

# Моделювання в економіці та управління проектами

УДК 338.984:004.942

С.Г. Кийко<sup>1</sup>, Е.А. Дружинин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*

<sup>2</sup> *ПАО Электрометаллургический завод «Днепрспецсталь» имени А.Н. Кузьмина, Запорожье*

## АГЕНТНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПОРТФЕЛЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Рассмотрена агентная имитационная модель управления инвестиционным портфелем предприятия, которая используя механизм расщепления пространства поиска и эволюционное моделирование позволяет производить оптимизацию портфеля в целях достижения инвестиционных целей предприятия и финансирования проектов из программы развития.*

**Ключевые слова:** *инвестиционный портфель, агентная модель, эволюционное моделирование.*

### Введение

В настоящее время большинство украинских производственных предприятий стараются диверсифицировать риски, выбирая различные виды активов и отрасли для инвестирования, что в свою очередь дает возможность сохранять устойчивое финансовое положение в случаях, когда возникают сбои в поставках какой-либо продукции, повышаются цены на тот или иной вид сырья, происходят колебания на фондовом рынке и рынке валют, проявляются другие факторы рисков.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для решения задач формирования и управления инвестиционным портфелем на сегодняшний день разработаны и используются различные подходы [1], среди которых следует отметить модели Марковица, Марковица-Шарпа, Марковица-Тобина, САРМ и др.

Однако, управление инвестиционным портфелем осложняется следующими условиями:

– множественность доступных вариантов вложения капитала; несогласованность финансовых активов в инвестиционном портфеле;

– корреляция между доходностью различных активов; ограниченность финансовых ресурсов для инвестирования;

– риски, связанные с принятием того или иного решения по инвестированию;

– необходимость мониторинга портфеля на предмет изменений и периодическое восстановление баланса и др.

Все это является серьезной проблемой для определения стоимости и распределения активов, оптимизации портфеля и выбора стратегии управления инвестиционными проектами.

**Постановка задачи исследования.** Рассмотренные особенности приводят к тому, что модель управления инвестиционным портфелем должна иметь возможность динамической перестройки за счет создания/удаления элементов и связей между ними, пополнения или уточнения «на ходу», включения различных сценариев поведения с механизмами адаптации [2].

В этой связи одним из современных подходов для построения модели управления инвестиционными портфелями является использование мультиагентных систем (МАС), имеющих возможность реализации динамического поведения, автономности и адаптации отдельных компонентов модели [3, 4]. В МАС поведение определяется на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности многих агентов, каждый из которых следует своим собственным правилам, функционирует в общей среде и взаимодействует со средой и с другими агентами.

### Особенности формирования и диверсификации инвестиционного портфеля

Рассмотрим общую задачу распределения капитала, который предприятие хочет потратить на покупку активов, например, различных видов ценных бумаг. Цель инвестора – вложить деньги так, чтобы сохранить свой капитал, а при возможности и нарастить его. Стоимость портфеля – это суммарная стоимость всех составляющих его активов.

Введем следующие обозначения для задачи оптимизации инвестиционного портфеля:

$N$  – общее количество всех активов, включенных в портфель;

$t$  – заданный эталонный индекс;

$F_i(t)$  – цена  $i$ -го актива при  $t$ , соответственно  $F_i = (F_i(1), \dots, F_i(T))$  – вектор, который отражает динамику изменения индекса  $t = 1..T$ ;

$P_i(t)$  – возврат ставки  $i$ -го актива при  $t = 1..T$ , соответственно вектор  $P_i = (P_i(1), \dots, P_i(T))$ , определяется как  $P_i(t) = (F_i(t+1) - F_i(t)) / F_i(t)$ ;

$M$  – общее количество всех блоков инвестиций;

$M_i$  – блок инвестиций для  $i$ -го актива – целое число, такое, что  $\sum M_i = M$ ;

$w_i$  – вес  $i$ -го актива, входящего в портфель.  $w_i = M_i / M$  ( $0 \leq w_i \leq 1$ );

$G_k$  – портфель  $k$ -го агента, который представляет собой вектор  $G_k = (w_1, \dots, w_N)$ , что последовательность обратных скоростей портфелем  $G_k$  более  $t = 1, \dots, T$ .

Мы будем использовать информационный коэффициент (Information Ratio) для портфеля  $G_k$ , который является известным показателем для активно управляемых портфелей в качестве целевой функции.

Активное управление активами – это тип управления, при котором значение изменчивости отклонения доходности (trackingerror) может превышать 0.5%, в отличие от пассивного управления активами, где этот показатель не превышает 0.5%.

При пассивном управлении доходность портфеля во внешнем управлении приблизительно равна доходности эталонного портфеля. Уровень сверхдоходности – разница между фактически достигнутым уровнем доходности и уровнем доходности эталонного портфеля. Поэтому информационный коэффициент – это отношение исторической сверхдоходности к историческому уровню риска (изменчивости отклонения доходности).

Таким образом, данный коэффициент показывает эффективность управления инвестиционным портфелем, рассчитанную как избыточная доходность портфеля по сравнению с рыночной доходностью, отнесенная к стандартному отклонению избыточной доходности.

Таким образом, мы будем оптимизировать портфели, состоящие из комбинации весов  $N$  активов в целях достижения максимального информационного коэффициента. Т.е. для получения одного портфеля как  $G_k = (w_1, \dots, w_N)$  необходимо отыскать решение для информационного коэффициента. Количество комбинаций, то есть числа решений, определяется формулой  $(M + N - 1)! / N (M - 1)!$ .

В нашем исследовании пространство поиска в агентной модели разделяется на несколько небольших областей.

Одна популяция агентов состоит из одного агента-лидера и нескольких ведомых агентов.

Поскольку свойства агентов динамично меняются, то может появиться новый лидер, и вся популяция в пространстве поиска перестраивается. Такое

изменение состава популяции представляет собой расщепление пространства поиска (рис. 1).

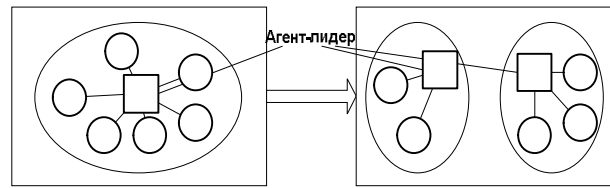


Рис. 1. Расщепление пространства поиска

На рис. 2 показан типовой агент модели. Каждый агент имеет свой собственный портфель, блок инвестиций портфеля, информационный коэффициент и тип поведения агента, который может быть "конформист", "нонконформист" или "независимый".

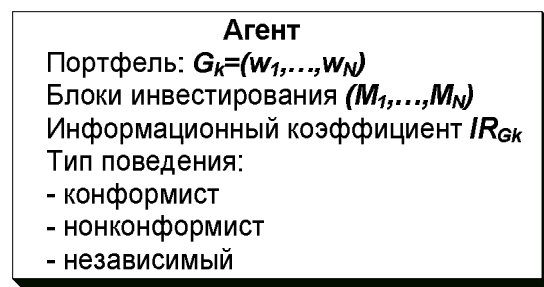


Рис. 2. Структура агента

Вначале устанавливаются веса  $w$  агентов. Блоки инвестиций активов для агентов устанавливаются случайным образом. В этом случае каждый агент получает свой портфель и соответствующий ему информационный коэффициент. Случайным образом также устанавливается тип поведения агента. Агент, имеющий самое высокое значение информационного коэффициента, становится лидером, а остальные остаются последователями. Далее в процессе моделирования свойства последователей изменяются в результате взаимодействия их с лидером. С другой стороны, свойства агента-лидера агента изменяются по собственным правилам. Далее мы опишем поведение агентов в зависимости от его типа.

*Поведение последователя-конформиста.* Если агент является последователем и его тип «конформист», то он имитирует часть портфеля лидера. Процедура эволюционного поведения такого «послушного» последователя выглядит следующим образом:

1). Случайным образом выбираются  $n$  активов из их общего числа  $N$  и помещаются в портфель. Для каждого из этих активов заменяются инвестиционные блоки  $M_i$  в соответствии с интересами лидера.

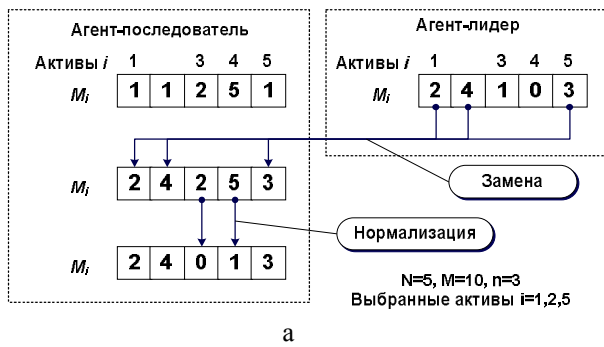
2). Случайно повторно выбираем один из активов из  $N - n$  активов, которые не были выбраны в

шаге 1 и увеличиваем или уменьшаем один инвестиционный блок на  $\sum M_i = M$ . Назовем эту процедуру нормализацией.

На рис. 3, а показан пример, демонстрирующий эволюционное поведение последователя-конформиста ( $N = 5, M = 10$  и  $n = 3$ ).

*Поведение последователя-неконформиста.* Если агент является последователем и его тип «неконформист», то он не имитирует часть портфеля лидера. Процедура эволюционного поведения такого «непослушного» последователя выглядит следующим образом:

- 1). Случайным образом выбираются  $n$  активов



из их общего числа  $N$  и помещаются в портфель. Для каждого из этих активов мы вычитаем инвестиционные блоки  $M_i$  последователя из их значений у лидера. Если инвестиционный блок выбранного актива становится равным 0, вычитание актива прекращается.

- 2). Для нормализации, мы случайным образом повторяем выбор одного актива из  $N - n$  активов из тех, что не были выбраны в шаге 1 и увеличиваем инвестиционный блок до  $\sum M_i = M$ .

На рис. 3, б показан пример, демонстрирующий эволюционное поведение последователя-неконформиста ( $N = 5, M = 10$  и  $n = 3$ ).

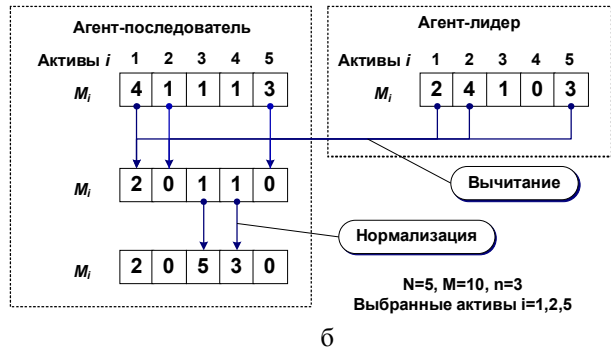


Рис. 3. Поведение агента-конформиста и агента-неконформиста

*Поведение независимого последователя.* Независимый последователем является такой агент, чье поведение не зависит от лидера, и он меняет свой портфель по собственному независимому правилу. Случайным образом выбирается целое  $M_i$  из множества блоков инвестиций.

$$M_i \in [0, V] \quad (i = 1, \dots, N),$$

где  $V$  является фиксированным целым параметром и рассматривается как верхняя граница числа инвестиционных блоков.

Новые блоки инвестиций должны быть нормализованы.

Выполняя эволюционные поведения «конформистов», «неконформистов» и независимых последователей в соответствии с рассмотренными вариантами, все агенты-последователи будут на каждом шаге иметь новые инвестиционные блоки ( $M_1, \dots, M_n$ ). Поэтому новый портфель  $G_k$  рассчитывается снова и информационный коэффициент портфеля обновляется для того, чтобы эволюционные изменения во всех свойствах каждого последователя были завершены.

*Поведение агента-лидера.* Лидер в популяции агентов является агентом, у которого значение информационного коэффициента является самым высоким из всех других агентов в пространстве поиска. Свойства агента-лидера изменяются по собственным правилам. Процедура эволюционного поведения лидера состоит в следующем.

- 1) Случайным образом выбираются  $n$  активов из общего числа  $N$  активов и помещаются в портфель.

Назовем эти активы группой  $k_1$ . Обозначим остальные  $N - n$  активов как группу  $k_2$ . Определим ожидаемую величину исторической сверхдоходности каждой группы следующим образом

$$\begin{aligned} (P_{Gk1} - P_{index}) &\geq (P_{Gk2} - P_{index}); \\ (P_{Gk1} - P_{index}) &\geq (P_{Gk2} - P_{index}); \end{aligned}$$

- 2) Если в этом уравнении выполняется первая часть, то мы перемещаем  $Z$  инвестиционных блоков для случайно выбранных активов из группы  $k_2$  в группу  $k_1$ .

В противном случае, мы перемещаем  $Z$  инвестиционных блоков для случайно выбранных активов из группы  $k_1$  в группу  $k_2$ .

После выполнения этого поведения, агент-лидер имеет новые инвестиционные блоки ( $M_1, \dots, M_N$ ).

Поэтому новый портфель  $G_k = (g_1, \dots, g_N)$  рассчитывается снова и информационный коэффициент портфеля обновляется для того, чтобы завершить эволюционное изменение всех свойств.

Таким образом, в ходе моделирования появляется новый агент-лидер, который имеет самый высокий информационный коэффициент. Новая популяция, с новым агентом-лидером генерируется на очередном шаге. Другими словами, развитие популяции в нашей агентной модели связано с появлением новых агентов-лидеров и разделением текущих

популяций. Популяции, которые обусловлены многократным расщеплением пространства поиска, исчезают. Лидер такой популяции становится агентом-последователем в одной из других популяций.

Рис. 4 показывает такую серию итераций в ка-

честве примера. Отметим, что, в нашей модели, не исключено, что агент, который имеет более низкий информационный коэффициент, чем у нового лидера, но больший чем у текущего лидера остается как последователь в популяции текущего лидера.

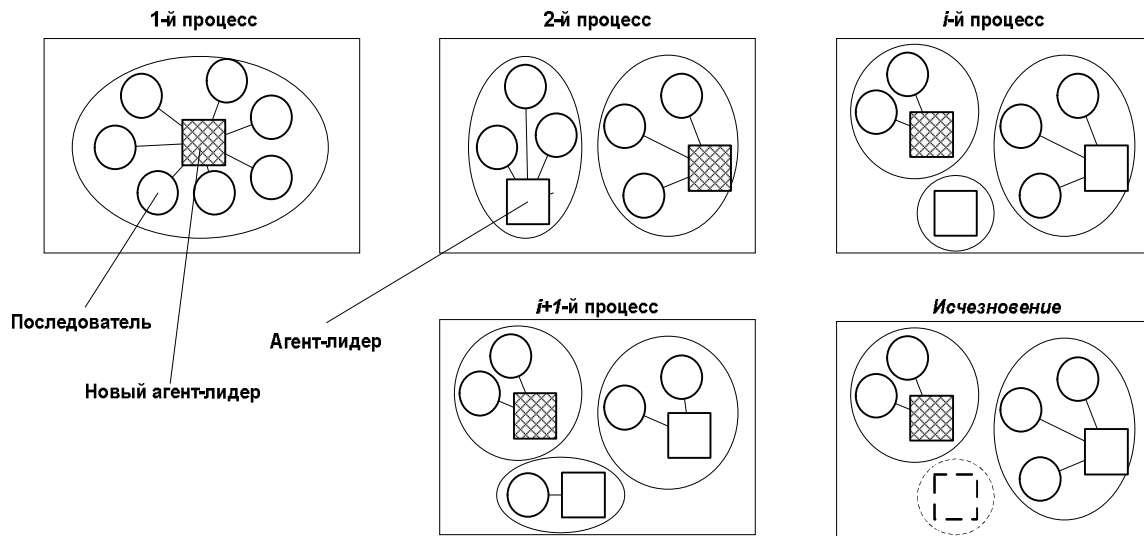


Рис. 4. Формирование популяций во время расщепления пространства поиска

Как показано на рис. 4, вначале популяция состоит из одного агента-лидера и его последователей. Когда популяция разделена, все последователи выбирают текущего лидера в текущей популяции или нового лидера, чей информационный коэффициент является самым высоким в области поиска на следующей итерации.

Критерий этого выбора определим следующим образом:

1). Когда новый лидер появляется в популяции, к которой принадлежат некоторые из нынешних последователей, информационный коэффициент используется для выбора новых последователей в популяции нового агента-лидера на следующем шаге. С другой стороны, информационный коэффициент последователей остается от последователей нынешнего лидера.

2). Когда новый лидер появляется в популяции, к которой агенты-последователи не принадлежат, информационный коэффициент используется для выбора последователей в популяции нового агента-лидера на следующем шаге. С другой стороны, информационный коэффициент последователей остается от последователей нынешнего лидера.

После повторения этих итераций, мы выбираем портфель, значение информационного коэффициента в котором является самым высоким в области поиска оптимального портфеля.

## Выводы

Предложена агентная имитационная модель управления инвестиционным портфелем предпри-

ятия, которая используя механизм расщепления пространства поиска и эволюционное моделирование позволяет производить оптимизацию портфеля в целях достижения инвестиционных целей предприятия и финансирования проектов из программы развития.

Следует отметить, что результаты моделирования зависят от следующих параметров:

- количество выбранных активов для взаимодействия между лидером и последователями;
- отношение конформистов, неконформистов и независимых агентов в пространстве решений.

## Список литературы

1. Ивасенко А.Г. *Инвестиции: источники и методы финансирования [Текст]: 3-е изд. перераб. и доп. / А.Г. Ивасенко, Я.И. Никонова. – М.: Издательство «Омега-Л», 2009. – 261 с.*
2. Прохоров А.В. *Концепция агентно-ориентированного имитационного моделирования производственных процессов [Текст] / А.В. Прохоров, Е.М. Пахнина // Техніка будівництва. – 2008. – № 21. – С. 125-133.*
3. Бірко О.О. *Мультиагентна система для управління інвестиційними портфелями [Текст] / О.О. Бірко, В.М. Гужва // Бизнесинформ. – 2011. – № 5(1). – С. 52-54.*
4. Ghoulmié, F. *Heterogeneity and feedback in an agent-based market model [Текст] / F. Ghoulmié, R. Cont, J.-P. Nadal // Journal of Physics. – 2005. – P. 1259-1268.*

Поступила в редколлегию 15.10.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.А. Демидов, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

## АГЕНТНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ІНВЕСТИЦІЙНИМ ПОРТФЕЛЕМ ПІДПРИЄМСТВА

С.Г. Кійко, Е.А. Дружинин

*Розглянута агентна імітаційна модель управління інвестиційним портфелем підприємства, яка використовуючи механізм розщеплення простору пошуку і еволюційне моделювання дозволяє здійснювати оптимізацію портфеля в цілях досягнення інвестиційних цілей підприємства та фінансування проектів з програми розвитку.*

**Ключові слова:** інвестиційний портфель, агентна модель, еволюційне моделювання.

## AGENT-BASED SIMULATION MODEL OF INVESTMENT PORTFOLIO

S.G. Kiyko, Ye.A. Druzhinin

*We consider the agent-based simulation model of companies portfolio management which using the mechanism of splitting of the search space and evolutionary modeling allows using to make the optimization portfolio in order to achieve the investment objectives of the enterprise and financing of development programs.*

**Keywords:** investment portfolio, agent model, evolutionary modeling.