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
 11. Atoyev K.L. The Challenges to Safety in the East Mediterranean: Mathematical Modeling and Risk Management of Marine Ecosystems. In *Strategic Management of Marine Ecosystems*/ E. Levner., I. Linkov., Proth J.-M. (Eds.). Dordrecht: Springer, 2005. P. 179–197. http://dx.doi.org/10.1007/1-4020-3198-X_12

Одержано 24.09.2022

Атоєв Константин Леонович,

кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0001-9892-054X>

Кнопов Павел Соломонович,

доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України,
зав. відділом Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0001-6550-2237>

UDC 519.711.3

Konstantin Atoyev*, Pavel Knopov

Assessment of Environmental, Social, Governance and Technogenic Components of Investment Risks

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

*Correspondence: konstantin_atoyev@yahoo.com

Introduction. To assess the investment attractiveness (IA) and development opportunities for investment objects (IO), non-financial factors characterizing the environmental, social, governance and technogenic (ESGT) features of objects of possible financing have been increasingly used recently. The purpose of this data analysis is to establish how the ESGT-parameters of IO may reflect their financial health and performance prospects in a rapidly changing world. Having built an ESGT risk profile with the help of mathematical models, the IA of the object of study and the strategy of practical measures to increase it are determined. When modeling these processes, one should consider the growing uncertainty of the modern world due to the emergence of new risks; a large number of systemic links between the structures of the modern technosphere; the power-law nature of the distribution of the probability density of catastrophe damage, which decreases more slowly than the Gaussian dependence. In addition, the efficiency of complex production systems is largely determined by the balance of their individual links. Therefore, to assess investment risks, new methods are required to formal-

ize the dependence of IA on ESGT-factors for the integrated management of the level of credit, market, insurance and operational risks under conditions of uncertainty.

The purpose of the article is to develop mathematical methods for quantifying IA and determining real costs to improve the management, social and technological structure of IO, and minimize environmental pollution.

Results. A mathematical model has been developed for assessing the environmental, social, managerial and technogenic leaving risks of investment, which makes it possible to determine the optimal strategies for increasing the IA of a possible IO. For a comprehensive risk assessment, methods of the theory of singularities of smooth reflections (TOGO) and the method of analysis of hierarchies (MAH) are used. The following algorithm for estimating IA is proposed: 1) determining the indices of the ESGT-components of risk; 2) calculation of bifurcation index values; 3) determination of the weakest links, which are associated with a decrease in IA; 4) identification of priority measures to prevent the reduction of IA or restore it to a predetermined level and minimize the negative impacts of extreme events and ensure sustainable development.

Conclusions. The obtained results show that mathematical models based on the use of TOGO and MAH methods are an important tool for estimating IA under conditions of uncertainty. They allow: 1) to calculate the degree of approximation of the parameters characterizing the functioning of the object to their critical values when the IA changes; 2) to determine effective controls to minimize the risk of losing IA or minimize the time and losses for returning IA; 3) to consider the uncertainty factor associated with the features of the decision-making process. The development of this work is aimed at creating an information system for assessing IA for the integrated management of the level of credit, market, insurance and operational risks in the face of uncertainty and determining effective scenarios for minimizing investment risks.

Keywords: mathematical modeling, system analysis, investment risks.