



Образовательные ресурсы и лучшая практика ИТ-образования

<https://doi.org/10.25559/SITITO.021.202503.562-574>

УДК 004.048:[005.31::005.5+519.813.7]

Образовательные практики применения интеллектуальных систем: гибридная модель оценивания эффективности элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования

С. Н. Шевцов^{1,2}, А. В. Рожнов^{3*}

Оригинальная статья

¹ ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая академия Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 119992, Российская Федерация, г. Москва, проезд Девичьего Поля, д. 4

² ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1

³ ФГБУН «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук», г. Москва, Российская Федерация

Адрес: 117997, Российская Федерация, г. Москва ул. Профсоюзная, д. 65

* rozhnov@ipu.ru

Аннотация

Интенсивное развитие средств и методов организации образовательной, научно-исследовательской и инновационной деятельности в области конвергентных когнитивно-информационных технологий и их приложений востребовано при повышении эффективности информационных процессов в различных областях науки и практики разработки и применения передовых интеллектуальных систем и технологий, в том числе в интересах совершенствования современных сложных социально-экономических систем и сред. Проблематика интеграции разрозненных направлений разработок и исследований в сфере гибридного интеллекта, наряду с широким спектром разноплановых экспериментальных вопросов, включает совокупность взаимосвязанных задач опережающего оценивания эффективности элементов таковых в развитой среде функционирования. Цель – обоснование и применение гибридных моделей анализа среды функционирования в интересах развития многоагентных технологий для оценивания эффективности применения двух и более методов управления в условиях цифровой трансформации информационного ландшафта сложных социально-экономических систем. Характерными особенностями выделяются проблемные вопросы организации и проведения деловых игр (формирование новых ролей и задач), а также их специализация в комплексных задачах координации как функции управления (согласование целей и задач, управление ресурсами, обмен информацией, поддержка коммуникации и сотрудничества, мониторинг и оценка, разрешение конфликтов и другие) в рамках апробации оригинальных проблемно-ориентированных модулей обучения по разделам «Многоагентные системы» при реализации программ подготовки бакалавров и магистров на кафедре АСУ в НИТУ МИСиС. На текущем этапе к всестороннему обсуждению предлагается ряд первичных вопросов формирования образовательных ресурсов с применением современных информационных технологий при апробации подобных практик ИТ-образования.

Ключевые слова: анализ среды функционирования, гибридные модели, деловые игры, координация, многоагентные технологии, распределенное интерактивное моделирование, сложные социально-экономические системы, эффективность, LVC-моделирование

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шевцов С. Н., Рожнов А. В. Образовательные практики применения интеллектуальных систем: гибридная модель оценивания эффективности элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2025. Т. 21, № 3. С. 562-574. <https://doi.org/10.25559/SITITO.021.202503.562-574>

© Шевцов С. Н., Рожнов А. В., 2025



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.



Educational Resources and Best Practices of IT-Education

Educational Practices of Implementing Intelligent Systems: A Hybrid Model for Assessing the Efficacy of Elements of Multi-Agent Technologies for Analyzing Operating Environments

S. N. Shevtsov^{a,b}, A. V. Rozhnov^{c*}

Original article

^a Combined arms order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

Address: 4 Devichye Pole Passage, Moscow 119992, Russian Federation

^b National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russian Federation

Address: 4 Leninsky pr., build. 2, Moscow 119049, Russian Federation

^c V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

Address: 65 Profsoyuznaya St., Moscow 117997, Russian Federation

* rozhnov@ipu.ru

Abstract

The intensive development of methods and techniques for organizing educational, research, and innovation activities related to convergent cognitive information technologies and their applications is essential to enhance the efficiency of information processes in various scientific and practical fields. This is particularly relevant for the development and implementation of advanced intelligent systems and technologies. The goal of this effort is to improve modern complex socio-economic systems and environments.. The challenge of integrating various areas of development and research related to hybrid intelligence, as well as a wide range of experimental issues, involves a set of interconnected tasks aimed at predicting the effectiveness of these elements in a complex operating environment. Goal – justification and implementation of hybrid models to analyze the functioning environment, with the aim of developing multi-agent technologies and assessing the effectiveness of combining two or more management approaches in the context of the digital transformation of information landscapes in complex socio-economic systems. The following issues relating to the organization and conduct of business games, as well as their application in complex coordination tasks within the context of management functions, are highlighted: the formation of new roles and objectives; coordination of goals and objectives; resource management; information exchange; support for communication and cooperation; monitoring and evaluation; conflict resolution; and others. Within the framework of the “Multi-Agent Systems” section of bachelor's and master's degree programs in Automated Control Systems, the Department of NUST MISIS proposes to implement training modules that are problem-oriented. At this stage, a number of key issues related to the development of educational resources utilizing modern information technologies, as well as best practices in IT education, are proposed for discussion.

Keywords:

Data Envelopment Analysis, hybrid models, business games, coordination, multi-agent technologies, Distributed Interactive Simulation, complex socio-economic systems, efficiency, Live, Virtual, & Constructive Simulation,

Conflict of interests:

The authors declares no conflict of interest.

For citation:

Shevtsov S.N., Rozhnov A.V. Educational Practices of Implementing Intelligent Systems: A Hybrid Model for Assessing the Efficacy of Elements of Multi-Agent Technologies for Analyzing Operating Environments. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2025;21(3):562-574. <https://doi.org/10.25559/SITITO.021.202503.562-574>



Введение

Образовательные практики и приёмы с различными формами применения новых интеллектуальных систем востребованы на всех уровнях обучения: начиная со школы, – в средних и высших учебных заведениях, при дополнительном профессиональном образовании, в том числе в инклюзивном аспекте, а также при организации *дуального образовательного процесса*. Эти и подобные им образовательные технологии во многом помогают адаптировать учебный процесс под те или иные индивидуальные потребности обучаемых, автоматизировать информационные процессы проверки получаемых знаний и управления образовательными траекториями для достижения лучших результатов обучения в новых и динамично изменяющихся условиях.

Мотивация расширенного авторского коллектива при специализации проводимых междисциплинарных исследований обусловлена формирующимися приоритетами и направленностью на поисковые изыскания в проблематике дуального образования, сопряжёнными с организацией и проведением постоянно действующего *общемосковского научно-практического семинара* с учётом высокой динамики технологического развития¹.

Несомненно, интенсивное развитие передовых средств и методов организации образовательной, научно-исследовательской и инновационной деятельности в области *конвергентных когнитивно-информационных технологий* и их приложений востребовано при повышении эффективности информационных процессов не только в смежных областях науки, но и в практике разработки и применения передовых интеллектуальных систем и технологий, в том числе в интересах совершенствования современных сложных социально-экономических систем и сред. Проблематика интеграции разрозненных направлений разработок и исследований [1-7] в сфере *гибридного интеллекта*, наряду с широким спектром разноплановых экспериментальных вопросов, включает совокупность взаимоувязанных задач опережающего оценивания эффективности элементов таковых в развитой среде функционирования. Выявленные существующие пробелы в прикладных исследованиях² [8-13] преимущественно сосредоточены в предметной области *сквозной системной интеграции* новых компонентов.

Цель – обоснование и применение *гибридных моделей анализа среды функционирования* в интересах развития многоагентных технологий для оценивания

эффективности применения двух и более методов управления в условиях цифровой трансформации информационного ландшафта сложных социально-экономических систем.

Формируемая гибридная модель оценивания эффективности *элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования* на текущем этапе исследований в той или иной степени затрагивает следующие фрагменты применения обрамляющей *комплексной методологии* [14] в предлагаемых далее основных разделах:

В разделе *«Материалы и методы»* сообразно комплексной проблематике выделен акцент на задействование технологии анализа среды функционирования, предназначенной для анализа совокупности искомым значений эффективности информационного взаимодействия в целом, с последующим общим описанием применимого алгоритма У. Фогеля при распределении соответствующих задач как группам, так и персональным обучаемым.

Основываясь на практических результатах прохождения обучаемыми проблемно-ориентированного модуля, сориентированного на комплексное освоение возможностей *моделирования многоагентных систем*, в разделе *«Основные результаты проводимого исследования»* приводится ряд частных моментов осуществления процесса оценки обучаемых с иллюстрацией задействованного программно-реализованного инструментария.

По общему замыслу, предлагаемое решение представляет собой подход, который опирается на становление *гибридных моделей с многоуровневой архитектурой* – с ориентацией информационного процесса обработки больших массивов данных на реализацию перспективных элементов гибридного искусственного интеллекта.

Но, а сопутствующими компонентами преимущественно выделяются также *распределённое интерактивное моделирование* в сочетании с последующим совершенствованием гибридных моделей в практике применения *эволюционирующего прототипа* в ретроспективной классификации *«Live, Virtual, & Constructive (LVC) Simulation»*. Таким образом, реализация сквозной системной интеграции элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования предположительно позволит, в лучших практиках экспериментального обучения, проводить оценивание эффективности применения двух и более методов управления в условиях цифровой трансформации информационного ландшафта новых сложных социально-экономических систем.

Материалы и методы

Применимые гибридные модели оценки эффективности элементов многоагентной технологии представляют собой одно из наиболее интересных областей в числе сопутствующих исследуемому направлений развития

¹ Проблемы управления автономными робототехническими комплексами: постоянно действующий Общественный научно-практический семинар [Электронный ресурс] // Москва: ИПУ РАН, 2025. URL: <https://www.ipu.ru/robot> (дата обращения: 20.07.2025).

² Рожнов А. В., Гудов Г. Н., Залетдинов А. В. Нейроэкономика: организация и проведение междисциплинарных исследований новых возможностей интеллектуальных информационных систем посредством диверсификации экспериментального языка схем радикалов // В Сб. IX Всероссийская научная конференция «Нейрокомпьютеры и их применение», 15 марта 2011 года: тезисы докладов. М.: МГППУ, 2011.



гибридного искусственного интеллекта и интеллектуального управления [15] в частности. Так, в апробируемых образовательных практиках применения интеллектуальных систем предлагается гибридная модель оценивания эффективности элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования.

Характерными особенностями выделяются проблемные вопросы организации и проведения деловых игр (формирование новых ролей и задач), а также их специализация в комплексных задачах координации как функции управления (согласование целей и задач, управление ресурсами, обмен информацией, поддержка коммуникации и сотрудничества, мониторинг и оценка, разрешение конфликтов и другие) в рамках апробации оригинальных проблемно-ориентированных модулей обучения по разделам «Многоагентные системы» и др. [16-22] и при реализации новых программ подготовки бакалавров и магистров на кафедре АСУ НИТУ МИСИС.

Итак, рассмотрим ряд положений предлагаемого комплексного подхода, который предполагает последующее развитие в совокупности гибридных моделей с двух- и многоуровневой архитектурой при ориентации информационного процесса обработки больших массивов данных на реализацию перспективных элементов гибридного искусственного интеллекта, которые, в свою очередь, сориентированы их на разноплановое использование при формировании образовательных практик применения передовых интеллектуальных систем.

Общая задача при разработке и обосновании новой гибридной модели оценки эффективности элементов многоагентной технологии в упрощении междисциплинарного исследования выглядит следующим образом:

Имеется n заданий из перечня для проведения лабораторных занятий текущего модуля обучения, каждое из которых должен быть способен выполнить любой из n обучаемых; лабораторные работы при этом выполняются при многоплановом взаимодействии обучаемых между собой в форме [прообраза] деловой игры. Допустим, что результат rez_{ij} выполнения j -й лабораторной работы i -м обучаемым ($i = \overline{1, n}$; $j = \overline{1, n}$).

Необходимо назначить каждому из обучаемых очередную из предлагаемого перечня лабораторную работу таким образом, чтобы максимизировать общую суммарную оценку по искомому качеству выполнения всех лабораторных работ в рамках преподаваемого курса «Мультиагентное моделирование систем», причём совмещение заданий по преподаваемым модулям не допускается, но они могут иметь общую основу для взаимодействия различных агентов при различных параметрах данного междисциплинарного исследования.

Обозначим: $x_{ij} = 1$, если j -я работа выполняется i -м исполнителем; и, $x_{ij} = 0$ – в противном случае.

В первом приближении при формировании составляющих гибридной модели вариант формализованной задачи для рассматриваемых случаев на первичных этапах исследования может быть в целом сформулирован как:

$$\text{требуется найти } REZ = \max_{x_{ij}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n rez_{ij} x_{ij},$$

$$\text{при ограничениях } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j = \overline{1, n},$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = \overline{1, n}, \quad x_{ij} = 0 \text{ или } 1.$$

Сосредоточим внимание на ряде характерных особенностей формирования и исследования гибридной модели с учётом необходимости опережающего оценивания эффективности её элементов в рассматриваемых условиях среды функционирования с высокой динамикой и/или неопределённостью исходных данных решения задачи.

Опираясь на обширную методологическую основу исследования операций в целом, наряду с опорными моделями анализа среды функционирования, элементами интеграции вполне могут быть также известные и будущие теоретические и прикладные результаты междисциплинарных исследований в проблематике передовых сетевых технологий, распределённых сложных систем, параллельных вычислений и многих других.

Представленную задачу о назначениях выполняемых работ преимущественно относят к известной и хорошо исследованной подобласти распределительных задач с её особенностью – целочисленностью для переменных. При решении подобных задач широкое применение находят, к примеру, венгерский метод или же метод ветвей и границ. Вместе с тем, эти вполне применимые методы решения задачи обладают достаточно высокой вычислительной сложностью. Для реализации вариантов достижения решения задачи представляется целесообразным использовать и более простые методы. К числу таких возможно отнести метод У. Фогеля, который применим здесь для решения задачи в купе с методологией анализа среды функционирования (АСФ). Но, а на текущем этапе к всестороннему обсуждению предлагается ряд первичных вопросов формирования образовательных ресурсов с применением современных информационных технологий при апробации лучших практик ИТ-образования. К примеру, элементы многоагентной технологии анализа среды функционирования уже находят своё востребованное применение при решении совокупности комплексных задач концептуального проектирования, планирования вариантов применения и функционирования распределённых систем, трансграничной логистики, а также при моделировании различного рода так называемых «бизнес процессов» в ходе экспериментальных деловых игр. И, как указывалось в вводной части данной статьи, образовательные технологии могут быть адаптированы в учебном



процессе под индивидуальные потребности обучаемых с автоматизацией информационных процессов проверки получаемых знаний и управления образовательными траекториями для достижения лучших результатов обучения в новых и динамично изменяющихся условиях.

Анализ среды функционирования (АСФ) [10], – (англ. Data Envelopment Analysis, DEA), – это методология сравнительного анализа деятельности различных сложных технических, экономических и социальных систем. Основоположниками данного подхода были зарубежные авторы А. Чарнес и В. Купер. В нынешней российской практике одним из лидирующих коллективов этого направления является научная школа В. Е. Кривоножко.

Суть подхода: рассматривается сложный объект исследования со множеством входов (затраты) и выходов (выпуск продукции) и анализируется деятельность такового в окружающей среде функционирования с целью сформировать оценку эффективности функционирования исследуемой системы по всем доступным факторам, имеющим существенное влияние на эту сложную систему в совокупности. Как указывалось, в рамках организации и проведения теоретико-экспериментальных исследований АСФ представляет собой основное содержание успешно завершённых и продолжающихся проектов применительно к внедрению оригинальных проблемно-ориентированных модулей обучения на примере раздела «Многоагентные системы» и апробации реализуемых новых программ подготовки студентов (бакалавров и магистров) на кафедре АСУ НИТУ МИСИС.

Приведём общие сведения об использовании возможностей АСФ в представлениях данной гибридной модели:

Рассмотрим множество из n наблюдаемых агентов (обучаемых), деятельность которых необходимо оценить. Каждый обучаемый агент выполняет m лабораторных работ и получает r оценок. Пусть $X_j = (x_{1j}, K, x_{mj}) \geq 0$ является вектором входных параметров (лабораторных работ), а $Y_j = (y_{1j}, K, y_{mj}) \geq 0$, $j = \overline{1, n}$ будет вектором выходных параметров (оценок). Предполагается, что каждый обучаемый располагает, по крайней мере, одним положительным входом и одним положительным выходом. Множество возможностей обучения T определяется как множество таких векторов (X, Y) , что вектор оценок Y может быть произведен при векторе выполняемых заданий в ходе деловой игры X . Соответственно, на основе наблюдаемых векторов (X_j, Y_j) , $j = \overline{1, n}$ множество возможностей группы обучаемых T эмпирически задается принятыми в АСФ постулатами [10], [14], [23]. Применяемый формализм производственной модели

позволяет среди всех пар векторов входа и результата выделить эффективные группы обучаемых.

Определение. Группа обучаемых (X^*, Y^*) эффективна, если $(X^*, Y^*) \in T$ и не существует вектора $(X, Y) \in T$, отличного от (X^*, Y^*) и такого, что, $X \leq X^*$, $Y \geq Y^*$.

Эффективные группы обучаемых образуют в многомерном пространстве параметров обучения E^{r+m} эффективную гиперповерхность (фронт), которая обобщает, по существу, понятие результирующей функции на случай многомерного результата и количества выполняемых лабораторных работ.

В рамках решения основной задачи реализуется совокупность информационных потребностей в определении эффективных и неэффективных групп обучаемых, вычислять меру эффективности, находить эталонные объекты и т.д. Исходя из этого, также рассмотрим следующую опорную процедуру в гибридной модели АСФ:

Шаг 1. Для каждого объекта (X_o, Y_o) из рассматриваемых объектов решается задача линейного программирования $\min \theta$ при ограничениях

$$\theta x_{ko} - \sum_{j=1}^n x_{kj} \lambda_j - s_k^+ = 0, \quad k = 1, K, m,$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \lambda_j - s_i^- = y_{io}, \quad i = 1, K, r,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1,$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, K, n,$$

$$s_i^- \geq 0, \quad i = 1, K, r,$$

$$s_k^+ \geq 0, \quad k = 1, K, m,$$

где $\theta, \lambda_1, K, \lambda_n, s_1^-, K, s_r^-, s_1^+, K, s_m^+$ – переменные

задачи, x_{kj} и y_{ij} представляют собой наблюдаемые параметры входных величин $k = 1, K, m$ и выходных величин $i = 1, K, r$ для группы обучаемых $j = 1, K, n$; индекс o соответствует одному из группы обучаемых $j = 1, K, n$ который в данный момент оценивается, т.е. $1 \leq o \leq n$.

Оптимальное значение функционала этой задачи θ^* дает меру эффективности группы (X_o, Y_o) .

Из вида задачи следует, что $\theta^* \leq 1$. Если мера эффективности группы $\theta^* = 1$, то группа является слабо эффективной. Группа, для которой получилось $\theta^* < 1$, является неэффективной.

Сохраняем оптимальные значения переменных $\lambda_1^*, K, \lambda_n^*$, они будут использованы на шаге 3 для



определения эталонных групп обучаемых (или же, в контексте развития мультиагентной технологии, – *самообучающихся*).

Шаг 2. Все слабо эффективные точки (объекты исследования, в нашем случае это группы обучаемых) лежат на границе множества результата обучения. Однако не все граничные точки будут эффективными. Для того чтобы отделить эффективные группы обучаемых от слабо эффективных, для каждой исследуемой группы (X_o, Y_o) решается дополнительно ещё одна оптимизационная задача

$$\max \left(\sum_{k=1}^m s_k^+ + \sum_{i=1}^r s_i^- \right) \text{ при ограничениях}$$

$$\theta^* x_{ko} - \sum_{j=1}^n x_{kj} \lambda_j - s_k^+ = 0, \quad k = 1, K, m,$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} \lambda_j - s_i^- = y_{io}, \quad i = 1, K, r,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1,$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad j = 1, K, n,$$

$$s_i^- \geq 0, \quad i = 1, K, r,$$

$$s_k^+ \geq 0, \quad k = 1, K, m,$$

Если в результате решения этой задачи получено, что $S^{*-} = (s_1^-, K, s_r^-) = 0$ и $S^{+*} = (s_1^+, K, s_m^+) = 0$, то обучение объекта (группы) (X_o, Y_o) является эффективным.

Если обучение не является эффективным, т.е. на шаге 1 для него получено $\theta^* < 1$, то его можно сделать, по крайней мере, слабо эффективным посредством пропорционального уменьшения входных параметров объекта исследования.

Проекция $(X_o, Y_o) \rightarrow (\theta^* X_o, Y_o)$ дает граничную точку множества возможностей общего результата обучения. Эффективная точка получается с помощью дополнительных переменных $S^{*-} = (s_1^-, K, s_r^-)$, $S^{+*} = (s_1^+, K, s_m^+)$, посредством сдвига по ним $(\theta^* X_o - S^{+*}, Y_o + S^{*-})$.

Шаг 3. Для каждой исследуемой группы (X_o, Y_o) определяем эталонные.

В соответствии с общепринятым определением эталонного объекта [10], множество

$$E_o = \{(X_j, Y_j) \mid \lambda_j^* > 0, j = 1, K, n\}$$

содержит эталонные группы обучающихся для исследуемой группы (X_o, Y_o) , где $\lambda_j^* > 0, j = 1, K, n$ – оптимальные переменные, полученные в результате решения задачи на шаге 1.

Шаг 4. Для дальнейшего исследования и моделирования поведения обучаемых строим двух- и трёхмерные сечения множества возможностей обучения. Известны различные алгоритмы построения таких сечений, например [10].

Шаг 5. Если результаты анализа не решают поставленные задачи, то производим корректировку модели: уточняем данные, изменяем набор входных и/или выходных показателей и переходим к шагу 1. Иначе следует окончание действия рассматриваемой опорной процедуры.

Приводимая процедура, основанная на методологии АСФ, в зависимости от сформулированных целей и задач анализа для конкретных вариантов решения общей задачи может быть существенно изменена или дополнена. К примеру, возможно производить определение мер эффективности только для отдельно выбранных объектов исследования, или же также могут быть, при необходимости, исключены некоторые из шагов анализа [10], [23].

По существу, для формируемой новой многоагентной технологии на базе АСФ представляется возможным задействовать обширный класс моделей, относимых к обобщённой методологии, но показывающих разные характеристики производственного объекта в зависимости от тех детализированных потребностей анализа.

В рассматриваемых случаях условным агентом может быть не только отдельный обучаемый, но и группа обучаемых, поведение которых спроецировано на экспериментальное содержание комплексной методики, в соответствии с которой реализуются способности обучаемых в группе действовать в интересах достижения общих целей, сформулированных в аргументированном взаимодействии с руководителем учебного процесса.

Как известно, обучаемым агентам присущи различные аспекты и существенные свойства, к примеру, способность к рассуждениям, автономность, коммуникативность, сотрудничество, адаптивность, мобильность. Эти обучаемые агенты могут существенно различаться по типам: реактивные, интеллектуальные, гибридные. Обучаемый агент реактивный по сути принимает решения на основе текущих ситуативно применимых знаний. Интеллектуальный же агент, в свою очередь, преимущественно стремится разрешать возникающие перед ним противоречия исходя из собственных целей с учётом осмысления наличествующих общих ограничений по доступным ресурсам и актуальных знаний о внешнем мире. Гибридные агенты в рассматриваемых случаях сочетают в себе свойства и возможности вышеперечисленных элементов с позиций интеллектуального управления.

Таким образом, подход заключается в построении и всестороннем исследовании границы эффективности в многомерном пространстве входных и выходных переменных, где граница эффективности представляет собой гиперповерхность, огибающую все точки,



соответствующие наилучшим из множества оцениваемых объектов.

Степень эффективности для произвольной группы обучаемых определяется расстоянием между ним и границей: чем объект более отдалён от границы, тем его эффективность будет меньше. Все объекты, которые находятся на границе, будут считаться эффективными. Наиболее часто упоминаются следующие примеры реализации возможностей подхода [1], [10], [23]: определение эффективно и неэффективно обучающихся по всему пространству параметров и множеству объектов, нахождение количественной меры эффективности; построение эффективной границы (гиперповерхности) деятельности обучаемых в многомерном пространстве параметров; выявлять эффективные цели для каждой группы обучаемых – эталонную группу эффективных объектов, наиболее близких по своим показателям к исследуемому объекту; поиск наилучших путей достижения искомых целей.

Итак, в рамках образовательной программы студенты выполняют различные проекты (индивидуальные задания по мультиагентному моделированию, в том числе при рассмотрении транспортной задачи). Решения отличаются по результативности, так как каждая группа обучаемых может предлагать при решении задач свои стратегии координации агентов. Соответственно, требуется оценить эффективность предложенных вариантов решений. Используемый для этого в примере метод *Фогеля* (*Vogel's Approximation Method*, VAM) применяется, как эвристический алгоритм, для построения «эталонного» плана в общей транспортной задаче линейного программирования с некоторыми последующими уточнениями (в элементах многоагентной технологии). Сущность этого метода заключается в стремлении минимизации потенциально высоких затрат посредством заблаговременного оценивания последствий выбора неоптимальных маршрутов посредством расчёта разностей (штрафов) между минимальными тарифами в строках и столбцах. Ключевое преимущество при этом состоит в получении решения, достаточно близкого к оптимальному, за счёт востребованной реализации возможности учёта таковых «штрафов» за этот обусловленный неоптимальный выбор маршрутов.

В завершение раздела приведём вариант использования метода *У. Фогеля* для решения задач о назначениях обучаемым для их последующего взаимодействия совокупности исходных заданий по лабораторным работам. Основные шаги *вычислительного алгоритма* по методу *У. Фогеля* будут выглядеть следующим образом [24]:

Инициализация вычислительного алгоритма.

Шаг 1. В каждой строке матрицы исходных данных необходимо найти два наименьших числа, далее вычисляется разность $\Delta_i^1, i = \overline{1, n}$ между этими числами. Значения Δ_i^1 заносятся в дополнительный столбец. Осуществляется переход к шагу 2.

Шаг 2. В каждом столбце исходной матрицы находятся два наименьших числа, вычисляется разность $\Delta_j^1, j = \overline{1, n}$ между этими числами, за тем заносится Δ_j^1 дополнительную строку. Осуществляется переход к шагу 3.

Шаг 3. Среди значений $\Delta_i^1, i = \overline{1, n}$ и $\Delta_j^1, j = \overline{1, n}$ выбирается наибольшее. В строке (столбце), где находится максимальное число, находится минимальный элемент. Строка i_1 и столбец j_1 , на пересечении которых лежит минимальный элемент, и определяют, что обучаемому i_1 назначается для выполнения лабораторная работа j_1 ($i_1 \in (1, 2, K, n)$, $j_1 \in (1, 2, K, n)$). Далее полагается $x_{i_1 j_1} = 1$. Осуществляется переход к шагу 4.

Шаг 4. Удаляются i_1 строка, и j_1 столбец, получается усеченная матрица, $k = 2$. Осуществляется переход к шагу 5.

Шаг 5. В каждой строке усеченной матрицы необходимо найти два наименьших числа, вычисляется разность между этими числами $\Delta_i^k, i_1 \in (1, 2, K, n)$, значения Δ_i^k записываются в дополнительный столбец. Осуществляется переход к шагу 6.

Шаг 6. В каждом столбце усеченной матрицы находятся два наименьших числа, вычисляется разность между этими числами $\Delta_j^k, j_1 \in (1, 2, K, n)$, значения Δ_j^k записываются в дополнительную строку. Осуществляется переход к шагу 7.

Шаг 7. Среди значений Δ_i^k и Δ_j^k выбирается наибольшее. В строке (столбце), где находится максимальное число, находится минимальный элемент. Строка i_k и столбец j_k , на пересечении которых лежит минимальный элемент определяют, что обучаемому i_k назначается для выполнения j_k лабораторная работа ($i_k \in (1, 2, K, n)$, $j_k \in (1, 2, K, n)$). Осуществляется переход к шагу 8.

Шаг 8. Вычеркивается i_k строка и j_k столбец. Далее полагается $k = k + 1$. Если $k < n$, то осуществляется переход к шагу 5, в противном случае – к шагу 9.

Шаг 9. Полагается $x_{i_k j_k} = 1$, формируется вектор $X^* = \{x_{i_k j_k}^* = 1, k = \overline{1, n}, \text{остальные значения } x_{i_k j_k}^*\}$. Осуществляется переход к шагу 10.

Шаг 10. Для найденного вектора X^* вычисляется суммарная оценка за выполнение лабораторных работ. Осуществляется переход к шагу 11.

Шаг 11. Конец вычислительного алгоритма.



Так, нижеприводимые условные результаты подготовки студентов по учебной дисциплине «Мультиагентное моделирование систем» получены с применением указанных составляющих общей гибридной модели данных.

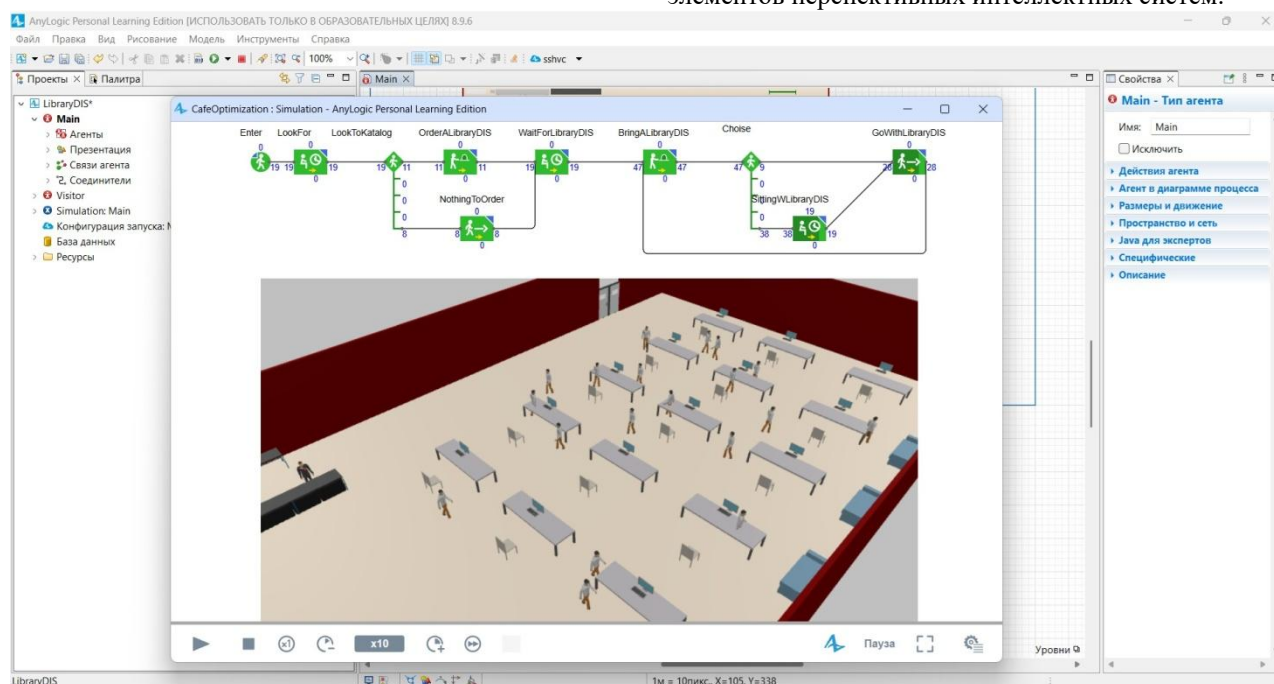
Основные результаты проводимого исследования

Рассматривая в перспективе сочетание в комплексной методике [8], [14], на текущем этапе междисциплинарных исследований основное внимание сфокусируем на частных вариантах использования

типового инструментария для моделирования с выделенными акцентами.

Прежде всего, в числе апробируемых результатов, следует привести пример лучшей практики использования среды "AnyLogic" с элементами распределенного интерактивного моделирования группы обучаемых для достижения вышеуказанных целей на базе библиотеки имитационно-моделирующего комплекса (LibraryDIS).

Приведём на рисунке 1 фрагмент применения рекомендованных новых образовательных практик с потенциальным применением в обозримой перспективе элементов перспективных интеллектуальных систем.



Р и с. 1. Иллюстративный пример реализации распределенного интерактивного моделирования группы обучаемых в среде "AnyLogic" при оценке эффективности с использованием гибридной модели АСФ

F i g. 1. Illustrative example of distributed interactive modeling of a group of students in AnyLogic when assessing efficiency using the hybrid DEA model

Источник: здесь и далее в статье все таблицы и рисунки составлены авторами.
Source: Hereinafter in this article all tables and figures were made by the authors.

Результаты организации учебного процесса с разными группами обучаемых по дисциплине «Мультиагентное моделирование систем» в форме деловых игр в интересах достижения искомого результата эффективности обучения как при специализации многоагентной системы, так и подгрупп обучаемых (вариант применения).

В ходе проведения как для бакалавров, так и для магистрантов авторского учебного курса «Мультиагентное моделирование систем» была произведена сопутствующая оценка более ста студентов. Курс содержит шесть модулей, по каждому из которых обучаемым было необходимо выполнить набор индивидуальных заданий. При оценке эффективности была применена типовая шкала с десятибалльной градацией качества обучения.

Реализуемая автоматизация сравнения эффективности обучаемых в представлениях многоагентной системы позволяет существенно упростить при этом

информационные процессы для разработчиков и эксплуатантов пула гибридных моделей с разными деталями выбора эффективного из множества однородных объектов. Представляется целесообразным производить сравнение совокупности количественных значений показателей подготовленности обучаемых посредством моделирования в нескольких итерациях. Искомую возможность собственно предоставляет гибридная модель АСФ [10], в которой выполняется оценка сравнительной эффективности для модулей принятия решения (Decision Making Unit, DMU); АСФ позволяет учитывать при этом наличие многих входов и выходов DMU, что позволяет определить искомые причины неэффективности конкретных обучаемых относительно построенной границы эффективности и пути их вывода на эту границу.

Обоснованные ранее значения критериев были применены на выходе модели. Все значения показателей эффективности на выходе соответствуют



более устойчивым ситуациям, то есть, чем выше значение оценки за выполнение лабораторной работы, тем лучше. Так как АСФ предполагает наличие хотя бы одного входа, в данном случае используется унифицированный показатель в качестве входного, которому присваивается значение единица для всех рассматриваемых объектов. В соответствии с комплексной методикой был сформирован обобщенный

критерий эффективности в виде оптимизируемого функционала. После чего, путём многократного решения задачи линейного программирования с учетом ограничений, были получены приемлемые сравнительные оценки эффективности для каждого из рассматриваемых вариантов DMU [23]. Исходные данные и соответствующие значения показателей эффективности представлены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1. Исходные данные и соответствующие значения показателей эффективности (пример)
T a b l e 1. Source data and corresponding efficiency indicators (example)

№		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обучаемый (DMU)		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
Вход (X)	Унифицированный вход	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Выход (Y)	LP1	10	9	8	10	6	9	10	10	8
	LP2	10	7	8	10	5	7	8	9	6
	LP3	8	9	6	6	6	8	9	10	7
	LP4	7	8	7	10	5	7	8	9	5
	LP5	6	10	7	10	6	6	10	10	9
	LP6	10	7	8	9	5	5	10	9	7
Показатель эффективности		1	1	0,83	1	0,6	0,9	1	1	0,9
Место		1	1	3	1	4	2	1	1	2

Как следует из примера с представленными данными в таблице, максимальные оценки эффективности имеют объекты C1, C2, C4, C7 и C8, так как они находятся на границе эффективности. Для всех оставшихся обучаемых значения показателей эффективности составляют величины меньше единицы, для таковых эталонными будут вышеуказанные объекты. Так, к примеру, на третьем месте находится объект C3 со значением показателя эффективности 0,83. Объект C5 завершает этот список с меньшим значением показателя эффективности 0,6. При этом, чтобы объекту C5 достичь границы эффективности необходимо составить линейную комбинацию из одного или более эффективного объекта и определенного весового коэффициента (спроецировать его на границу эффективности). В приведённом примере показаны промежуточные значения показателей эффективности, которые уточняются в ходе обучения (реализации многоагентной технологии). В тоже время имеющаяся научно-методическая база дальнейшего развития многоагентной технологии анализа среды функционирования сложных систем предоставляет различные варианты совершенствования гибридных моделей, в том числе в качестве эволюционирующего прототипа в ретроспективной классификации ("Live, Virtual, & Constructive (LVC) Simulation") как с использованием доступных возможностей стандартизации в терминах распределенного интерактивного моделирования, так и в обозримой перспективе развития подхода.

Обсуждение и заключение

Ключевое содержание междисциплинарных исследований³ [23-25] предполагает дальнейшие

разработку и экспериментальное обоснование элементов *новых гибридных моделей* анализа среды функционирования (АСФ) [англ. DEA (Data Envelopment Analysis) & FDH (Free Disposal Hull)], причём особое внимание во взаимодействии с обучаемыми может фокусироваться, прежде всего, в следующем пуле аспектов:

Оценивание эффективности применения двух и более методов управления в условиях цифровой трансформации информационного ландшафта сложных социально-экономических систем;
Реализация проблемного обучения (учебных модулей) посредством адаптации локализованных гибридных моделей анализа среды функционирования (DEA & FDH) в прикладных примерах производственной деятельности студентов (бакалавров и магистров) и комплексного обобщения таковых в форме деловых игр;
Углублённое изучение сложных условий для описания свойства *конвексность* (вогнутость производственной границы) в контексте особенностей построения сложносоставных гибридных моделей DEA;
Опосредованное участие обучаемых в разработке и совершенствовании содержания составного авторского курса по взаимоувязанным учебным дисциплинам (к примеру, «Мультиагентное моделирование систем» и др.), – в обозримой перспективе – в прорабатываемых в настоящее время инициативах дуального образования;
Обоснование элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования сложных систем¹ [25] в интересах выявления и формирования потенциальных новых объектов интеллектуальной собственности.

³ Ann-Cathrin Spees. Could Germany's Vocational Education and Training System Be a Model for the U.S.? [Электронный ресурс] //

World Education News & Reviews (WENR). June 12, 2018. URL: <https://wenr.wes.org/2018/06/could-germanys-vocational-education-and-training-system-be-a-model-for-the-u-s/> (дата обращения: 20.07.2025).



Таким образом, дальнейшее развитие оригинальных форм и способов реализации образовательных практик с применением передовых интеллектуальных систем и сервисов может представлять непосредственный интерес при организации и проведении деловых игр в различных ситуациях профессиональной деятельности обучаемых, в том числе в контексте последующего формирования инновационных подходов дуального образованияⁱⁱ.

Разработка и исследование новых возможностей предлагаемых к обсуждению составляющих общей

гибридной модели оценивания эффективности элементов многоагентной технологии анализа среды функционирования на последующих этапах предполагается сосредоточить на условиях цифровой трансформации информационного ландшафта сложных социально-экономических систем. В развитии данной тематики в следующей статье будут рассмотрены очередные усовершенствования образовательных практик с применением интеллектуальных систем.

Список использованных источников

1. Интеграция компонентов виртуальной семантической среды и обобщённой модели анализа среды функционирования / В. В. Нечаев, В. И. Гончаренко, А. В. Рожнов [и др.] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12, № 3-1. С. 187-194. EDN: XBWGVL
2. Ratner S., Lychev A., Rozhnov A., Lobanov I. Efficiency Evaluation of Regional Environmental Management Systems in Russia Using Data Envelopment Analysis // Mathematics. 2021. Vol. 9, issue 18. Article number: 2210. <https://doi.org/10.3390/math9182210>
3. Эволюция управления сетевыми взаимодействиями в контексте "Mosaic Warfare" и формирование виртуальной семантической среды / А. С. Сигов, Г. Н. Гудов, А. В. Рожнов [и др.] // XII Мультиконференция по проблемам управления (МКПУ-2019) : материалы XII мультиконференции по проблемам управления (МКПУ-2019). Т. 3. Дивноморское, Геленджик: ЮФУ, 2019. С. 144-147. EDN: VCDBUW
4. Сравнение различных методов нахождения эффекта масштаба в нерадиальных моделях анализа среды функционирования / В. Е. Кривоножко, А. П. Афанасьев, Ф. Р. Форсунд, А. В. Лычев // Автоматика и телемеханика. 2022. № 7. С. 152-168. <https://doi.org/10.31857/S0005231022070091>
5. Lychev A. V. Synthetic Data Generation for Data Envelopment Analysis // Data. 2023. Vol. 8, No. 10. Article number: 146. <https://doi.org/10.3390/data8100146>
6. Ратнер С. В., Лычев А. В. Модели DEA с ограничением на веса в задачах оценки эффективности региональных систем экологического менеджмента // Решетневские чтения : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М. Ф. Решетнева. Ч. 2. Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2020. С. 584-585. EDN: WYSTRY
7. Выпуклые изокванты в моделях анализа среды функционирования с частичной выпуклостью / А. П. Афанасьев, В. Е. Кривоножко, А. В. Лычев, О. В. Сухорослов // Автоматика и телемеханика. 2024. № 1. С. 110-123. <https://doi.org/10.31857/S0005231024010076>
8. Integration of virtual semantic environments components and generalized data envelopment analysis (DEA) model / V. Nechaev, V. Goncharenko, A. Rozhnov [et al.] // CEUR Workshop Proceedings. 2016. Vol. 1761. P. 339-347. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-1761/paper44.pdf> (дата обращения: 20.07.2025).
9. Интеллектуализация сложных систем : Язык схем радикалов в проблемных вопросах предпроектных исследований, оснащения, сопровождения систем и в экспериментальных задачах внедрения критических наукоемких технологий: Коллективная монография // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. Т. 7, № 3. С. 1-92. EDN: NUAQNH
10. Кривоножко В. Е., Лычев А. В. Анализ деятельности сложных социально-экономических систем. Москва: МАКС Пресс, 2010. 207 с. EDN: QUJKXB
11. О новых системах панорамного проецирования изображения и некоторых особенностях их применения / В. В. Карпов, А. В. Рожнов, С. Н. Шевцов // Нейрокомпьютеры и их применение : тезисы докладов. Москва: МГППУ, 2018. С. 399-400. EDN: XMMBRR
12. Разработка и исследование новых возможностей применения интеграционных компонентов гибридных моделей и особенностей алгоритмического обеспечения автоматизированного анализа среды функционирования сложных систем / А. В. Рожнов, В. Е. Кривоножко, А. В. Лычев // Решетневские чтения : Материалы XXVIII Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со Дня рождения генерального конструктора ракетно-космических систем академика Михаила Федоровича Решетнева. Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева, 2024. С. 433-436. EDN: DUUBXO
13. Рожнов А. В. Исследование гибридных моделей анализа среды функционирования при описании восприятия действий просьюмеров с использованием микродиректив / XIV Всероссийское совещание по проблемам управления : сборник научных трудов. – М.: ИПУ РАН, 2024. С. 1239-1242. EDN: DFDDBR
14. Методика разработки подсистемы оценивания уровня сформированности компетенций обучающихся в общеобразовательных организациях высшего образования / А. Г. Волков, С. А. Тюрин, Г. Н. Гудов //



- Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14, № 4. С. 781-792. <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201804.781-792>
15. Интеллектуальное управление динамическими системами / С. Н. Васильев, А. К. Жерлов, Е. А. Федосов, Б. Е. Федун. М.: ООО Издательская фирма «Физико-математическая литература», 1999. 425 с. EDN: UHBAER
 16. Сухомлин В. А. Лаборатория открытых информационных технологий ВМК МГУ. Двадцать лет научно-образовательной деятельности // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2020. Т. 16, № 1. С. 152-170. <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202001.152-170>
 17. Человек и системы искусственного интеллекта / В. А. Лекторский, С. Н. Васильев, В. Л. Макаров [и др.]. СПб : ООО «Изд-во "Юридический центр"», 2022. 328 с. EDN: XSBHNY
 18. Сухомлин В. А. Анализ исследований математических основ модельно-ориентированной системной инженерии // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. 2024. Т. 20, № 3. С. 350-365. <https://doi.org/10.21638/spbu10.2024.304>
 19. Сухомлин В. А. Концепция и основные характеристики магистерской программы «Кибербезопасность» факультета ВМК МГУ // International Journal of Open Information Technologies. 2023. Т. 11, № 7. С. 143-148. EDN: MPHLSQ
 20. Направления просвещения и подготовки по вопросам разоружения и нераспространения для формального и неформального образования / А. Н. Губин, Г. Н. Гудов, И. О. Руженцев, Г. Е. Слепко // Современные информационные технологии и ИТ-образование : Сб. науч. трудов I Межд. науч. конф. «Конвергентные когнитивно-информационные технологии» и XI Межд. НПК «Современные информационные технологии и ИТ-образование». М.: ВМК МГУ, 2016. С. 24-29. EDN: XXTUPT
 21. Новый этап международной стандартизации ИТ-образования / В. А. Сухомлин, Е. В. Зубарева // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2021. Т. 17, № 3. С. 697-723. <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202103.697-723>
 22. Система развития цифровых навыков ВМК МГУ & Базальт СПО : Методика классификации и описания требований к сотрудникам и содержанию образовательных программ в сфере информационных технологий / В. А. Сухомлин, Е. В. Зубарева, Д. Е. Намиот, А. В. Якушин. М.: ООО «МАКС Пресс», 2021. 184 с. <https://doi.org/10.29003/m2575.978-5-317-06336-8>
 23. Построение гибридных интеллектуальных информационных сред и компонентов экспертных систем на основе обобщенной модели анализа среды функционирования / В. Е. Кривоножко, А. В. Рожнов, А. В. Лычев // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2013. № 6. С. 3-12. EDN: QCSJWV
 24. Математическое программирование : Методы решения производ. и трансп. задач / Н. Рейнфельд, У. Фогель ; Перевод с англ. Г. Н. Андрианова и Б. Н. Михалевского ; Под общ. ред. А. А. Конюса. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 304 с.
 25. О способе формирования требуемых конфигураций траекторий летательного аппарата / С. Н. Шевцов, Г. Н. Гудов, И. Н. Иванова // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта : Тезисы 17-ой межд. НПК. М.: ООО Аналитик, 2017. С. 65. EDN: YSTVPA

References

1. Nechaev V., Goncharenko V., Rozhnov A., Lobanov I. Integration of virtual semantic environments components and generalized data envelopment analysis (DEA) model. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2016;12(3-1):187-194. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: XBWGVV
2. Ratner S., Lychev A., Rozhnov A., Lobanov I. Efficiency Evaluation of Regional Environmental Management Systems in Russia Using Data Envelopment Analysis. *Mathematics*. 2021;9(18):2210. <https://doi.org/10.3390/math9182210>
3. Sigov A., Gudov G., Rozhnov A., Nechaev V., Lobanov I. Evolution of control of network-centric interaction in the context of "Mosaic Warfare" and forming a virtual semantic environment. In: MKPU-2019. Divnomorskoye, Gelendzhik: SFedU; 2019. Vol. 3. p. 144-147. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: VCDUW
4. Krivonozhko V.E., Afanasiev A.P., Forsund F.R., et al. Comparison of Different Methods for Estimation of Returns to Scale in Nonradial Data Envelopment Analysis Models. *Automation and Remote Control*. 2022;83:1136-1148. <https://doi.org/10.1134/S0005117922070098>
5. Lychev A.V. Synthetic Data Generation for Data Envelopment Analysis. *Data*. 2023;8(10):146. <https://doi.org/10.3390/data8100146>
6. Ratner S.V., Lychev A.V. DEA models with restriction on weights for estimation of efficiency of regional environmental management systems. *Reshetnev readings*. 2020;2:584-585. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: WYSTRY
7. Afanasiev A.P., Krivonozhko V.E., Lychev A.V., et al. Convex Isoquants in DEA Models with Selective Convexity. *Automation and Remote Control*. 2024;85:79-89. <https://doi.org/10.1134/S0005117924010016>



8. Nechaev V., Goncharenko V., Rozhnov A. Integration of virtual semantic environments components and generalized data envelopment analysis (DEA) model. *CEUR Workshop Proceedings*. 2016;1761:339-347. Available at: <https://ceur-ws.org/Vol-1761/paper44.pdf> (accessed 20.07.2025).
9. Intellectualization of complex systems: The language of radical schemes in problematic issues of pre-design research, equipping, maintenance of systems and in experimental tasks of introducing critical high-tech technologies: A collective monograph. *Information measuring and control systems*. 2009;7(3):1-92. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: NUAQNH
10. Krivonozhko V.E., Lychev A.V. Analysis of the activities of complex socio-economic systems. Moscow: MAKSPress; 2010. 207 p. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: QUJKXB
11. Karpov V.V., Rozhnov A.V., Shevtsov S.N. About new panoramic image projection systems and some features of their application. In: Collection of abstracts of the conference Neurocomputers and their application. Moscow, MSUPE; 2018. p. 399-400. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: XMMBRR
12. Krivonozhko V.E., Rozhnov A.V., Lychev A.V. Development and research of new possibilities for the application of integration components of hybrid models and features of algorithmic support for automated DEA. *Reshetnev readings*. 2024. p. 433-436. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: DUUBXO
13. Rozhnov A.V. A study of hybrid models for analyzing the functioning environment when describing the perception of prosumer actions using microdirectives. In: XIV All-Russian Meeting on Control Problems. Collection of Scientific Papers. Moscow: ICS RAS; 2024. p. 1239-1242. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: DFDBDR
14. Volkov A.G., Tyurin S.A., Gudov G.N. The method of developing an intelligent automated subsystem for assessing the level of competence formation. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2018;14(4):781-792. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.14.201804.781-792>
15. Vasiliev S.N., Zherlov A.K., Fedosov E.A., Fedunov B.E. *Intellektnoe upravlenie dinamicheskimi sistemami* [Intelligent control of dynamic systems]. Moscow, LLC Publishing company "Physico-mathematical Literature"; 1999. (In Russ.) EDN: UHBAER
16. Sukhomlin V. Laboratory of Open Information Technologies CMC MSU. Twenty Years of Scientific and Educational Activity. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2020;16(1):152-170. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.16.202001.152-170>
17. Lektorsky V.A., Vasiliev S.N., Makarov V.L., et al. *Chelovek i sistemy iskusstvennogo intellekta* [Man and artificial intelligence systems]. St. Petersburg, Law Center Publishing House, LLC; 2022. 328 c. (In Russ.) EDN: XSBHKY
18. Sukhomlin V.A. Analysis of research into the mathematical foundations of model-based systems engineering. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta. Seriya 10. Prikladnaya Matematika. Informatika. Protsessy Upravleniya*. 2024;20(3):350-365. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.21638/spbu10.2024.304>
19. Sukhomlin V.A. The Concept and Main Characteristics of the Master's Degree Program "Cybersecurity" of the Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics of Lomonosov Moscow State University. *International Journal of Open Information Technologies*. 2023;11(7):143-148. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MPHLSQ
20. Gubin A.N., Gudov G.N., Ruzhentsev I.O., Slepko G.E. Directions enlightenment and training on disarmament and non for formal and informal education. In: Proceedings of the International Conference on Modern Information Technologies and IT-Education. Moscow: MSU; 2016. p. 24-29. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: XXTUPT
21. Sukhomlin V.A., Zubareva E.V. The New Stage of International Standardization of IT Education. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2021;17(3):697-723. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25559/SITITO.17.202103.697-723>
22. Sukhomlin V.A., Zubareva E.V., Namiot D.E., Yakushin A.V. *Sistema razvitiya cifrovyyh navykov VMK MGU & Bazal't SPO : Metodika klassifikatsii i opisaniya trebovaniy k sotrudnikam i sodержaniyu obrazovatel'nyh programm v sfere informacionnyh tekhnologij* [The Digital Skills Development System of VMK MSU & Basalt SPO : A methodology for classifying and describing requirements for employees and the content of educational programs in the field of information technology]. Moscow: MAKSPress; 2021. 184 p. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.29003/m2575.978-5-317-06336-8>
23. Krivonozhko V.E., Rozhnov A.V., Lychev A.V. Construction a hybrid intelligent information framework and components of expert systems using the generalized data envelopment analysis model. *Neurocomputers*. 2013;(6):3-12. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: QCJJWV
24. Reinfield N.V., Vogel W.R. Mathematical programming. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall; 1958. 294 p.
25. Shevtsov S.N., Gudov G.N., Ivanova I.N. *O sposobe formirovaniya trebuemykh konfiguratsij traektorij letatel'nogo apparata* [On the method of forming the required configurations of aircraft trajectories]. In: Proceedings of the International Conference on CAD/CAM/PDM-2017. Moscow: Analitik; 2017. p. 65. (In Russ.) EDN: YSTVPA

Поступила 20.07.2025; одобрена после
рецензирования 19.09.2025; принята к публикации
04.10.2025.

Submitted 20.07.2025; approved after reviewing
19.09.2025; accepted for publication 04.10.2025.



Об авторах:

Шевцов Сергей Николаевич, преподаватель, ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая ордена Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации» (119992, Российская Федерация, г. Москва, проезд Девичьего Поля, д. 4); ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (119049, Российская Федерация, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, стр. 1), кандидат технических наук, **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-7691-960X>, sshvc@yandex.ru

Рожнов Алексей Владимирович, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук» (117997, Российская Федерация, г. Москва ул. Профсоюзная, д. 65), кандидат технических наук, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0972-4043>, rozhnov@ipu.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the authors:

Sergey N. Shevtsov, Lecturer, Combined arms order of Zhukov Academy of the Armed Forces of the Russian Federation (4 Devichye Pole Passage, Moscow 119992, Russian Federation); National University of Science and Technology "MISIS" (4 Leninsky pr., build. 2, Moscow 119049, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-7691-960X>, sshvc@yandex.ru

Aleksei V. Rozhnov, Senior Research, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences (65 Profsoyuznaya St., Moscow 117997, Russian Federation), Cand. Sci. (Tech.), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0972-4043>, rozhnov@ipu.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

ⁱ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022667841 Российская Федерация. Расчет боеприпасов на день по учениям : № 2022666782 : заявл. 14.09.2022 : опубл. 27.09.2022 / Г. С. Бабушкин, Н. А. Анисимов, В. В. Метельский, С. Н. Шевцов ; заявитель ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Сухопутных войск «Общевойсковая ордена Жукова академия Вооруженных Сил Российской Федерации». EDN: JBFZHF

ⁱⁱ Bjørk H. Historische Entwicklung des dualen Ausbildungssystems [Электронный ресурс] // 19 Dezember, 2017. URL: <https://handelskammer.blog/historische-entwicklung-des-dualen-ausbildungssystems/> (дата обращения: 20.07.2025). (In German)