

УДК 004.021

## ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ СТРУКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ ЦІННИХ ПАПЕРІВ

Т.Л. Будорацька

Н.М. Журавльова

Одеський національний політехнічний університет, Одеса, Україна

*Будорацька Т.Л., Журавльова Н.М. Використання генетичних алгоритмів для оптимізації структури інвестиційного портфеля цінних паперів.*

Показано використання генетичних алгоритмів стосовно розрахунку і оптимізації інвестиційного портфеля цінних паперів. Визначені основні показники оптимізації. Розглянуті методи генної теорії, у тому числі, такий як чинник спадковості, і застосовність їх до алгоритмів рішення. В якості математичного методу був використаний метод спеціального відбору, який заснований на визначенні безлічі оптимальних портфелів. Показаний варіант розробки алгоритму на основі модифікації класичної схеми. Оскільки основою для порівняння застосовності генетичних алгоритмів служить модель Марковіца, був показаний варіант розрахунку для цієї моделі в середовищі MS Excel. Розглядалися для обох варіантів однакової структури портфеля інвестицій. Результати аналізу ефективності вибраного механізму оптимізації показали порівняно невеликі відхилення реалізації даної методики від класичної моделі. Приведені варіанти, в яких випадках застосовні ці різні і не такі схожі методи.

*Ключові слова:* генетичні алгоритми, мутація, кросовер, популяція, селекція, оптимізація, генерація, інвестиційний портфель

*Будорацкая Т.Л., Журавлева Н.М. Использование генетических алгоритмов для оптимизации структуры инвестиционного портфеля ценных бумаг.*

Показано использование генетических алгоритмов применительно к расчету и оптимизации инвестиционного портфеля ценных бумаг. Определены основные показатели оптимизации. Рассмотрены методы генной теории, в том числе, такой как фактор наследственности, и применимость их к алгоритмам решения. В качестве математического метода был использован метод специального отбора, который основан на определении множества оптимальных портфелей. Показан вариант разработки алгоритма на основе модификации классической схемы. Так как основой для сравнения применимости генетических алгоритмов служит модель Марковитца, был показан вариант расчета для этой модели в среде MS Excel. Рассматривались для обоих вариантов одинаковые структуры портфеля инвестиций. Результаты анализа эффективности выбранного механизма оптимизации показали сравнительно небольшие отклонения реализации рассматриваемой методики от классической модели. Приведены варианты, в каких случаях применимы эти разные и столь не похожие методы.

*Ключевые слова:* генетические алгоритмы, мутация, кроссовер, популяция, селекция, оптимизация, генерация, инвестиционный портфель

*Budoratskaya T.L., Zhuravlyova N.M. Use of genetic algorithms for optimization of structure investment portfolio of securities.*

The use of genetic algorithms is shown as it applies to a calculation and optimization of investment brief-case of securities. The basic indexes of optimization are certain. The methods of gene theory are considered, including, such as a factor of heredity, and applicability of them to the algorithms of decision. As a mathematical method the method of the special selection, which is based on determination of great number of optimal portfolios, was used. The variant of development of algorithm is shown on the basis of modification of classic chart. Because basis the model of Markowitz serves as for comparison of applicability of genetic algorithms, the variant of calculation was shown for this model in the environment of MS Excel. The identical structures of brief-case of investments were examined for both variants. The results of analysis of efficiency of the chosen mechanism of optimization showed comparatively small deviations of realization of the examined methodology from a classic model. Variants over are brought, these different and so not alike methods are applicable in what cases.

*Keywords:* genetic algorithms, mutation, crossover, population, selection, optimization, generation, investment portfolio

З а визначенням, основними показниками для будь-якого інвестиційного інструменту, у тому числі цінних паперів, являються прибутковість і ризик. Міра ризику – відсутність планованого приросту грошових потоків або втрата як часткова, так і повна. Інвестиційний портфель представляє сукупність цінних паперів, облігацій, векселів і так далі і має свою структуру. Для кожного підприємства або інвестора існує свій підхід до оцінки прибутковості і оцінки ризику, хтось прагне отримати дохід нижче, але зменшити ризик, а хтось не задоволений такою можливістю. При формуванні портфеля можна варіювати і навіть понизити ризик, нівелюючи вигіднішими паперами. Напрошується висновок, чим більше склад інвестиційного портфеля, тим менше ризик. Природно, для кожного підприємства або інвестора існуватиме свій оптимальний варіант і він визначає можливості ухвалення рішень в інвестиційній діяльності.

Вибір найкращого варіанту припускає застосування різних методів математики, теорії вірогідності і інших розробок з урахуванням різних чинників, що впливають на отримання результату. Існуючі рішення мають різні підходи зі своїми достоїнствами і недоліками. При цьому слід враховувати, що варіантів для умов оптимізації може бути декілька, і вони можуть знаходитися в антагонізмі один одному. Суть задачі – вибір з безлічі альтернативних варіантів той, який за певний період дасть кращий результат в сенсі максимізації доходу і мінімізації ризику.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема, пов'язана із задачами оптимізації потрапила у поле зору представників вітчизняної економічної науки порівняно давно. В якості однієї з них, а, саме, оптимізації портфеля цінних бумаг давно коштує на порядку денному. Для визначення екстремальних значень широко застосовуються класичні методи вищої математики. Розглянемо один з найцікавіших і сучасніших варіантів – генетичні алгоритми. Найпопулярніше з наукової точки зору представлено Д.І. Батищевим використання алгоритму пошуку рішень оптимізації за

допомогою математичної модуляції генетичних процесів. У своїх роботах він показує можливості і закономірності спадковості і мінливості в генетиці в перенесенні на задачу за визначенням оптимізаційних значень. Ідеї і методи генетики відіграють важливу роль в генетичній інженерії і застосовані до рішення економічних задач. Під механізмом спадковості розуміється роль генів як елементарних носіїв спадкової інформації. Д.І. Батищевим показав роботу так званих «генетичних» операторів сходження, мутації, математичну реалізацію одноточкового і багатоточкового кросовера, пошук найбільш пристосованої особини [1, 2]. У його роботах показані не лише теоретичні аспекти, але і представлені конкретні приклади із застосуванням математичних формул і обчислень відповідно до теорії генів. Питання оптимізації частенько вимагають своїх установок, початкових параметрів, певних умов і обмежень, великих об'ємів обчислень. Застосування генетичних алгоритмів значно скорочує швидкість обробки обчислень, навіть якщо об'єм обчислень збільшується при експоненціальному рості «розмірності» у прикладах дискретної оптимізації, часто може рости лише лінійно. У матеріалах детально описані класичні генетичні оператори, проте підкреслюється, що кожна задача по оптимізації тих або інших процесів вимагає свого підходу, незважаючи на класичну і спільність основних методів. Можна виділити ряд прикладів для яких ймовірно підібрати представлення, оператори і параметри алгоритму, так, щоб вони виконувалися оптимально і краще та служили моделлю для такого типу задач.

У статті «Обзор и анализ существующих модификаций генетических алгоритмов» Меньяйлова Е.С. представлені огляд, можливості і аналіз використовуваних стандартних схем генетичних алгоритмів (ГА), визначені їх основні позитивні і негативні сторони [3]. Показано, що сучасні дослідження ГА концентруються навколо напрямів строгих математичних і ймовірнісних розрахунків в застосуванні до генетичних операторів, схем кодування, визначення екстремальних значень, існуючої залежності одних показників і параметрів від інших. Крім того, в статті «Существующие подходы к оптимизации современных инвестиционных портфелей ценных бумаг» показано, що ГА мають наступні переваги: стійкі до попадання в локальний оптимум; добре працюють при рішенні задач багатоцільової оптимізації; можуть бути використані для широкого класу задач; ГА прості в реалізації легко і зручно розпаралелюються, є стохастичними і ґрунтуються на ймовірнісних схемах [4].

#### **Виклад основного матеріалу дослідження**

Перейдемо до розгляду можливих варіантів вирішення проблеми. На сучасному рівні розвитку математики, різних методів і моделей з

використанням комп'ютерної техніки, пакетів прикладних програм можна отримати достатню кількість методів рішення. Тим ні менш існує різне різноманіття наборів вхідних даних, коли вибрати правильний варіант рішення не завжди представляється можливим. Особливо це позначається в умовах нестаціонарних, кризових і стохастичних явищ в суспільстві споживання. У таких випадках найважливішу роль грає правильний вибір моделі або методу рішень. Визначення оптимальної структури портфеля цінних паперів можна знайти в моделях Г. Марковіца, Дж. Тобіна, У. Шарпа. Важливу роль грає і теорія корисності. У основу її розвитку були покладені дослідження Джона фон Неймана і Моргенштерна. При ухваленні рішень обов'язково враховується невизначеність, пов'язана із статистичним характером аналізованих явищ, з неповнотою інформації, відбиваної значеннями тих або інших чинників.

До одного з варіантів рішення відноситься використання теорії генетичних алгоритмів. Гідність же генетичних алгоритмів – в можливості одночасного підключення багатьох параметрів в роботі програми і маніпулювання ними. Тим ні менш, складно припустити наскільки ці алгоритми будуть ефективніші за інші моделі, їх ефективність часто залежить від таких методів як кодування, налаштування параметрів, використання одно- чи багатоточкового кросовера в постановці задачі і так далі.

Метою статті є обґрунтування того, що результати, отримані із застосуванням ГА, наближені до показників, розрахованих традиційним класичним методом Марковіца.

Розглянемо застосування теорії генетичних алгоритмів для знаходження прогнозованих оптимальною рівнів прибутковості і ризику портфеля цінних паперів, але раніше звернемося до основних понять генетики.

Еволюція – природний процес розвитку, що супроводжується зміною генетичного складу популяцій, формуванням адоптацій, видоутворенням і вимиранням видів.

По Чарльзу Дарвіну у різних особин різна міра виживаності, різна можливість залишити потомство і різна міра передачі спадкових ознак. Усі ці чинники застосовні і для генетичних алгоритмів.

Спадковість – це передача потомству частина своїх ознак, на варті яких стоять гени. В процесі еволюції відбувається зміна спадкових ознак. Генетичний алгоритм передбачає еволюцію конкретних початкових даних у бік поліпшення спадкових ознак.

Хромосоми – в них зосереджена більша частина спадкової інформації. Вони призначені для її зберігання, реалізації і передачі. Хромосома складається з набору генів.

Мінливість дозволяє нащадкові відрізнитися від батьківської пари. Це можливо із-за перерозподілу генів у батьківській і материнській

хромосомах, мутації на певних стадіях. Мутація – зміна або перетворення генотипу.

Генетичні алгоритми налаштовані на відбір кращих варіантів з кожної наступної стадії імітації процесу еволюції. Т.ч. можна сказати, що ГА – це варіант імітації природної еволюції. Причому слід зауважити, що в них також закладений закон про вибір найбільш сильних особин. ГА це методи пошуку з використанням аналогів основних механізмів генетики, що настроюються, і останнім часом використовуються для оптимізаційних задач.

При проектуванні таких алгоритмів використовують кодування параметрів завдання, що входять в умову виконання алгоритму по заданій цільовій функції, в якості одиниці аналізованої інформації використовують певну популяцію особини з імовірнісними правилами вибору найбільш пристосованої. Перераховані властивості призводять в результаті до стійкості ГА і служать незаперечним достоїнством перед іншими технологіями [4]. Слід сказати, що використання алгоритмів, побудованих на принципах генетики, не завжди дозволяють отримати глобальне екстремальне значення, найчастіше це значення близьке до нього, але при цьому розрахунок буде зроблений за коротший час, ніж при інших методах. Корисність генетичних алгоритмів зростає зі збільшенням об'єму обчислювальних операцій для набуття оптимізаційних значень. Крім того цей метод хороший коли для оптимізації використовується одна критеріальна умова.

У подібних алгоритмах, знову ж таки виходячи з теорії генетики, для рекомбінації використовують метод кросинговеру, процес обміну ділянками хромосом у батьківській парі. Існують одноточковий і багатоточковий кросинговері. У одноточковому – існує одна точка розриву в кожній хромосомі пари, що ділить їх на дві частини. В процесі рекомбінації відбувається обмін цих частин в парних хромосомах. У багатоточковому ж кросинговері декілька точок розриву і обмін відбувається по сегментній.

Для реалізації поставленої задачі був розроблений алгоритм на основі технологічної імітації генної теорії (наведений нижче) і здійснений в середовищі об'єктно-орієнтованого програмування C++. Слід зауважити, що можна використовувати мови Delphi, C#. В останньому підключити одну з поширених баз даних, наприклад, MySQL або PostgreSQL для формування даних по цінних паперах.

Етапи класичного генетичного алгоритму по вибору хромосоми що задовольняє заданому критерію:

1) завдання початкових значень для певного набору хромосом з впорядкованою послідовністю генів (властивостей);

2) по сформованій функції оцінки або пристосованості (fitness function) провести розрахунок для кожної хромосоми популяції на

цьому кроці (у функції описаний параметр для пошуку оптимального рішення);

3) зупинка алгоритму відбувається по досягненню заданого оптимізаційного значення функції із заданою точністю, алгоритм може зупинитися і при виконанні інших умов, таких як досягнута максимальна кількість кроків в умові циклу;

4) відбір хромосом для створення наступного чергового покоління відповідно до вибраного варіанту селекції (чим більше у хромосоми значення функції пристосованості, тим більше шанси на відбір для схрещування);

5) створення тимчасової популяції на першому етапі схрещування – хромосоми з відібраних в результаті селекції утворюють пари випадковим способом, допустимо з вірогідністю  $P_s$ , для відібраної пари випадковим чином визначається точка схрещування і у відповідності з цим відбувається попарний обмін частини генів однієї хромосоми з іншою;

6) нова популяція повертається до кроку 2 для визначення значення fitness function.

Циклічний процес триває до тих пір доки не буде знайдена хромосома з максимальним значенням відповідно до умови.

Важливим в постановці задачі і в розробці алгоритму, рішення якої пов'язане з ГА, являється правильне завдання умови для виходу з циклу. Вірогідність того, що ми досягнемо необхідного оптимального значення (як рішення поставленої задачі) не завжди буде стовідсотковою і цикл може виявитися нескінченним. У таких випадках, слід передбачити додаткові умови виходу з циклу, наприклад, задати кількість кроків для виконання тіла циклу, яке визначає задану кількість поколінь (сходження популяцій) або, в крайньому випадку, задати час роботи циклу. У такому разі, в якості рішення отримаємо значення найбільш пристосованої хромосоми (особини) з останньої популяції. Якщо отриманий варіант рішення не влаштовує, умову в алгоритмі змінюють, і процес обробки повторюють до досягнення прийняттого результату [2, 5].

Реалізація генетичної моделі здійснювалася за класичною схемою. Незважаючи на цю структуру алгоритм, його реалізація може бути досить різноманітна [6]. Це залежить від підходу і вибору операторів алгоритму, що несуть основне функціональне навантаження. Пояснимо роботу окремих вибраних операторів в розробці.

Оператор схрещування. На нім лежить відповідальність за вибір «батьківських» пар і він може використовувати різні схеми в створенні нових пар. З існуючих систем панміксія, інбридинг, аутбридинг, види асоціативного схрещування був вибраний варіант інбридингу (inbreeding).

Він полягає в перетворенні пари для схрещування за популяціями зі схожими кодуваннями хромосом  $x_1^t$  і  $x_2^t$  з дотриманням умови:

$$0 < d(x_i^t, x_j^t) \leq d^+, \quad (1)$$

$$d(x_i^t, x_j^t) = \sum_{l=1}^n x_l(a_i^t) \oplus x_l(a_j^t), \quad (2)$$

де  $a_i^t$  і  $a_j^t$  – батьківські особини з номерами  $i$  і  $j$  популяції  $P_t$  у момент схрещування  $t$ ;

$d^+$  – параметр інбридингу, регулятор міри спорідненості особин;

$\oplus$  – операція підсумовування по модулю 2.

Схема формування заміни. Існує декілька схем – поколіннева репродукція, елітна поколіннева репродукція і репродукція стійкого стану. Для роботи була вибрана проста перша схема. Заміна поточної популяції  $P^t = (a_1^t, \dots, a_v^t)$  на нову  $P^{t+1} = (a_1^{t+1}, \dots, a_v^{t+1})$  для наступного покоління

відбувається за допомогою оператора інтервалу покриття поколіннь –  $G$ ,

де  $G > 0$  і  $G \leq 1$  і визначає частину  $g$  особин, які повинні перейти в нову популяцію.

$$g = C \cdot v, \quad (3)$$

де  $v$  – чисельність популяції  $P^t$  і  $P^{t+1}$ , встановлена на початкових етапах формування алгоритму.

Число особин копійованих з нащадків і мутантів в нову «дочірню» популяцію  $P^{t+1}$  визначається як  $(v-g)$ . Така схема заміни називається елітною поколіннєвою (elitist generational strategies) і представлена на рисунку 1. Крім того, сама краща особина  $a^t$  з покоління  $P^t$  зберігається.

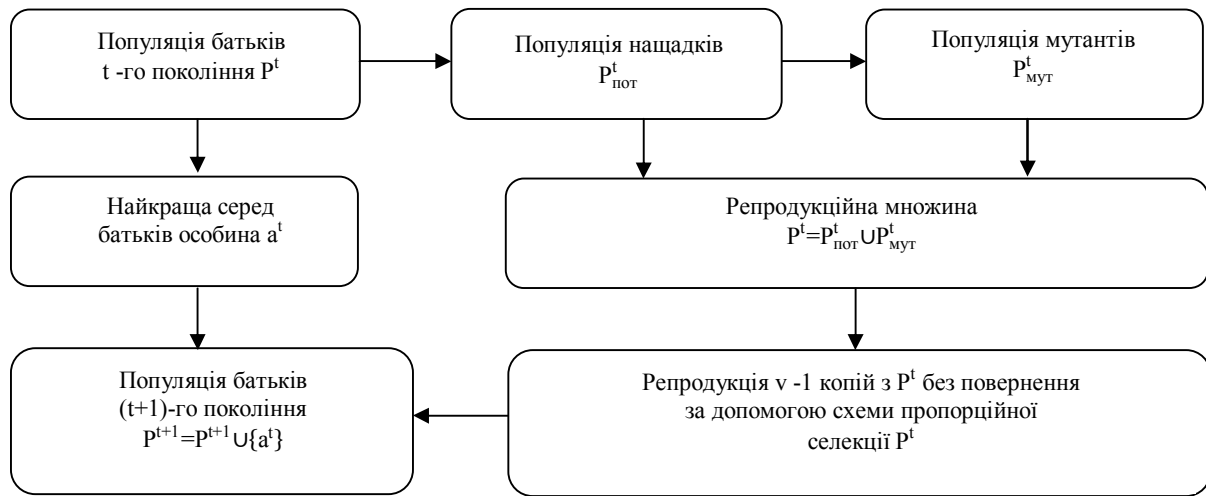


Рис. 1. Елітна поколіннева структура  
Джерело: Складено автором за матеріалами [1, 2]

Схема селекції. Селекція один з основних інструментів в роботі алгоритму, в якому важливу роль грає функція пристосованості особини  $\mu(a^t)$ . Її значення визначає імовірнісний відбір особин  $a^t$  з репродуктивної множини  $R^t$  популяції  $P^t$ .

Селекцію рекомендується проводити в два етапи з використанням алгоритму селекції і алгоритму імовірнісного відбору [7].

На першому етапі використовувався найпоширеніший алгоритм за схемою пропорційної селекції, визначуваної вираженням (4):

$$n_i^t = \frac{\mu_i}{\mu_{cp}(t)} \quad (4)$$

де  $\mu_i = \mu(a_i^t)$  – значення функції пристосованості для  $i$ -тої особини

$\mu_{cp} = \frac{1}{|R^t|} \sum_{a \in R^t} \mu(a)$  – середнє значення для множини  $R^t$ .

На другому етапі був застосований стохастичний вибір з поверненням відомий як схема «коласа рулетки».

Кросовер. Суть методу кросинговеру (кросовера) була описана вище. У реалізація задіяна схема у вигляді одноточкового кросовера:

- Відповідно до вибраної системи схрещення підбиралася пара з можливих батьківських кодувань  $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_L)$  і  $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_L)$ .
- Точка розриву  $r \in \{1, 2, \dots, L - 1\}$  вибирається випадковим чином з вірогідністю  $\frac{1}{L-1}$ .
- У точці  $r$  розриваються кодування  $\chi$  і  $\chi$ .
- Кодування розбиті на чотири частини:  $(\chi_1, \dots, \chi_r)$ ,  $(\chi_{r+1}, \dots, \chi_L)$ ,  $(\chi_1, \dots, \chi_r)$ ,  $(\chi_{r+1}, \dots, \chi_L)$ .
- Сформувалися «дочірні» кодування  $\chi^1 = (\chi_1, \dots, \chi_r), (\chi_{r+1}, \dots, \chi_L)$  і  $\chi^2 = (\chi_1, \dots, \chi_r), (\chi_{r+1}, \dots, \chi_L)$ .

Від опису реалізованого варіанту генетичного алгоритму перейдемо до розгляду методу Марковіца в середовищі MS Excel, який використовували для порівняльного аналізу. Алгоритм пошук оптимальних значень включає перераховані нижче дії.

Визначення очікуваної прибутковості кожного даного цінного паперу (акції). На першому етапі формується база, що складається з вартості ряду



цінних бумагах портфеля на розрахунковий період за декілька років. Вони служать відправною точкою для визначення прибутковості кожного фінансового інструменту на конкретний період. Визначаємо його середню прибутковість кожного набору акцій.

Визначення очікуваної прибутковості портфеля. В якості розрахунку використовується формула:

$$R_p = \sum_{i=1}^m (W_i \cdot R_i) \quad (5)$$

де  $R_i$  – очікувана прибутковість  $i$ -того паперу;

$m$  – кількість цінних паперів в наборі;

$R_p$  – очікувана прибутковість набору в портфелі;

$W_i$  – доля  $i$ -тої паперу в структурі портфеля.

У табличному редакторі для цього розрахунку використовується функція SumProduct (СуммПрозв).

Обчислення коваріації. Однією з характеристик ризику служить залежність і вплив однієї цінної бумаги на іншу. Цей взаємозв'язок визначають показники коваріації і кореляції. Показник коваріації визначається по формулі (6), для її реалізації в MS Excel використовувалася функція Covar(Ковар).

$$\text{Cov}_{ij} = \sum (R_i - R_{cp_i}) \cdot (R_j - R_{cp_j}) / (n-1) \quad (6)$$

де  $R_{cp_i}$ ,  $R_{cp_j}$  – середня очікувана прибутковість  $i$ -того і  $j$ -того паперів;

$R_i$ ,  $R_j$  – доходність  $i$ -того і  $j$ -того паперів;

$n$  – кількість розрахункових періодів.

Функція коваріації відноситься в Excel до інструменту аналізу (Головне меню → «Дані» → «Аналіз даних» → «Коваріація»). В результаті ми отримуємо квадратичну коваріаційну матрицю.

Обчислення показника кореляції. У математиці кореляція означає статистичний взаємозв'язок двох величин або наборів даних. У аспекті інвестиційного портфеля кореляцію можна розглядати як залежність одного цінного паперу від іншої. Показник кореляції можна представити наступним розрахунком:

$$\text{Cor} = \text{Cov}_{ij} / (\delta_i \cdot \delta_j) \quad (7)$$

де Cor – коефіцієнт кореляції;

$\text{Cov}_{ij}$  – показник коваріації прибутковості  $i$ -того і  $j$ -того паперів;

$\delta_i$  – відхилення прибутковості  $i$ -того паперу;

$\delta_j$  – відхилення прибутковості  $j$ -того паперу.

Визначення показника ризику. Ризик визначається виходячи зі значення стандартного відхилення, а саме, витяганням з нього квадратного кореня. Для дисперсії призначена формула розрахунку:

$$\delta_i^2 = \frac{\sum (R_i - R_{cp_i})^2}{n-1} \quad (8)$$

Т. ч. стандартне відхилення прибутковості визначає показник ризику портфеля відповідно до формули:

$$\sigma_p = \sqrt{W_i \cdot W_j \cdot \text{Cov}_{ij}} \quad (9)$$

або:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^m W_i^2 \cdot \delta_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m W_i \cdot W_j \cdot \text{Cor}_{ij} \cdot \delta_i \cdot \delta_j} \quad (10)$$

де  $\sigma_p$  – показник ризику для інвестиційного портфеля, інші позначення показані раніше.

Розрахунок ризику в Microsoft Excel проведений за допомогою функції MMULT (МУМНОЖ), повертає результат множення масивів. Розрахунок ризику був реалізований так:

Загальний ризик інвестиційного портфеля  
=КОРІНЬ(МУМНОЖ(МУМНОЖ(...)))

Генерація можливої структури портфеля. Вибір оптимальних рішень. Одним з найсильніших ковшанів Excel служить надбудова «Пошук рішень», де задається цільова функція і накладаються певні умови на значення. Обмеження, що вводяться нами, поширювалися на вагові значення (питома вага) паперів в портфелі, сума доль цінних паперів дорівнює одиниці, вказуємо посилання на осередок, значення якого оптимізуємо, визначаємо осередки для варіантів зміни.

Розглянуто два варіанти рішень в MS Excel:

— обмеження на значення мінімальної прибутковості, визначення загального ризику, прогнозованої прибутковості, частки усіх процентних паперів в портфелі; у цільовий осередок записуємо формулу загальної міри ризику портфеля;

— виходячи з моделі Марковіца, визначався портфель по високому рівню прибутковості з обмеженням міри ризику; у цільовий осередок записуємо формалізовану прибутковість портфеля і її максимізували.

Наше завдання визначити, як рознятися показники прибутковості і ризику при використанні двох підходів в їх розрахунках. Для розрахунку цих показників формувалися портфелі з різної кількості набору цінних паперів. Максимальний набір складався з 50 інвестиційних інструментів. Отримані результати дозволили визначити міру відповідності розрахунків за методикою ГА до моделі Марковіца. Відповідність рішень приведена в таблиці 1.

Таблиця 1. Відповідність рішень оптимізації методом ГА до моделі Марковіца для інвестиційного портфеля

ІНВЕСТИЦІЙНИЙ ПОРТФЕЛЬ ЦІННИХ ПАПЕРІВ					
5 компонентів	10 компонентів	20 компонентів	30 компонентів	40 компонентів	50 компонентів
По рівню прогнозованій прибутковості					
0,97	0,98	0,95	0,91	0,87	0,86
По рівню прогнозованого ризику					
0,94	0,93	0,91	0,88	0,86	0,85
Усереднений показник відповідності рішень по прибутковості:				0,923	
Усереднений показник відповідності рішень по ризику:				0,895	

*Джерело: Власна розробка авторів*

Як бачимо, рішення двох принципово різних підходів не мають великих відмінностей. Слід сказати, що рішення для класичного варіанту проводилося засобами MS Excel, але при використанні портфеля з великої кількості паперів, реалізація досить громіздка, не дивлячись на правильне рішення. Для таких варіантів рекомендується використовувати більше пристосований програмний продукт, наприклад, MatLab.

#### Висновки

В результаті дослідження методів по оптимізації портфеля інвестицій і проведення їх порівняльного аналізу винесено укладення про отримані якісні рішення за допомогою ГА.

Результати за схемою генетичних алгоритмів завжди давали ефективне рішення, у більшій частині оптимальне, як у варіантах портфеля з малою кількістю цінних паперів, так і з великим. Відносна доля відхилень від класичного варіанту, яким є метод Марковіца, не велика. Враховуючи, що в останньому використовується функція коваріації що до залежності одних складових від інших, і т.ч. не завжди стовідсотково відбиває вірогідну залежність. У завданнях з малим числом компонентів портфеля ГА показали велику наближеність до рішень класичним методом і при відносно невеликих тимчасових витратах знаходять кращий шлях. У завданнях з великим числом обмежень перевагу потрібно віддати класичному варіанту, вони швидше знаходять рішення і оптимальніше.

#### Abstract

Factors, necessary for optimization of structure of investment brief-case of securities, are presented in the article. The methods of gene theory as basis are considered for creation of genetic algorithms. Possibilities in their classic variant, chosen variant of algorithm of genetic inheritance, possibility of programmatic realization are described. The methods of genetics are presented in application to the decided task, such as heredity, changeability, evolution, convergence. As a mathematical method the method of the special selection, based on determination of great number of optimal portfolios, was used. For comparison of decisions rightness by this method the variant of model of Markowitz was considered with realization in MS Excel for the same composition of brief-cases. Optimization indexes as criteria were examine a profitableness and risk degree for the different structures of set of securities. The got results do not contain serious deviations from the classic method of Markowitz and for the row of cases even preferably.

*JEL Classification: C61, E20, G11.*

#### Список літератури:

1. Батищев Д.И. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике» / Батищев Д.И., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. – Нижний Новгород: ННГУ, 2007, 85 с.
2. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.
3. Батищев Д.И. Генетические алгоритмы решения экстремальных задач: Учеб. пособие / Воронеж. гос. техн. ун-т. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2005.
4. Меняйлов Е.С. Обзор и анализ существующих модификаций генетических алгоритмов // Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – №70. – С. 244-254.

5. Филиппов К.В. Существующие подходы к оптимизации современных инвестиционных портфелей ценных бумаг // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – №2-2. – С. 279-288.
6. Будорацька Т.Л. Генетичні алгоритми у вирішенні економічних задач / Т.Л. Будорацька, Г.Л. Свирипа // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Економіка: реалії часу і перспективи» (29-30 жовтня 2015 р.). – Одеса: ОНПУ, 2015. – С. 32-34.
7. Савчук В.П. Бюджет капитала и финансовое обоснование инвестиционного проекта. – Киев: Дialeктика, 2004.
8. Lan G. and DePuy G.W. On the effectiveness of incorporating randomness and memory into a multi-start metaheuristic with application to the Set Covering Problem // Computers and Industrial Engineering. 2006. Vol. 51. Issue 3.
9. Френкель М.Б. Генетический подход к формированию оптимального портфеля ценных бумаг с использованием количественного анализа финансовых рынков // Материалы V-й международной научно-практической конференции «Результаты и проблемы социально-экономического развития Астраханской области». – Астрахань, 2006. С. 236-240.
10. Введение в ГА и генетическое программирование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://algotlist.manual.ru/ai/ga>.
11. Казаков П.В., Кластерный генетический алгоритм синтеза оптимальных решений задачи инвестиционного планирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.raai.org](http://www.raai.org).
12. Шеховцов А.В. Решение многокритериальной оптимизации с использованием адаптивных алгоритмов / Шеховцов А.В., Крючковский В.В., Мельник А.Н. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64).
13. Dasgupta D. Optimisation in Time-Varying environments using Structured Genetic Algorithms, Technical Report, Dec. 2003.
14. Beyer, Schwefel, Wegener. How to Analyse Evolutionary Algorithms, Technical Report. – University of Dortmund, Germany, 2012.

## References:

1. Batishchev, D.I., Neymark, Ye.A., & Starostin, N.V. (2007). Primenenie geneticheskikh algoritmov k resheniyu zadach diskretnoy optimizatsii [Application of genetic algorithms to the solution of problems of discrete optimization]. Nizhniy Novgorod: NNGU [in Russian].
2. Holland, J.H. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. Ann Arbor: The University of Michigan Press [in English].
3. Batishchev, D.I. (2005). Geneticheskie algoritmy resheniya ekstremalnykh zadach [Genetic algorithms for solving extreme problems]. Voronezh: Izd-vo VGTU [in Russian].
4. Menyaylov, Ye.S. (2015). Obzor i analiz sushchestvuyushchikh modifikatsiy geneticheskikh algoritmov [Review and analysis of existing modifications of genetic algorithms]. Aviatsionno-kosmicheskaya tekhnika i tekhnologiya – Aerospace engineering and technology, 70, 240-254 [in Russian].
5. Filippov, K.V. (2008). Sushchestvuyushchie podkhody k optimizatsii sovremennykh investitsionnykh portfeley tsennykh bumag [Existing approaches to optimization of modern investment portfolio]. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten – Mining information-analytical Bulletin, 2-2, 279-288 [in Russian].
6. Budoratska, T.L., & Sviripa, G.L. (2015). Genetichni algoritmi u virishenni ekonomichnih zadach [Genetic algorithms in solving economic problems]. Materiali mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi konferentsiyi "Ekonomika: realiyi chasu i perspektivi" (29-30 zhovtnya 2015r.) – Materials of international scientific-practical conference "Economics: time realities and prospects" (29-30 October 2015), 32-34. Odessa: ONPU [in Ukraine].
7. Savchuk, V.P. (2004). Byudzheth kapitala i finansovoe obosnovanie investitsionnogo proekta [The budget of the capital and financial substantiation of the investment project]. Kiev: Dialektika [in Russian].
8. Lan, G., & DePuy, G.W. (2006). On the effectiveness of incorporating randomness and memory into a multi-start metaheuristic with application to the Set Covering Problem. Computers and Industrial Engineering. Vol. 51. Issue 3 [in English].
9. Frenkel, M.B. (2006). Geneticheskiy podkhod k formirovaniyu optimalnogo portfelya tsennykh bumag s ispolzovaniem kolichestvennogo analiza finansovykh rynkov [A genetic approach to the formation of optimal portfolio of securities using quantitative analysis of financial markets]. Materialy V-y mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Rezultaty i problemy sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Astrakhanskoj oblasti" – Materials of V-th international scientific-practical

- conference "Results and problems of socio-economic development of Astrakhan region", 236-240. Astrakhan [in Russian].
10. Vvedenie v GA i geneticheskoe programmirovaniye [Introduction to Aviation and genetic programming]. Retrieved from <http://algolist.manual.ru/ai/ga> [in Russian].
  11. Kazakov, P.V. (2011). Klasternyy geneticheskiy algoritm sinteza optimalnykh resheniy zadachi investitsionnogo planirovaniya [Cluster genetic algorithm synthesis of optimal solutions Investment Planning task]. Retrieved from [www.raai.org](http://www.raai.org) [in Russian].
  12. Shekhovtsov, A.V., Kryuchkovskiy, V.V., & Melnik, A.N. (2012). Reshenie mnogokriterialnoy optimizatsii s ispolzovaniem adaptivnykh algoritmov [Solution of multi-criteria optimization using adaptive algorithms]. Retrieved from: [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64) [in Russian].
  13. Dasgupta, D. (2003). Optimisation in Time-Varying environments using Structured Genetic Algorithms, Technical Report [in English].
  14. Beyer, Schwefel, Wegener (2012). How to Analyse Evolutionary Algorithms, Technical Report. University of Dortmund, Germany [in English].

Надано до редакційної колегії 02.03.2017

Будорацька Тетяна Леонідівна / Tatyana L. Budoratskaya  
[budoratska@mail.ru](mailto:budoratska@mail.ru)

Журавльова Наталія Михайлівна / Nataliya M. Zhuravlyova  
[nmzhur@mail.ru](mailto:nmzhur@mail.ru)

**Посилання на статтю / Reference a Journal Article:**

Використання генетичних алгоритмів для оптимізації структури інвестиційного портфеля цінних паперів [Електронний ресурс] / Т. Л. Будорацька, Н. М. Журавльова // Економіка: реалії часу. Науковий журнал. – 2017. – № 1 (29). – С. 26-33. – Режим доступу до журн.: <http://economics.opu.ua/files/archive/2017/No1/26.pdf>