

УДК 004.891 + 65.012.123

DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-94-107

Модель многокритериальной оптимизации в управлении инвестиционными проектами в составе территории опережающего развития

О. М. Шаталова, доктор экономических наук, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

С. А. Лихопуд, аспирант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Актуальность представленного в статье исследования обусловлена востребованностью обоснованных методов поддержки принятия решений в управлении территориями с преференциальными режимами для действенной реализации соответствующих, законодательно предусмотренных механизмов социально-экономического развития регионов. Цель исследования состояла в разработке метода решения задачи выбора оптимального проекта, реализуемого в составе так называемой территории опережающего развития (ТОР), – с позиций обеспечения компромисса между критериями коммерческой эффективности инвестиций и нормативно заданными критериями эффективности ТОР – на конечном дискретном множестве альтернатив. В исследовании использованы общие методы многокритериальной оптимизации (МКО); при этом для снижения размерности модели МКО применены метод капитализации, обеспечивающий корректное воспроизведение DCF-техники, а также универсальные методы технико-экономического анализа для установления детерминированных функциональных отношений между основными технико-экономическими параметрами инвестиционных проектов; для свертки частных критериев оптимального управления задействован адаптированный алгоритм нечеткого логического вывода с использованием функций принадлежности «интуитивного» типа – сигмоидальной и гауссовой. Разработанная модель МКО представляет частные критерии эффективности проектов со стороны инвестора/инициатора и со стороны регулятора ТОР, позволяет составить индикативную экономическую оценку допустимых альтернатив при формировании стратегии управления ТОР, а также провести их системный анализ, в том числе выбор оптимальной стратегии при заданных правилах рационального поведения. Представленные в статье результаты экспериментальной апробации разработанной модели МКО показали ее практическую применимость и возможность сформировать на ее основе значимые выводы об условиях оптимального управления проектами в режиме ТОР.

Ключевые слова: оптимальное управление, математическое моделирование, многокритериальная оптимизация, инвестиционные проекты, эффективность, снижение размерности, обобщенный критерий, нечеткий логический вывод.

Введение

Территории опережающего развития (ТОР) представляют собой законодательно закреплённую институциональную форму государственного стимулирования деловой активности в определённых географических районах; для такого стимулирования нормативно заданы меры налоговых преференций и инфраструктурной поддержки¹. Эффективность режима ТОР в значительной мере определяется действенностью методов и инструментов поддержки принятия решений по вопросам участия предприятий-резидентов. Основной нормативно-правовой документ, регламентирующий оценку эффективности ТОР², фиксирует состав параметров и показателей эффективности как соотношение основных эффектов ТОР с величиной бюджетных расходов; вместе с тем в ряде публикаций отмечается недостаточность установленных методов для принятия решений о включении

предприятий в состав резидентов ТОР [1, 2 и др.].

В обеспечение нормативно заданных критериев эффективности ТОР в стратегическом управлении такой административно-территориальной единицей востребованы специальные методические и инструментальные средства поддержки принятия решений (со стороны управляющей компании ТОР) о выборе проектов, реализуемых в составе ТОР. Условия выбора в этом случае должны включать как нормативно заданные критерии и ограничения, так и критерии коммерческой эффективности проектов, определяющие экономические стимулы к предпринимательской деятельности.

Для обоснования выбора из множества конкурирующих альтернатив по нескольким критериям, которые могут быть не согласованы между собой и находиться в некотором противоречии, применимы сложившиеся методы много-

критериальной оптимизации (МКО). Методы МКО широко используются и в исследованиях инвестиционных проектов.

Проведенный нами научный обзор позволил выявить современные подходы и методы, актуальные для данной предметной области.

В работах [3, 4] предложена многокритериальная модель для поддержки принятия решений о выборе эффективного инвестиционного проекта по predetermined критериям: на первом этапе выводится вектор весов критериев с использованием нечеткой матрицы парных сравнений на основе метода анализа иерархий (Analytic hierarchy process - АНР) [5], модифицированного с использованием элементов нечеткой логики; на втором этапе производится ранжирование альтернатив с использованием метода МАВАС (сравнения многокритериальных разграниченных областей – Multi Attributive Border Approximation Area Comparison), также дополненного элементами нечеткой логики.

Аналогичный подход к многокритериальному анализу проектов – с использованием комбинации методов АНР и МАВАС – показан в статье [6]; приложение этих методов к решению задачи многокритериального анализа проектов проводилось по девяти частным критериям, состав которых предложен авторами и включает, наряду с общими инвестиционными показателями, ряд дополнительных: срок иммобилизации инвестиционных активов, «трудоемкость инвестиций», доля импорта в объеме инвестиций и др.

В статье [7] представлена модель многокритериальной оценки инвестиционных проектов, построенная на основе совокупности инвестиционных показателей, – NPV, IRR, PDP, ROR, ARR, CCF, MIRR, представляющих частные критерии эффективности; для выявления весовых коэффициентов критериев использован метод CRITIC; ранжирование альтернатив проведено с использованием методов VIKOR, TOPSIS, SAW.

В работе [8] показан метод многокритериальной оценки отраслевых инвестиций с позиций устойчивого развития (Sustainable Development – SD); в качестве критериев оценки принимаются сложившиеся показатели SD, для определения значимости критериев использован метод АНР, включающий элементы нечеткой логики, ранжирование – на основе VIKOR.

Методы многокритериального анализа проектов, интегрированных в составе портфеля, рассматриваются в работах [9, 10, 11 и др.]; высшее значение в этих публикациях придается

вопросам исследования состава частных критериев, в том числе с позиций обеспечения устойчивости бизнеса (MaJ. et al., 2020), взаимодействия проектов в составе портфеля (WeiH. et al., 2020), потребительской стоимости результатов проекта (Voss M., 2012) и др. Состав применяемых методов включает: методы сетевого моделирования в исследовании взаимодействия проектов в составе портфеля, метод выбора на множестве Парето-оптимальных стратегий (WeiH. et al., 2020), метод модификации TOPSIS на основе нечеткой логики. Аналогичная задача – оптимизация управления портфелем проектов – рассматривается в работе [12]; авторами использована комбинация MCDM-методов: АНР и TOPSIS с элементами нечеткой логики.

Таким образом, обзор научных публикаций показывает высокую исследовательскую активность по вопросам приложения математических методов многокритериальной оптимизации к задачам управления инвестиционными проектами. Состав критериев принимается на основании сложившейся методологии инвестиционного анализа, а также исходя из авторских решений в соответствии с предметной областью исследования. Актуальными методами построения моделей МКО в управлении инвестиционными проектами являются: TOPSIS, МАВАС, АНР и др.; адаптация этих методов к специфике управления инвестиционными проектами реализуется с использованием методического аппарата нечеткой логики. Вместе с тем нужно отметить некоторый пробел в сложившемся научном знании по применимости методов МКО для оценки эффективности и обоснования выбора инвестиционных проектов в контексте стратегического управления ТОР. Поскольку режим ТОР имеет специфический характер, определяемый российскими нормативно-правовыми условиями, очевидно, что соответствующие разработки должны быть сделаны в рамках отечественной науки. Проведенный нами обзор научных публикаций в этой сфере показал, что предметом исследований в основном выступают методы *макрэкономической* эффективности ТОР [13, 14 и др.], а также *общие* положения и методологические подходы к организации *комплексных* инвестиционных проектов на территориях с преференциальными режимами [15, 16 и др.].

Актуальность разработки адаптированной модели МКО в управлении инвестиционными проектами в составе ТОР обусловлена, в первую очередь, специфическими условиями такого управления – необходимостью обеспечения

компромисса между нормативно заданными критериями эффективности самой ТОР и критериями коммерческой эффективности инвестиционных проектов, реализуемых в режиме ТОР. Значимость разрабатываемой модели видится также в связи с тем, что она может составить методическое основание для создания информационно-аналитической системы управления ТОР.

Цель исследования состояла в создании метода решения задачи выбора оптимального проекта, реализуемого в составе ТОР, – с позиций обеспечения компромисса между критериями коммерческой эффективности инвестиций и нормативно заданными критериями эффективности ТОР – на конечном дискретном множестве альтернатив. Поставленная цель раскрывается следующими задачами: идентификация условий, которые могут быть приняты в качестве целевых функций и ограничений в модели МКО; разработка решений для снижения размерности параметров и целевых функций модели МКО; разработка адаптированного обобщенного критерия в модели МКО; экспериментальная апробация модели МКО.

Используемые подходы и методы

В исследовании были задействованы общие методы многокритериальной оптимизации. Для реализации методов МКО задача системного исследования оптимального управления проектами в режиме ТОР представлена в форме математической модели, которая включает в качестве частных критериев:

1) *нормативно заданные критерии*:

а) отношение инвестиций в соответствии с соглашениями к предусмотренным совокупным расходам бюджетов (BA_{II}^T): $k_I = I_C / BA_{II}^T$, где I_C – объем частных инвестиций, предусматривается соглашениями с резидентами ТОР; $BA_{II}^T = BA_{инфр}^T - TB_C + TP_C$, где TP_C (TB_C) – объем налоговых и таможенных платежей (льгот), $BA_{инфр}^T$ – государственные бюджетные ассигнования на создание инфраструктуры ТОР;

б) отношение количества создаваемых рабочих мест (L_C) к предусмотренным расходам, бюджетным расходам: $k_L = L_C / BA_{II}^F$;

в) отношение созданной добавленной стоимости Y_C и фактических совокупных расходов бюджетов: $k_Y = Y_C / BA_{II}^T$; объем добавленной стоимости;

2) *дополнительно* в состав частных критериев МКО был включен *критерий бюджетной эффективности*: $k_{БЭ} = TP_C / BA_{инфр}^T$, представляющий соотношение налоговых поступлений к бюджетным расходам на инфраструктуру ТОР;

3) для отражения в составе модели МКО экономических стимулов к инвестиционной деятельности приняты *критерии коммерческой эффективности проектов*:

а) функция чистой приведенной стоимости

$$(NPV): NPV = \frac{\sum_{t=0}^T CF_t}{(1+R)^t}, t=0...T, \text{ где } CF_t -$$

элемент денежного потока в период t , R – ставка дисконтирования, T – прогнозируемая продолжительность проекта;

б) функция рентабельности инвестиций (PI):

$$PI = \frac{NPV}{\sum_{t=0}^T I_t / (1+i)^t}.$$

В качестве ограничений в модели МКО были приняты:

во-первых, нормативные условия: а) «отношение фактических рабочих мест $<...>$ к фактическим расходам бюджета» – не менее 0,2 рабочих места на один миллион рублей: $L_C / BA_{II}^F \geq 0,2$; б) «отношение фактических частных инвестиций $<...>$ к фактическим совокупным расходам бюджетов» – не менее 1: $I_C / BA_{II}^T \geq 1$;

во-вторых, инвестиционные ограничения, существенные в управлении проектами в режиме ТОР: $I_C \leq I_\Phi \leq C_{ИФО}$, где $C_{ИФО}$ – параметр, определяющий инвестиционно-финансовые возможности предприятия, значение которого может быть задано общими методами корпоративного финансового анализа.

Представленные условия позволяют составить содержание модели МКО в управлении инвестиционными проектами в составе ТОР:

$$NPV \rightarrow \max;$$

$$PI \rightarrow \max;$$

$$k_I = f(I_C, BA_{инфр}^T, TP_{fk}, TB_{fk}) \rightarrow \max;$$

$$k_L = f(L_C, BA_{инфр}^T, TP_{fk}, TB_{fk}) \rightarrow \max;$$

$$k_Y = f(Y_C, BA_{инфр}^T, TP_{fk}, TB_{fk}) \rightarrow \max;$$

$$k_{БЭ} = f(BA_{инфр}^T, TP_{fk}) \rightarrow \max;$$

(1)

$$I_C / BA_{II}^T \geq 1;$$

$$L_C / BA_{II}^F \geq 0,2;$$

$$I_C \leq I_\Phi \leq C_{ИФО}.$$

Модель (1) характеризуется очень высокой размерностью, а также мультиколлинеарностью входящих в нее параметров. Для того чтобы модель МКО могла служить практически значимым инструментом управления, необходимо решение задачи снижения размерности.

Решение задачи снижения размерности целевых функций модели МКО проводилось с помощью методов капитализации – для корректного агрегирования элементов денежного потока (в технике DCF), а также универсальных методов технико-экономического анализа, позволяющих установить детерминированные функциональные отношения между основными параметрами инвестиционных продуктовых проектов.

Снижение размерности NPV проводилось из некоторых допущений, приемлемых для ранних стадий жизненного цикла: а) функция NPV принимается без учета проектной схемы финансирования, т. е. включает только инвестиционный и операционный компоненты; б) сумма инвестиций в проект представлена агрегировано в привязке к нулевому шагу расчетного периода; в) дискретность и неизменность операционных доходов (Pr), что делает возможным представить операционный денежный поток как геометрическую прогрессию, и задача его агрегирования за период T сводится к оценке аннуитетного потока как суммы членов геометрической прогрессии:

$$\sum_t (CF_t^{op} / (1+R)^t) = P_r \cdot E_{PVA}(R, T),$$

где $E_{PVA}(R, t)$ – коэффициент текущей стоимости аннуитета – множитель, вводимый для компенсации неравнозначности элементов де-

нежного потока, распределенных по T : $E_{PVA}(R, T) = (1 - (1+R)^{-T}) / R$; г) функция Pr принимается для случая *продуктового* проекта и в общем виде может быть представлена формулой: $P_r = Q \cdot (p - (amc + alc)) - FC$, где Q – объем производства в натуральных единицах, p – цена единицы, amc – средние удельные материальные затраты, alc – средние удельные затраты на оплату труда, FC – постоянные затраты; д) параметр Q может быть выражен детерминированным функциональным отношением с суммой первоначальных инвестиций I_c через исходно задаваемые значения капиталоемкости k_{ke} , создаваемой по проекту производственной мощности PC , и коэффициента использования производственной мощности k_{PC} : $Q = PC \cdot k_{PC} = IC / k_{ke} \cdot k_{PC}$; е) параметры p , amc , alc , FC , k_{ke} , k_{PC} были приняты для функции NPV как входные, формируемые на нижних уровнях модели – в агрегатах, представляющих соответствующие подсистемы функционального управления проектом; ж) величина амортизационных отчислений задается линейным методом и состоит в зависимости от параметра I_c – пропорционально принятому коэффициенту капитализируемых затрат (в проводимом исследовании этот коэффициент был принят равным 1). Из введенных условий (а)–(ж) функция NPV может быть представлена следующей зависимостью:

$$NPV(I_c) = \left(\left(\frac{IC}{k_{ke}} \cdot k_{PC} \cdot (p - alc - amc) - FC \right) + IC \cdot \bar{H}_a \right) \cdot E_{PVA}(R, T) - I_c.$$

Такое представление NPV способствует обеспечению обозримости исходных данных и расчетных параметров этой функции, повышает аналитические возможности в исследовании результатов оценки NPV, а также поддерживает концепцию оптимального управления – в форме задачи математического программирования для выбора оптимальной стратегии из множества альтернатив. Аналогичным образом было выполнено снижение размерности для определения следующих параметров проекта:

а) число создаваемых рабочих мест L_c :

$$L_c(I_c) = Q / Fr.вр. \cdot Nвр. = \left(\left(\frac{IC}{k_{ke}} \cdot k_{PC} \right) / Fr.вр. \right) \cdot Nвр.,$$

где $Fr.вр.$ – фонд рабочего времени; $Nвр$ – норма времени на производство единицы продукции (в средней оценке);

б) объем производимой добавленной стоимости Y_c :

$$Y_c(I_c) = \left(\left(\frac{IC}{k_{ke}} \cdot k_{PC} \right) \cdot (p - amc) - FC + IC \cdot H_a \right) \cdot E_{PVA}(R, T).$$

Для снижения размерности TP_{fk} , TB_{fk} следует исходить из норм фискального регулирования – по общей системе налогообложения (ОСН) и в режиме TOP (табл. 1).

Таблица 1. Параметры налогообложения ТОР

Table 1. TAD tax parameters

Вид налогообложения	Усл. обозначение	Общая характеристика налоговых преференций
Налог на прибыль организаций	f_{Pr}	0 % в течение первых пяти лет с момента получения первой прибыли; 12 % в течение следующих 5 лет
НДФЛ	f_W	Льготный режим не предусмотрен (ставка НДФЛ – 13 %)
Страховые взносы	f_{IC}	7,6 % в течение 10 лет
Налог на имущество организаций	f_{CP}	От 0 % в течение первых 5 лет; 0,5 % в течение следующих пяти лет
Налог на добавленную стоимость	f_Y	Освобождение в течение 10 лет со дня получения статуса резидента ТОР

Источник: составлено авторами; основание – установленные для резидентов ТОР нормы налогообложения.³

Значения базы налогообложения по налогам f_{Pr} , f_W , f_{IC} , f_{CP} , f_Y могут быть определены через линейные зависимости от I_c ; соответственно, годовую величину TP_{f_k} по этим видам налогов можно представить следующими формулами:

$$TP_{f_{Pr}}(I_c) = \left[\left(\frac{I_c}{k_{Ke}} \cdot k_{PC} \cdot (p - alc - amc) - FC \right) \right] \cdot TR_{f_{Pr}};$$

а) по налогу на прибыль

$$TP_{f_{Pr}}(Pr, R, T) = \begin{cases} Pr \cdot 0,12 \cdot E_{PVA}(R, 5) \cdot E_{PV}(R, 5) + Pr \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, T - 10) \cdot E_{PV}(R, 10), & T > 10 \\ Pr \cdot 0,12 \cdot E_{PVA}(R, T - 5) \cdot E_{PV}(R, 5), & 10 \geq T > 5, \\ 0, & T \leq 5; \end{cases}$$

$$TB_{f_{Pr}}(Pr, R, T) = \begin{cases} Pr \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, 5) + Pr \cdot (0,2 - 0,12) \cdot E_{PVA}(R, 5) \cdot E_{PV}(R, 5), & T > 10, \\ Pr \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, 5) + Pr \cdot (0,2 - 0,12) \cdot E_{PVA}(R, T - 5) \cdot E_{PV}(R, 5), & 10 \geq T > 5, \\ Pr \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, T), & T \leq 5; \end{cases}$$

б) по налогу на имущество⁴:

$$TP_{f_{CP}}(I_c, R, T) = \begin{cases} I_c \cdot 0,005 \cdot E_{PVA}(R, 5) \cdot E_{PV}(R, 5) + I_c \cdot 0,022 \cdot E_{PVA}(R, T - 10) \cdot E_{PV}(R, 10), & T > 10, \\ I_c \cdot 0,005 \cdot E_{PVA}(R, T - 5) \cdot E_{PV}(R, 5), & 10 \geq T > 5, \\ 0, & T \leq 5; \end{cases}$$

$$TB_{f_{CP}}(I_c, R, T) = \begin{cases} I_c \cdot 0,022 \cdot E_{PVA}(R, 5) + I_c \cdot (0,022 - 0,005) \cdot E_{PVA}(R, 5) \cdot E_{PV}(R, 5), & T > 10, \\ I_c \cdot 0,022 \cdot E_{PVA}(R, 5) + I_c \cdot (0,022 - 0,005) \cdot E_{PVA}(R, T - 5) \cdot E_{PV}(R, 5), & 10 \geq T > 5, \\ I_c \cdot 0,022 \cdot E_{PVA}(R, T), & T \leq 5; \end{cases}$$

в) по налогу на добавленную стоимость:

$$TP_{f_W}(I_c) = \left[\frac{I_c}{k_{Ke}} \cdot k_{PC} \cdot alc \right] \cdot TR_{f_W};$$

$$TP_{f_{IC}}(I_c) = \left[\frac{I_c}{k_{Ke}} \cdot k_{PC} \cdot alc \right] \cdot TR_{f_{IC}};$$

$$TP_{f_{CP}}(I_c) = I_c \cdot TR_{f_{CP}};$$

$$TP_{f_Y}(I_c) = \left[\frac{I_c}{k_{Ke}} \cdot k_{PC} \cdot (p - amc) - FC \right] \cdot TR_{f_Y},$$

где TR_{f_k} – ставка налогообложения (tax rate) по k -му налогу; $k = 1 \dots 5$.

Величины TB_{f_k} выражаются аналогичными зависимостями.

Вследствие неоднородности во времени ставок налогообложения (табл. 1) для получения суммарных за весь период значений налоговых выплат и налоговых преференций необходимо обеспечить корректное агрегирование годовых величин TP_{f_k} и TB_{f_k} с учетом положений о временной неравнозначности денежного потока (DCF-техники). Для агрегирования были использованы множители – коэффициент текущей стоимости аннуитета $E_{PVA}(R, T)$ и коэффициент текущей стоимости реверсии (дисконтирования) $E_{PV}(R, T)$: $E_{PV}(R, T) = (1 + R)^{(-T)}$, с соответствующим заданием значения T (согласно табл. 1).

Алгоритм агрегирования TR_{f_k} и TB_{f_k} за полный расчетный период инвестиционного проекта представлен следующими зависимостями:

³ Налоговый кодекс РФ, статьи 284, 284.4, 342.3, 176.1, 427, 372.

⁴ Расчет составлен с некоторыми «упрощениями»: 1) не содержит условия о среднегодовой остаточной стоимости, 2) принята предельная (максимальная) ставка налогообложения, согласно ст. 380 НК РФ.

$$TP_{f_Y}(Y, R, T) = \begin{cases} Y \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, T - 10) \cdot E_{PV}(R, 10), & T > 10, \\ 0, & T \leq 10. \end{cases}$$

$$TB_{f_Y}(Y, R, T) = \begin{cases} Y \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, 10), & T > 10, \\ Y \cdot 0,2 \cdot E_{PVA}(R, T), & T \leq 10; \end{cases}$$

г) по страховым взносам с затрат на оплату труда:

$$TP_{f_{IC}}(IC, R, T) = \begin{cases} alc \cdot Q \cdot 0,076 \cdot E_{PVA}(R, 10) + alc \cdot Q \cdot 0,3 \cdot E_{PVA}(R, T - 10) \cdot E_{PV}(R, 10), & T > 10, \\ alc \cdot Q \cdot 0,076 \cdot E_{PVA}(R, T), & T \leq 10; \end{cases}$$

$$TB_{f_{IC}}(IC, R, T) = \begin{cases} alc \cdot Q \cdot (0,3 - 0,076) \cdot E_{PVA}(R, 10), & T > 10, \\ alc \cdot Q \cdot (0,3 - 0,076) \cdot E_{PVA}(R, T), & T \leq 10. \end{cases}$$

е) по налогу на доходы физических лиц⁵:

$$TP_{f_w} = Q \cdot alc \cdot 0,13 \cdot E_{PVA}(R, T).$$

Представленные решения по снижению размерности целевой функции NPV , а также параметров $TP_{f_k}, TB_{f_k}, L_c, Y_c$ обеспечивают следующие эффекты:

1) целевые функции модели МКО – NPV, k_I, k_Y, k_L – находятся в едином пространстве параметров и характеризуют *экономические условия* реализации проекта в режиме ТОР ($k_{PC}, k_{KE}, p, atc, alc, FC$ и др.), *актуальные нормы режима ТОР* ($TR_f, BA_{инфр}$), *инвестиционные условия* реализации проекта (R, T);

2) модель МКО позволяет: а) составить *индикативную* оценку показателей эффективности управления проектами в режиме ТОР (по всем альтернативным вариантам) на основе аналитических моделей, которые имеют невысокую размерность и реализуют базовые закономерности управления проектами; б) выявить альтернативы (на множестве всех возможных вариантов проектов), отвечающие условиям Парето-оптимальных; в) осуществить и обосновать выбор оптимального варианта (альтернативы), который отвечает заданным ограничениям и наилучшим образом соответствует принятым критериям с учетом отношения ЛПР к риску.

Для выбора эффективной стратегии был задействован обобщенный алгоритм по Парето с использованием традиционных методов свертки частных критериев – максиминный, максимаксный, минимаксного сожаления, главного критерия. При этом мы исходили из того, что существует общая методологическая сложность принятия решений по векторному показателю, обусловленная «не столько с трудностями вычислений, сколько с концептуальной обоснованностью выбора «наилучшего» решения. Невозможно строго математически доказать, что какое-либо из решений является наилучшим – любое решение из числа недоминируемых может оказаться наилуч-

шим для конкретного ЛПР в конкретных условиях» [20].

С учетом этих доводов предложенная модель МКО была дополнена разработкой метода для вывода *обобщенного критерия* (W) на основе интеллектуальной процедуры нечеткого логического вывода (НЛВ), адаптированная к предметной области исследования.

Адаптированный обобщенный критерий МКО разработан на основе следующих методов НЛВ: задействован алгоритм Мамдани с использованием функций принадлежности «интуитивного» типа – сигмоидальной и гауссовой, при этом использован метод критической точки (С. Altrock) и база правил простых подусловий [17–19]; значения критических точек и весовые коэффициенты для подусловий устанавливаются на основании управленческой экспертизы.

Содержание процедуры НЛВ для определения адаптированного обобщенного критерия МКО состоит в следующих положениях:

1) частные критерии (y_k) – $NPV, PI, k_I, k_L, k_Y, k_{БЭ}$ – представлены в форме лингвистических переменных (ЛП); 2) параметры каждой ЛП формируются исходя из условий: термножество принимается равным трем, область определения каждой ЛП и критические точки (для установления параметров функций принадлежности $\mu_T(y_k)$) задаются на основании управленческой экспертизы; 3) весовые коэффициенты для простых подусловий также формируются по результатам управленческой экспертизы. Реализация процедуры НЛВ для оценки адаптированного обобщенного критерия МКО проводилась с использованием специализированной ПрЭВМ [21].

Результаты исследования

Экспериментальная реализация разработанной модели МКО в управлении проектами в режиме ТОР проведена для случая сопоставления четырех альтернативных инвестиционных проектов, инициаторы которых претендуют на ста-

⁵ Поскольку для f_w льготный режим не предусмотрен, то агрегирование по f_w необходимо только для определения суммы налоговых платежей.

тус участника TOP. Исходные данные включают тринадцать входных параметров, необходимых для реализации разработанной модели МКО (табл. 2).

На основании представленных в табл. 2 исходных данных были рассчитаны производные экономические параметры (табл. 3).

Для расчета налоговых платежей TR_{f_k} и предпочтений TB_{f_k} были использованы исходные и расчетные значения экономических пока-

зателей проектов (табл. 2, 3) и множителей $E_{pva}(R, T)$ и $E_{pv}(R, T)$ (табл. 4).

Результат расчета TR_{f_k} и TB_{f_k} приведен в табл. 5.

Данные табл. 2, 3, 5 служат основанием для определения целевых функций модели МКО; в табл. 6 представлены полученные значения частных критериев МКО – расчетные величины и их нормализованные значения.

Таблица 2. Исходные данные для многокритериального анализа инвестиционных проектов в условиях TOP

Table 2. Initial data for multi-criteria analysis of investment projects in the context of TAD

Показатель	Ед. изм.	Альтернативы (проекты)			
		u1	u2	u3	u4
ГБА на создание инфраструктуры TOP	млн руб.	1000	1 000	2000	12 000
Сумма частных инвестиций	млн руб.	6000	3 000	7000	23 000
Коэффициент использования ПМ	–	0,60	0,60	0,65	0,60
Коэффициент капиталоемкости создаваемой ПМ	тыс. руб./ нат. ед.	3,50	3,00	2,00	5,50
Средняя цена реализации ед. продукции	тыс. руб./ нат.ед.	22,00	20,00	100,00	295,00
Средние материальные затраты на ед. продукции	тыс. руб./ нат. ед.	10,00	13,00	90,00	270,00
Средние удельные затраты на оплату труда	тыс. руб./ нат. ед.	7,00	3,00	6,00	15,00
Условно-постоянные операционные затраты	млн руб./ год	4200	1 900	9000	24 000
Ср. Норма амортизации основных средств	–	0,25	0,30	0,20	0,15
Годовой фонд рабочего времени	час./ год	1800	1 800	1800	1 800
Норма времени на производство ед. продукции	чел.-час./ед.Q	11	7	15	40
Ставка капитализации	–	0,20	0,20	0,15	0,15
Срок расчетного периода проекта	лет	25	15	20	25

Таблица 3. Расчетные значения производных экономических показателей проектов

Table 3. Calculated values of derivative economic indicators of projects

Показатель	Ед. изм.	Альтернативы (проекты)			
		u1	u2	u3	u4
Маржинальная прибыль (удельная)	руб./ нат. ед.	5,0	4,0	4,0	10,0
Маржинальная прибыль (годовая)	млн руб./ год	5143	2400	9100	25 091
Операционная прибыль	млн руб./ год	943	500	100	1091
Объем продаж/ произв-ва	млн нат. ед./ год	1 029	600	2275	2509
Производственная мощность	млн нат. ед./ год	1714	1000	3500	4182
Выручка от продаж	млн руб./ год	22 629	12 000	227 500	740 182
Затраты на производство	млн руб./ год	21 686	11 500	227 400	739 091
Рентабельность продаж	%	4,17%	4,17%	0,04%	0,15%
Объем добавленной стоимости	млн руб./ год	8143	2300	13 750	38 727
Объем добавленной стоимости по проекту	млн руб.	40 287	10 754	86 066	250 339
NPV	млн руб.	6086	3546	2389	6353
PI	–	2,014	2,182	1,341	1,276
Кол-во созданных рабочих мест	ед.	6286	2 333	18 958	55 758

Таблица 4. Значения множителей $E_{PVA}(R, t)$ и $E_{PV}(R, t)$ для оценки альтернативTable 4. Values of multipliers $E_{PVA}(R, t)$ and $E_{PV}(R, t)$ for selecting alternatives

Множитель	Альтернативы (проекты)			
	u1	u2	u3	u4
$E_{PVA}(R, T)$	4,9476	4,6755	6,2593	6,4641
$E_{PVA}(R, 5)$	2,9906	2,9906	3,3522	3,3522
$E_{PVA}(R, 10)$	4,1925	4,1925	5,0188	5,0188
$E_{PVA}(R, T - 5)$	4,8696	4,1925	5,8474	6,2593
$E_{PVA}(R, T - 10)$	4,6755	2,9906	5,0188	5,8474
$E_{PV}(R, 5)$	0,4019	0,4019	0,4972	0,4972
$E_{PV}(R, 10)$	0,1615	0,1615	0,2472	0,2472
Справочно: ставка капитализации R , %	20	20	15	15
срок проекта T , лет	25	15	20	25

Таблица 5. Расчетные значения налоговых платежей TR_{fk} и предпочтений TB_{fk} по альтернативным проектамTable 5. Estimated values of tax payments TR_{fk} and preferences TB_{fk} for alternative projects

Показатель		u1	u2	u3	u4
Налог на прибыль	TB_{Pr}	654,6	347,1	80,4	876,8
	TP_{Pr}	278,4	120,4	44,8	533,5
Страховые взносы	TB_{IC}	6822,0	1 705,5	15 482,4	42 688,7
	TP_{IC}	3936,0	836,1	10 320,4	30 784,0
НДФЛ	TP_W	4630,9	1094,1	11 107,2	31 627,3
Налог на имущество	TB_{CP}	517,4	258,7	714,6	2347,8
	TP_{CP}	135,7	49,9	249,4	923,0
НДС	TB_Y	6827,7	1928,5	13 801,6	38 872,6
	TP_Y	1229,8	222,2	3411,5	11 195,1
Общая сумма налоговых льгот TB_{Σ}		14 821,7	4239,8	30 078,9	84 786,0
Общая сумма налоговых платежей TP_{Σ}		10 210,8	2322,6	25 133,4	75 063,0
Сумма бюджетного / налогового эффекта ($TP_{\Sigma} - TB_{\Sigma}$)		-4 610,8	-1917,2	-4945,6	-9723,1
ГБА на создание инфраструктуры ТОР		1000,0	1 000,0	2 000,0	12 000,0
Совокупные расходы бюджетов		5610,8	2917,2	6945,6	21 723,1

Таблица 6. Значения показателей эффективности управления проектами в режиме TOP – частных критериев МКО

Table 6. Values of project control effectiveness indicators in the TAD regime – private criteria of the MCO

Показатель	Расчетное значение				min	max	Нормированные значения			
	u1	u2	u3	u4			u1	u2	u3	u4
NPV	6086	3546	2389	6353	1500	6400	0,936	0,417	0,181	0,990
$k_I = I_C / BA_{II}^T$	1,07	1,03	1,01	1,06	1,00	1,10	0,69	0,28	0,08	0,59
$k_L = L_C / BA_{II}^F$	1,12	0,80	2,73	2,57	0,20	2,80	0,35	0,23	0,97	0,91
$k_Y = Y_\phi / BA_{II}^T$	7,18	3,69	12,39	11,52	3,00	13,00	0,50	0,16	1,00	0,92
$k_{\Sigma} = TP_C / BA_{инфр}^T$	10,21	2,32	12,57	6,26	1,00	13,00	0,78	0,07	1,00	0,43
PI	2,01	2,18	1,34	1,28	1,10	2,50	0,65	0,77	0,17	0,13

Графическая интерпретация пространства частных критериев представлена в форме диаграммы на рис. 1.

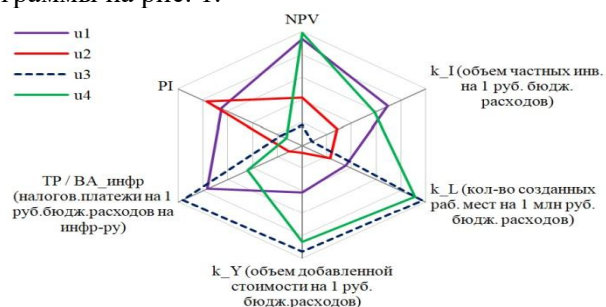


Рис. 1. Пространство частных критериев МКО для альтернатив {u}

Fig. 1. Space of private MCO criteria for alternatives {u}

Поскольку модель МКО включает большое число частных критериев, диаграмма не позволяет однозначно выявить приоритет одной из стратегий; выбор эффективной стратегии был проведен на основе обобщенного алгоритма по Парето.

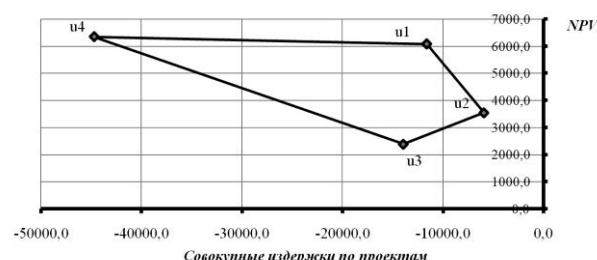
Таблица 7. Результаты МКО, полученные различными методами свертки

Table 7. Results of the MCO obtained by different convolution methods

Метод свертки частных критериев	Обобщенный критерий	u ₁	u ₂	u ₃	u ₄	u*	$\lambda_k(u^*)$
Главный критерий $NPV \rightarrow \max$	$u^*: \lambda_k(u) \rightarrow \max$	0,936	0,417	0,181	0,990	u4	0,990
Максиминный критерий	$u^*: \max_{u \in U} \min_k \lambda_k(u)$	0,354	0,069	0,078	0,126	u1	0,354
Максимаксный критерий	$u^*: \max_{u \in U} \max_k \lambda_k(u)$	0,936	0,773	0,973	0,990	u4	0,990
Критерий минимаксного сожаления	$u^*: \min_{u \in U} \max_k R_k(u)$ $R_k(u) = \max_{u \in U} \lambda_k(u) - \lambda_k(u)$	0,582	0,704	0,895	0,865	u1	0,582

Результаты свертки, представленные в табл. 7, позволяют сделать следующие выводы:

I. На основании ведущих критериев – совокупные издержки по проекту⁶ C_{total} и NPV – определено множество Парето-оптимальных стратегий: u1, u2, u4 (рис. 2).

Рис. 2. Пространство критериев $\langle C_{total}, NPV \rangle$ Fig. 2. The space of criteria $\langle C_{total}, NPV \rangle$

II. На Парето-оптимальном множестве альтернатив были получены результаты с использованием традиционных методов свертки: метод главного критерия (в таком качестве был принят NPV); максиминный метод; минимаксный метод; метод минимаксного сожаления (табл. 7).

– согласно методу $\max \min$ (с позиций крайнего пессимизма) наиболее эффективной представля-

⁶ Как сумма совокупных расходов бюджетов и объема частных инвестиций.

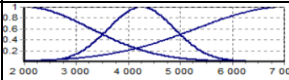
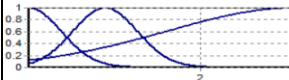
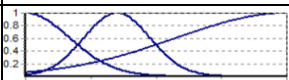
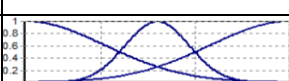
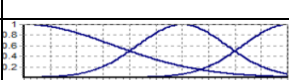
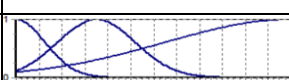
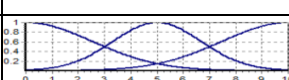
ется стратегия u_1 ; критерий $\min\max$ (критерий Вальда) также показывает приоритет стратегии u_1 , поскольку при этой стратегии значения частных критериев в наименьшей мере отклоняются от максимального значения (для u_1 присущи наименьшие «сожаления» по достигаемым значениям критериев);

– метод главного критерия ($NPV \rightarrow \max$) и метод $\max\max$ (правило крайнего оптимизма) определяет приоритет стратегии u_4 , при которой обеспечивается наиболее высокое значение из максимизируемых частных критериев по другим альтернативам (в данном случае таким критерием стал показатель NPV).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, во-первых, о принципиальной воз-

Таблица 8. Оценка обобщенного критерия в модели МКО, полученная на основе адаптированной процедуры НЛВ

Table 8. The value of the generalized criterion in the MKO model, obtained on the basis of the adapted fuzzy logical inference procedure

Наименование ЛП	Область определения ЛП	Координаты критической точки		Графическое представление функций принадлежности	Весовые коэф-ты	Значения критериев			
		y_k^L	y_k^R			u_1	u_2	u_3	u_4
NPV	[2000; 7000]	3500	5000		0,2802	6086	3546	2389	6353
PI	[1,1; 2,5]	1,3	1,7		0,2266	2,014	2,182	1,341	1,276
k_I	[1,0; 2,0]	1,2	1,5		0,1198	1,070	1,030	1,010	1,060
k_L	[0,2; 3,0]	1,2	2,0		0,0668	1,20	0,800	2,730	2,570
k_Y	[3,0; 13,0]	7,0	11,0		0,0134	7,180	3,690	12,39 0	11,52 0
$k_{БЭ}$	[1,0; 13,0]	2,5	6,5		0,2932	10,21 0	2,320	12,57 0	6,260
W	[0,0; 10,0]	3,0	7,0		—	7,528	4,585	5,104	6,262

Приведенные в табл. 8 результаты оценки обобщенного критерия в модели МКО убедительно свидетельствуют о предпочтительности стратегии u_1 , а также раскрывают факторы полученного результата.

возможности использования предложенной модели МКО для обоснования выбора оптимальной стратегии; во-вторых, о практической сложности принятия решений по результатам свертки с помощью традиционных методов. Использование адаптированного обобщенного критерия МКО, реализованного методами НЛВ на основании экспертно задаваемых правил – в форме управленчески значимых предпочтений ЛПР и ограничений в реализации проектов, – позволило сформировать обоснованное заключение об эффективности альтернатив.

Полученные в соответствии с представленными в п. 1 методическими положениями исходные данные, а также результаты реализации процедуры НЛВ представлены в табл. 8.

Следует отметить, что процедура НЛВ позволила включить в оценку обобщенного критерия значимые для исследуемого процесса ограничения, а также предпочтения ЛПР – посредством задания весовых коэффициентов к подусловиям базы правил НЛВ и координат

критических точек для функций фазсификации; включаемые в оценку предпочтения ЛПР и ограничения процесса принятия решения формируются по результатам управленческой экспертизы.

Заключение

Разработанная модель МКО в управлении инвестиционными проектами в режиме TOP представляет критерии эффективности со стороны инвестора/инициатора и со стороны регулятора TOP, позволяет составить экономическую оценку допустимых альтернатив при формировании стратегии управления TOP и провести их системный анализ, в том числе поиск оптимальной стратегии при заданных правилах рационального поведения. Разработка модели основана на решении задачи снижения размерности основных параметров – NPV , L , Y , TP_{fk} , TB_{fk} . Снижение размерности достигнуто с помощью методов: капитализации – для корректного агрегирования распределенного во времени денежного потока; представления *детерминированных* функциональных отношений между технико-экономическими параметрами проекта на основе базовых экономических закономерностей. Для модели МКО предложен также метод обобщенного критерия на основе адаптированной процедуры нечеткого логического вывода; предложенный метод позволяет включить в процесс принятия решений существенные управленческие предпочтения и ограничения.

Разработанная модель раскрывает структурно-функциональное содержание управления инвестиционными проектами в режиме TOP и эксплицирует состав основных экономических параметров и функциональных отношений между ними.

Такое условие определяет значимость разработанной модели как инструмента поддержки принятия решений о выборе оптимального варианта на дискретном множестве альтернатив. Также следует отметить, что разработанная модель МКО может служить методическим основанием для разработки *информационно-аналитической системы оптимального управления инвестиционными проектами в составе TOP*, призванной поддерживать управленческие функции, в том числе по оценке и мониторингу параметров эффективности проектов. Экспериментальная апробация разработанной модели показала ее практическую применимость и возможность сформировать на ее основе значимые выводы об условиях оптимального управления проектами в режиме TOP.

Направления продолжающего исследования состоят в создании модуля управленческой экспертизы для формирования параметров пред-

ставленной в статье процедуры НЛВ для оценки обобщенного критерия модели МКО, а также в ее использовании в качестве методического основания при создании информационно-аналитической системы управления TOP.

Библиографические ссылки

1. Смыслова О. Ю., Строев П. В. Территории опережающего социально-экономического развития в России: особенности, тенденции и сдерживающие факторы эффективного развития // Вестн. Ом. ун-та. Сер. «Экономика». 2019. Т. 17, № 4. С. 63–76. DOI: 10.24147/1812-3988.2019.17(4).63-76.
2. Анализ практики применения преференциальных режимов, действующих на территории РФ, с точки зрения их влияния на экономический рост и соответствия заявленным целям : Отчет / Д. А. Зайцев; Счетная палата РФ. 2020. URL: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/d22/d22daa028b1854b51b99c9d2927c2e06.pdf> (дата обращения: 01.09.2024).
3. Aleksić, A., Nestić, S., Tadić, D. (2023). The Projects Evaluation and Selection by Using MCDM and Intuitionistic Fuzzy Sets. In: Filipovic, N. (eds) Applied Artificial Intelligence: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering. AAI 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 659. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29717-5_10.
4. Aleksić, A. et al. The projects evaluation and selection by using MCDM and intuitionistic fuzzy sets / A. Aleksić, S. Nestić, D. Tadić. Conference: 1st Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICA AI) At: Kragujevac, Serbia.
5. Saaty, Thomas L.; Peniwati, Kirti (2008). *Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences*. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 978-1-888603-08-8.
6. Đoković L, Doljanica D. Application of AHP and MABAC methods in the framework of multi-criteria decision-making in the selection of investment projects. Journal of Process Management and New Technologies. 2023;11(3-4):105-14. doi: 10.5937/jpmnt11-47800.
7. Puška A. et al. Model for investment decision making by applying the multi-criteria analysis method / A. Puška, A. Beganovi, S. Šadić // Serbian Journal of Management 13 (1) (2018) 7 – 28. DOI: 10.5937/sjm13-12436.
8. Suganthi L. Multi expert and multi criteria evaluation of sectoral investments for sustainable development: An integrated fuzzy AHP, VIKOR/DEA methodology. Sustainable Cities and Society. 2018; 43: 144-156.
9. Ma J. et al. Sustainability driven multi-criteria project portfolio selection under uncertain decision-making environment / J. Ma, J. D. Harstvedt, R. Jara-dat, B. Smith. Computers & Industrial Engineering, Volume 140, 2020, 106236, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106236>.

10. Wei H. et al. A refined selection method for project portfolio optimization considering project interactions / H. Wei et al., C. Niu, B. Xia, Y. Dou, X. Hu. *Expert Systems with Applications*, Volume 142, 2020, 112952, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112952>.

11. Voss M., Kock A. Impact of relationship value on project portfolio success — Investigating the moderating effects of portfolio characteristics and external turbulence // *International Journal of Project Management*, Volume 31, Issue 6, 2013, Pages 847-861, ISSN 02637863, <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.11.005>.

12. Kahraman C., Haktanır E. (2024). Fuzzy Multi-criteria Investment Decision Making. In: *Fuzzy Investment Decision Making with Examples*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54660-0_13.

13. Какаулина М. О. Территории опережающего социально-экономического развития: эффективность функционирования и роль в формировании оптимальной налоговой нагрузки // *Экономика. Налоги. Право*. 2018. Т. 11, № 4. С. 78–89. DOI 10.26794/1999-849X-2018-11-4-78-89.

14. Территории опережающего развития как инструмент поддержки предприятий в российских моногородах / С. Г. Белёв, В. В. Ветеринаров, Г. С. Козляков, О. В. Сучкова // *Финансы: теория и практика*. 2021. № 25 (6). С. 54–67. DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-6-54-67.

15. Развитие методических подходов к экономической оценке эффективности мегапроектов / И. В. Митрофанова, И. А. Митрофанова, О. П. Горшкова, Е. С. Старостина // *Экономика: вчера, сегодня, завтра*. 2018. Т. 8, № 6А. С. 38–54.

16. Степанов Н. С. Функции территорий опережающего социально-экономического развития по привлечению частного капитала в условиях формирования новой модели экономического роста // *Вестник университета*. 2022. № 5. С. 177–185.

17. Тененев В. А., Шаура А. С. Применение методов снижения размерности данных к построению нечетких нейронных сетей // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2020. Т. 18, № 4. С. 109–116. DOI 10.22213/2410-9304-2020-4-109-116.

18. Тененев В. А., Шаталова О. М. Методы нечеткого логического вывода при построении экспертных систем прогнозирования инновационных процессов // *Интеллектуальные системы в производстве*. 2019. Т. 17, № 4. С. 129–136. DOI 10.22213/2410-9304-2019-4-129-136.

19. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / пер. с англ. 2-е изд. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 798 с. : ил. ISBN 97-8-5-9963-1495-9.

20. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.)

и др. М. : Машиностроение, 1988. Т. 3. Эффективность технических систем / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. 328 с.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023619925 Российская Федерация. Моделирование организационных систем на основе нечеткого логического вывода : № 2023619015 : заявл. 03.05.2023 : опубл. 17.05.2023 / В. А. Тененев, О. М. Шаталова.

References

1. Smyslova O.Yu., Stroeve P.V. [Territories of advanced social and economic development in Russia: peculiarities, tendencies and factors that impede efficient development]. *Vestn. Om. un-ta. Ser. «Jekonomika»*, 2019, vol. 17, no. 4, pp. 63-76 (in Russ.). DOI: 10.24147/1812-3988.2019.17(4).63-76.

2. *Analiz praktiki primeneniya apreferencial'nyh rezhimov, dejstvuyushchih na territorii Rossijskoj Federacii, s točki zreniya ih vliyaniya na ekonomicheskiy rost i sootvetstviya zayavlenym celyam* [Analysis of the practice of applying preferential regimes in force on the territory of the Russian Federation in terms of their impact on economic growth and compliance with the stated goals]. D.A.Zajcev; *Schetnaya palata RF*. 2020. Available at: <https://ach.gov.ru/upload/iblock/d22/d22daa028b1854b51b99c9d2927c2e06.pdf> (accessed 01.02.2023) (in Russ.).

3. Aleksić A., Nestić S., Tadić D. (2023). The Projects Evaluation and Selection by Using MCDM and Intuitionistic Fuzzy Sets. In: Filipovic, N. (eds) *Applied Artificial Intelligence: Medicine, Biology, Chemistry, Financial, Games, Engineering*. AAI 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 659. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-29717-5_10.

4. Aleksić A. et al. The projects evaluation and selection by using MCDM and intuitionistic fuzzy sets / A. Aleksić, S. Nestić, D. Tadić. Conference: 1st Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence (SICAIA) At: Kragujevac, Serbia.

5. Saaty, Thomas L.; Peniwati, Kirti (2008). *Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences*. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. ISBN 978-1-888603-08-8.

6. Đoković L, Doljanica D. Application of AHP and MABAC methods in the framework of multi-criteria decision-making in the selection of investment projects. *Journal of Process Management and New Technologies*. 2023;11(3-4):105-14. doi: 10.5937/jpmnt11-47800

7. Puška A. et al. Model for investment decision making by applying the multi-criteria analysis method / A. Puška, A. Beganović, S. Šadić // *Serbian Journal of Management* 13 (1) (2018) 7 – 28. DOI: 10.5937/sjm13-12436.

8. Suganthi L. Multi expert and multi criteria evaluation of sectoral investments for sustainable development: An integrated fuzzy AHP, VIKOR/DEA methodology. *Sustainable Cities and Society*. 2018; 43: 144-156.

9. Ma J. et al. Sustainability driven multi-criteria project portfolio selection under uncertain decision-

making environment / J. Ma, J. D. Harstvedt, R. Jara-dat, B. Smith. Computers & Industrial Engineering, Volume 140, 2020, 106236, ISSN 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106236>.

10. Wei H. et al. A refined selection method for project portfolio optimization considering project interactions / H. Wei et al., C. Niu, B. Xia, Y. Dou, X. Hu. Expert Systems with Applications, Volume 142, 2020, 112952, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112952>.

11. Voss M., Kock A. Impact of relationship value on project portfolio success — Investigating the moderating effects of portfolio characteristics and external turbulence // International Journal of Project Management, Volume 31, Issue 6, 2013, Pages 847-861, ISSN 0263-7863, <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.11.005>.

12. Kahraman, C., Haktanir, E. (2024). Fuzzy Multi-criteria Investment Decision Making. In: Fuzzy Investment Decision Making with Examples. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54660-0_13.

13. Kakaulina, M. O. [Territories of advanced socio-economic development: efficiency of functioning and role in the formation of the optimal tax burden]. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*. 2018. Vol. 11, no. 4. Pp. 78-89. DOI 10.26794/1999-849X-2018-11-4-78-89 (in Russ.).

14. Belev S.G., Veterinarov V.V., Kozlyakov G. S., Suchkova O.V. Priority development areas as a tool for enterprises support in Russian monotonowns. Finance: Theory and Practice. 2021; 25 (6): 54-67. DOI: 10.26794/2587-5671-2021-25-6-54-67. (in Russ.).

15. Mitrofanov I.V. et al. [Development of methodological approaches to the economic assessment of the effectiveness of megaprojects]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra*. 2018. Vol. 8. No. 6A. Pp. 38-54 (in Russ.).

16. Stepanov N.S. (2022) [The functions of territories of advanced socio-economic development to attract private capital in the context of the formation of a new model of economic growth]. *Vestnik universiteta*, no. 5, pp. 177-185 (in Russ.).

17. Tenenev V.A., Shaura A.S. *Primenenie metodov snizheniya razmernosti dannyh k postroeniyu nechetkih nejronnyh setej* [Application of Data Dimensionality Reduction Methods to the Construction of Fuzzy Neural Networks]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2019. Vol. 17, no. 4. Ppp. 129-136 (in Russ.). DOI 10.22213/2410-9304-2019-4-129-136.

18. Tenenev V.A., SHatalova O.M. [Methods of fuzzy logical inference in the construction of expert systems for forecasting innovation processes]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2019. Vol. 17, no. 4. Pp. 129-136 (in Russ.). DOI 10.22213/2410-9304-2019-4-129-136.

19. Piegat A. *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy Modeling and Control]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2013. 798 p. ISBN 97-8-5-9963-1495-9 (in Russ.).

20. *Nadezhnost' i ehffektivnost' v tekhnike. Kn.3: Effektivnost' tekhnicheskikh sistem* [Reliability and efficiency in engineering, Vol. 3: The effectiveness of technical systems]. Moscow: Mashinostroenie, 1988. 328 p. (in Russ.).

Tenenev V.A., SHatalova O.M. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2023619925 Rossijskaja Federacija. Modelirovanie organizacionnyh sistem na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda : № 2023619015: zajavl. 03.05.2023 : opubl. 17.05.2023* [Certificate of state registration of computer program No. 2023619925 Russian Federation. Modeling organizational systems based on fuzzy logical inference: No. 2023619015: declared. 03.05.2023 : published. 17.05.2023] (in Russ.).

Multi-Criteria Optimization Model of Investment Project Management within the Territory of Advanced Development

O. M. Shatalova, DScin Economics, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia
S. A. Likhopud, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

The relevance of the research presented in the article is due to the need to develop methods for decision support in the control of preferential regime territories (TPR); this will facilitate the mechanism implementation for the regions socio-economic development, which are provided for the TPR regime.

The purpose of the research is to develop a method to solve the problem of optimal project selection to be implemented within the so-called "territory of advanced development" (TAD), providing a compromise between two groups of criteria: criteria for the investment commercial effectiveness and regulatory criteria for the effectiveness of TAD.

The research uses general methods of multi-criteria optimization (MCO); however, to reduce the dimensionality of the MCO model, the capitalization method is used, which ensures the correct reproduction of the DCF technique, as well as universal methods of technical and economic analysis to establish deterministic functional relationships between the main technical and economic parameters of investment projects; to convolve private criteria an adapted algorithm of fuzzy logical inference is used implementing membership functions of the "intuitive" type - sigmoid and Gaussian.

The developed model of the MCO represents the criteria for the effectiveness of projects from the side of the investor/initiator and from the side of the TAD regulator, allows for an indicative economic assessment of acceptable alternatives when forming a TAD management strategy and conducting their system analysis, including the selection for an optimal strategy under given rules of rational behavior.

The results of the experimental testing of the developed model show its practical applicability and the possibility of forming significant conclusions on its basis about the conditions for optimal project management in the TAD regime.

Keywords: optimal control, mathematical modeling, multicriteria optimization, investment projects, effectiveness, dimensionality reduction, generalized criterion, fuzzy inference.

Получено: 25.10.24

Образец цитирования

Шаталова О. М., Лихопуд С. А. Модель многокритериальной оптимизации в управлении инвестиционными проектами в составе территории опережающего развития // Интеллектуальные системы в производстве. 2025. Т. 23, № 1. С. 94–107. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-94-107.

For Citation

Shatalova O.M., Likhopud S.A. [Model of multi-criteria optimization in the control of investment projects within the territory of advanced development]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2025, vol. 23, no. 1, pp. 94-107. DOI: 10.22213/2410-9304-2025-1-94-107.