

УДК 004.67

Ю.С. Боримський, А.В. Рябушенко,
П.П. Маслянко, Н.Д. Любашенко

СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ФІНАНСОВО-ІНВЕСТИЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ

Вступ

Системна інженерія інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) спирається на міжнародні стандарти INCOSE і OMG Group [1], на основні положення теорії систем і прикладного системного аналізу [2, 3] та на результати прикладних досліджень у цій галузі [4, 5].

Для сфери фінансово-інвестиційної діяльності системна інженерія в повному обсязі використовує досягнуті результати. Це дає можливість значно підвищити ефективність бізнес-процесів, знизити час прийняття рішень, зменшити загальну вартість володіння інвестиційним портфелем, прискорити процес розробки і впровадження та пришвидшити час повернення інвестицій [6]. У статті [5] пропонується визначити процес розробки як певним чином упорядкований і достатній ряд робіт інформатизації організаційних систем із заданими показниками ефективності, а також йдеться про компонентний процес розробки. Дотримання цього процесу при створенні ІКС для сфери фінансово-інвестиційної діяльності дає можливість зберегти переваги ітеративного і водоспадного процесів розробки таких систем. Застосування компонентної моделі [7] сприяє розробці підсистеми формування оптимального інвестиційного портфеля, що реалізує алгоритм оптимізації з використанням статистичного моделювання кожного із сформованих портфелів у нечіткій постановці для відбору кращого з них.

Основною задачею фінансово-інвестиційної діяльності є оптимізація портфеля цінних паперів, яка полягає в тому, щоб знайти такий набір цінних паперів, який має оптимальне співвідношення доходність/ризик. Ця задача постає перед кожним інвестором, котрий інвестує гроші в цінні папери. Без розв'язання такої задачі неможливе створення ефективних систем управління фінансово-інвестиційною діяльністю [6].

Таким чином, створення ефективних методів оптимізації інвестиційних портфелів є надзвичайно актуальною проблемою в Україні та поза її межами.

Постановка задачі

Мета статті – проаналізувати існуючі методи формування і оптимізації інвестиційного портфеля, запропонувати вдосконалений спосіб формування інвестиційного портфеля для реалізації компонента оптимізації інвестиційного портфеля системи управління фінансово-інвестиційною діяльністю та знайти алгоритм розв'язання задачі оптимізації запропонованого способу формування інвестиційного портфеля.

Об'єкт дослідження – множина сутностей, властивостей і операцій компонента оптимізації інвестиційного портфеля системи управління фінансово-інвестиційною діяльністю.

Предмет дослідження – методи математичної оптимізації портфелів цінних паперів.

Система управління фінансово-інвестиційною діяльністю

Компонентну модель системи управління фінансово-інвестиційною діяльністю і її специфікацію подано в [6] та розширено в публікаціях [8–10].

Система управління фінансово-інвестиційною діяльністю складається з таких компонентів (рис. 1): порталу, оптимізації інвестиційного портфеля, управління ризиками, прогнозування, оцінки вартості похідних фінансових інструментів, сек'юритизації, алгоритмічного трейдингу, арбітражу, статистичного арбітражу, фінансової інженерії, зовнішніх інформаційних ресурсів та зовнішніх обчислювальних ресурсів. Основне її завдання – зробити можливим проведення повномасштабного моделювання інвестиційного портфеля, його поточних і майбутніх характеристик доходності та ризикованості в режимі реального часу. Система управління фінансово-інвестиційною діяльністю повинна мати і такі властивості, як інтеграція, інтераперабельність, масштабованість та розширюваність.

Задача компонента оптимізації інвестиційного портфеля полягає у формуванні збалансованого портфеля, що відображає інвестиційні вподобання інвестора. З цією метою використовуються прогнози компонента прогнозування, інвестиційні можливості компонентів алгоритмічного трейдингу, арбітражу і статистичного арбітражу, накладені обмеження компонента оцінки ризиків і похідні цінні папери, що оцінюються компонентами фінансової інженерії, сек'юритизації та оцінки вартості похідних цінних паперів.

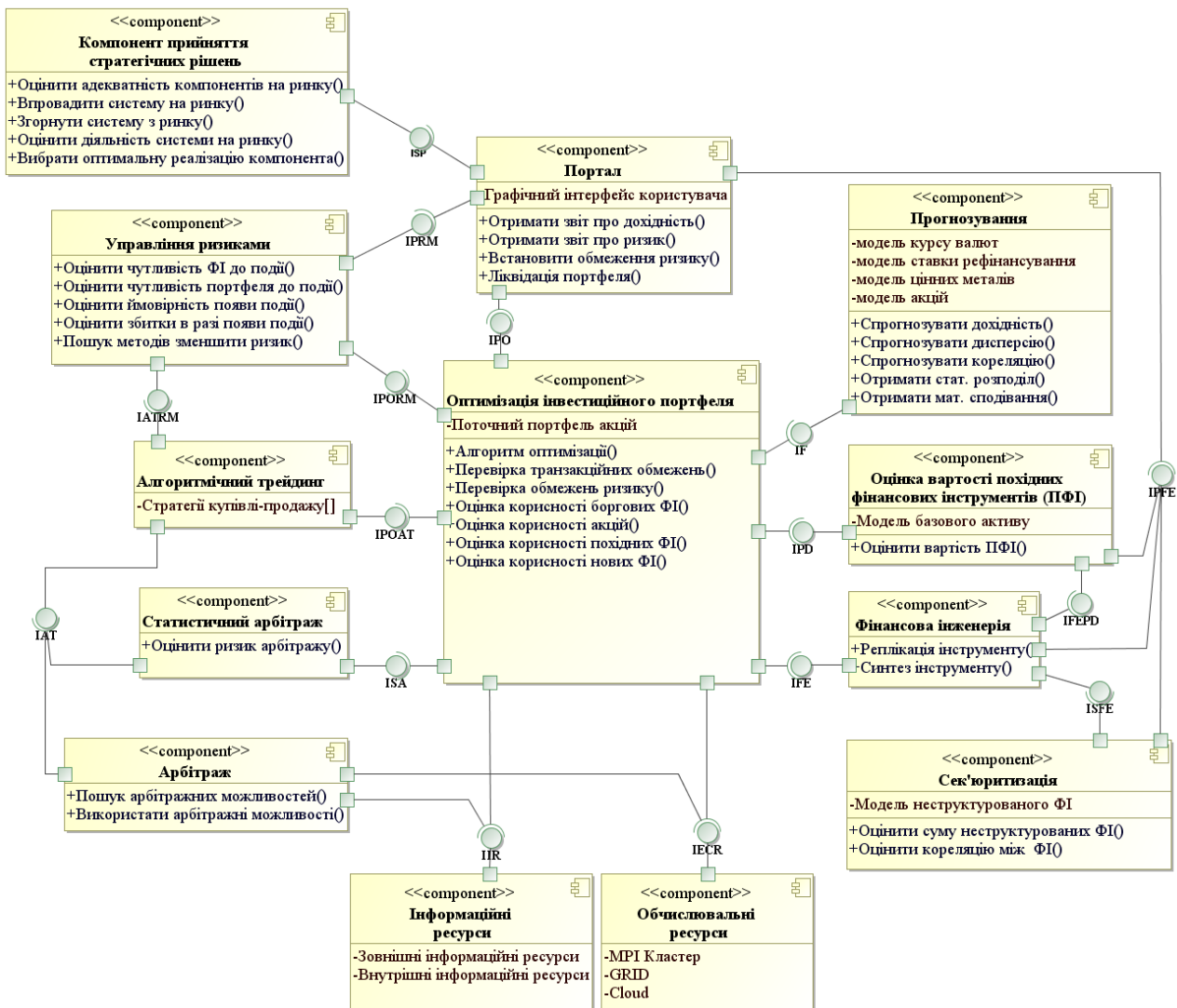


Рис. 1. Компонентна модель системи управління інвестиційним портфелем та діаграма компонентів у нотатції UML

Огляд методів оптимізації портфельів цінних паперів

Огляд переважно україномовних і російськомовних джерел з проблематики портфельних інвестицій міститься в статті [11]. Тут також наводиться критика сучасних портфельних теорій інвестування і методів оптимізації портфельів цінних паперів.

Основи портфельної теорії інвестицій закладені Г. Марковіцем і У. Шарпом. Портфельна модель Марковіца пов'язує доходність і диверсифікаційний ризик. Особливість диверсифікаційного ризику портфеля полягає в тому, що підбором активів як складових портфеля його ризик можна понизити ціною ймовірно деякого прийняттого зниження доходності.

Пониженню диверсифікаційного ризику

портфеля сприяє такий підбір активів, попарний коефіцієнт кореляції яких є якомога меншим. Модель Марковіца дає можливість знайти оптимальну структуру портфеля за критеріями доходності та ризику. Структуру портфеля визначає розподіл інвестиційного капіталу між його складовими – активами.

Фіксуючи прийнятний ризик і розв'язуючи задачу квадратичного програмування, можна визначити структуру портфеля з максимальним доходом і, навпаки, задаючи величину доходу, можна сформувати портфель мінімального ризику.

Починаючи з 70-х років ХХ ст. портфельна модель Марковіца була піддана критиці. Спеціальні дослідження показали, що розподіл поточної доходності активів не є нормальним, як це припускається Марковіцем. Його модель також не передбачає похідних цінних паперів у структурі

портфеля [13]. (З основними напрямками розвитку і вдосконалення моделі портфельної оптимізації Марковіца можна ознайомитися у праці [14].)

Наступним етапом розвитку портфельної теорії інвестицій було запропоновано в 1964 р. У. Шарпом цінову модель ринку капіталів (англ. CAPM (Capital Asset Pricing Model)). Аналітична модель У. Шарпа пов'язує ставку доходності із систематичним ризиком, названим β -коефіцієнтом, в умовах ринкової рівноваги. Ставка доходності активу ставиться в залежність від ризику: чим більший ризик активу, тим більшу доходність потребує інвестор як плату за ризик, щоб виправдати його.

При перевірці гіпотези наявності позитивної залежності між доходністю і ризиком в умовах нерозвинених ринків виявилось, що вона не завжди підтверджувалась [15]. Крім того, як з'ясувалось, на доходність активу впливає відношення P/E , де P – ціна активу, а E – дохід від нього, чого модель Шарпа не враховує.

В середині 70-х років ХХ ст. С. Россом було розроблено факторну модель ціноутворення, яка одержала назву теорії арбітражного ціноутворення (англ. АРТ (Arbitrage Pricing Theory)). Згідно з АРТ вважається, що очікувана прибутковість цінних паперів залежить від багатьох факторів: довгострокових темпів економічного росту, тривалості ділового циклу, зміни прибутковості довгострокових облігацій і короткострокових казначейських векселів, інфляції, курсів іноземних валют до долара тощо [16].

Використання факторної моделі ціноутворення дає можливість сформулювати портфель з оптимальною структурою. Спочатку будується чистий факторний портфель для кожного фактора на основі ретроспективної доходності активів [13, 17], далі визначається оцінка чутливості конкретного активу відносно кожного фактора. На відміну від моделі CAPM, де фігурує один β -коефіцієнт як показник ризику активу, в моделі АРТ подібних β -коефіцієнтів багато, а саме – стільки, скільки факторів.

Треба сказати, що очікувана доходність портфеля, побудованого як за моделлю CAPM, так і за моделлю АРТ, буде достатньо точною, якщо минулі явища у вибірках доходностей будуть повторюватись у майбутньому.

Доходність і ліквідність

Зазначимо, що немає однієї загальновищезначеної формули обчислення доходності. Так, у статті [18] наведено відповідні формули для

обрахунку: простої доходності; доходності, зваженої за вартістю активів (внутрішній нормі доходності); доходності, зваженої в часі.

У публікації [14] доходність активу обчислюється у відсотках до інвестиційного капіталу:

$$P_t = \frac{P_t + D_t - P_{t-1}}{P_{t-1}},$$

де P_t – ціна активу в період t ; D_t – дивіденди за актив у період t , або з використанням натуральних логарифмів:

$$P_t = \ln \frac{P_t + D_t}{P_{t-1}}.$$

Крім того, згідно з моделлю CAPM для розрахунку доходності за період t служить формула

$$R_{it} = \alpha_i + \beta_i R_{mt} + e_{it},$$

де α_i – незалежна від ринкових умов складова доходності; R_{mt} – ставка доходності фондового індексу; β_i – константа, яка визначає залежність зміни доходності активу від зміни доходності фондового індексу; e_{it} – випадкова похибка; i – номер активу.

Згідно з АРТ, доходність активу за період t визначається формулою

$$R_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^m \beta_{ik} I_{tk} + e_{it},$$

де α_i – очікуване значення доходності, не пов'язане ні з яким фактором; e_{it} – випадкова компонента, що задовольняє умову $E(e_{it}) = 0$; m – кількість незалежних факторів; k – номер незалежного фактора; I_{tk} – фактори, не залежні один від одного; β_{ik} – міра чутливості i -го активу до зміни k -го фактора.

Ліквідність означає можливість швидкого обміну цінних паперів на еквівалентні їм грошові знаки [14]. Зауважимо, що ліквідність цінних паперів також обчислюється за кількома різними формулами та алгоритмами [14, 19, 20].

Наведемо одну з формул розрахунку ліквідності i -го цінного паперу, запропоновану в [14]:

$$L_i = \frac{F_{i1}}{F_1^{\max}} \times \frac{F_{i2}}{F_2^{\max}} \times \frac{F_{i3}}{F_3^{\max}} \times \frac{F_{i4}}{F_4^{\max}},$$

де F_{i1} – кількість торгових днів, в які здійснювались операції з i -м активом протягом звітного періоду; F_{i2} – кількість операцій з i -м акти-

вом протягом звітного періоду; F_{i3} – обсяг торгів з i -м активом протягом звітного періоду; F_{i4} – кількість учасників організованого фондового ринку, які здійснювали операції з i -м активом протягом звітного періоду; F_1^{\max} , F_2^{\max} , F_3^{\max} , F_4^{\max} – максимальні значення відповідних показників.

Методи оцінювання ризику

Що стосується інвестиційного ризику портфеля, то для його вимірювання застосовуємо показник VaR. Значення VaR – це кількісна оцінка величини збитків, які із заданим надійним рівнем не перевищать можливі втрати торгових операцій протягом заданого періоду часу [21, 22]. Згідно з [23], існує три основних методи розрахунку показника VaR:

- 1) коваріаційний метод;
- 2) метод історичного моделювання;
- 3) метод Монте-Карло.

Кожен із цих методів хвибує на свої недоліки. Коректне використання коваріаційного методу обмежене припущенням, що доходності активів, які формують портфель, розподілені нормально. Для підрахунку VaR активу чи портфеля необхідно знати прогнозне значення стандартного відхилення доходностей. Для прогнозування стандартного відхилення використовується авторегресійна модель умовної гетероскедастичності (англ. ARCH (Autoregressive conditional heteroscedasticity)), запропонована Р. Енглумом, і її модифікації, зокрема узагальнена авторегресійна модель умовної гетероскедастичності (англ. GARCH (Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity)), запропонована Т. Боллерслевом.

Метод історичного моделювання використовує минулі значення ряду доходностей і є вільним від припущення про вид розподілу активів. Але він ґрунтується на припущенні, що зміни в майбутньому розподілені доходностей будуть такими ж, як і в минулому. Цей метод є більш консервативним, ніж коваріаційний метод, і зазвичай дає вищі оцінки ризику.

Є ще метод Монте-Карло. Йому притаманні два недоліки, якими можна знехтувати. Оскільки даний метод потребує трудомістких розрахунків, то його застосування вимагає наявності досить потужного комп'ютера. Другий недолік полягає в необхідності знати розподіл доходів по кожному активу, з яких формується портфель, чи мати

підстави зробити припущення щодо виду розподілу цих активів. У методі Монте-Карло зміна цін чи доходностей активів генерується псевдовипадковим чином відповідно до заданих параметрів розподілу, а саме математичного сподівання і стандартного відхилення. Потреба задати вказані розподіли і їх параметри відпадає, якщо для прогнозування цін та доходностей активів застосувати прогнозуючі методи, результати відпрацювання яких становлять розподілені прогнози. Такий клас методів успішно розвивається в останні роки [24–26].

З наведеного вище випливає, що найбільш доцільно для оцінки показника VaR застосувати метод Монте-Карло. Відповідно до даних наукової літератури, цей метод якраз і знайшов найширше застосування серед методів дослідження операцій. Певний позитивний практичний досвід застосування методів Монте-Карло та імітаційного моделювання проглядається в авторів статті [27], але, як показав недавній огляд публікацій у вітчизняній літературі з проблематики формування інвестиційних портфелів, застосування методу Монте-Карло для цих цілей не знайшло достатньо прихильників.

Інші погляди на дану проблему має відомий учений Бенуа Мандельброт [11]. У рубриці “Формування інвестиційного портфеля” він зазначає: “Портфельні менеджери-початківці можуть частіше використовувати “навантажувальні випробування”, тобто моделювати на комп'ютері всі можливі нестандартні ситуації і при отриманні вкрай негативного результату переглянути всю стратегію. Ця технологія отримала назву моделювання Монте-Карло...”. І далі: “...Тому за останні десять років метод (Монте-Карло) знайшов застосування в багатьох сферах фінансів. Смію стверджувати, що він стає стандартним інструментом формування інвестиційного портфеля”.

Слід сказати, що показник ризику VaR у зв'язку із своїми перевагами знаходить все більше застосування в моделях формування інвестиційних портфелів. Для прикладу назвемо працю [28], в якій перший із доданків критерію оптимізації моделі Марковіца поданий у формі показника VaR. Така модель має вигляд

$$z_{\alpha} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j \delta_{ij}} - \sum_{i=1}^n x_i \mu_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (2)$$

$$x_i \geq 0, \quad (3)$$

де z_α – α -квантиль стандартного нормального розподілення; x_i – частка капіталу, що вкладена в цінний папір i -го виду; δ_{ij} – коваріація між цінними паперами i -го та j -го видів; μ_i – математичне сподівання доходності i -го виду цінних паперів; n – кількість видів цінних паперів, що формують портфель.

Наявність обмеження (3) означає, що короткі продажі (продажі без покриття) цінних паперів не допускаються.

Основні положення способу оптимізації портфеля цінних паперів

Про недоліки моделі Марковіца уже було сказано вище, тут зазначимо лише, що модель (1)–(3) не враховує ліквідності цінних паперів, що особливо важливо для інституціональних інвесторів, таких, як пенсійні фонди та страхові компанії.

У статті [14] запропоновано модель портфельної оптимізації із врахуванням доходності, ризику та ліквідності цінних паперів, що формують портфель. Ця модель, у свою чергу, базується на моделі скорингу цінних паперів. Вона виражена формулою згортки нормованих оцінок доходності, ризику та ліквідності. Результат розрахунку за формулою згортки має назву коефіцієнта інвестиційної привабливості, пропорційно значенню якого визначаються частки капіталу, які вкладаються в цінні папери портфеля. У формулі згортки є вагові коефіцієнти P_{ret} , P_{risk} , P_L – ступені значущості для інвестора відповідно доходності, ризику та ліквідності. Іншими словами, значення коефіцієнтів інвестиційної привабливості цінних паперів залежать від суб'єктивних поглядів інвестора і не можуть визначатись цілком автоматично. Зауважимо, що для порівняння і ранжування формально непорівнюваних математичних об'єктів – таких, як вектори, коли по одних компонентах переважає один із векторів, а по інших – другий, існує інший метод – метод визначення зваженого сумарного показника. Такий метод було розроблено Т. Сааті, і він має назву метод аналізу ієрархій [29, 30]. Але використання методу аналізу ієрархій для ранжування непорівнюваних об'єктів також передбачає наявність оцінки експерта.

Застосування вагових коефіцієнтів для ранжування цінних паперів за показниками доходності, ризику і ліквідності можливе як допоміж-

ний засіб у запропонованому нижче методі ранжування формально непорівнюваних векторів. Головна ідея методу полягає в тому, щоб розглянути вектори як точки в багатовимірному просторі. Далі потрібно метризувати такий простір. Достатній набір функцій відстані (метрик) розроблено в рамках теорії розпізнавання образів. Подальше пояснення нашої ідеї пристосуємо до задачі ранжування n видів цінних паперів. Кожен вид цінних паперів характеризується вектором, компонентами якого є доходність E , ризик R і ліквідність L .

Серед непорівнюваних видів цінних паперів визначимо “ідеальний” (найпріоритетніший) вид цінних паперів з такими характеристиками:

$$E_{\max} = \max\{E_1, E_2, \dots, E_n\},$$

$$R_{\min} = \min\{R_1, R_2, \dots, R_n\},$$

$$L_{\max} = \max\{L_1, L_2, \dots, L_n\}.$$

Вважатимемо, що в тривимірному просторі існує точка (назвемо її ідеальною) з координатами E_{\max} , R_{\min} , L_{\max} . Також вважатимемо, що в цьому просторі існують точки (назвемо їх реальними) з координатами, тотожними характеристикам реальних видів цінних паперів.

Нехай у нашому тривимірному просторі визначено одну чи кілька функцій відстані між точками. Скориставшись функцією відстані, обчислимо відстань від кожної реальної точки до ідеальної. Найкоротша відстань визначить найбільш пріоритетний вид цінних паперів. Якщо скористатися кількома функціями відстані, то таким чином можна обчислити середню відстань від кожної реальної точки до ідеальної. Найкоротша середня відстань визначить найбільш пріоритетний вид цінних паперів. Правильний підбір функцій відстані при необхідності підвищить роздільну здатність процедури ранжування векторів. Для зручності встановимо пріоритетність виду цінного паперу не за його відстанню до ідеального виду цінного паперу, а за доповненням цієї відстані до заданого числа, яке є дещо більшим відстані найменш пріоритетного виду цінних паперів. Таким чином, найбільш пріоритетний вид цінних паперів буде мати найбільшу кількість серед всіх інших видів цінних паперів.

На практиці кількість видів цінних паперів, з яких формується портфель, може бути обмежена. Обмеженню можуть підлягати також частки капіталу, які вкладаються в кожний вид

цінних паперів. Ці та інші обмеження стосуються переважно портфельів інституціональних інвесторів [31].

Користуючись відповідними методами прогнозування, можна розрахувати розподілений прогноз доходностей для кожного активу. Це дасть можливість обчислити як математичне сподівання доходності, так і VaR-показник для кожного активу, бо для оцінки VaR використовуються емпіричні квантили розподілу [21, 23]. Далі покажемо, що така інформація потрібна як для аналітичного, так і для статистичного моделювання структури портфельів і їх оцінки.

Обчислимо також ліквідність кожного фінансового активу. Маючи характеристику для кожного активу у вигляді достатньої (не менше рівня інфляції) доходності, ризику і ліквідності, визначаємо пріоритетність активів. Обмежимо множину видів активів заданою кількістю n найбільш пріоритетних активів.

Спосіб формування інвестиційного портфеля системи управління фінансово-інвестиційною діяльністю

Сформалізуємо постановку задачі пошуку підмножини найбільш доходних портфельів множини портфельів, значення ризиків яких не виходить за заданий інтервал:

$$\sum_{i=1}^n x_i E_i \rightarrow \max, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \text{VaR}_i < C + \delta, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \text{VaR}_i > C - \delta, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, \quad (7)$$

$$x_i \geq 0, \quad (8)$$

де x_i – частка капіталу, яка вкладається в i -й актив; E_i – доходність i -го активу; VaR_i – ризик i -го активу, тобто сума, якою гарантується з високою ймовірністю (0,99), що втрати капіталу по i -му активу за встановлений прогнозний період не перевищать її; C – припустима сума втрати капіталу; δ – параметр, значення якого задається експертом. Введення параметра δ в задачу (4)–(8) пояснюється до-

цільністю пошуку не одного, а множини рішень розподілу капіталу.

Вважаємо, що недоцільно фіксувати конкретне значення допустимої втрати капіталу C , оскільки деяке послаблення відносно ризику може спричинити значне підвищення доходності портфеля. І, навпаки, значне зменшення ризику може призвести майже до невідчутного зменшення доходності.

Нечітка постановка задачі (4)–(8) збігається з напрямком нечіткої портфельної оптимізації, яку розвивають й інші автори. Для прикладу назовемо працю [32].

Метод розв'язання задачі (4)–(8) наведено нижче. Кожному її розв'язанню відповідає свій інвестиційний портфель. Якщо доходність такого портфеля E_p обчислюється лінійною функцією (4) остаточно, то для уточнення ризику портфеля, тобто показника VaR_p , запропоно-

вано два варіанти. Обидва ці варіанти спираються на розподілені прогнози доходностей активів, що формують портфель. Перший варіант – це метод Монте-Карло, який використовує два параметри розподіленого прогнозу доходностей кожного активу: математичне сподівання та стандартне відхилення.

Другий варіант потребує об'єднання гістограм доходностей кожного з активів із врахуванням їх часток у портфелі.

Як за першим, так і за другим варіантом будується розподілений прогноз доходностей всього портфеля. А далі так, як і для окремого активу, обчислюється показник портфеля VaR_p . Зазначимо, що VaR_p , обчислений як за першим, так і за другим варіантом, має бути точнішим, ніж той, який обчислюється при розв'язанні задачі (4)–(8).

Після визначення доходності E_p^j і ризику VaR_p^j для кожного j -го портфеля в результаті аналітичного та статистичного моделювання створюється ряд відношень E_p^j/VaR_p^j , $j = \overline{1, M}$, де M – кількість сформованих портфельів. Ряд відношень E_p^j/VaR_p^j упорядковується. Остаточна постановка задачі формування інвестиційного портфеля матиме такий вигляд:

$$\max_j \{E_p^j/\text{VaR}_p^j\}, \quad (9)$$

$$\text{VaR}_p^j \approx C, \quad (10)$$

$$j = \overline{1, M}, \quad (11)$$

де C – припустима втрата інвестиційного капіталу. Розв'язання задачі (9)–(11) здійснюється переглядом інвестором характеристик ряду портфельів і вибором серед них портфеля відповідно до своїх уподобань.

Алгоритм розв'язання поставленої задачі оптимізації

Розв'язання задачі (4)–(8) полягає в тому, щоб знайти підмножину множини припустимих рішень, таку, в якій кожний розв'язок цієї підмножини надає цільовій функції (4) якомога більше значення. Метод об'єднує спрямований випадковий пошук та генетичний алгоритм.

Алгоритм схематично зображено на рис. 2 у вигляді діаграми діяльності в нотації UML.

Надалі викладатимемо метод по пунктах.

Як у [14], спочатку розподілимо інвестиційний капітал на частки пропорційно пріоритетності активів. Спосіб визначення пріоритетності активів описано вище. Розподіл інвестиційного капіталу таким чином утворить так званий базовий розв'язок, оскільки він є збалансованим за трьома показниками: доходністю, ризиком і ліквідністю.

Упорядкуємо n видів активів за їх VaR-показниками і відповідним чином подамо вирази (4)–(7).

Підставимо базовий розв'язок у систему нерівностей (5), (6). При цьому реалізується один із трьох випадків: базовий розв'язок не задовольнить нерівність (5) чи нерівність (6) або задовольнить обидві. У першому і другому випадках застосуємо спрямований випадковий перебір, як вказано нижче.

Розіб'ємо упорядкований ряд VaR-показників активів на два підряди з однаковою кількістю членів (для ряду з непарною кількістю членів один із підрядів матиме більшу кількість членів).

1. Виберемо декримент d – мінімальну одиницю виміру вагомості активу в портфелі, яка задовольняє вимоги $d > 0$, $d < 1$.

2. Вважатимемо для конкретики, що реалізовано перший випадок при підстановці базового розв'язку, тобто ризик портфеля виявився більшим, ніж це припускається нерівністю (5). Це означає, що частку одиниці якогось із чле-

нів підряду з більшими ризиками треба зменшити на d і в той же час частку одиниці якогось із членів підряду з меншими ризиками збільшити на те саме значення d . Така модифікація базового розв'язку спрямована на те, щоб задовольнити нерівність (5) і в той же час не порушити обмеження (7). Самі ж члени в підрядах, частки одиниць яких треба зменшити або збільшити, встановлюються генератором випадкових чисел. Після кількох спроб модифікації базового розв'язку нерівність (5) буде задоволена. Таким чином, можна знайти достатню кількість різних припустимих розв'язків, що надають цільовій функції (4) якомога більше значення.

Якщо був реалізований другий випадок, тобто при підстановці базового розв'язку ризик портфеля виявився меншим, ніж це припускається нерівністю (6), то слід діяти протилежним чином відносно першого випадку.

3. Якщо мав місце третій випадок, тобто базовий розв'язок задовольняє нерівності (5) і (6), то для пошуку множини припустимих рішень, що надають цільовій функції (4) якомога більше значення, необхідно застосувати генетичний алгоритм з двома операціями: мутацією і схрещенням. Мутація в нашому випадку зводиться до випадкового розігрування двох номерів членів ряду VaR-показників активів. Частку одиниці одного з номерів ряду треба збільшити на d , а другого – зменшити на d . Операція схрещення в нашому випадку полягає в покомпонентному додаванні двох розв'язків. Після цього кожний компонент сумарного розв'язку ділиться навпіл. Утворений розв'язок залежно від значення, яке воно надає цільовій (фітнес) функції (4), буде залишено для подальшого розмноження чи відкинуто як безперспективне. Зазначимо, що в кожному поколінні допускаються до схрещення переважно ті розв'язки, які надають фітнес-функції найбільше значення. Порівняно з операцією схрещення операція мутації виконується не в кожному поколінні, і її здійснення регулюється заданим невисоким значенням ймовірності. Як при спрямованому випадковому пошуку, так і при застосуванні генетичного алгоритму буде знайдено множину розв'язків, які відповідають найбільшим значенням цільової функції (4) і задовольняють обмеження (5)–(8).

Інвестиційний портфель, як відомо, періодично переглядається. Це може відбуватися кожного дня, місяця або в інший період. При

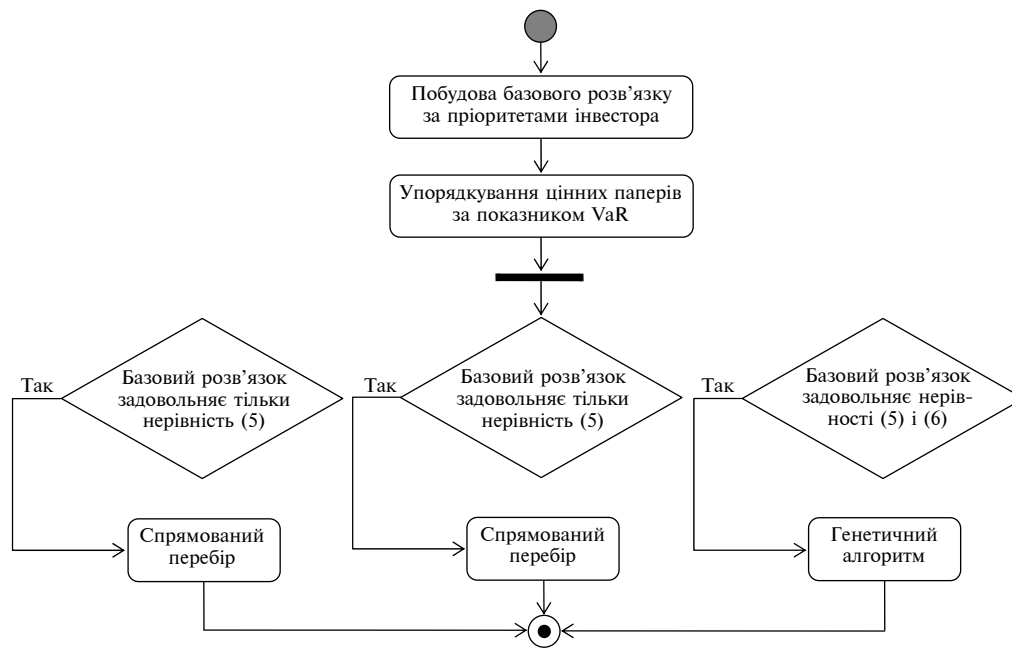


Рис. 2. Алгоритм розв'язання задачі оптимізації інвестиційного портфеля. Діаграма діяльності в нотації UML

цьому, по-перше, ставиться і вирішується питання: які види активів утримати від продажу, а які доцільно продати. Тут можна керуватись правилами і рекомендаціями, наведеними в [14].

Треба сказати, що на оновлення портфелів інституційних інвесторів накладено обмеження щодо обсягу частки активів, яку можна продавати [31].

Після продажу деяких видів активів вивільняються кошти, які можна задіяти для купівлі активів. Крім того, можуть появитись додаткові кошти чи, навпаки, буде їх відтік, тобто утвориться новий інвестиційний капітал. Цей капітал використовується для формування множини нових портфелів за описаними вище алгоритмами. В підсумку матимемо один залишковий портфель і ряд нових портфелів.

На формування кожного портфеля з ряду нових портфелів потрібно витратити один і той же обсяг капіталу, тобто всі ці портфелі в грошовому плані альтернативні. Для формування таких портфелів використовується тільки метод аналітичного моделювання.

Будемо об'єднувати залишковий портфель і кожний портфель з ряду нових портфелів. Таке об'єднання проводиться на етапі статистичного моделювання і мало чим відрізняється від етапу статистичного моделювання при оцінці характеристик нових портфелів у випадку початкового формування портфелів. Єдина відмінність виникає тоді, коли як в залишковому

портфелі, так і в новому портфелі є одні й ті ж види активів, тобто деякі активи докуповуються.

Вказаний спосіб формування портфелів об'єднанням пар портфелів загальновідомий. Він походить від Д.Тобіна, який пропонував формувати повний портфель з двох портфелів, один з яких мав би бути оптимально збалансованим за критеріями доходності і ризику, а другий (для зменшення підсумкового ризику) мав би містити в собі безризикові активи.

Висновки

У статті для компонента оптимізації інвестиційного портфеля системи управління фінансово-інвестиційної діяльності розв'язується оптимізаційна задача формування і управління інвестиційним портфелем за максимальним співвідношенням доходність/ризик при нечіткому обмеженні на ризик портфеля і з врахуванням ліквідності активів, з яких формується портфель. Таке співвідношення доходність/ризик подібне до коефіцієнтів Шарпа і Трейнора, де мірою ризику слугують відповідно стандартне відхилення δ та систематичний ризик β , а мірою ризику – показник VaR.

Запропонований спосіб формування інвестиційного портфеля дає можливість побудувати варіант портфеля, збалансованого за критеріями доходності, ризику (показник VaR) і ліквідності – останній з них не розглядається в кла-

сичних портфельних теоріях. Основною перевагою запропонованого способу є те, що він не в повному обсязі успадковував вади класичних методів, що повністю ґрунтуються на недосконалих сучасних портфельних теоріях.

Для інвестора пропонується ряд альтернативних портфелів з близьким до заданого значенням показника VaR як найбільш значущого параметра, особливо для інституційних інвесторів.

Множина портфелів створюється і уточнюється в два етапи: аналітичного і статистичного моделювання. Доходність активів прогнозується методом, який дає можливість одержати розподілений прогноз, що необхідно для розрахунку VaR-показника. На етапі аналітичного моделювання використано запропонований метод ранжування непорівнюваних з формальної точки зору об'єктів (векторів), при

цьому застосовано арсенал функцій відстані, відомий у теорії розпізнавання образів. На даному ж етапі знайшли застосування спрямований випадковий пошук і генетичний алгоритм. Метою етапу статистичного моделювання є уточнення значення ризику – показника VaR – для кожного з портфелів, сформованих на етапі аналітичного моделювання.

Основні складові алгоритму запропонованого методу формування портфеля: прогнозування доходностей активів, формування множини портфелів на етапі аналітичного моделювання і уточнення показника VaR портфелів на етапі статистичного моделювання можуть виконуватись паралельно, що значно прискорить виконання алгоритму і що є дуже важливим фактором для системи управління фінансово-інвестиційною діяльністю, як системи реально-го перебігу часу.

Ю.С. Боримский, А.В. Рябушенко,
П.П. Маслянюк, Н.Д. Любашенко

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВО-ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Для компонента оптимизации инвестиционного портфеля системы управления финансово-инвестиционной деятельностью решается задача формирования и управления инвестиционным портфелем ценных бумаг по максимальному соотношению доходность/риск при нечетком ограничении на риск портфеля с учетом ликвидности активов, из которых формируется портфель. Предложен способ формирования инвестиционного портфеля, который расширяет классические методы Марковица и Шарпа за счет учета ликвидности и использования более совершенной меры риска VaR.

U.S. Borymsky, A.V. Riabushenko, P.P. Maslyanko,
N.D. Lyubashenko

THE METHOD OF INVESTMENT PORTFOLIO FORMATION FOR THE SYSTEM OF FINANCIAL INVESTMENT MANAGEMENT

Relying on the return-risk maximum ratio at a fuzzy constraint, as well as taking into consideration the portfolio risk and assets liquidity, we solve the optimization problem of securities portfolio formation and management for the portfolio optimization component of the financial investment management system. The proposed method of investment portfolio expands the classical Markowitz-Sharpe approaches by taking into account the liquidity and application of more advanced Value-at-Risk risk measure.

1. *Unified Modeling Language Specification, Version 2.0.* Object Management Group, Framingham, Mass., 2004. – www.omg.org.
2. *Згуровський М.З., Панкратова Н.Д.* Системний аналіз: проблеми, методологія, застосування. – К.: Наук. думка, 2005. – 744 с.
3. *Зиндер Е.З.* Революционные изменения базовых стандартов в области системного проектирования // *Директор информационной службы.* – 2001. – №5. – С. 32–40.
4. *Маслянюк П.П.* Основні положення методологій системного проектування інформаційно-комунікаційних систем // *Наукові вісті НТУУ “КПІ”* . – 2007. – № 6. – С. 54–60.
5. *Маслянюк П.П.* Системне проектування процесів інформатизації // *Там же.* – 2008. – № 1. – С. 101–108.
6. *Маслянюк П.П., Рябушенко А.В.* Компонентна модель інформаційно-аналітичної системи та генетичний алгоритм формування оптимального портфеля акцій // *Там же.* – 2009. – № 1. – С. 36–46.

7. *Маслянюк П.П.* Компонентні процеси системного проектування інформаційно-комунікаційних систем // Там же. – 2008. – № 2. – С. 112–121.
8. *Маслянюк П.П., Рябушенко А.В.* Підсистема управління ризиками фінансово-інвестиційної діяльності // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля, 2009. – 2, № 1. – С. 370–378.
9. *Маслянюк П.П., Рябушенко А.В.* Створення компонента стратегічного планування системи управління фінансово-інвестиційною діяльністю // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2009. – № 4. – С. 53–65.
10. *Маслянюк П.П., Рябушенко А.В.* Системна інженерія системи управління інвестиційним портфелем цінних паперів // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2010. – 2, № 10. – С. 340–346.
11. *Боримський Ю.С., Бідюк П.І., Федоров А.В.* Алгоритми формування інвестиційного портфеля та визначення часток активів в інвестиційному капіталі // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2009. – № 3. – С. 5–10.
12. *Мандельброт Б., Хардсон Р.Л.* (Не)послушні ринки: фрактальна революція в фінансах. – М.: Вільямс, 2006. – 390 с.
13. *Казанов В.А., Тарасов А.В., Зубинський А.Б.* Модели формирования портфеля акций в современной теории инвестиций // Финансы и кредит. – 2006. – № 5. – С. 17–20.
14. *Синяковская О.А.* Модели и методики многокритериальной портфельной оптимизации // Аудит и финансовый анализ. – 2007. – № 1. – С. 418–427.
15. *Теплова Т.В., Селиванова Н.В.* Тестирование гипотезы "риск-доходности" на российском рынке с введением нетрадиционных мер оценки риска // Финансы и кредит. – 2007. – № 5. – С. 306–314.
16. *Василенко Д., Диба О.* Основи теорії диверсифікації інвестиційної діяльності // Банківські операції. – 2006. – № 9-10. – С. 35–43.
17. *Шарп У.Ф., Александер Г.Д., Бейли Д.В.* Инвестиции. – М.: Инфра, 1999. – 1028 с.
18. *Долінський Л., Павленко Ю.* Деякі аспекти кількісного аналізу ефективності управління активами інститутів спільного інвестування // Ринок цінних паперів України. – 2007. – № 3-4. – С. 53–58.
19. *Назарчук М.* Оценка ликвидности ценных бумаг по результатам биржевых торгов // РБЦ. – 2008. – № 8. – С. 68–72.
20. *Маргевич А., Волков А.* Как оценить ликвидность акций при работе на бирже: новый подход к старой проблеме // Там же. – 2007. – № 21. – С. 75–79.
21. *Федоров Е.* Практическое применение метода Value-at-Risk для оценки прогнозирования рыночного риска // Финансовые риски. – 2007. – № 4. – С. 67–73.
22. *Обжиров Е.* Как "сварить" VaR // Валютный спекулянт. – 2006. – № 3. – С. 40–41.
23. *Лазутов М.Р.* Критический анализ основных методов расчета Value at Risk // Управление риском. – 2006. – № 3. – С. 13–19.
24. *Боримський Ю.С., Кондратова Л.П.* Метод прогнозування часових рядів колективом лінійних регресійних моделей // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2004. – № 4. – С. 71–77.
25. *Боримський Ю.С., Любащенко Н.Д.* Адаптивний, мультимодельний метод для робастного та уточнюючого прогнозування випадкових процесів // Там же. – 2007. – № 1. – С. 42–48.
26. *Боримський Ю.С., Копычко С.Н., Балабан Р.Н.* Метод двухсторонних соседей и его применение к задаче прогнозирования временных рядов // Сб. 8-й Междунар. конф. "Интеллектуальный анализ информации" ИАП-2008, Киев, 14–17 мая 2008 г. – К.: Просвіта, 2008. – С. 117–122.
27. *Боримський Ю.С., Медведев Р.Б.* Программный имитатор химико-технологического объекта управления // Р308.00015-01: Акт №196 экспертной комиссии СМОФАп Киевского ПКБ АСУ. – 2008. – 1 с.
28. *Артемяева Е.С.* Учет отношения инвестора к риску в задаче оптимизации инвестиционного портфеля // Аудит и финансовый анализ. – 2007. – № 3. – С. 287–296.
29. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем / Пер. с англ. Р.Г. Вагнадзе. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
30. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р.Г. Вагнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 316 с.
31. *Минкина П.* О путях повышения эффективности инвестирования средств пенсионных фондов // Рынок ценных бумаг. – 2008. – № 5. – С. 77–80.
32. *Недосекин А.О.* Оптимизация модельных фондовых портфелей в условиях существенной неопределенности // Аудит и финансовый анализ. – 2002. – № 1. – С. 179–192.