

УДК 519.8:502.3  
DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2017.3.10

## **ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ У ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ НА ПІДСТАВІ ПОПАРНОГО ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ НЕВИКОРИСТАНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ**

**Д.В. СТЕФАНИШИН, Ю.Д. СТЕФАНИШИНА-ГАВРИЛЮК**

**Анотація.** Запропоновано метод формування множини ефективних портфелів та вибору оптимальної структури інвестиційного портфеля за критерієм мінімального ризику на підставі попарного порівняння альтернатив з урахуванням ризику невикористаних можливостей. Задача розв'язується на прикладі порівняння за ризиком структур інвестиційних портфелів, які названо базовими, що поєднують в собі три напрями інвестування у природокористуванні та враховують три різні типи ставлення носія рішення до ризику: неохочість, схильність і байдужість до ризику. Показано, що у випадку трьох напрямів інвестування з урахуванням ризику невикористаних можливостей різними способами в контексті врахування психологічної позиції носія рішення щодо ризику загалом і ризику невикористаних можливостей зокрема може бути сформована скінченна множина альтернативних структур ефективних портфелів (альтернатив), серед яких існує оптимальна на підставі попарного порівняння за критерієм мінімального ризику альтернатива.

**Ключові слова:** альтернатива, інвестиційний портфель, оптимізація, попарне порівняння, природокористування, ризик невикористаних можливостей.

### **ВСТУП**

Важливою вимогою до природокористування в сучасних умовах є його раціоналізація на основі задоволення різних цілей та критеріїв: економічних, соціальних, екологічних. Соціальна стабільність та збереження якості навколишнього середовища щодо використання природних ресурсів стали такими ж важливими для сучасного суспільства, як і отримувані економічні вигоди.

Відповідна стратегія, спрямована на раціоналізацію природокористування, отримала в світі назву концепції «стійкого» (або «сталого») розвитку [1, 2]. Її реалізація передбачає зростання економіки з одночасним поліпшенням екологічної ситуації та вирішенням актуальних соціальних проблем. У цілому концепція сталого розвитку співзвучна з концепцією раціонального ризику в природокористуванні [3, 4], адже обидві виходять з того, що

природокористування так чи інакше обтяжене проблемними ситуаціями, а отже, ризиком, який має враховуватися і мінімізуватися економічними інструментами, новими технологіями та більш складними (системними) рішеннями, зокрема тими, що орієнтуються на комплексне використання природних ресурсів, перерозподіл ресурсів і можливостей і, відповідно, на диверсифікацію ризику на нових умовах — соціальної справедливості та збереження довкілля [1, 2, 5, 6].

Проблемами раціоналізації природокористування, аналізу, оцінювання та врахування ризику в природокористуванні в різні роки займалися такі відомі вчені, як Г.А. Бачинський, М.М. Биченок, П.І. Бідюк, В.В. Вітлінський, А.В. Дончева, І.П. Дрозд, М.З. Згуровський, Ю.Л. Забулонов, А.Б. Качинський, М.О. Клименко, В.Д. Комаров, Л.О. Коршевнюк, О.М. Ларічев, В.А. Легасов, Г.В. Лисиченко, І.І. Мазур, Ц.Є. Мірцхулава, В.Б. Мокін, О.І. Молдаванов, А.А. Музалєвський, Я.С. Наконечний, Н.Д. Панкратова, Б.Н. Порфірьєв, А.Ф. Реймерс, А.Ю. Ретєюм, А.С. Шапкін, Є.О. Яковлев, А.В. Яцик, P.F. Ricci, W. Rowe, P. Slovic, C. Stagt та ін. Серед численних робіт, присвячених проблемам ефективного і водночас безпечного природокористування, слід відзначити праці А.Ф. Реймерса [7], який їх систематизував і окреслив основні напрями їх спільного вирішення через упровадження системи раціонального природокористування, покликаної забезпечити ощадливу експлуатацію природних ресурсів, умови ефективного їх відтворення зі збереженням елементів соціальної стабільності — життя і здоров'я людей, мінімізації екологічних та соціальних втрат.

Ідея мінімізації ризику шляхом його диверсифікації «в портфелі» також не є новою [5, 8]. За своєю суттю вона спрямована на зменшення ризику через розподіл наявних активів (ресурсів, інвестицій тощо) між кількома напрямками діяльності. При цьому вважається, що в результаті диверсифікації портфеля за рахунок деякого оптимального перерозподілу активів між різними його складовими можна досягти істотного зниження загального (портфельного) ризику за незначного зменшення прибутковості, вигідності, корисності прийнятого рішення.

Загальні принципи оптимізації структури портфеля як певної комбінації активів, що складають багатство індивідуума чи фірми, закладені ще Дж. Р. Хіксом [5]. Основи сучасної теорії інвестиційного портфеля були розроблені Г.-М. Марковіцем та розвинені у працях Дж. Тобіна, В.-Ф. Шерпа та ін. [5, 8–12]. Серед праць вітчизняних учених, присвячених аналізу проблем інвестиційного ризику та розробленню методів його зниження шляхом портфельного інвестування, належить відзначити праці П.І. Верченка, В.В. Вітлінського, В.Р. Куляна, А.В. Матвійчука, О.В. Мороза, Я.С. Наконечного, О.М. Рибицької, А.В. Сігала, М.С. Сявавка, О.І. Ястремського та ін. Більшість з отриманих рішень щодо формування оптимальної структури інвестиційного портфеля ґрунтуються на використанні ймовірнісно-статистичних характеристик розподілів прибутковості активів портфеля як випадкових величин, функцій або процесів. Зокрема, класична модель портфеля Г. Марковіца ґрунтується на ідеї, що інвестор як критеріїв оптимальності використовує статистичні характеристики його активів: математичне сподівання для норми прибутку і дисперсію для величини ризику.

## **ДЕЯКІ ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ПОРТФЕЛЬНОГО ІНВЕСТУВАННЯ У ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ**

Як відомо, процес вибору інвестиційного портфеля з оптимальною структурою базується на вирішенні двох основних завдань [5, 8]: 1) визначення множини ефективних портфелів (таких, що можуть влаштовувати інвестора, наприклад, за критеріями дохідності або ризику); 2) вибору серед ефективних портфелів оптимального з урахуванням, у тому числі і суб'єктивного, ставлення інвестора до різних портфелів (насамперед через його ставлення до ризику: схильності, несхильності, байдужості). При цьому множина альтернативних портфелів, серед яких має здійснюватися вибір, може бути незліченною.

Сучасна теорія інвестиційного портфеля ґрунтується на ряді важливих припущень [5, 8, 11], деякі з яких мають критично осмислюватися під час формування інвестиційного портфеля у природокористуванні.

Перше припущення передбачає ефективність ринку, тоді як фундаментальний економічний аналіз вказує на те, що ринок є швидше неефективним [10]. Що стосується природокористування, то важливою його особливістю в сучасних умовах є необхідність при диверсифікації інвестиційного портфеля включення в його структуру, окрім економічної, соціальної та екологічної складових. Соціальна та екологічна складові можуть розглядатися інвестором як неприбуткові, неефективні сфери, затрати на які слід мінімізувати. Оскільки ресурси, що спрямовуються на реалізацію інвестиційних проектів у природокористуванні, обмежені, то будь-які неефективні затрати негативно впливатимуть на хід виконання інвестиційного проекту. Інвестор може не отримати сподіваного економічного ефекту і це надалі позначиться на його пріоритетах в оцінюванні значущості інвестицій у природокористуванні з урахуванням соціально-екологічних факторів.

Друге припущення ґрунтується на тому, що інвестори неохоче сприймають ризик. Однак при цьому не вказується і не аналізується, яку саме складову ризику той чи інший інвестор не сприймає більше — ризик утратити інвестиції (те, що надалі називатимемо системним ризиком), ризик не отримати більшого прибутку, чи деякий сукупний ризик, який може поєднувати обидва ці ризики [13]. Річ у тім, наскільки не отримання деякого гарантованого або більшого прибутку (те, що надалі називатимемо ризиком невикористаних можливостей [3, 5, 6, 9, 10, 13, 14]) також є неприйнятним ризиком для інвестора.

Формуючи інвестиційні портфелі, виходять з того, що інвестори надають перевагу вищій нормі прибутку, а не нижчій. Відповідно, якщо інвестори розглядатимуть соціальну і екологічну складові як такі, що здатні давати додаткові ефекти (наприклад, як це відбувається тепер в альтернативній енергетиці завдяки так званим «зеленим» тарифам), то диверсифікація інвестиційного портфеля із включенням в його структуру, окрім економічної складової, соціальної та екологічної складових буде вважатися ефективним рішенням, навіть за умови більш високих рівнів системного ризику. Якщо альтернатива з меншим системним ризиком більшою мірою буде обтяжуватися ризиком невикористаних можливостей [13, 14], який, відповідно,

зменшуватиме вплив системного ризику на сукупний, це зумовить інвестора приймати більш сміливі рішення щодо природокористування, відповідно до яких соціальна та екологічна складові інвестиційного портфеля отримуватимуть більші можливості.

## ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТА РОБОТИ

Пошук оптимального інвестиційного портфеля значно спрощується для множини ефективних портфелів, кожен з яких може бути оптимальним за того чи іншого критерію ефективності або ставлення інвестора до ризику (схильності, несхильності, байдужості). Якщо дотримуватися припущення, що носій рішення здатний точно формулювати свої пріоритети, задачу вибору оптимального портфеля нескладно формалізувати [15–18].

У випадку формування скінченної множини ефективних портфелів задача вибору серед них оптимального може зводитися до задачі прийняття рішення на підставі попарного порівняння альтернатив, що ще більше спростить її формалізацію.

Нехай існує скінченна множина  $\mathbf{A}$  ефективних портфелів (альтернатив), які можуть розглядатися як оптимальні в тому чи іншому сенсі, за тими чи іншими критеріями, правилами чи ознаками [15–18]. Нехай множина  $\mathbf{A}$  формується на основі деяких формальних правил, за допомогою яких відображається певне суб'єктивне відношення носія рішення до ризику (несхильність, схильність, байдужість) загалом і до ризику невикористаних можливостей зокрема.

Нехай альтернативи, що складають множину  $\mathbf{A}$ , можуть порівнюватися між собою за сукупним ризиком [13, 14] згідно з правилом:

$$d_{\text{opt}} = \{a_{i,\text{opt}} \mid a_{i,\text{opt}} \in \mathbf{A}, \wedge r_{i,\text{opt}} = \min(r_{i,j}, r_{j,i})\} \quad \forall a_i, a_j, i, j = \overline{0, n}, i \neq j, (1)$$

де  $r_{i,j}$ ,  $r_{j,i}$  — ризики попарного порівняння альтернатив  $a_i$ ,  $a_j$ , що належать  $\mathbf{A}$ , подані у вигляді лінійних комбінацій  $r_{i,j} = l_i + g_j$ ,  $r_{j,i} = l_j + g_i$ , де  $l_i$ ,  $g_i$  та  $l_j$ ,  $g_j$  невід'ємні значення деяких числових характеристик, що в цілому описують програшні  $l$  та виграшні  $g$  якості альтернатив  $a_i$ ,  $a_j$ , відповідно.

Як показано у праці [14], у результаті розв'язання задачі (1) у загальному випадку — задачі багатокритеріальної оптимізації на зліченній множині допустимих альтернатив  $\mathbf{A} = \{a_i\}$ ,  $i = \overline{0, n}$ , відшукується множина оптимальних альтернатив  $\mathbf{A}_{\text{opt},r}$  за критерієм оптимального ризику

$$r_{i,\text{opt}} = \min(r_{i,j}, r_{j,i}), \text{ яка збігається з множиною оптимальних альтернатив } \mathbf{A}_{\text{opt},u} \text{ за критерієм максимальної корисності } u(a_i)_{\text{opt}} = \max(u_i, u_j)$$

$$\forall (a_i, a_j), i, j = \overline{0, n}, i \neq j, u_i = g_i - l_i, u_j = g_j - l_j.$$

У цьому дослідженні задача пошуку оптимального інвестиційного портфеля в природокористуванні зводиться до задачі формування скінченної множини ефективних портфелів, структури яких мають відображати три напрями інвестування (економічний, соціальний, екологічний) і три типи

суб'єктивного ставлення носія рішення до ризику (несхильність, схильність, байдужість). Далі попарно порівнюються відібрані альтернативи, серед яких згідно з правилом (1) вибирається найкраща (оптимальна).

**Мета роботи** — презентація методу формування скінченної множини ефективних структур інвестиційних портфелів у природокористуванні, які згідно з принципом раціоналізації природокористування в межах концепції сталого розвитку мають відображати три характерні напрями інвестування (економічний, соціальний, екологічний) і враховувати три характерні позиції носія рішення щодо ризику (несхильність, схильність, байдужість). Практика показує, що врахування суб'єктивного ставлення носія рішення (інвестора) до ризику може відігравати суттєву роль – як у формуванні множини ефективних портфелів, так і у виборі серед них оптимального. Зазвичай це ставлення намагаються виразити за допомогою різного роду коефіцієнтів (несхильності/схильності до ризику), значення яких часто встановлюються досить суб'єктивно (без формального обґрунтування). У праці, що пропонується, ставлення інвестора до ризику формалізується на основі сценарного моделювання. Кількість модельних сценаріїв та стратегій поведінки носія рішення під час формування портфеля цілеспрямовано обмежується формальними засобами.

## ФОРМУВАННЯ МНОЖИНИ ЕФЕКТИВНИХ ПОРТФЕЛІВ

Структури інвестиційних портфелів, у яких розглядаються три характерні напрями інвестування в природокористуванні з метою його раціоналізації (економіка, соціальна і екологічна сфери) та враховуються три психологічні типи поведінки інвестора на ринку, які можуть пояснюватися його ставленням до ризику (несхильність, схильність, байдужість), надалі називатимемо базовими структурами.

Відповідні три напрями інвестування в природокористуванні з метою його раціоналізації називатимемо базовими.

Нехай  $p_k, s_k$  — невід'ємні значення деяких числових характеристик, що описують програшні  $p$  та виграшні  $s$  ефекти на трьох (базових) напрямках інвестування в природокористуванні,  $k = \overline{1,3}$ .

Уведемо множину змінних  $X = \{x_k\}$ ,  $k = \overline{1,3}$ , якими охарактеризуємо активність (частки) інвестора на  $k$ -х базових напрямках інвестиційної діяльності, упорядкувавши їх за зростанням програшного ефекту  $p$ :  $x_k \geq 0$ ,

$x_k = \frac{c_k}{c}$ ,  $\sum_{k=1}^3 x_k = 1$ ,  $\sum_{k=1}^3 c_k = c$  — інвестиційний ресурс. Розподіляючи ресурс

$c$  між відповідними напрямками діяльності  $x_k$ ,  $k = \overline{1,3}$ , упорядкованими за зростанням програшного ефекту  $p$ , будемо формувати портфелі вартістю  $c$  з трьох активів на множині  $X = \{x_k\}$  з відповідними частками  $x_k$ ,  $k = \overline{1,3}$ .

Установимо сукупний ризик  $r(x_k)$  інвестиційного портфеля  $X = \{x_k\}$ ,  $k = \overline{1,3}$ , як суму його власного (системного) ризику  $l(x_k)$  та ризику невикористаних можливостей  $g(x_k)$ :

$$r(x_k) = l(x_k) + g(x_k), \quad k = \overline{1,3}, \quad (2)$$

де функцію власного (системного) ризику портфеля визначимо як  $l(x_k) = \sum_{k=1}^3 p_k x_k$ , при цьому нехай її вигляд залишається незмінним у формуванні портфеля незалежно від ставлення інвестора до ризику, а функція ризику невикористаних можливостей  $g(x_k)$  під час формування портфеля може змінюватися залежно від відношення інвестора до ризику.

Задамо такі три узагальнені модельні сценарії поведінки інвестора як носія рішення щодо формування базової структури інвестиційного портфеля [6]:

1) *песимістичний* — нехай носій рішення не виявляє схильності до ризику і, діючи за цим сценарієм, намагатиметься збільшувати частку  $x_1$  у кожному портфелі, орієнтуючись на обмеження вигляду  $x_1 \geq 1/3$ ;

2) *оптимістичний* — нехай носій рішення виявляє схильність до ризику і, діючи за цим сценарієм, орієнтується на обмеження вигляду  $x_3 \geq 1/3$ ;

3) *нейтральний* — носій рішення виявляє байдужість до ризику; нехай формально він надаватиме перевагу частці  $x_2$  ( $x_2 \geq 1/3$ ).

Для реалізації кожного із цих сценаріїв носій рішення може також застосувати одну з трьох стратегій формування структури інвестиційного портфеля, збільшуючи ту чи іншу частку  $x_k$  за рахунок інших складових:

1) рівномірного зменшення часток альтернатив, що відкидаються; 2) максимальне збереження частки менш ризикованої з відкинутих альтернатив; 3) максимальне збереження частки більш ризикованої з відкинутих альтернатив.

Наведені три узагальнені модельні сценарії поведінки інвестора і три стратегії формування структури інвестиційного портфеля не впливають на загальний вигляд функції його власного (системного) ризику  $l(x_k)$ . Тому цей ризик і названо нами власним або системним.

У випадку, коли інвестор виявляє неохочість до ризику, він не лише намагатиметься збільшувати менш ризиковану частку в портфелі, а й виявлятиме певну обережність в оцінюванні ризику невикористаних можливостей. Нехай цей ризик залежно від «рівня» песимізму інвестора може визначатися однією з таких функцій:

$$g_1(x_1, x_2, x_3) = s_1(x_2 + x_3) + s_2 x_1, \quad (3)$$

$$g_2(x_1, x_2, x_3) = s_1 x_2 + s_2(x_1 + x_3), \quad (4)$$

$$g_3(x_1, x_2, x_3) = s_1(x_2 + x_3) + s_3 x_1, \quad (5)$$

$$g_4(x_1, x_2, x_3) = s_1 x_2 + s_2 x_3 + s_3 x_1. \quad (6)$$

Тоді з урахуванням трьох стратегій формування портфеля інвестор, неохочий до ризику, може використати 12 різних способів (сценаріїв) побудови його базової структури. Якщо припустити, що кожному з цих способів відповідатимуть локально оптимальні за критерієм мінімального ризику

$r(x_k) \rightarrow \min$  портфелі, то всі вони можуть розглядатися як ефективні альтернативи в контексті наступного їх попарного порівняння за сукупним ризиком згідно з правилом (1).

Приклад числового моделювання та вибору оптимальної базової структури портфеля, де як функцію ризику невикористаних можливостей взято залежність (6) в поєднанні зі стратегією максимального збереження частки менш ризикованої з відкинутих альтернатив (приклад 1), показано на рис. 1. Моделювання виконувалось за такими даними: програшні ефекти  $p_k$  часток  $x_k$ ,  $k = \overline{1,3}$ , відповідно  $p_1 = 0,05$ ;  $p_2 = 0,10$ ;  $p_3 = 0,20$ ; їх виграшні ефекти  $s_k$ , відповідно  $s_1 = 0,7$ ;  $s_2 = 0,13$ ;  $s_3 = 0,25$ .

$x_1$	...	0,58333	0,60833	0,63333	<b>0,65833</b>	0,68333	0,70833	...
$x_2$	...	0,33333	0,33333	0,33333	<b>0,33333</b>	0,31667	0,29167	...
$x_3$	...	0,08333	0,05833	0,03333	<b>0,00833</b>	0	0	...
$r(x_1, x_2, x_3)$	...	0,25917	0,25842	0,25767	<b>0,25692</b>	0,25883	0,26208	...

Рис. 1. Фрагмент таблиці результатів моделювання базової структури інвестиційного портфеля (приклад 1). Оптимальний портфель (79/120, 1/3, 1/120)

Нехай носій рішення виявляє схильність до ризику. Відобразимо її такими оцінками ризику невикористаних можливостей:

$$g_5(x_1, x_2, x_3) = s_3(x_1 + x_2) + s_2x_3, \quad (7)$$

$$g_6(x_1, x_2, x_3) = s_2(x_1 + x_3) + s_3x_2, \quad (8)$$

$$g_7(x_1, x_2, x_3) = s_2x_1 + s_3x_2 + s_1x_3. \quad (9)$$

Результати побудови та вибору оптимальної базової структури інвестиційного портфеля (дані з прикладу 1), де як функцію ризику невикористаних можливостей взято залежність (8) в поєднанні зі стратегією рівномірного зменшення часток альтернатив (приклад 2), показано на рис. 2.

$x_1$	...	0,33333	0,33333	<b>0,33333</b>	0,31667	0,26667	0,21667	...
$x_2$	...	0,13333	0,08333	<b>0,03333</b>	0	0	0	...
$x_3$	...	0,53333	0,58333	<b>0,63333</b>	0,68333	0,73333	0,78333	...
$r(x_1, x_2, x_3)$	...	0,28267	0,28167	<b>0,28067</b>	0,2825	0,29	0,2975	...

Рис. 2. Фрагмент таблиці результатів моделювання базової структури інвестиційного портфеля (приклад 2). Оптимальний портфель (1/3, 1/30, 19/30)

Зрештою, коли інвестор виявляє байдужість до ризику, він, оцінюючи ризик невикористаних можливостей, окрім функцій вигляду (3)–(9), може також застосувати і такі функції:

$$g_8(x_1, x_2, x_3) = s_2(x_1 + x_3) + s_3x_2, \quad (10)$$

$$g_9(x_1, x_2, x_3) = s_2(x_1 + x_3) + s_1 \cdot x_2. \quad (11)$$

За допомогою дев'ятьох функцій (3)–(11), за якими пропонується оцінювати ризик невикористаних можливостей, і трьох стратегій формування структури інвестиційного портфеля можна отримати 27 різних способів формування базових структур ефективних портфелів, кожен з яких певним чином відобразатиме певну позицію інвестора щодо ризику загалом і ризику невикористаних можливостей зокрема. При цьому, як показують числові експерименти, деякі з цих структур неодноразово повторюються за різних сценаріїв формування портфеля.

### ПРИКЛАД ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ

Результати відбору базових структур ефективних портфелів  $a_i$  (альтернатив), сформованих за результатами числового моделювання 27 способами за наведеними вище даними щодо програшних і вигрешних ефектів, показано в таблиці. Усього за цими даними отримано сім альтернативних структур.

Оптимальні структури портфеля за різних способів його формування, якщо  $p_1 = 0,05$ ;  $p_2 = 0,10$ ;  $p_3 = 0,20$ ;  $s_1 = 0,07$ ;  $s_2 = 0,13$ ;  $s_{31} = 0,25$

Параметри портфеля	Портфелі (альтернативи)						
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
$x_{i,1}$	1	0,683333	0,658333	0	0,333333	0,333333	0,333333
$x_{i,2}$	0	0,316667	0,333333	1	0,333333	0,033333	0,008333
$x_{i,3}$	0	0	0,008333	0	0,333333	0,633333	0,658333
$l_i$	0,05	0,065833	0,067917	0,1	0,116667	0,146667	0,149167
$g_i$	0,07	0,089	0,0915	0,13	0,15	0,186	0,189

Відібрані альтернативи попарно порівнювалися з метою вибору серед них найкращої (оптимальної) за сукупним ризиком згідно з правилом (1). Альтернативи упорядковувалися за зростанням очікуваного сумарного з урахуванням трьох часток, програшу (власного, системного ризику) портфеля  $a_i$ :

$$l_i = \sum_{k=1}^3 p_k x_{i,k} . \tag{12}$$

Очікувані сумарні вигреші  $g_i$  кожного з відібраних портфелів  $a_i$ ,  $i = \overline{0,6}$ , визначалися за формулою

$$g_i = \sum_{k=1}^3 s_k x_{i,k} . \tag{13}$$

У формулах (12), (13):  $x_{i,k}$  —  $k$ -і частки,  $k = \overline{1,3}$ , у структурах  $i$ -х оптимальних портфелів (альтернатив), відібраних за різних способів їх формування;  $p_k$ ,  $s_k$  — програшні та вигрешні ефекти на  $k$ -х напрямках інвестування.

Таблицю рішень, де виконувалось попарне порівняння відібраних альтернатив за ризиком згідно з правилом (1) показано на рис. 3.



$a_i$	$a_j$						
	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$
$a_0$		<b>0,139</b>	0,1415	0,18	0,2	0,236	0,239
$a_1$	<b>0,13583</b>		<b>0,15733</b>	0,19583	0,21583	0,25183	0,25483
$a_2$	0,13792	<b>0,15692</b>		<b>0,19792</b>	0,21792	0,25392	0,25692
$a_3$	0,17	0,189	<b>0,1915</b>		<b>0,25</b>	0,286	0,289
$a_4$	0,18667	0,20567	0,20817	<b>0,24667</b>		<b>0,30267</b>	0,30567
$a_5$	0,21667	0,23567	0,23817	0,27667	<b>0,29667</b>		<b>0,33567</b>
$a_6$	0,21917	0,23817	0,24067	0,27917	0,29917	<b>0,33517</b>	

Рис. 3. Таблиця рішень з порівнянням альтернативних портфелів (дані про параметри портфелів, що порівнюються, наведено в таблиці). Оптимальний портфель — альтернатива  $a_6$  (1/3, 1/120, 79/120).

У ході проведеного імітаційного моделювання базових структур інвестиційних портфелів  $X = \{x_k\}$ ,  $k = \overline{1,3}$ , за різними вхідними даними з використанням 27 сценаріїв (способів) формування портфелів за умови  $s_k > p_k$ ,  $k = \overline{1,3}$ , виявлено 16 можливих їх альтернативних структур (альтернатив): (1; 0; 0), (0,68333; 0,31667; 0), (0,658333; 0,333333; 0,008333), (0,63333; 0,333333; 0,68333; 0), (0; 1; 0), (0,33333; 0,33333; 0,33333), (0,33333; 0,033333; 0,03333), (0,33333; 0,63333; 0,03333), (0,33333; 0,658333; 0,008333), (0,31667; 0,633333), (0,33333; 0,00833; 0,65833), (0,31667; 0; 0,68333), (0,033333; 0,33333; 0,633333), (0,008333; 0,33333; 0,658333), (0; 0,31667; 0,68333), (0; 0; 1). Ці структури можна розглядати як елементи скінченної множини ефективних інвестиційних портфелів у природокористуванні з базовою структурою  $X = \{x_k\}$ ,  $k = \overline{1,3}$ , у процесі розв'язання задачі вибору оптимального портфеля за сукупним ризиком, включаючи ризик невикористаних можливостей згідно з правилом (1).

## ВИСНОВКИ

Запропоновано метод формування множини ефективних портфелів та вибору оптимальної структури інвестиційного портфеля, що може поєднувати в собі три напрями інвестування в природокористуванні, за критерієм мінімального ризику на підставі попарного порівняння альтернатив з урахуванням ризику невикористаних можливостей. Запропоновано функції, за якими можуть визначатися ризики невикористаних можливостей залежно від відношення інвестора до ризику (схильності, несхильності, байдужості).

Установлено, що відповідним чином, згідно із запропонованим методом, у випадку трьох напрямів інвестування різними способами з урахуванням ризику невикористаних можливостей в контексті врахування психологічної позиції носія рішення щодо ризику загалом і ризику невикористаних можливостей зокрема може бути сформована скінченна множина альтернативних структур ефективних портфелів (альтернатив), серед яких існує оптимальна на підставі попарного порівняння за критерієм мінімального ризику альтернатива.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровський М.З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р. / М.З. Згуровський. — К.: Політехніка. — 2006. — 84 с.
2. Бідюк П.І. Дослідження сталого розвитку макроекономічних процесів в Україні / П.І. Бідюк, В.Я. Данилов, Йошіо Мацуоки // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2015. — № 3. — С. 84–97.
3. Стефанишин Д.В. Методологічний підхід до обґрунтування протизсувних заходів з врахуванням ризику / Д.В. Стефанишин, І.В. Трохимова, О.М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. — КНУБА, ІТГП НАНУ, 2010. — Вип. 6. — С. 5–20.
4. Дрозд І.П. Концепція прийняттого ризику та проблеми забезпечення техногенної безпеки в Україні / І.П. Дрозд, А.С. Охота // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. — КНУБА, ІТГП НАНУ, 2011. — Вип. 7. — С. 82–108.
5. Вітлінський В.В. Економічний ризик: ігрові моделі / В.В. Вітлінський, П.І. Верченко. — К.: КНЕУ, 2002. — 446 с.
6. Стефанишин Д.В. Метод формування інвестиційного портфеля в природокористуванні з врахуванням ризику невикористаних можливостей / Д.В. Стефанишин, Ю.Д. Стефанишина // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. — КНУБА, ІТГП НАНУ, 2012. — Вип. 9. — С. 201–212.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.
8. Мороз О.В. Оптимальне управління економічними системами в умовах невизначеності та ризику / О.В. Мороз, А.В. Матвійчук. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 177с.
9. Ястремський О.І. Основи теорії економічного ризику / О.І. Ястремський. — К.: АртЕк, 1997. — 248 с.
10. Бернстайн П. Против богов: Укрощение риска / П. Бернстайн; пер. с англ. — М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000. — 400 с.
11. Сявавко М.С. Математичне моделювання за умов невизначеності / М.С. Сявавко, О.М. Рибицька. — Львів: НВФ «Українські технології», 2000. — 319 с.
12. Кулян В.Р. Про моделювання динаміки портфеля акцій / В.Р. Кулян, О.О. Юнькова, М.В. Коробова // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки, 2016. — Вип. 1. — С. 173–177.
13. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності / Д.В. Стефанишин. — К.: Азимут-Україна, 2009. — 104 с.
14. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Прийняття рішень у природокористуванні з врахуванням ризику невикористаних можливостей на підставі попарного порівняння альтернатив / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2016. — № 3. — С. 51–62.
15. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. — М.: Наука, 1981. — 560 с.
16. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер; пер. с нем. — М.: Мир, 1990. — 206 с.
17. Эддоус М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стенсфилд; пер. с англ. — М.: ЮНИТИ, Аудит, 1997. — 510 с.
18. Бейко І.В. Задачі, методи і алгоритми оптимізації: навч. посіб. / І.В. Бейко, П.М. Зінько, О.Г. Наконечний. — Рівне: НУВГП, 2011. — 624 с.

Надійшла 06.04.2017