

<https://doi.org/10.25559/SITITO.020.202403.791-799>
УДК 371.311.1

Оригинальная статья

Методы и алгоритмы для построения персонализированных образовательных программ

Т. М. Линденбаум¹, С. О. Крамаров^{2*}, В. В. Храмов³

¹ ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения», г. Ростов-на-Дону, Российская федерация

Адрес: 344038, Российская федерация, г. Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, корп. 2

² БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут, Российская Федерация

Адрес: 628400, Российская Федерация, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

³ ЧОУ ВО ЮУ (ИУБиП), г. Ростов-на-Дону, Российская федерация

Адрес: 344068, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Михаила Нагибина, д. 33А/47

* maoovo@yandex.ru

Аннотация

Авторы предлагают инновационную методику построения индивидуальных образовательных траекторий, основанную на интеллектуальных алгоритмах и гибких моделях. Эта методика анализирует «пространство знаний» и предлагает оптимальный образовательный маршрут для каждого обучаемого. Учитываются различные факторы, влияющие на образовательный процесс, такие как индивидуальные особенности обучаемого, характеристики учебного материала, доступные образовательные ресурсы. Методика не требует идеальных данных и способна учитывать неточности, характерные для реальных учебных ситуаций. Авторы предлагают использовать математический аппарат нечеткой логики и системных графов для моделирования образовательного процесса. Работа рассчитана на исследователей, преподавателей и разработчиков систем образования, предлагает новый подход к построению персонализированных образовательных программ, основанный на комбинации методов нечеткой логики и машинного обучения. Разработанная модель позволяет учитывать индивидуальные особенности обучаемых, включая уровень знаний, стиль обучения, мотивацию и цели, включая элементы интеллектуальной скрытности (интеллатентности). Статья представляет практические решения, которые могут быть использованы для создания эффективных и мотивирующих персонализированных программ обучения, что позволит повысить качество образования и улучшить результаты обучения. Предлагаемый подход к проведению занятий может быть использован в роботизированных системах поддержки обучения.

Ключевые слова: персонализированное обучение, адаптивное обучение, интеллектуальные системы, нечеткая логика, образовательные траектории, моделирование индивидуальных особенностей обучаемых

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Линденбаум Т. М., Крамаров С. О., Храмов В. В. Методы и алгоритмы для построения персонализированных образовательных программ // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2024. Т. 20, № 3. С. 791-799. <https://doi.org/10.25559/SITITO.020.202403.791-799>

© Линденбаум Т. М., Крамаров С. О., Храмов В. В., 2024



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



Methods and Algorithms for Creating Personalized Educational Programs

T. M. Lindenbaum^a, S. O. Kramarov^{b*}, V. V. Khramov^c

^a Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Address: 2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., Rostov-on-Don 344038, Rostov-on-Don, Russian Federation

^b Surgut State University, Surgut, Russian Federation

Address: 1 Lenin Ave., Surgut 628400, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra, Russian Federation

^c PEI HE Southern University (IMBL), Rostov-on-Don, Russian Federation

Address: 33A/47 Mikhail Nagibin Ave., Rostov-on-Don 344068, Russian Federation

* maoovo@yandex.ru

Abstract

The authors offer an innovative methodology for building individual educational trajectories based on intelligent algorithms and flexible models. This method analyzes the “space of knowledge” and offers the optimal educational route for each student. Various factors affecting the educational process are taken into account, such as the individual characteristics of the student, the characteristics of the educational material, and available educational resources. The methodology does not require perfect data and is able to take into account inaccuracies typical of real learning situations. The authors propose to use the mathematical apparatus of fuzzy logic and system graphs to model the educational process. The work is designed for researchers, teachers and developers of education systems, offers a new approach to building personalized educational programs based on a combination of fuzzy logic and machine learning methods. The developed model allows you to take into account the individual characteristics of students, including the level of knowledge, learning style, motivation and goals, including elements of intellectual secrecy (intelligence). The article presents practical solutions that can be used to create effective and motivating personalized learning programs, which will improve the quality of education and improve learning outcomes. The proposed approach to conducting classes can be used in robotic learning support systems.

Keywords: personalized learning, adaptive learning, intelligent systems, fuzzy logic, educational trajectories, modeling of individual characteristics of students

Conflict of interests: The authors declares no conflict of interest.

For citation: Lindenbaum T.M., Kramarov S.O., Khramov V.V. Methods and Algorithms for Creating Personalized Educational Programs. *Modern Information Technologies and IT-Education*. 2024;20(3):791-799. <https://doi.org/10.25559/SITITO.020.202403.791-799>



1. Введение

Успех формирования компетентного специалиста напрямую зависит от учета индивидуальных особенностей каждого ученика, поэтому важно учитывать психофизиологические особенности каждого ученика для построения эффективной траектории обучения. Адаптация методик преподавания к индивидуальным особенностям обучаемых – ключ к эффективному образовательному процессу.

В результате создается персонализированная образовательная среда, как правило, в виде электронной интеллектуальной обучающей системы (ЭИОС), способствующая реализации потенциала каждого ученика. Индивидуализация обучения обеспечивает оптимальные условия для развития каждого ученика, с учетом его уникальных потребностей.

Математическое моделирование индивидуальности обучаемого позволяет объективно оценить психологические характеристики ученика [1, 2] и использовать эту информацию для персонализации обучения. Этот подход позволяет объективно измерить различные аспекты личности и адаптировать образовательные стратегии под индивидуальные потребности каждого учащегося.

Учет индивидуальных особенностей обучаемого позволяет педагогу (в виде традиционного учителя или гибридного, при наличии робота-ассистента) выбрать оптимальные методы обучения, разработать эффективную образовательную программу и построить продуктивное взаимодействие с каждым учеником.

2. Материалы и методы

Психологическая деятельность обучаемого может быть описана посредством модели, где обучаемый через свою сенсорную систему воспринимает внешние воздействия (представленные множеством V) и создает индивидуальный информационный образ ситуации (обозначенный как J) в контексте окружающей среды. Затем, анализируя эту информацию, обучаемый реализует своё поведение.

Такое описание психологической деятельности учитывает важность восприятия окружающих стимулов, их анализа и преобразования в конкретные действия. Этот процесс является ключевым для понимания, как обучаемые взаимодействуют со своим окружением и как формируют своё поведение в ответ на внешние воздействия. Тогда

$$J_i(t) = \Psi_i W_{\text{вн}}(t - \tau), t \quad (1)$$

Здесь t – текущее время; J_i – индивидуальный оператор информационного отображения; τ – время запаздывания, обусловленное инерционностью сенсорной системы. Поведение индивидуума описывается уравнением

$$P_i(t) = \Pi_i J_i(t), t \quad (2)$$

где Π_i – индивидуальный оператор поведения. В центре нашего внимания будут модели, описывающие как человек осознанно обрабатывает информацию и на основе этого строит свое поведение.

Применение классической теории идентификации к обучаемому затруднено, так как невозможно точно измерить его реакцию. Вместо количественных измерений мы имеем дело с типом поведения и его качественными характеристиками. Далее мы рассмотрим два перспективных направления для идентификации обучаемого в условиях отсутствия количественных данных. Один заключается в побуждении обучаемого к осмысливанию и формализации модели того или иного психологического процесса. Опросы, экспертные оценки являются инструментарием этого подхода. Отметим особенность подхода: субъективизм, искажение информации, коррелированность результатов с методом и процедурой опроса, возможность влияния исследователя на результаты. Стремление преодолеть указанный субъективизм приводит к другому подходу, который заключается в проведении с испытуемым активных или пассивных экспериментов, регистрации типа и доступных качественных характеристик поведения.

Анализ типов поведения и их качественных характеристик позволяет идентифицировать индивидуальные особенности обучаемого.

В роли идентифицируемого оператора F могут выступать как модели психофизиологических процессов восприятия (зрительного, слухового, тактильного – оператор $O_{\text{пер}}$), так и модели интеллектуальной обработки информации (понимание, распознавание, классификация, выбор – оператор $O_{\text{пер}}$). Обобщенная модель поведения независимо от конкретного интеллектуального процесса может быть записана в виде

$$U_m = F_m(x, q_m), \quad (3)$$

где F_m – оператор модели поведения,

x – n -мерное количественно измеренное входное воздействие (ситуация),

q_m – m -мерный вектор количественных характеристик (параметров) модели.

В рамках идентификации интеллектуальных процессов мы имеем дело с ограниченным набором экспериментальных данных, позволяющих установить только классы эквивалентности и отношения предпочтения между возможными действиями (x). В таких условиях задача идентификации заключается в том, чтобы найти такие F_m и q_m , которые не противоречат вытекающим из отношений эквивалентности и предпочтений соотношений для каждой пары ситуаций x_i, x_j

$$F(x_i) = F(x_j) \text{ и } F(x_i) > F(x_j) \quad (4)$$

соответственно.

Решение задачи идентификации, как и в классической постановке, требует определения вида оператора F_m (структурная идентификация) и значений параметров q_m (параметрическая идентификация). Существуют два подхода к идентификации F_m . Первый заключается в стремлении синтезировать оператор, с максимально возможной точностью описывающий реальные процессы, происходящие в мозгу.

Второй подход состоит в выборе более простого оператора F_m , структура которого не связана с реальной, но обеспечивает совпадение реакций реальной системы и модели с требуемой точностью (эквивалентность по реакции). Последний подход в



большей степени соответствует задаче формализации интеллектуальных процессов в области построения систем искусственного интеллекта.

Таким образом, модель интеллектуальных и психофизиологических процессов поведения обучаемого, описанная при помощи выражений (2.1) – (2.4), может быть использована в тестовых диагностических процедурах для идентификации его индивидуальности в интересах автоматизированного обучения.

3. Постановка задачи адаптации ЭИОС к обучаемым

Приведенный анализ ЭИОС показал, что в настоящее время отсутствуют системы, реализованные на базе персональных компьютеров, и отвечающие требованиям адаптивности к индивидуальным особенностям обучаемых. В связи с чем очевидна актуальность постановки и решения задачи разработки методики адаптации ЭИОС к индивидуальным свойствам обучаемых.

Адаптивная ЭИОС – это обучающая система, способная «подстраиваться» под индивидуальные особенности обучаемого. Она анализирует его сильные и слабые стороны, корректирует модель обучаемого и на этой основе выбирает наиболее эффективные методы обучения и обучающие материалы. Обычно такая система представляет собой автоматизированное рабочее место.

Технология использования таких ЭИОС обеспечивает: переработку дидактического материала в учебный материал и учебные пособия; применение учебного материала различного уровня сложности; возможность динамического конструирования последовательности изложения учебного материала; реализацию различных методик. Цель системы – достижение максимальной эффективности обучения.

Интеллектуальная система (например, в составе робота-ассистента преподавателя) анализирует, насколько хорошо обучаемый усваивает материал, и на основе этого вносит коррективы в его модель. Система может менять подходы к обучению (например, переходить от теории к практике, менять темп обучения) в зависимости от потребностей обучаемого, подбирает задания, тесты, материалы, которые наиболее эффективны для данного обучаемого в данный момент.

Так, в нашей работе [2] рассматриваются психологические факторы неуспеваемости и типы расхождений в развитии личности учащихся. Анализ, проведенный в этой работе, показал, что наиболее существенные причины неудач в формировании знаний скрыты в мотивационной и интеллектуальной сферах личности обучаемых.

С точки зрения указанных сфер, можно выделить следующие состояния обучаемого: W_1 – наличие интеллектуальных способностей для обучения + наличие желания учиться; W_2 – отсутствие интеллектуальных способностей для обучения + наличие желания учиться; W_3 – наличие интеллектуальных способностей для обучения + отсутствие желания учиться; W_4 – отсутствие интеллектуальных способностей для обучения + отсутствие желания учиться.

Представим нечеткий граф G в виде тройки (W, U, μ) . (Подробнее об этом в [3]). Здесь: $W = \{W_1, W_2, W_3, W_4\}$ – множество вершин представляет собой нечеткие состояния обучаемого; $U = \{u\}$

– множество элементов, называемых ребрами графа, характеризует операции перехода; μ – функция принадлежности, указывающая степень приближения к оптимуму при переходе из одного состояния в другое.

При этом задача адаптации заключается в приспособлении ЭИОС к индивидуальным особенностям обучаемых (состояния $W_1 - W_3$) с целью минимизации пути обучения. Состояние W_4 исключено из адаптационного процесса из соображения низкой эффективности, когда учащийся имеет очень слабую мотивацию и низкие интеллектуальные способности к учению. В этом случае целесообразно рассмотреть вопрос о дальнейшем обучении и предложить обучаемому смену вида деятельности. Адаптация ЭИОС к обучаемому предполагает условную стратегию организации учебных порций знаний. При таком подходе последовательность учебных воздействий зависит от интеллектуальных и психофизиологических особенностей обучаемого и качества усвоения им материала.

Условная стратегия обучения требует четкого плана, который определяет правила выбора следующего учебного воздействия. Такой план можно представить в виде таблицы принятия решений или алгоритма. Однако, составление плана усложняется множеством взаимосвязанных факторов, которые часто не поддаются точному измерению. Приходится иметь дело со слабоструктурированной проблемой [4].

Для эффективного планирования необходимо:

1. Структурировать знания по изучаемой дисциплине.
2. Анализировать состояние обучаемого.
3. Выбирать методы подачи учебного материала, учитывая индивидуальные особенности обучаемого и используя методы обработки нечеткой информации. Причем, правила выбора воздействия определяют, какое обучающее задание следует предложить обучаемому в зависимости от его успехов в обучении на данном этапе.

4. Общая задача адаптации и ее декомпозиция

Научно-технический прогресс приводит к непрерывному увеличению объема знаний, которыми должны овладеть специалисты (операторы). Наряду с этим, к деятельности оператора предъявляются большие требования, обусловленные все усложняющейся техникой, высоким уровнем напряжения в деятельности, возможностью возникновения экстремальных ситуаций. В целом необходимо отметить, что в операторской деятельности важную роль играют анатомо-физиологические, психомоторные и интеллектуальные факторы, а также свойства характера и особенности проявления эмоционально-волевых процессов. Эти факторы должны влиять и на особенности обучения операторов.

Известно, что эффективное обучение невозможно без учета индивидуальных психологических (как интеллектуальных метрических, так и неметрических) особенностей операторов. Обычно данные психологического характера собираются при проведении профотбора кандидатов на обучение для определения степени развития психологических качеств, которые определяются требованиями того или иного вида операторской деятельности. Однако в практике обучения эти данные используются не достаточно эффективно [5].



Таким образом, имеет место задача повышения эффективности подготовки специалистов на основе индивидуализации обучения.

Индивидуальный подход в обучении неразрывно связан с учетом психологических особенностей обучаемого. Это включает:

1. Предварительный анализ: Изучение психологических характеристик обучаемых на этапе профессионального отбора. Полученные данные могут быть скорректированы перед началом обучения.

2. Постоянный мониторинг: Учет индивидуальных особенностей личности на протяжении всего обучения, при проведении различных видов занятий.

Одним из перспективных направлений в разрешении поставленной задачи является внедрение в дидактический процесс ЭИОС на базе РС, которые могут приспосабливаться к обучаемым. Для их использования необходима разработка методики адаптации ЭИОС к интеллектуальным и психологическим свойствам обучаемых.

Отличительной особенностью ЭИОС является возможность адаптации к конкретному обучаемому. Для предъявления обучаемому порции обучающей информации необходимо наличие всего учебного материала, который должен усвоить обучаемый, т.е. в ЭИОС должна быть заложена модель знаний ($MЗ$) предметной области. Результаты опроса обучаемого по выданным порциям обучающей информации позволяют принимать решения о состоянии объекта. При выборе очередного дидактического воздействия обучающие системы учитывают всю картину знаний по изучаемому предмету, а также личностные особенности обучаемого. Формальное описание состояний обучаемого на разных этапах обучения должны быть представлены в ЭИОС в виде модели обучаемого. Эта модель используется для адаптации работы ЭИОС к обучаемому и носит динамический характер, так как в ней постоянно обновляется информация о характеристиках обучаемого.

В качестве теоретической концепции, лежащей в основе выявления психологических особенностей обучаемых, воспользуемся концепцией К.К. Платонова [6] о динамической функционально-психологической структуре личности. Исходя из выбранной теоретической концепции и с учетом требований к операторской деятельности, предлагается состав особенностей, на которые следует обратить внимание в процессе профессиональной подготовки. Учет особенностей структуры интеллекта, нейродинамики, мотивационной сферы, уровня самооценки и уровня притязаний обучаемого позволяет повысить эффективность учебного процесса.

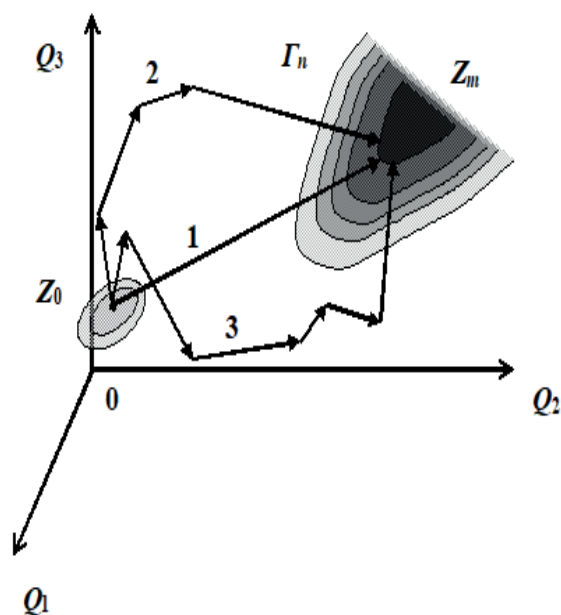
Формализуем задачу адаптивного обучения, для чего представим учебный процесс в виде последовательности шагов, начинающихся в моменты времени $t_0, t_1, \dots, t_n, \dots, t_m$. В начальный момент времени t_0 обучаемый находится в некотором состоянии O_0 . Требуется построить последовательность управляющих воздействий U_n ($n = \overline{1, m}$), которая переведет обучаемого в заданное конечное состояние O_m .

Пример такого подхода можно рассмотреть на схеме формирования специалиста в терминах миссий университета¹ [5]: 1) образовательной (Q_1); 2) научно-исследовательской (Q_2); 3) со-

циальной (университет и общество – Q_3). Здесь Q_i – интегральные оценки выполнения соответствующих миссий. На рисунке 1 представлена схема реализации такого подхода.

Обычно [1], [7] для оценки эффективности на каждом шаге управления используют функцию качества $K_{об}^n$, зависящую от состояния обучаемого O_n и характеризующую его уровень обученности в момент n -го шага обучения t_n . Обучение целесообразно оканчивать, когда критерий качества обучения $K_{об}^n$ достигает порога $K_{зад}^n : K_{об}^n \approx K_{зад}^n$, где $K_{зад}^n > 0$ – заданная величина.

Таким образом, цель обучения состоит в достижении уровня $K_{зад}^n$.



Р и с. 1. Возможные траектории обучения в многомерном пространстве свойств

Fig. 1. Possible learning trajectories in a multidimensional property space

Источник: составлено авторами.

Source: Compiled by the authors.

5. Обсуждение

На основании вышесказанного можно сформулировать общую научную задачу исследования как теоретическое обоснование метода адаптации ЭИОС [8-11] операторского типа к индивидуальным свойствам обучаемых, позволяющего при заданной модели знаний ($MЗ$) предметной области и модели индивидуальных интеллектуальных и психофизиологических особенностей ($МИО$) [12] обучаемых, синтезировать вектор обучающих воздействий (\overline{U}) ЭИОС [13-18], уменьшающий время (t) перевода обучаемого из начального состояния (O_0), характеризующегося качеством усвоенного к моменту изучения материала, в конечное (O_m), задаваемое требованиями квалификационных характеристик, при уровне качества обучения $K_{об}$, не хуже заданного $K_{зад}$ [19].

¹ Ногин В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. 2-е изд. М.: Физматлит, 2005. 176 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/59371> (дата обращения: 27.05.2024).



$$K(O_{n+1}) = K(F_n(O_n, U_n, R_n, \text{МИО})) \Rightarrow U_{n+1}^* \rightarrow \min(t_{n+1}) \quad (5)$$

где U_{n+1}^* – локально-оптимальное обучающее воздействие, выдаваемое обучаемому на n -м шаге обучения [20-25].

6. Выводы

Для решения общей научной задачи, сформулированной как задача адаптации ЭИОС к индивидуальным свойствам обуча-

емых, на основании известной теоремы разделения проведем декомпозицию [23]. При этом представляется целесообразным исходную цель разбить на две частные подцели:

1. Повышение эффективности процесса обучения, в частности, уменьшение значения показателя времени обучения при заданном уровне качества, за счет адаптации ЭИОС к интеллектуальным свойствам обучаемых [24].
2. Уменьшение времени обучения за счет адаптации ЭИОС к психофизиологическим свойствам обучаемых [25].

Список использованных источников

- [1] Абакумова И. В., Храмов В. В. Архитектура личностно-смыслового пространства и психосинергетическое описание процессов самоорганизации // Северо-Кавказский психологический вестник. 2007. Т. 5, № 2. С. 5-9. EDN: YLOSHB
- [2] Храмов В. В. Агрегирование информации как проблема личностной самоорганизации // Российский психологический журнал. 2007. Т. 4, № 4. С. 9-21. EDN: OHLPLV
- [3] Kramarov S. O., Khramov V. V., Grebenyuk E., Belyaev A. Multiparametric selection of distance learning tools using fuzzy approaches // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 201. Article number: 18024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021018024>
- [4] Храмов В. В. Концепция обеспечения эффективности организационно-технических систем на основе бионико-интеллектуального подхода // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2001. № 2. С. 138-141. EDN: JWIPAF
- [5] Akperov I. G., Khramov V. V. The concept of a unified geoinformational space of the region: ecological aspect // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 210. Article number: 09006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021009006>
- [6] Крамаров С. О., Сахарова Л. В., Храмов В. В. Мягкие вычисления в менеджменте: управление сложными многофакторными системами на основе нечетких аналог-контроллеров // Научный вестник Южного института менеджмента. 2017. № 3. С. 42-51. <https://doi.org/10.31775/2305-3100-2017-3-42-51>
- [7] Нариньяни А. С. НЕ-факторы: неоднозначность (доформальное исследование) (I-я часть) // Новости искусственного интеллекта. 2003. № 5. С. 47-55. EDN: MNWENQ
- [8] Когнитивное моделирование поддержки управления университетом как человеко-машинной системой / Г. И. Акперов [и др.] // Информатика и образование. 2024. Т. 39, № 1. С. 65-73. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-1-65-73>
- [9] Mathematical Models and Algorithms of an Intelligent Platform for the Implementation of an Individual Learning Trajectory / G. I. Akperov [et al.] // Proceedings of the Sixth International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'22). IITI 2022. Lecture Notes in Networks and Systems ; ed. by S. Kovalev, A. Sukhanov, I. Akperov, S. Ozdemir. Vol. 566. Cham: Springer, 2023. P. 424-436. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19620-1_40
- [10] Method of Student Individuality Identification for Adapting and Intelligent Training Module Based on Soft Models / I. Alekperov [et al.] // Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems ; ed. by A. Guda. Vol. 510. Cham: Springer, 2023. P. 1881-1888. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_193
- [11] Визуализация информационных моделей управления компетенциями при подготовке бакалавров IT-направленности / Т. М. Линденбаум, Т. И. Акперов, Т. С. Александрова, В. В. Храмов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 3(60). С. 48-53. EDN: RBESUD
- [12] Akperov I. G., Khramov V. V. Development of Instruments of Fuzzy Identification of Extended Objects Based on the Results of Satellite Monitoring // 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2018. ICAFS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing ; ed. by R. Aliev, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, M. Jamshidi, F. Sadikoglu. Vol. 896. Cham: Springer; 2019. P. 325-332. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04164-9_44
- [13] Akperov G. I., Khramov V. V., Gorbacheva A. A. Using Soft Computing Methods for the Functional Benchmarking of an Intelligent Workplace in an Educational Establishment // 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions – ICSCCW-2019. ICSCCW 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing ; ed. by R. Aliev, J. Kacprzyk, W. Pedrycz, M. Jamshidi, M. Babanli, F. Sadikoglu. Vol. 1095. Cham: Springer, 2020. P. 54-60. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35249-3_6
- [14] Акперов И. Г., Храмов В. В. Управление социально-экономическими системами региона – становление цифровой экономики // Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию. 2020. № 2. С. 36-47. EDN: TPDSFZ
- [15] Alexandrov Yu. I., Pletnikov M. V. Neuronal metabolism in learning and memory: The anticipatory activity perspective // Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2022. Vol. 137. Article number: 104664. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104664>
- [16] A Deep Learning Method for Predicting Low-Cost and High-Accuracy Designing of Anticipatory Layered Nanostructures / N. Feng [et al.] // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 2023. Vol. 71, No. 8. P. 3294-3302. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2023.3276202>



- [17] Anticipatory analysis of AGV trajectory in a 5G network using machine learning / A. Mozo, S. Vakaruk, J. E. Sierra-García, A. Pastor // *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2023. Vol. 35, issue 4. P. 1541-1569. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02116-1>
- [18] Monitoring, evaluation, accountability, and learning (MEAL) in anticipatory action – earth observation as a game changer / M. Enenkel, K. Dall, Ch. K. Huyck [et al.] // *Frontiers in Climate*. 2022. Vol. 4. Article number: 923852. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.923852>
- [19] Android-based anticipatory guidance application for students in online learning / P. H. Livana, N. Hidayah, M. Ramli, B. B. Wiyono // *International Journal of Health Sciences*. 2022. Vol. 6, No. S4. P. 310-319. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns4.5516>
- [20] Precise Position Control in Air-Bearing PMLSM System Using an Improved Anticipatory Fractional-Order Iterative Learning Control / M. Wang, K. Kang, Ch. Zhang, L. Li // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2024. Vol. 71, No. 6. P. 6073-6083. <https://doi.org/10.1109/tie.2023.3290251>
- [21] Hu Ju. A novel deep learning driven robot path planning strategy: Q-learning approach // *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2023. Vol. 71, No. 3. P. 237-243. <https://doi.org/10.1504/ijcat.2023.10057374>
- [22] Liu H., Li X. Learning path combination recommendation based on the learning networks // *Soft Computing – A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*. 2020. Vol. 24, No. 6. P. 4427-4439. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04205-x>
- [23] Raj N. S., Renumol V. G. An improved adaptive learning path recommendation model driven by real-time learning analytics // *Journal of Computers in Education*. 2022. Vol. 11. P. 121-148. <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00250-y>
- [24] Ovtšarenko O. Generation of a learning path in e-learning environments: literature review // *New Trends in Computer Sciences*. 2023. Vol. 1, No. 1. P. 32-50. <https://doi.org/10.3846/ntcs.2023.18278>
- [25] Local Path Planning: Dynamic Window Approach With Q-Learning Considering Congestion Environments for Mobile Robot / M. Kobayashi, H. Zushi, T. Nakamura, N. Motoi // *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. P. 96733-96742. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3311023>

Поступила 27.05.2024; одобрена после рецензирования 14.07.2024; принята к публикации 26.08.2024.

Об авторах:

Линденбаум Татьяна Михайловна, доцент кафедры информатики, ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (344038, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, корп. 2), кандидат технических наук, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-4755>**, tm-lind@yandex.ru

Крамаров Сергей Олегович, главный научный сотрудник Института экономики и управления, БУ ВО «Сургутский государственный университет» (628400, Российская Федерация, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1), доктор физико-математических наук, профессор, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3743-6513>**, maoovo@yandex.ru

Храмов Владимир Викторович, ведущий научный сотрудник Академии цифрового развития, ЧОУ ВО ЮУ (ИУБиП) (344068, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пр. Михаила Нагибина, д. 33А/47), кандидат технических наук, доцент, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1848-8174>**, vxramov@inbox.ru

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

References

- [1] Abakumova I.V., Khramov V.V. Architecture of the personal-semantic space and psychosynergetic description of self-organization processes. *North Caucasian Psychological Bulletin*. 2007;5(2):5-9. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: YLOSHB
- [2] Khramov V.V. Information aggregation as a problem of personal self-organization. *Russian Psychological Journal*. 2007;4(4):9-21. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: OHLPLV
- [3] Kramarov S.O., Khramov V.V., Grebenyuk E., Belyaev A. Multiparametric selection of distance learning tools using fuzzy approaches. *E3S Web of Conferences*. 2020;201:18024. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021018024>
- [4] Khramov V.V. The concept of ensuring the efficiency of organizational and technical systems based on the bionic-intellectual approach. *Bulletin of the Rostov State University of Railway Engineering*. 2001;(2):138-141. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: JWIPAF
- [5] Akperov I.G., Khramov V.V. The concept of a unified geoinformational space of the region: ecological aspect. *E3S Web of Conferences*. 2020;210:09006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021009006>
- [6] Kramarov S.O., Sakharova L.V., Khramov V.V. Soft computing in management: control of complex multifactor systems based on fuzzy analog controllers. *Scientific Bulletin of the Southern Institute of Management*. 2017;(3):42-51. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31775/2305-3100-2017-3-42-51>
- [7] Narinyani A.S. NON-factors: ambiguity (pre-formal study) (part I). *Novosti iskusstvennogo intellekta*. 2003;(5):47-55. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: MNWEHQ
- [8] Akperov G.I., Grigoriev S.G., İşiklar A., Khramov V.V., Grigorieva M.A. Cognitive modeling of university management support as a human-machine system. *Informatics and education*. 2024;39(1):65-73. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-1-65-73>



- [9] Akperov G.I., Artamonova A.G., Khramov V.V., Sakharova L.V. Mathematical Models and Algorithms of an Intelligent Platform for the Implementation of an Individual Learning Trajectory. In: Kovalev S., Sukhanov A., Akperov I., Ozdemir S. (Eds.) Proceedings of the Sixth International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'22). IITI 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 566. Cham: Springer; 2023. p. 424-436. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19620-1_40
- [10] Alekperov I., Akperov G., Prus Y., Khramov V., Muradova S. Method of Student Individuality Identification for Adapting and Intelligent Training Module Based on Soft Models. In: Guda A. (Eds.) *Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles*. NN 2022. *Lecture Notes in Networks and Systems*. Vol. 510. Cham: Springer; 2023. p. 1881-1888. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11051-1_193
- [11] Lindenbaum T.M., Akperov T.I., Aleksandrova T.S., Khramov V.V. Visualization of Information Models of Management of Competences in Training IT-bachelories. *Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobsenia* = Trudy RGUPS. 2022;(3):48-53. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: RBESUD
- [12] Akperov I.G., Khramov V.V. Development of Instruments of Fuzzy Identification of Extended Objects Based on the Results of Satellite Monitoring. In: Aliev R., Kacprzyk J., Pedrycz W., Jamshidi M., Sadikoglu F. (Eds.) 13th International Conference on Theory and Application of Fuzzy Systems and Soft Computing – ICAFS-2018. ICAFS 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 896. Cham: Springer; 2019. p. 325-332. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04164-9_44
- [13] Akperov G.I., Khramov V.V., Gorbacheva A.A. Using Soft Computing Methods for the Functional Benchmarking of an Intelligent Workplace in an Educational Establishment. In: Aliev R., Kacprzyk J., Pedrycz W., Jamshidi M., Babanli M., Sadikoglu F. (Eds.) 10th International Conference on Theory and Application of Soft Computing, Computing with Words and Perceptions – ICSCCW-2019. ICSCCW 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Vol. 1095. Cham: Springer; 2020. p. 54-60. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35249-3_6
- [14] Akperov I.G., Khramov V.V. Management of Social and Economic Region Systems – Formation of Digital Economy. *Intellektual'nye Resursy – Regional'nomu Razvitiyu*. 2020;(2):36-47. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: TPDSFZ
- [15] Alexandrov Yu.I., Pletnikov M.V. Neuronal metabolism in learning and memory: The anticipatory activity perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 2022;137:104664. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104664>
- [16] Feng N., Chen Y., Hong B., Huang Z. A Deep Learning Method for Predicting Low-Cost and High-Accuracy Designing of Anticipatory Layered Nanostructures. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*. 2023;71(8):3294-3302. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2023.3276202>
- [17] Mozo A., Vakaruk S., Sierra-García J.E., Pastor A. Anticipatory analysis of AGV trajectory in a 5G network using machine learning. *Journal of Intelligent Manufacturing*. 2023;35(4):1541-1569. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02116-1>
- [18] Enenkel M., Dall K., Huyck Ch. K., et al. Monitoring, evaluation, accountability, and learning (MEAL) in anticipatory action – earth observation as a game changer. *Frontiers in Climate*. 2022;4:923852. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.923852>
- [19] Livana P.H., Hidayah N., Ramli M., Wiyono B.B. Android-based anticipatory guidance application for students in online learning. *International Journal of Health Sciences*. 2022;6(S4):310-319. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns4.5516>
- [20] Wang M., Kang K., Zhang Ch., Li L. Precise Position Control in Air-Bearing PMLSM System Using an Improved Anticipatory Fractional-Order Iterative Learning Control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2024;71(6):6073-6083. <https://doi.org/10.1109/tie.2023.3290251>
- [21] Hu Ju. A novel deep learning driven robot path planning strategy: Q-learning approach. *International Journal of Computer Applications in Technology*. 2023;71(3):237-243. <https://doi.org/10.1504/ijcat.2023.10057374>
- [22] Liu H., Li X. Learning path combination recommendation based on the learning networks. *Soft Computing – A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*. 2020;24(6):4427-4439. <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04205-x>
- [23] Raj N.S., Renumol V.G. An improved adaptive learning path recommendation model driven by real-time learning analytics. *Journal of Computers in Education*. 2022;11:121-148. <https://doi.org/10.1007/s40692-022-00250-y>
- [24] Ovtšarenko O. Generation of a learning path in e-learning environments: literature review. *New Trends in Computer Sciences*. 2023;1(1):32-50. <https://doi.org/10.3846/ntcs.2023.18278>
- [25] Kobayashi M., Zushi H., Nakamura T., Motoi N. Local Path Planning: Dynamic Window Approach With Q-Learning Considering Congestion Environments for Mobile Robot. *IEEE Access*. 2023;11:96733-96742. <https://doi.org/10.1109/access.2023.3311023>

Submitted 27.05.2024; approved after reviewing 14.07.2024; accepted for publication 26.08.2024.



About the authors:

Tatyana M. Lindenbaum, Associate Professor of the Chair of Informatics, Rostov State Transport University (2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., Rostov-on-Don 344038, Rostov-on-Don, Russian Federation), Cand. Sci. (Eng.), **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3077-4755>**, tm-lind@yandex.ru

Sergey O. Kramarov, Chief Researcher of the Institute of Economy and Management, Surgut State University (1 Lenin Ave., Surgut 628400, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra, Russian Federation), Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3743-6513>**, maoovo@yandex.ru

Vladimir V. Khramov, Leading Research Fellow of the Digital Development Academy, PEI HE Southern University (IMBL) (33A/47 Mikhail Nagibin Ave., Rostov-on-Don 344068, Russian Federation), Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, **ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1848-8174>**, vxpamov@inbox.ru

All authors have read and approved the final manuscript.

