

*У роботі представлено моделі й процедури формування інвестиційного портфеля, які засновані на динамічному підході. Запропоновано дві моделі, які відносяться до динамічного та булевого програмування Їх застосування на практиці дозволить раціонально планувати інвестиційні ресурси, як на стратегічному, так і на тактичному періоді з урахуванням змін зовнішнього середовища й обраної інвестиційної політики*

*Ключові слова: інвестиційний проект, прийняття рішень, інвестиційна політика, оптимізаційна задача, динамічний портфель*

*В работе представлены модели и процедуры формирования инвестиционного портфеля, которые основаны на динамическом подходе. Предложены две модели, которые относятся к динамическому и булевому программированию. Их применение на практике позволит рационально планировать инвестиционные ресурсы, как на стратегическом, так и на тактическом периоде с учётом изменений внешней среды и выбранной инвестиционной политики*

*Ключевые слова: инвестиционный проект, принятие решений, инвестиционная политика, оптимизационная задача, динамический портфель*

# МОДЕЛИ И ПРОЦЕДУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДХОДА

**В. В. Москаленко**

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: mvv\_17@mail.ru

**Т. В. Захарова**

Кандидат технических наук\*

E-mail: tetiana.zakharova@gmail.com

**А. Н. Криворука\***

E-mail: sl\_andrey-nk@mail.ru

\*Кафедра автоматизированных систем управления

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

## 1. Введение

В работе рассматривается инвестиционная деятельность компании. Эта деятельность, наряду с основной и финансовой, являются объектами для анализа функционирования компании, что даёт информационную базу, как для оперативного планирования, так и стратегического [1]. Как показывает практика, при планировании инвестиций рассматривается один момент времени формирования портфеля: осуществляют дисконтирование денежных потоков к этому моменту, определяют эффективность и риск. Однако при стратегическом планировании необходимо учитывать состояние экономики, которое на длительном периоде изменяется, что требует постоянного пересмотра инвестиционной политики компании, которая служит основой для формирования портфеля инвестиций. Существующие методики не предполагают формирование портфелей на разные интервалы периода, а только на начало этого периода, это ограничивает их применение при стратегическом планировании инвестиций. Поэтому разработка методик, технологий, моделей формирования инвестиционных портфелей на интервалах стратегического периода в рамках соответствующих политик остаётся актуальной.

В данной работе предлагается рассмотреть портфель проектов, как динамический объект, который

подвергается внешним воздействиям со стороны экономической системы, изменяя при этом свою структуру (одни проекты становятся невыгодными, исключаются из портфеля, другие проекты становятся актуальными для реализации).

## 2. Цель и задача исследования

Целью исследования является разработка методики формирования портфеля инвестиционных проектов на стратегическом периоде. При стратегическом планировании деятельности компании необходимо брать во внимание динамический характер рынка инвестиций, чрезмерное влияние на инвестиционную активность различных факторов, важно определить направления инвестирования, перспективность тех или иных проектов и т. д.

Рассмотрим инвестиционную деятельность как вложение собственных денежных средств компании в проекты других предприятий (например, долевое участие в проектах дочерних предприятий и т. п.). Вопросы внутреннего инвестирования, например, проекты модернизации собственных производств, не рассматриваются. Это связано с тем, что такие проекты должны планироваться только в связке с основной деятельностью и с учётом изменения финансового состояния компании в целом. С целью

увеличения прибыли компании необходимо сформировать портфель проектов, который будет соответствовать выбранной политике. Инвестиционная политика определяет соотношение риска и коммерческой выгоды от вложения денежных средств компании в инвестиционные проекты. Так как инвестиционные процессы охватывают длительный период, поэтому предлагается формировать портфель в рамках стратегического планирования. По аналогии с понятием «динамического объекта» введем понятие «динамический инвестиционный портфель» [2]. Динамический портфель – это множество портфелей по интервалам планового периода, которое формируется изначально как некоторое приближение, портфели по интервалам (элементы множества) будут пересматриваться по истечении времени, если изменится состояние экономики, условия функционирования компании и т. д.

Таким образом, необходимо решить стратегическую задачу формирования портфеля проектов, соответствующего выбранной инвестиционной политике, которая должна пересматриваться в зависимости от ситуации в экономике и целей компании в течение этого периода. Следовательно, должен быть сформирован динамический портфель, как совокупность портфелей по интервалам стратегического периода.

### 3. Литературный обзор

Процесс формирования портфеля проектов требует решения множества сложных задач, для решения которых предложены различные технологии. В большинстве работ, как отечественных, так и зарубежных научных школ, предлагаются подходы к решению задачи оценки эффективности и риска проектов, формирования портфеля проектов, при этом применяется обширный математический аппарат [3, 4]. Основная задача при принятии инвестиционных решений – это оценка инвестиций, для чего используются различные критерии эффективности [4, 5]. Задача формирования портфеля является более сложной [6, 7], при её решении необходимо учитывать не только эффективность и риск портфеля, но и стратегию развития компании, условия функционирования и т.д. Однако в предлагаемых подходах рассматривается формирование портфеля на определённый момент времени. На стратегическом периоде необходимо сформировать множество инвестиционных политик по интервалам стратегического периода, каждая из которых будет учитывать экономическую ситуацию [2, 3]. Множество работ посвящены вопросам управления портфелем проектов, например [8–11], но не предложено подхода по корректировке состава портфеля на стратегическом периоде. Однако постоянно изменяющиеся экономические условия функционирования компании, требуют пересмотра политик и соответственно, корректировки портфелей [12, 13]. Поэтому существующие подходы планирования и управления инвестициями не могут эффективно применяться в современных условиях функционирования компаний. Необходим поиск новых подходов решения инвестиционных задач.

### 4. Подход к решению задачи формирования портфеля проектов

Предлагается процесс формирования динамического портфеля проектов представить в виде двух этапов: на первом – решается стратегическая задача формирования портфеля проектов, а на втором – производится текущее управление, которое заключается в пересмотре сформированных по интервалам планового периода портфелей. Пересмотр заключается в итерационной процедуре согласования условий и сроков инвестирования. Задача формулируется как оптимизационная задача. В качестве критерия используется максимизация суммарного инвестиционного дохода компании от вложения денежных средств на реализацию портфеля. Инвестиционный доход определяется как доля чистого приведенного дохода от реализации проекта, т. е. доля NPV. Риски, которые несёт компания при участии в инвестировании проекта, предлагается учитывать на этапе предварительного отбора проектов.

#### 4.1. Процедура формирования портфеля на основе динамического программирования

Рассмотрим задачу формирования портфелей проектов, используя аппарат динамического программирования. Пусть имеются ресурсы в размере  $L$  на плановый период  $T$ , который разбивается на интервалы  $t = \overline{1, n}$ ,  $L = \sum_{t=1}^n L_t$ ,  $L_t > 0$ . Имеется множество проектов  $\hat{B}_T$  (отобранных по уровню доходности и риска согласно выбранной политике) на плановом периоде, причём  $\hat{B}_T = \bigcup_{t=1}^n \hat{B}_T^t$ , где множество  $\hat{B}_T^t = \{z_{it}\}$  содержит проекты-кандиденты для инвестирования в  $t$ -м интервале, количество проектов на каждом интервале равно  $q^t$ , т.е.  $i = \overline{1, q^t}$ . Элемент  $z_{it}$  множества  $\hat{B}_T^t$  характеризует  $i$ -й проект, который определяется показателями  $\{NPV_{it}, r_{it}, K_{it}\}$ , где  $NPV_{it}$  – ожидаемая доходность  $i$ -го проекта, ден. ед.;  $r_{it}$  – комиссия выплата, доля;  $K_{it}$  – количество необходимых инвестиций,  $K_{it} > 0$ , при этом  $i = \overline{1, q^t}$  – номер проекта,  $t = \overline{1, n}$  – номер интервала. Предварительно с клиентами («собственниками» проектов) также оговариваются другие возможные сроки начала реализации проекта. Тогда один и тот же проект может войти в различные множества  $\hat{B}_T^t$ . В случае включения такого проекта в портфель на  $t$ -м интервале, на следующем интервале множество  $\hat{B}_T^{t+1}$  корректируется  $\hat{B}_T^{t+1} = \hat{B}_T^{t+1} \setminus Inv^t$ , где  $Inv^t$  – множество проектов, которые составляют портфель на  $t$ -м интервале,  $Inv^t = \{z_{it}\}$ . Необходимо сформировать портфели проектов по интервалам таким образом, чтобы суммарная доходность от инвестирования за весь период  $T$  была максимальной. Будем использовать прямое рекуррентное уравнение динамического программирования. Для первого интервала суммарный инвестиционный доход составит:

$$D_1 = \max_{\substack{z_{i1} \in \hat{B}_T^1 \\ \sum_{i=1}^{q_1} K_{i1} \leq L_1}} \left\{ \sum_{i=1}^{q_1} (NPV_{i1}(z_{i1}) \cdot r_{i1}(z_{i1})) \right\}. \quad (1)$$

Для второго интервала доход будет равен сумме дохода от инвестирования в текущем интервале и доход первого интервала:

$$D_2 = \max_{\substack{z_{i2} \in B_{i2}^t \\ \sum_{i=1}^{q_2} K_{i2} \leq \bar{L}_2 \\ B_{i2}^t = B_{i2}^t \setminus \text{Inv}^t}} \left\{ \sum_{i=1}^{q_2} (\text{NPV}_{i2}(z_{i2}) \cdot r_{i2}(z_{i2}) + D_{i2}) \right\}. \quad (2)$$

Тогда для  $t$ -го интервала суммарный доход составит:

$$D_t = \max_{\substack{z_{it} \in B_{it}^t \\ \sum_{i=1}^{q_t} K_{it} \leq \bar{L}_t \\ B_{it}^t = B_{it}^t \setminus \text{Inv}^{t-1}}} \left\{ \sum_{i=1}^{q_t} (\text{NPV}_{it}(z_{it}) \cdot r_{it}(z_{it}) + D_{i,t-1}) \right\}, t = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Таким образом, динамическая постановка задачи формирования портфеля инвестиционных проектов выглядит следующим образом определить множество  $\{z_{it}\}$ , которое доставит максимум целевой функции:

$$D = \sum_{t=1}^n D_t \rightarrow \max, \quad (4)$$

где  $D_t$  – инвестиционный доход вычисляется по формуле (3), при этом ( $D_0 = 0$ ),  $D_1$  вычисляется по формуле (1).

При неполном использовании ресурсов на интервалах они могут быть перенесены, т.е.  $\bar{L}_t = L_t + (\bar{L}_{t-1} - L_{t-1}^*)$ , где  $\bar{L}_t$  – ресурсы, которые рассматриваются на  $t$ -м интервале,  $L_{t-1}^*$  – ресурсы, которые рассматривались на  $(t-1)$  интервале,  $L_{t-1}$  – ресурсы, которые потрачены на  $(t-1)$  интервале,  $L_{t-1}^* = \sum_{i=1}^{q_{t-1}} K_{i,t-1}(z_{i,t-1})$ , при этом  $\bar{L}_1 = L_1$ .

В результате получим сформированные по интервалам портфели – множества проектов  $B_t^t = \text{Inv}^t$ .

#### 4.2. Процедура формирования портфеля с использованием модели булевого программирования

На плановый период  $T$  выделяются денежные ресурсы в размере  $\bar{L}$ , которые разбиваются на суммы ( $L_t$ ) по интервалам,  $\bar{L} = \sum_{t=1}^n L_t$ ,  $L_t > 0$ ,  $t = \overline{1, n}$ . Далее формируются портфели инвестиционных проектов по интервалам рассматриваемого периода с учетом выбранных инвестиционных политик. Имеется множество проектов  $\bar{B}_T$  на всем периоде, причём  $\bar{B}_T = \bigcup_{t=1}^n \bar{B}^t$ , где множество  $\bar{B}^t = \{\hat{b}_i\}^t$  содержит проекты-претенденты для инвестирования в  $t$ -м интервале, количество проектов на интервале равно  $q^t$ , т.е.  $i = \overline{1, q^t}$ . Элемент  $\hat{b}_i^t$  множества  $\bar{B}^t$  характеризуется  $i$ -й проектом, который определяется показателями  $\{\text{NPV}_i^t, r_i^t, K_i^t\}$ ,  $t = \overline{1, n}$ ;  $\text{NPV}_i^t$  – ожидаемая доходность  $i$ -го проекта, ден. ед.;  $r_i^t$  – комиссия выплата по  $i$ -му проекту, доля;  $K_i^t$  – количество необходимых инвестиций для  $i$ -го проекта, ден. ед.,  $K_i^t > 0$ ,  $i = \overline{1, q^t}$ . Инвестор заинтересован как в возврате своих инвестиций, так и в увеличении своего капитала, поэтому должно выполняться условие:

$$\text{NPV}_i^t \cdot r_i^t \geq K_i^t, \quad i = \overline{1, q^t}, \quad t = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Необходимо сформировать портфели по интервалам таким образом, чтобы суммарный доход  $\bar{D}$  от инвестирования за весь период  $T$  был максимальным. Обозначим  $N_i^t$  – доход от инвестирования в  $i$ -й проект на  $t$ -м интервале:

$$N_i^t = \text{NPV}_i^t \cdot r_i^t, \quad i = \overline{1, q^t}, \quad t = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Введём переменную  $\hat{z}_i^t$ , определяющую входение в портфель  $i$ -го проекта на  $t$ -м интервале,  $\hat{z}_i^t = \{0; 1\}$ , при этом  $\hat{z}_i^t = 1$ , если проект вошёл в портфель,  $\hat{z}_i^t = 0$  – в противном случае,  $i \in \bar{B}^t, t = \overline{1, n}$ . Проекты, не вошедшие в портфель на  $t$ -м интервале ( $t = \overline{1, n}$ ), переносятся на следующий  $t+1$  интервал, где рассматриваются вместе с исходным множеством  $t+1$  интервала. Таким образом, один и тот же проект может рассматриваться на нескольких интервалах. В портфель такой проект может быть включен только один раз:

$$\sum_{\tau=1}^n \hat{z}_i^\tau \leq 1, \quad i \in \bar{B}^t, \quad t = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Тогда задачу формирования оптимального портфеля сформулируем следующим образом: найти вектор  $\{\hat{z}_i^t\}$ , обеспечивающий максимизацию целевой функции суммарного инвестиционного дохода на всем плановом периоде  $T$ , при ограничении на ресурсы и ограничении (7):

$$\bar{D} = \sum_{t=1}^n \sum_{i \in \bigcup_{\tau=1}^t \bar{B}^\tau} N_i^t \cdot \hat{z}_i^t \rightarrow \max, \quad (8)$$

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{i \in \bigcup_{\tau=1}^t \bar{B}^\tau} K_i^\tau \cdot \hat{z}_i^\tau \leq \sum_{\tau=1}^t L_\tau. \quad (9)$$

В результате решения данной задачи будут определены оптимальные множества проектов  $\bar{B}^t \subseteq B^t, t = \overline{1, n}$ . Множество проектов  $\bar{B}_T = \bigcup_{t=1}^n \bar{B}^t$ , которое получено в результате решения задачи (7)–(9), представляет собой объединение оптимальных портфелей и реализует стратегические цели ИК (что отображается в планируемых инвестиционных политиках по интервалам).

Задача (7)–(9) решается на каждом интервале периода. Так как предполагается, что сумма инвестиционных средств меньше, чем сумма заявленных инвестиций в бизнес-планах проектов, поэтому после решения задачи (7)–(9) могут остаться проекты, не вошедшие в портфель. Эти проекты могут быть отнесены к одному из трех множеств:

- а) множество проектов, которые исключаются из дальнейшего рассмотрения по желанию «собственников» проектов (разработчиков проекта, предприятий, реализующих проект);
- б) множество проектов, «собственники» которых согласны на получение инвестиций в следующем интервале на тех же условиях инвестирования;
- в) множество проектов, «собственники» которых хотят получить инвестиции в этом интервале с учётом изменения условий, т.е. согласны на повышение процентной ставки комиссионных выплат ( $r_i^t$ ), также возможен и пересмотр объемов инвестирования. Тогда проекты с измененными условиями заново рассматриваются при формировании портфеля на этом же интервале.

Может быть ситуация, когда «собственники», проекты которых вошли в портфель, не принимают усло-

вия инвестирования и забирают проекты, тогда решается задача (7)–(9) с учетом тех проектов, которые ранее были «отброшены». Формирование портфеля на каждом интервале представляет собой итерационный процесс. Он заканчивается, если сформирован портфель, в который включены все проекты на согласованных условиях, а оставшиеся проекты либо перенесены на следующий интервал, либо исключены из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, на каждом интервале будут сформированы инвестиционные портфели, которые в совокупности и составят динамический портфель планового периода  $T$ . Если на реализацию данного портфеля будет запланирована не вся сумма средств, то остаток может быть использован компанией для осуществления других активных операций (например, для инвестирования в ценные бумаги). Данная информация может быть использована руководством для внесения изменений в инвестиционную политику или принятия решения о мероприятиях по привлечению проектов.

Рассмотренные модели являются частью системы поддержки принятия решений (СППР), которая внедрена в работу украинской инвестиционной компании [13]. Используя СППР, менеджер по инвестициям формирует множество портфелей по интервалам периода. Если после формирования портфелей остались инвестиционные ресурсы, то их можно направить на другие активные операции компании, например, на покупку ценных бумаг, или активизировать работу по

поиску новых выгодных проектов, затем пересмотреть динамический портфель, используя предложенные модели.

Внедрение такого подхода в планировании позволит повысить рентабельность капитала за счет постоянного пересмотра портфелей по интервалам планирования (исключая менее выгодные, добавляя более рентабельные проекты), повысить качество планирования, используя механизм согласования условий инвестирования проектов с «собственниками» проектов, что даст в свою очередь возможность формировать базу постоянных бизнес-партнеров.

---

## 5. Выводы

---

Предложено две процедуры формирования динамического портфеля проектов на стратегическом периоде, как совокупности портфелей по интервалам периода. Реализация этих процедур позволит инвестору учесть динамический характер инвестиционного рынка (перенос сроков и условий инвестирования), изменения в инвестиционной политике (изменение соотношения риска и эффективности) и при этом достигать основной цели – максимизации инвестиционного дохода при приемлемом уровне риска. Эти процедуры рассматриваются как часть СППР, которая интегрируется в информационно-аналитическую систему управления компании [13].

---

## Литература

1. Москаленко, В. В. Координационная задача развития предприятия по направлениям деятельности [Текст] / В. В. Москаленко // Труды десятой международной научно-практической конференции: «Современные информационные и электронные технологии», 24–28 мая 2010, г. Одесса. – Одесса. – 2010. – Том I. – С. 78–79.
2. Захарова, Т. В. Модели и технологии формирования портфеля реальных инвестиций [Текст] / Т. В. Захарова, В. В. Москаленко, В. Ю. Воловщикова // Проблемы информационных технологий. – 2010. – № 01 (007). – С. 41–48.
3. Reilly, Frank K. Investment Analysis and Portfolio Management: Solutions Manual [Text] / Frank K. Reilly, Keith C. Brown. – Harcourt College Pub, 1997.
4. Gotze Uwe. Investment Appraisal: Methods and Models [Text] / Gotze U., Northcott D., Schuster P. – Springer, 2007. – 407 p.
5. Bernstein, Peter L. Investment Management [Text] / Peter L. Bernstein, Aswath Damodaran. – Wiley, 1998. – 466 p.
6. Cooper, Robert G. New problems, new solutions: making portfolio management more effective [Text] / Robert G. Cooper // Research-Technology Management. – 2007. – №43. – P. 76–82.
7. Gallant, Chris. Steps To Building A Profitable Portfolio [Electronic resource] / Chris Gallant // Investopedia. – Available at: <http://www.investopedia.com/articles/pf/05/060805.asp>, 24.02 2013.
8. Project Portfolio Management [Electronic resource] // Project Management Knowhow. – Available at: [http://www.project-management-knowhow.com/project\\_portfolio\\_management.html](http://www.project-management-knowhow.com/project_portfolio_management.html).
9. Reid, Carolyn. Investment Scoring Models in Portfolio Management [Electronic resource] / Carolyn Reid // Management Consulting Services. – Available at: <http://www.msstech.com/sound-decision-making-in-project-portfolio-management.html>.
10. Edgett Scott J. Portfolio management for new product development: results of an industry practices study [Text] / Scott J. Edgett // R&D Management. – 2001. – №13. – P. 90–120.
11. Dickinson M. Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects Over Multiple Time Periods [Text] / M. Dickinson // IEEE Transactions on Engineering Management. – 2001. – № 4. – P. 12–25.
12. Herbst A.F. Capital Asset Investment. Strategy, Tactics & Tools [Text] / Herbst A.F. – John Wiley & Sons Ltd., 2002. – 336 p.
13. Zakharova, T., Moskalenko, V. 'Information Technology for the Decision-Making Process in an Investment Company' [Text] / T. Zakharova, V. Moskalenko // Springer-Verlag Berlin Heidelberg LNBIP vol. 137, Information Systems: Methods, Models, and Applications, 2013, 37–48 P.