



Оригинальная статья

УДК 519.876.2

DOI 10.17073/0368-0797-2022-12-904-912

<https://fermet.misis.ru/jour/article/view/2456>



ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ РАЗВИТИЯ С МНОГОЦЕЛЕВЫМИ ПРОЕКТАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

А. В. Зимин¹, И. В. Буркова², В. В. Зимин¹

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН (Россия, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65)

Аннотация. Совершенствование механизмов управления формированием и календарным планированием программ развития является важнейшим направлением повышения результативности (достижения поставленных целей) и эффективности (снижения объема расходуемых ресурсов) деятельности металлургических компаний. В настоящее время необходимо обеспечить мобилизацию активов компаний для решения задач их устойчивого развития. Рассматривается задача формирования программы развития металлургического предприятия (компании). Программа включает несколько различных направлений развития: совершенствование действующих бизнес-процессов (сбыт, снабжение, производство, ремонт оборудования и др.), производственных технологий различных переделов (производство кокса, агломерата, чугуна, стали, проката), реализация задач цифровой трансформации и др. Каждое из направлений программы развития содержит проекты, описываемые эффектом, размером инвестиций, изменением расходных статей операционного бюджета, связанных с затратами на эксплуатацию тех систем и процессов, на совершенствование которых направлена реализация проекта, а также индикатором, описывающим риск реализации проекта. Одно из направлений программы развития может включать многоцелевые проекты, выполнение которых приводит не только к изменению собственных показателей эффективности, но и к изменению показателей эффективности проектов других (не многоцелевых) направлений программы развития. Рассмотрен случай, когда управление программой развития включает управление общим бюджетом программы и достижением общей цели программы (максимальным эффектом от реализации всех проектов программы развития). При этом управление рисками проектов и изменением операционного бюджета реализуется на уровне управления портфелем проектов отдельных направлений программы (нет общих для программы развития ограничений на риски и изменение операционного бюджета). Изложенные формализации задач, схемы их декомпозиции и композиции, разработанные процедуры решения отдельных подзадач базируются на положениях и методах теорий системного анализа и нового раздела дискретной математики (сетевое программирование).

Ключевые слова: проект, программа развития, инвестиционный бюджет, операционный бюджет, управление риском, сетевое программирование, Парето-решение

Для цитирования: Зимин А.В., Буркова И.В., Зимин В.В. Формирование программ развития с многоцелевыми проектами на предприятиях черной металлургии // Известия вузов. Черная металлургия. 2022. Т. 65. № 12. С. 904–912. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-12-904-912>

Original article

FORMATION OF DEVELOPMENT PROGRAMS WITH MULTI-PURPOSE PROJECTS AT FERROUS METALLURGY ENTERPRISES

A. V. Zimin¹, I. V. Burkova², V. V. Zimin¹

¹ Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

² V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences (65 Profsoyuznaya Str., Moscow 117997, Russian Federation)

Abstract. The improvement of management mechanisms for the formation and calendar planning of development programs is the most important direction for improving the productivity (achievement of goals) and efficiency (reduction of the amount of resources consumed) of the activities of metallurgical companies. Currently, it is necessary to ensure the mobilization of companies' assets to solve the tasks of their sustainable development. The task of forming a program for the development of a metallurgical enterprise (company) is considered. The program includes several different areas of development: improvement of existing business processes (sales, supply, production, repair of equipment, etc.), production technologies of various stages (production of coke, agglomerate, cast iron, steel, rolled products), implementation of digital transformation tasks, etc. Each of the directions

of the development program contains projects described by effect, size of investments, changes in the expenditure items of operating budget related to the costs of operating those systems and processes that the project is aimed at improving, as well as an indicator describing the risk of project implementation. One of the directions of the development program may include multi-purpose projects, the implementation of which leads not only to changes in its own performance indicators, but also to changes in the performance indicators of projects of other (non-multi-purpose) directions of such development program. The case is considered when management of the development program includes the management of the overall budget and achievement of overall goal of the program (the maximum effect from implementation of all projects). At the same time, project risk management and changes in the operating budget are implemented at the level of project portfolio management of individual program areas (there are no restrictions on risks and changes in the operating budget common to the development program). The stated formalizations of the problems, their decomposition and composition schemes, and the developed procedures for solving individual subtasks are based on the provisions and methods of the theories of system analysis and a new section of discrete mathematics (network programming).

Keywords: project, development program, investment budget, operational budget, risk management, network programming, Pareto solution

For citation: Zimin A.V., Burkova I.V., Zimin V.V. Formation of development programs with multi-purpose projects at ferrous metallurgy enterprises. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022, vol. 65, no. 12, pp. 904–912. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-12-904-912>

ВВЕДЕНИЕ

Механизмы управления формированием и календарным планированием программ развития являются важнейшими инструментами повышения результативности (достижения поставленных целей) и эффективности (снижения объема расходуемых ресурсов) деятельности металлургических компаний [1 – 5]. Теме управления программами развития, включающих многоцелевые проекты, уделяется достаточно много внимания [6 – 10]. Формирование таких программ развития является необходимым и важным этапом комплексной технологии управления развитием организаций, предприятий и входит в класс задач управления портфелем проектов, поскольку фактически программа – это портфель проектов (или несколько таких портфелей), которые в совокупности обеспечивают достижение стратегических целей организации [11 – 14]. В работе [15] рассмотрены различные модели и методы управления портфелем проектов. Простейшая модель формирования программы развития сводится к классической задаче о ранце и эффективно, но приближенно решается методом «затраты – эффект». Точное решение при целочисленных значениях параметров может быть получено методом сетевого программирования [16].

В работе [17] рассмотрена задача формирования программы развития нефтегазовой отрасли, включающей многоцелевые проекты. Предложен многокритериальный подход, который дает возможность учесть весь спектр интересов (целей) отрасли и региона при выработке оптимального решения. В работах [18, 19] рассматривается применение методов «затраты – эффект» и сетевого программирования к задачам формирования многоцелевых программ развития (предприятий, корпораций, регионов). Программа включает несколько направлений развития, каждое из которых представлено отдельным портфелем проектов. Проект при этом описывается двумя параметрами: эффект от реализации проекта и инвестиции, необходимые для реализации. Даются обобщения методов для случая, когда имеются проекты, дающие вклад (эффект) в несколько направлений (многоцелевые проекты).

Представляет практический интерес рассмотрение задачи с включением в показатели, описывающие отдельный проект программы, индикатора риска проекта, а также изменение операционного бюджета, обусловленное изменением затрат на эксплуатацию тех процессов и систем предприятия, на совершенствование которых направлена реализация проектов, включаемых в программу развития.

В настоящей работе рассмотрен случай, когда управление программой развития включает управление общим бюджетом c^* и достижением общей цели программы (максимальным эффектом от реализации проектов всех направлений программы). Будем считать, что управление рисками проектов (который далее будем оценивать объемом инвестиций в рискованные проекты) и изменением операционного бюджета реализуется на уровне управления портфелем проектов направлений программы, то есть нет общих для программы развития ограничений на объем инвестиций в рискованные проекты и на изменение операционного бюджета.

Изложенные далее формализации задач, схемы их декомпозиции и композиции, разработанные процедуры решения отдельных подзадач основаны на положениях и методах теории сетевого программирования [16].

ОБОЗНАЧЕНИЯ, ФОРМАЛИЗАЦИЯ И ОБЩАЯ СХЕМА

РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ

Пусть $P = \{P_j \mid j = \overline{1, m}\} = \{\{p_{ji} \mid i = \overline{1, n_j}\} \mid j = \overline{1, m}\}$ – множество проектов, инициированных для включения в программу развития предприятия (компании, муниципалитета и т. п.). Множество P включает m направлений развития, каждое из которых содержит по n_j проектов p_{ji} . Одно из направлений включает, помимо одноцелевых, так называемые многоцелевые проекты, которые могут изменять некоторые из показателей проектов других направлений. Будем считать направление, включающее многоцелевые проекты, m -ым направлением развития

($j = m$): $P_m = \{p_{ml} \mid l = \overline{1, q}\} \cup \{p_{ml} \mid l = \overline{(q+1), n_m}\}$ (здесь q и $(n_m - q)$ – количество одноцелевых и многоцелевых проектов).

Пусть $\alpha_{ji} = \alpha(p_{ji})$, $c_{ji} = c(p_{ji})$, $\Delta b_{ji} = \Delta b(p_{ji})$ и $r_{ji} = r(p_{ji})$ – величина эффекта, размер инвестиций, изменение операционного бюджета и индикатор риска проекта p_{ji} . Причем $r_{ji} = 1$, если проект относится к классу проектов с высоким риском и $r_{ji} = 0$ – в противном случае. Влияние отдельного многоцелевого проекта p_{ml} , $l = \overline{(q+1), n_m}$ на показатели проектов одноцелевых направлений опишем совокупностью кортежей $\{\delta\alpha_{ji}^{ml} \mid i = \overline{1, n_j}\}$, $\{\delta c_{ji}^{ml} \mid i = \overline{1, n_j}\}$, $\{\delta b_{ji}^{ml} \mid i = \overline{1, n_j}\}$, $j = \overline{1, m}$ (где $\delta\alpha_{ji}^{ml}$, δc_{ji}^{ml} , δb_{ji}^{ml} – аддитивные добавки к соответствующим показателям проектов направления j ; $\delta r_{ji}^{ml} = 1$, если реализация проекта p_{ml} изменяет индикатор риска проекта p_{ji} (проект с высоким риском переводится в проект с низким риском) и $\delta r_{ji}^{ml} = 0$ – в противном случае). Заметим, что величины $\delta\alpha_{ji}^{ml}$, δc_{ji}^{ml} , δb_{ji}^{ml} для $i = \overline{(q+1), n_m}$ равны нулю (многоцелевые проекты не изменяют значения показателей других многоцелевых проектов).

Введем переменную x_{ji} , которая равна единице, если проект p_{ji} включается в портфель реализуемых проектов j -го направления развития, и равна нулю, если проект отклоняется. Определим правила вычисления показателей проектов направлений j , $j = \overline{1, m}$, программы развития в зависимости от выбора варианта решения $x_{mq} = (x_{m(q+1)}, x_{m(q+2)}, \dots, x_{mn_m})$ для многоцелевых проектов направления m . Эффект от реализации произвольного одноцелевого проекта p_{ji} (при условии выбора решения x_{mq}) определяем по формуле:

$$\alpha_{ji}(x_{mq}) = \alpha_{ji} + \sum_{l=(q+1)}^{n_m} \delta\alpha_{ji}^{ml} x_{ml}. \quad (1)$$

Затраты на реализацию этого проекта составят:

$$c_{ji}(x_{mq}) = c_{ji} + \sum_{l=(q+1)}^{n_m} \delta c_{ji}^{ml} x_{ml}. \quad (2)$$

Изменение операционного бюджета описываются формулой:

$$\Delta b_{ji}(x_{mq}) = \Delta b_{ji} + \sum_{l=(q+1)}^{n_m} \delta b_{ji}^{ml} x_{ml}. \quad (3)$$

Тип проекта будет определяться значением соотношения:

$$r_{ji}(x_{mq}) = \begin{cases} r_{ji}, & \sum_{l=(q+1)}^{n_m} \delta r_{ji}^{ml} x_{ml} = 0; \\ 0, & \sum_{l=(q+1)}^{n_m} \delta r_{ji}^{ml} x_{ml} > 0. \end{cases} \quad (4)$$

Теперь задача формирования программы развития предприятия при условии выбора решения x_{mq} для многоцелевых проектов формализуется в виде линейной задачи целочисленного программирования:

$$\sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ji}(x_{mq}) x_{ji} + \sum_{i=1}^q \alpha_{mi} x_{mi} \rightarrow \max; \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{m-1} \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(x_{mq}) x_{ji} + \sum_{i=1}^q c_{mi} x_{mi} \leq c^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} c_{mi} x_{mi}; \quad (6)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(x_{mq}) r_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq c_{rj}^*, & j = \overline{1, (m-1)}; \\ \sum_{i=1}^q c_{mi}(x_{mq}) r_{mi}(x_{mq}) x_{mi} \leq c_{rj}^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} c_{mi} r_{mi} x_{mi}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{n_j} \Delta b_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq \Delta b_j^*, & j = \overline{1, (m-1)}; \\ \sum_{i=1}^q \Delta b_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq \Delta b_j^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} \Delta b_{mi} x_{mi}; \end{cases} \quad (8)$$

здесь c^* , c_{rj}^* и Δb_j^* – ограничения на размер инвестиций в проекты всех направлений, на финансирование проектов с высоким риском и на изменение операционного бюджета для каждого из направлений.

Задачу формирования оптимальной программы развития решим по следующей схеме:

– сформируем, решив задачу (5) – (8), оптимальную программу развития при условии выбора произвольного решения x_{mq} для многоцелевых проектов;

– определим безусловную оптимальную программу развития, решив задачу (5) – (8), для каждого варианта $x_{mq} \in X_{mq} = 2^{(n_m - q)}$ вхождения многоцелевых проектов в программу и выбрав в качестве итогового решения тот вариант программы развития, которому соответствует наибольший суммарный эффект.

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

РАЗВИТИЯ ПРИ УСЛОВИИ ВЫБОРА ПРОИЗВОЛЬНОГО РЕШЕНИЯ x_{mq} ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ ПРОЕКТОВ

Задачу (5) – (8) решим с использованием метода сетевого программирования. Определим величины c_j^* , $j = \overline{1, m}$ такие, что

$$\sum_{j=1}^m c_j^* = c^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} c_{mi} x_{mi}. \quad (9)$$

Тогда задачу (5) – (8) можно декомпозировать на m задач формирования множества проектов для отдельных направлений j , $j = \overline{1, m}$ программы развития. Для $j = \overline{1, (m-1)}$ вид задач, полученных в результате декомпозиции, будет

$$\sum_{i=1}^{n_j} \alpha_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \rightarrow \max; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq c_j^*; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(x_{mq}) r_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq c_{rj}^*; \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{n_j} \Delta b_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq \Delta b_j^*. \quad (13)$$

Задача для направления m с многоцелевыми проектами с учетом выбора решения x_{mq} примет вид:

$$\sum_{i=1}^q \alpha_{mi} x_{mi} \rightarrow \max; \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^q c_{mi} x_{mi} \leq c_m^*; \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^q c_{mi}(x_{mq}) r_{mi}(x_{mq}) x_{mi} \leq c_{rj}^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} c_{mi} r_{mi} x_{mi}; \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^q \Delta b_{ji}(x_{mq}) x_{ji} \leq \Delta b_j^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} \Delta b_{mi} x_{mi}. \quad (17)$$

Задачи (10) – (13) и (14) – (17) являются задачами о трехмерном ранце и могут быть решены методом таблиц допустимых решений [20]. Пусть множества

$$\left\{ \left(x_j^{k_j}(x_{mq}), \alpha \left(x_j^{k_j}(x_{mq}) \right), c_j \left(x_j^{k_j}(x_{mq}) \right), c_{rj} \left(x_j^{k_j}(x_{mq}) \right), \Delta b_j \left(x_j^{k_j}(x_{mq}) \right) \right) \middle| k_j = \overline{1, K_j^P}, j = \overline{1, (m-1)} \right\} \quad (18)$$

и

$$\left\{ \left(x_m^{k_m}, \alpha \left(x_m^{k_m} \right), c_m \left(x_m^{k_m} \right), c_{rm} \left(x_m^{k_m} \right), \Delta b_m \left(x_m^{k_m} \right) \right) \middle| k_j = \overline{1, K_m^P} \right\}, \quad (19)$$

описывают, соответственно, совокупности Парето-решений задач (10) – (13) и (14) – (17), полученные методом таблиц допустимых решений, где

$$x_j^{k_j} = \left\{ x_{ji}^{k_j} \middle| i = \overline{1, n_j} \right\}; \quad (20)$$

$$x_m^{k_m} = \left\{ x_{mi}^{k_m} \middle| i = \overline{1, q} \right\} \cup x_{mq}. \quad (21)$$

Чтобы получить Парето-решения для всей совокупности направлений программы развития ($j = \overline{1, m}$), необходимо выполнить последовательно $(m-1)$ компози-

цию Парето-решений (18) и (19) с удалением на каждом шаге композиции из множества формируемых решений тех, которые доминируются другими полученными решениями, а также тех, которые не удовлетворяют ограничению на суммарные инвестиции, соответствующие этапу композиции:

$$\sum_{\{j\}} c_j \left(x_j^{k_j}(x_{mq}) \right) \leq c^*; \quad (22)$$

здесь совокупность $\{j\}$ направлений для первого этапа композиции описывается множеством $\{1, 2\}$, второго – множеством $\{1, 2, 3\}$, последнего $(m-1)$ этапа – множеством $\{1, 2, 3, \dots, m\}$.

Результатом итоговой $(m-1)$ композиции будет множество Парето-решений для совокупности проектов всех направлений программы развития. Опишем это множество следующим образом:

$$\left\{ \left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^d, \alpha \left(\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^d \right), c \left(\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^d \right), c_r \left(\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^d \right), \Delta b \left(\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^d \right) \middle| d = \overline{1, D_{12\dots m}^P} \right\}. \quad (23)$$

Оптимальное решение $\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^{d_{opt}}$ на множестве (23) определяется правилом:

$$\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^{d_{opt}} = \arg \max_{d=\overline{1, D_{12\dots m}^P}} \alpha \left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^d. \quad (24)$$

Решение $\left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^{d_{opt}}$ зависит от значений $c_j^*, j = \overline{1, m}$, задаваемых соотношением (9), то есть:

$$\alpha \left\{ \left(x_{12\dots m}^{k_1\dots k_m}(x_{mq}) \right)^{d_{opt}}, \left(c_j^* \middle| \sum_{j=1}^m c_j^* = c^* - \sum_{i=q+1}^{n_m} c_{mi} x_{mi} \right) \right\}. \quad (25)$$

Чтобы найти максимум критерия (25) от значений $c_j^*, j = \overline{1, (m-1)}$, правые части ограничений (11) и (15) определим в соответствии с правилами:

$$c_j^* = \sum_{i=1}^{n_j} c_{ji}(x_{mq}), j = \overline{1, (m-1)}; \quad (26)$$

$$c_m^* = \sum_{i=1}^q c_{mi}. \quad (27)$$

Ограничения (26) и (27) делают допустимыми все решения для каждого направления программы развития и тем самым увеличивают вычислительную сложность описываемых процедур, что гарантирует нахождение максимума критерия (25). Заметим, что ограниче-

ние (22) на этапах композиции исключает из рассмотрения решения, недопустимые по суммарным затратам на реализацию проектов. Решение, доставляющее максимум критерию (25), обозначим

$$\left(x_{12...m}^{k_1...k_m}(x_{mq})\right)_{\max(c_j^*|j=\overline{1,m})}^{d_{opt}}. \quad (28)$$

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

РАЗВИТИЯ

Решение (28) задачи (5) – (8) определяет оптимальную программу развития при условии выбора решения x_{mq} для многоцелевых проектов. Решение, доставляющее безусловный оптимум для программы развития, определится из соотношения:

$$\begin{aligned} & (x_1, x_2, \dots, x_{(m-1)}, x_m)^{opt} = \\ & = \arg \max_{x_{mq} \in X_{mq}} \alpha \left(\left(x_{12...m}^{k_1...k_m}(x_{mq})\right)_{\max(c_j^*|j=\overline{1,m})}^{d_{opt}} \right). \end{aligned} \quad (29)$$

Пример. Пусть программа развития включает три направления с количеством проектов 5, 9 и 8. Исходные данные для проектов этих направлений приведены ниже:

– исходные данные проектов первого направления программы развития

Эффект	5	2	7	3	4
Инвестиции	210	102	532	141	190

– исходные данные проектов второго направления программы развития

Эффект	6	4	9	7	2	5	7	8	3
Инвестиции	987	659	1103	901	312	801	1003	1059	387

– исходные данные проектов третьего направления программы развития

Эффект	3	8	4	2	6	5	9	5
Инвестиции	65	312	192	61	119	93	423	1600

Общая потребность в инвестициях на реализацию всех инициированных проектов составляет 11 252 единицы, заданный объем инвестиций z^* равен 8900 единицам. В третьем направлении ($m = 3$) влияние последнего (восьмого) многоцелевого проекта на показатели проектов одноцелевых направлений описывается следующим образом:

– первого направления

Увеличение эффектов проектов	0	3	0	0	3
Снижение объема инвестиций в проекты	0	0	9	0	0

– второго направления

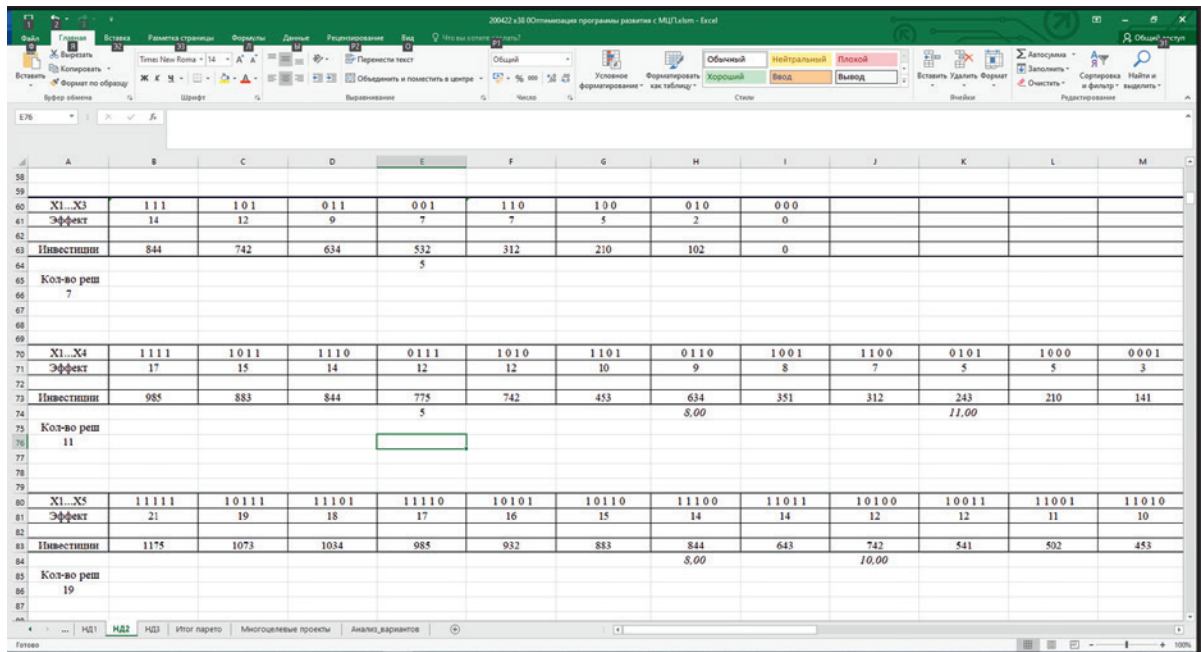
Увеличение эффектов проектов	2	0	0	1	3	0	0	0	4
Снижение объема инвестиций в проекты	0	0	11	87	15	0	12	0	0

– третьего направления

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
X1...X6	111111	111011	011111	110111	111110	110011	111010	010111	011110	101111	110110	010011	
Эффект	28	26	25	24	23	22	21	21	20	20	19	19	
Инвестиции	842	781	777	650	749	589	688	585	684	530	557	524	
Кол-во реш	22				6		8,00		10,00		12,00		
X1...X7	1111111	1110111	0111111	1101111	1100111	0101111	1011111	0100111	1111110	1010111	0011111	1110110	
Эффект	37	35	34	33	31	30	29	28	28	27	26	26	
Инвестиции	1265	1204	1200	1073	1012	1008	953	947	842	892	888	781	
Кол-во реш	29							9,00		11,00	12,00		
X1...X8	11111110	11101110	01111110	11011110	11001110	01011110	10111110	1111110	11101100	10011110	11011100	11001100	
Эффект	37	35	34	33	31	30	29	28	26	25	24	22	
Инвестиции	1265	1204	1200	1073	1012	1008	953	842	781	761	650	589	
Итого кол-во реш	29												

Рис. 1. Парето-решения для направления с многоцелевым проектом при $x_{38} = 0$

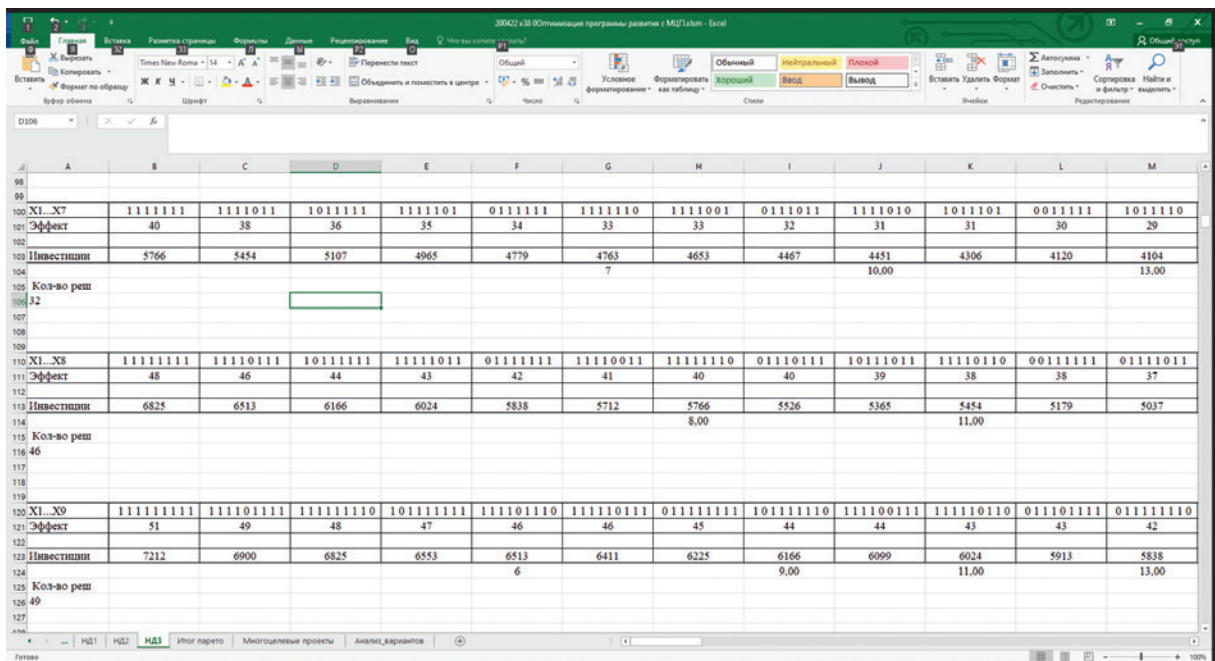
Fig. 1. Pareto solutions for the direction with a multi-purpose project at $x_{38} = 0$

Рис. 2. Парето-решения для первого направления программы при $x_{38} = 0$ Fig. 2. Pareto solutions for the first program direction at $x_{38} = 0$

Увеличение эффектов проектов 1 0 2 0 0 3 0
 Снижение объема инвестиций в проекты 6 0 8 0 0 0 9

Число вариантов вхождения единственного многоцелевого проекта равно двум. Для первого варианта (многоцелевой проект не входит в программу разви-

тия – $x_{38} = 0$) программным комплексом решения задачи сформировано 29 Парето-решений для направления с многоцелевым проектом (рис. 1). Для первого направления программы сформировано 19 решений (рис. 2). Для второго направления программы развития сформировано 49 Парето-решений (рис. 3). В результате последовательной композиции решений для всех трех

Рис. 3. Парето-решения для второго направления программы при $x_{38} = 0$ Fig. 3. Pareto solutions for the second program direction at $x_{38} = 0$

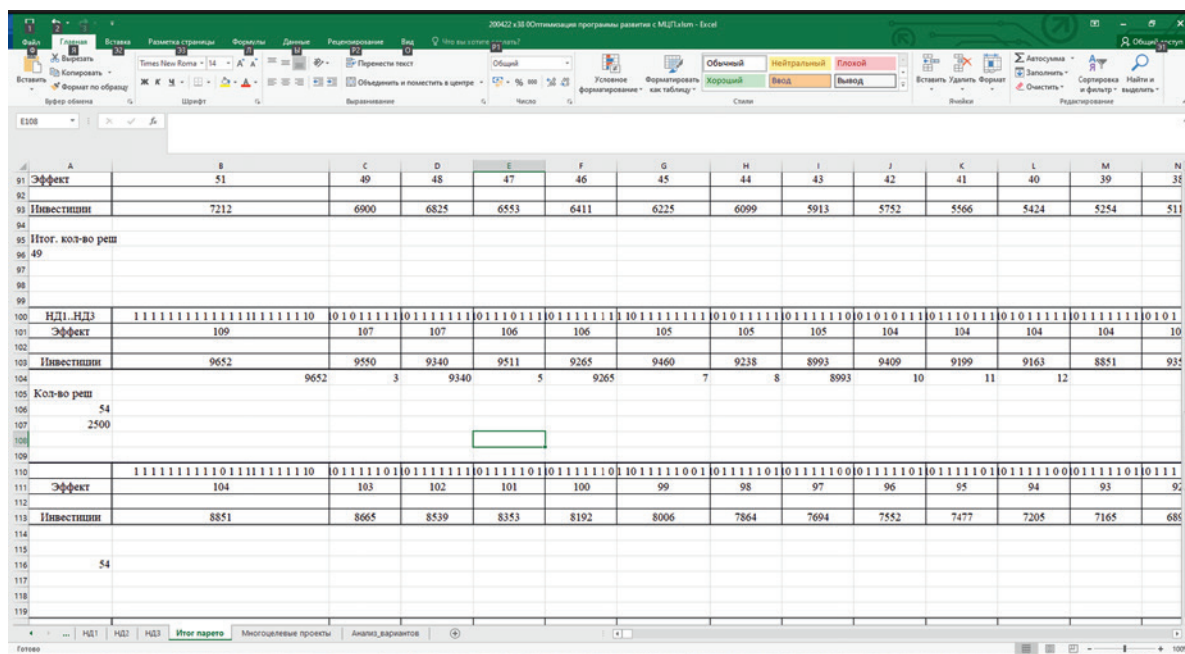


Рис. 4. Результат композиции решений для всех трех направлений программы

Fig. 4. Result of the composition of solutions for all three program directions

направлений сформировано 54 итоговых Парето-решений (рис. 4).

Лучшим оказалось решение

$$(x_1, x_2, x_3)^{opt} = ((11111)(111110111)(11111110))$$

с эффектом в 104 единицы и инвестициями в 8851 единицу.

Аналогично, для второго варианта (многоцелевой проект входит в программу развития – $x_{38} = 1$) программным комплексом сформировано 17 Парето-решений для направления с многоцелевым проектом, для первого направления – 11 решений, для второго – 39. В результате последовательной композиции решений для отдельных направлений программа сформировала 57 итоговых Парето-решений. Лучшим среди них оказалось решение

$$(x_1, x_2, x_3)^{opt} = ((11111)(101110011)(11111111))$$

с эффектом в 120 единиц и инвестициями в 8635 единиц. Это решение, в соответствии с уравнением (29),

обеспечивает достижение безусловного оптимума решаемой задачи.

Выводы

Рассмотренная задача формирования программы развития охватывает обширный класс практически востребованных задач. Такая общность обусловлена следующими учитываемыми особенностями:

- каждый проект программы может описываться двумя, тремя или четырьмя показателями;
- среди направлений программы развития может присутствовать (или отсутствовать) направление с однокритериальными и многокритериальными проектами.

Область применения задачи можно расширить, если ввести в ее постановку общие для программы развития ограничения на объем инвестиций в рискованные проекты и/или на изменение операционного бюджета.

Ввиду сложности предложенной процедуры решения рассмотренной задачи для ее реализации разрабатывается и совершенствуется комплекс специализированных программных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

1. Wacker K.M. Restructuring the SOE sector in Vietnam // *Journal of Southeast Asian Economies*. 2017. Vol. 34. No. 2. P. 283–301. <https://doi.org/10.1355/ae34-2c>
2. Kernebaev A.S. Strategic management of the subjects of quasi-public sector: Evidence from Kazakhstan // *International Journal of Economic Perspectives*. 2017. Vol. 11. No. 2. P. 5–8.
3. Jiang Y., You Q., Chen X., Jia X., Xu K., Chen Q., Chen S., Hu B., Shi Z. Preliminary risk assessment of regional industrial enterprise

1. Wacker K.M. Restructuring the SOE sector in Vietnam. *Journal of Southeast Asian Economies*. 2017, vol. 34, no. 2, pp. 283–301. <https://doi.org/10.1355/ae34-2c>
2. Kernebaev A.S. Strategic management of the subjects of quasi-public sector: Evidence from Kazakhstan. *International Journal of Economic Perspectives*. 2017, vol. 11, no. 2, pp. 5–8.
3. Jiang Y., You Q., Chen X., Jia X., Xu K., Chen Q., Chen S., Hu B., Shi Z. Preliminary risk assessment of regional industrial enterprise

- sites based on big data // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 838. Part 4. Article 156609.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156609>
4. Zhang C., Zhang X. Evolutionary game analysis of air pollution co-investment in emission reductions by steel enterprises under carbon quota trading mechanism // *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 317. Article 115376.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115376>
 5. Реформирование и реструктуризация предприятий. Методика и опыт / В.Н. Тренев, В.А. Ириков, С.В. Ильдеменов, С.В. Леонтьев, В.Г. Балашов. Москва: Изд-во ПРИОР, 2001. 320 с.
 6. Castiglione C., Fiore E. Sustainable production networks: A design methodology based on the cooperation among stakeholders // *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 362. Article 132308.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132308>
 7. Wang H., Yuan W., Yuan G. The mechanism for SMEs growth by applying stochastic dynamical approach // *Finance Research Letters*. 2022. Vol. 48. Article 102850.
<https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102850>
 8. Li F., Xu G. AI-driven customer relationship management for sustainable enterprise performance // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. Vol. 52. Part B. Article 102103.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102103>
 9. Lelyk L., Olikhovskiy V., Mahas N., Olikhovska M. An integrated analysis of enterprise economy security // *Decision Science Letters*. 2022. Vol. 11. No. 3. P. 299–310.
<https://doi.org/10.5267/j.dsl.2022.2.003>
 10. Jin X., Hu H. Research and implementation of smart energy investment and financing system design based on energy mega data mining // *Energy Reports*. 2022. Vol. 8. Suppl. 4. P. 1226–1235.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.044>
 11. Nasini S., Labbé M., Brotcorne L. Multi-market portfolio optimization with conditional value at risk // *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 300. No. 1. P. 350–365.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.10.010>
 12. Araujo C.L., Picavet M.E.B., Sartoretto C.A.P.S., Dalla Riva E., Hollaender P.S. Ecocentric management mindset: a framework for corporate sustainability // *Critical Perspectives on International Business*. 2022. Vol. 18. No. 4. P. 518–545.
<https://doi.org/10.1108/cpoib-07-2020-0095>
 13. Бурков В.Н., Щепкин А.В., Амелина К.Е., Даулбаева З.М., Рязанцев С.А. Комплексный механизм управления развитием организации // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2019. Т. 19. № 3. С. 79–93.
 14. Ириков В.А., Новиков Д.А., Тренев В.Н. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста. Москва: ИПУ РАН, 2009. 228 с.
 15. Матвеев А.А., Новиков Д.А., Цветков А.В. Модели и методы управления портфелями проектов. Москва: ПМСОФТ, 2005. 206 с.
 16. Буркова И.В. Метод сетевого программирования в задачах нелинейной оптимизации // *Автоматика и телемеханика*. 2009. № 10. С. 15–21.
 17. Бурков В.Н., Уандыкова М.К., Елеукулова А.Д. Многоцелевые проекты в задаче формирования программы развития нефтегазовой отрасли // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2017. Т. 17. № 4. С. 113–121.
 18. Каиркенов Х.К., Зимин А.В., Буркова И.В., Зимин В.В. О механизме формирования программ развития, содержащей многоцелевые проекты // *Системы управления и информационные технологии*. 2022. № 1 (87). С. 73–76.
 19. Каиркенов Х.К., Байдалин А.Д., Загидулин И.Р., Лейман А.Ф., Зимин В.В. О повышении вычислительной эффективности процедуры формирования программы развития, содержащей
 - sites based on big data. *Science of The Total Environment*. 2022. vol. 838, part 4, article 156609.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156609>
 4. Zhang C., Zhang X. Evolutionary game analysis of air pollution co-investment in emission reductions by steel enterprises under carbon quota trading mechanism. *Journal of Environmental Management*. 2022, vol. 317, article 115376.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115376>
 5. Trenev V.N., Irikov V.A., Il'demenov S.V., Leont'ev S.V., Balashov V.G. *Reforming and Restructuring of Enterprises. Methodology and Experience*. Moscow: Izd-vo PRIOR, 2001, 320 p. (In Russ.).
 6. Castiglione C., Fiore E. Sustainable production networks: A design methodology based on the cooperation among stakeholders. *Journal of Cleaner Production*. 2022, vol. 362, article 132308.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132308>
 7. Wang H., Yuan W., Yuan G. The mechanism for SMEs growth by applying stochastic dynamical approach. *Finance Research Letters*. 2022, no. 48, article 102850.
<https://doi.org/10.1016/j.frl.2022.102850>
 8. Li F., Xu G. AI-driven customer relationship management for sustainable enterprise performance. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022, vol. 52, part B, article 102103.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102103>
 9. Lelyk L., Olikhovskiy V., Mahas N., Olikhovska M. An integrated analysis of enterprise economy security. *Decision Science Letters*. 2022, vol. 11, no. 3, pp. 299–310.
<https://doi.org/10.5267/j.dsl.2022.2.003>
 10. Jin X., Hu H. Research and implementation of smart energy investment and financing system design based on energy mega data mining. *Energy Reports*. 2022, vol. 8, suppl. 4, pp. 1226–1235.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.044>
 11. Nasini S., Labbé M., Brotcorne L. Multi-market portfolio optimization with conditional value at risk. *European Journal of Operational Research*. 2022, vol. 300, no. 1, pp. 350–365.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.10.010>
 12. Araujo C.L., Picavet M.E.B., Sartoretto C.A.P.S., Dalla Riva E., Hollaender P.S. Ecocentric management mindset: a framework for corporate sustainability. *Critical Perspectives on International Business*. 2022, vol. 18, no. 4, pp. 518–545.
<https://doi.org/10.1108/cpoib-07-2020-0095>
 13. Burkov V.N., Shchepkin A.V., Amelina K.E., Daulbaeva Z.M., Ryzantsev S.A. A complex mechanism for managing the organization development. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*. 2019, vol. 19, no. 3, pp. 79–93. (In Russ.).
 14. Irikov V.A., Novikov D.A., Trenev V.N. *An Integral System of Public-Private Management of Innovative Development as a Means of Doubling the Pace of Russia's Recovery from Crisis and Post-Crisis Growth*. Moscow: Institute of Control Sciences RAS, 2009, 228 p. (In Russ.).
 15. Matveev A.A., Novikov D.A., Tsvetkov A.V. *Models and Methods of Project Portfolio Management*. Moscow: PMSOFT, 2005, 206 p. (In Russ.).
 16. Burkova I.V. A method of network programming in nonlinear optimization problems. *Avtomatika i telemekhanika*. 2009, no. 10, pp. 15–21. (In Russ.).
 17. Burkov V.N., Uandykova M.K., Eleukulova A.D. Multipurpose projects in the task of forming a program for development of oil and gas industry. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika*. 2017, vol. 17, no. 4, pp. 113–121. (In Russ.).
 18. Kairkenov Kh.K., Zimin A.V., Burkova I.V., Zimin V.V. On the mechanism of formation of development programs with multi-purpose projects. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*. 2022, no. 1 (87), pp. 73–76. (In Russ.).
 19. Kairkenov Kh.K., Baidalin A.D., Zagidulin I.R., Leiman A.F., Zimin V.V. On improving computational efficiency of forming a development program with multi-purpose projects. In: *Automation Sys-*

многоцелевые проекты. В кн.: Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве). AS`2021. Труды XIII Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), 2–3 декабря 2021 г. Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2021. С. 309–315.

20. Бурков В.Н., Корепанов В.О., Кашенков А.Р. Метод таблиц допустимых решений в задаче о ранце // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2018. Т. 18. № 2. С. 38–53.

tems (in Education, Science and Production). AS`2021. Proceedings of the XIII All-Russ. Sci. and Pract. Conf. (with int. participation), December 2-3, 2021. Novokuznetsk: SibSIU, 2021, pp. 309–315. (In Russ.).

20. Burkov V.N., Korepanov V.O., Kashenkov A.R. Method of tables of permissible solutions in the knapsack problem. Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tekhnologii, upravlenie, radioelektronika. 2018, vol. 18, no. 2, pp. 38–53. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Алексей Валерьевич Зимин, д.т.н., заведующий кафедрой автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: iva70221@rambler.ru

Aleksei V. Zimin, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Chair "Automation and Information Systems", Siberian State Industrial University
E-mail: iva70221@rambler.ru

Ирина Владимировна Буркова, д.т.н., ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
E-mail: irbur27@mail.ru

Irina V. Burkova, Dr. Sci. (Eng.), Leading Researcher, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences
E-mail: irbur27@mail.ru

Валерий Викторович Зимин, д.т.н., профессор кафедры автоматизации и информационных систем, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: zimin.1945@mail.ru

Valerii V. Zimin, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair "Automation and Information Systems", Siberian State Industrial University
E-mail: zimin.1945@mail.ru

ВКЛАД АВТОРОВ

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

А. В. Зимин – идея статьи, содержательная и формальная постановка задачи, ее декомпозиция, анализ результатов исследований, подготовка текста.

И. В. Буркова – выбор методов решения подзадач, конкретизация алгоритмов.

В. В. Зимин – научное руководство, анализ результатов исследований, редактирование и корректировка финальной версии статьи.

A. V. Zimin – formation of the article main idea, meaningful and formal formulation of the problem, its decomposition, analysis of the research results, writing the text.

I. V. Burkova – selection of the methods for solving subtasks, specification of the algorithms.

V. V. Zimin – scientific guidance, analysis of the research results, editing the article final version.

Поступила в редакцию 04.08.2022

После доработки 22.08.2022

Принята к публикации 05.09.2022

Received 04.08.2022

Revised 22.08.2022

Accepted 05.09.2022