

Научно-методическая статья  
УДК 004.023+004.891.2  
ББК 32.972.13  
Ч 25  
DOI: 10.53598/2410-3225-2022-2-301-84-90

## Применение алгоритмов роевого интеллекта в процессе построения индивидуальных образовательных траекторий (Рецензирована)

Вера Аркадьевна Частикова<sup>1</sup>, Азамат Гиссович Псеуш<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

<sup>1</sup> [chastikova\\_va@mail.ru](mailto:chastikova_va@mail.ru)

<sup>2</sup> [pseushazik@gmail.com](mailto:pseushazik@gmail.com)

**Аннотация.** Быстроразвивающаяся система образования, требующая особого подхода в текущих условиях, нуждается в качественной, персонализированной подготовке кадров всех уровней образования. Данная потребность порождает необходимость перехода от классических технологий обучения, в большинстве случаев представляющих трансляцию знаний, к использованию образовательных технологий, позволяющих персонализировать процесс подготовки студентов, а также дать университетам возможность организации процесса обучения таким образом, чтобы обучающийся в дальнейшем мог не только воспроизводить освоенный вид деятельности, но и скорректировать нормы в зависимости от изменений текущей ситуации. Одной из образовательных технологий, которая позволит достичь данного состояния, является персонализация обучения посредством применения в образовательном процессе индивидуальных образовательных траекторий, способствующих получению компетенций, отличных от основного трека обучения. Обилие курсов, модулей, направлений специализации требует использования алгоритмов интеллектуального анализа данных при построении индивидуальных образовательных технологий. В работе представлены возможные подходы к построению индивидуальных траекторий обучения с использованием алгоритмов роевого интеллекта.

**Ключевые слова:** индивидуальная образовательная траектория, искусственный интеллект, алгоритмы роевого интеллекта

Original Scientific-Methodological Paper

## Application of swarm intelligence algorithms in the process of building individual educational trajectories

Vera A. Chastikova<sup>1</sup>, Azamat G. Pseush<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Kuban State University of Technology, Krasnodar, Russia

<sup>1</sup> [chastikova\\_va@mail.ru](mailto:chastikova_va@mail.ru)

<sup>2</sup> [pseushazik@gmail.com](mailto:pseushazik@gmail.com)

**Abstract.** The rapidly developing education system demanding a special approach in current conditions requires the qualitative, personalized professional training at all educational levels. The given requirement generates necessity of transition from the classical technologies of training, representing, in most cases, a translation of knowledge, towards the use of the educational technologies, making possible to personalize a process of students training. These technologies will give a chance to universities to organize the process of training in such a way that trainees in future could not only reproduce the mastered kind of activity, but also could correct norms depending on changes of a current situation. One of the educational technologies allowing us to reach this is a personalification of training by means of application in educational process of the individual educational trajectories promoting obtaining a competence, distinct from the basic track of training. The abundance of courses, modules, and directions of specialization demands the use of algorithms of the intellectual analysis of data at construction of individual educational technologies. The paper presents possible approaches to construction of individual trajectories of training with the use of swarm intelligence algorithms.

**Keywords:** individual educational trajectory, artificial intelligence, swarm intelligence algorithms

## Введение

Особые условия, в которых оказалась экономика страны, требуют высококвалифицированных специалистов всех уровней, способных внести вклад в прорывное развитие страны. Система образования нуждается в новых образовательных технологиях, отвечающих современным требованиям и способствующих персонализации обучения. Классические подходы к построению индивидуальных образовательных технологий в условиях растущего числа образовательного контента показывают свою несостоятельность. Эффективное построение индивидуальных образовательных технологий для обучающихся всех уровней образования возможно за счет использования интеллектуальных алгоритмов.

Об этом свидетельствует высокое внимание со стороны государства. Одной из прикладных задач, требующих решения, является задача формирования рекомендаций по построению индивидуальных образовательных траекторий на основе обработки данных с помощью интеллектуальных алгоритмов [1]. Одним из результатов проекта цифровой трансформации образования станет наличие возможности у обучающихся по управлению образовательной траекторией на основе бесшовного перехода между сервисами с использованием технологий искусственного интеллекта.

Необходимость персонализации обучения отмечена и в стратегии цифровой трансформации отрасли высшего образования: «Персонализация обучения меняет традиционную организацию образовательного процесса и обеспечивает достижение каждым обучающимся высоких результатов. У обучающихся должны не только накапливаться знания, но и развиваться способность учиться, ориентироваться в большом информационном потоке, оценивать актуальность знаний и навыков в текущий момент и адаптироваться к изменениям в профессии, которые могут произойти за время обучения» [2]. Актуальность решения задачи по персонализации обучения подтверждается и ожидаемыми результатами цифровой трансформации отрасли высшего образования: «100% образовательных программ ООВО, подведомственных Минобрнауки России, реализуются с построением индивидуальных образовательных траекторий обучающихся – 2030 год» [2].

Персонализация обучения путем построения индивидуальных образовательных траекторий – тренд трансформации образования всех уровней, нуждающийся во внедрении интеллектуальных алгоритмов в процесс их построения. С целью персонализации обучения с использованием интеллектуальных алгоритмов необходимо изучить факторы, влияющие на построение индивидуальной образовательной траектории, а также исследовать современные подходы к применению интеллектуальных алгоритмов при построении траекторий.

*Целью работы* является анализ подходов к решению задачи по построению индивидуальных образовательных траекторий посредством применения алгоритмов речевого интеллекта.

## Факторы, влияющие на структуру индивидуальной траектории обучения

Индивидуальная образовательная траектория – это индивидуальный путь в образовании к намеченной образовательной цели формирования компетенций, определяемый студентом совместно с преподавателем, организуемый с учетом мотивации, способностей, психических, психологических и физиологических особенностей обучающегося, а также социально-экономических и временных возможностей субъекта образовательного процесса [3].

С одной стороны, процесс определения образовательных элементов индивидуальной траектории обучения ограничен нормативной рамкой в виде федерального государственного образовательного стандарта, регламентирующего перечень базовых

дисциплин, объемов времени, компетенций, освоение которых обязательно для обучающегося. С другой стороны, процесс построения данной траектории ограничен рамкой базового образования, в некоторых случаях требуемого для освоения некоторых дисциплин, модулей.

Ограничительными рамками процесса выбора образовательных элементов индивидуальной траектории обучения являются требования федеральных государственных образовательных стандартов и начальное базовое образование обучающегося. Помимо рамок, ограничивающих процесс построения, необходимо также учесть и сфокусироваться на индивидуальных особенностях обучающегося, среди которых: мотивация, способности, особенности усваивающего навыки, а также различного рода возможности (рис. 1).

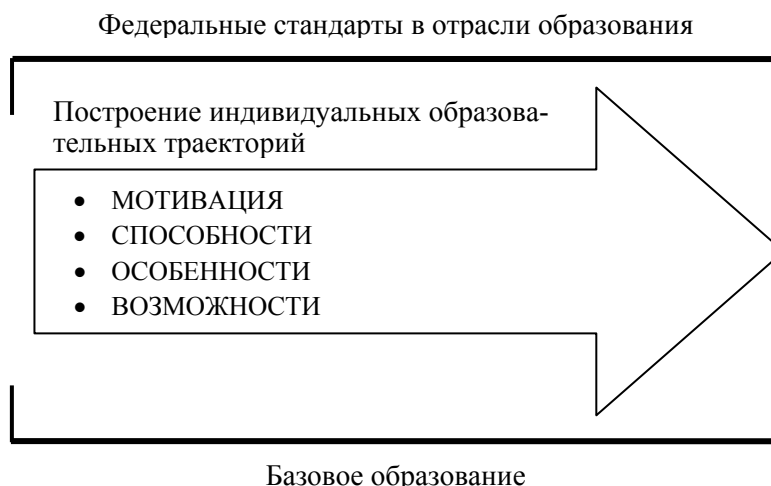


Рис. 1. Факторы, влияющие на построение индивидуальной образовательной траектории

Fig. 1. Factors influencing the construction of an individual educational trajectory

Эффективное построение индивидуальных образовательных траекторий требует решения задачи оптимизационного типа, особенностями которой в том числе являются нелинейность, сложность, многопараметричность и размерность области поиска.

Задача построения индивидуальной образовательной траектории обучающегося может быть представлена в виде графа  $G(V, U)$ , где вершины графа  $V_i$  – элементы образовательной программы (курсы, дисциплины), а вес ребер  $U$  – результат вычисления сложной многопараметрической функции – показателя приоритетности курса для обучающегося (рис. 2).

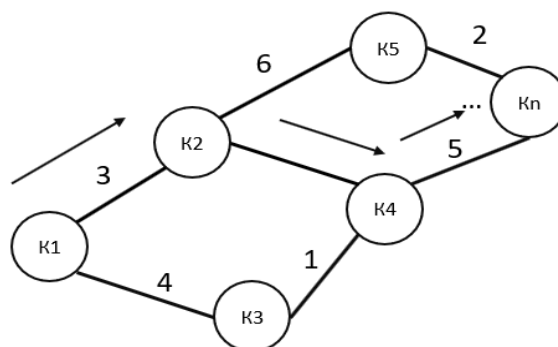


Рис. 2. Задача построения индивидуальной образовательной траектории

Fig. 2. The task of building an individual educational trajectory

Среди решений подобного рода задач существуют как решения, основанные на цифровых двойниках, так и решения посредством анализа данных факторов с применением эвристических алгоритмов роевого интеллекта.

## Использование алгоритмов роевого интеллекта при построении индивидуальных образовательных технологий

Алгоритмы роевого интеллекта в большинстве случаев основаны на описании коллективного поведения некой децентрализованной системы и предназначены для решения оптимизационных задач. Идея коллективного поведения в данных алгоритмах заимствована из окружающей среды, в которой, несмотря на отсутствие системы управления, возникает интеллектуальное групповое поведение [4, 5].

Рассмотрим некоторые из них применительно к решению задачи построения индивидуальных образовательных траекторий обучающихся.

### *Метод роя частиц.*

В основе метода роя частиц заложена модель движения агентов системы (частиц) к оптимальным решениям, сопровождающегося обменом информацией между агентами. Состояние агента  $X_i$  в момент времени  $T$  определяется вектором положения частицы в пространстве  $V_i$ . Рой частиц, в свою очередь, представляет собой совокупность  $X$  из  $n$  агентов. На каждой итерации для каждого агента  $X_i$  происходит вычисление вектора скорости  $V_i$ , корректировка которого осуществляется на основании данных о лучшей точке роя, но при этом задача агента – приблизиться к данной точке и быть близко к своему индивидуальному максимуму.

Применение алгоритма роя частиц для решения задачи построения индивидуальной образовательной траектории осложняется определением лучшего решения для роя частиц. Математическая функция, определяющая лучшее решение (в случае индивидуальной траектории – лучший курс), носит субъективный характер для конкретного обучающегося и не является показателем эффективного пути. Алгоритмы роя частиц и его модификации могут быть применены для решения задач эффективного использования образовательных пространств, классификации учебных вопросов.

### *Алгоритм колонии пчел.*

Пчелиный алгоритм – это оптимизационный алгоритм, в основу которого заложено моделирование поведения пчел в живой природе. Следует уточнить, что в данном алгоритме используется имитация колонии как средство оптимизации, при котором некоторая система несколько отличается от естественной [6].

Суть данного алгоритма заключается в следующем: на начальном этапе задается пространство поиска решений, далее агенты определяют область для поиска решений, на которой устанавливают участок с лучшим значением целевой функции, продолжая поиск нового участка в окрестности текущего. На всем протяжении работы алгоритма происходит обновление лучшего решения.

Гипотеза по отношению к данному алгоритму заключается в том, что применение рассматриваемого алгоритма при построении индивидуальных образовательных технологий возможно в случае использования в системах, имеющих большое начальное число агентов, при условии точно описанной математической модели оценки курса-кандидата образовательной траектории.

### *Алгоритм муравьиной колонии.*

В основе данной группы алгоритмов лежит поведение муравьев. Муравьиный алгоритм считается одним из наиболее эффективных алгоритмов нахождения решений задачи комбинаторной оптимизации по поиску наиболее выгодного маршрута (задача коммивояжера), а также иных задач поиска пути на графах [7].

На начальном этапе в вершинах графа размещаются агенты (муравьи), после чего начинается движение агентов (муравьев) путем определения направления, в расчете которого используется значение количества феромона, являющееся маркером привлекательности пути и имеющего свойство испаряться.

Муравьиный алгоритм получил широкое распространение в системах электронного обучения. Множеством вершин графа  $V$  в данном случае выступают как объекты обучения (как отдельные модули курсов, так и курсы в целом), а каждый слушатель

выступает в роли агента-муравья для новых слушателей, а вес ребер графа  $U$  – количество феромона. В модификациях алгоритмов, используемых в системах электронного обучения для построения оптимального образовательного пути обучающегося, изменен подход к расчету феромонов.

В работе [8] описывается алгоритм Dynamic Path Advisor (DYLPA), в основе которого лежит муравьиный алгоритм. Суть DYLPA алгоритма заключается в поиске слушателей, похожих на новых пользователей, и построения оптимального образовательного пути на основе путей, выбранных агентами-муравьями, прошедшими обучение на платформе ранее. Обновление феромонов в данном случае осуществляется на основе данных агентов, близких по приобретенным навыкам, путем вычисления многопараметрической математической функции  $U=F(W_x, W_i)$ , где  $W_x$  – значимость приобретенных навыков, а  $W_i$  – временная характеристика.

Основное отличие существующих модификаций муравьиного алгоритма, используемых для решения задачи поиска оптимального образовательного пути, заключается в изменении подхода к обновлению феромонов. Среди наиболее распространенных подходов к обновлению феромонов [9]:

- вычисление меры схожести между текущим и предыдущим обучающимся, основанное на коэффициентах, отражающих значимость приобретенных навыков и время обучения;

- испарение феромонов учитывается как для успешного обучения, так и для неуспешного обучения;

- максимальная частота посещений вершины графа рассматривается как интенсивность феромона, а частота посещения рассчитывается на основе отношения индивидуальных посещений;

- обновление феромонов на основе данных о лучшей оценке обучающегося по отношению к лучшей оценке всех обучающихся в соотношении с параметрами, отражающими время забывания учебного материала.

В работе [9] представлена модификация алгоритма, используемого для выбора тем проектного семинара, со следующими адаптационными изменениями:

- в основу заложен подход к обновлению феромонов, базирующийся на вычислении меры схожести текущего обучающегося с уже прошедшими обучение;

- построение корпуса данных на основании анкетирования (в различных формах и по различным критериям) уже прошедших обучение;

- вычисление схожести нового обучающегося с уже прошедшими обучение с модификацией – весовой коэффициент, отражающий субъективную заинтересованность обучающегося.

#### *Алгоритм искусственных капель воды.*

Данный алгоритм основан на описании поведения реальной капли воды в течении реки, обусловленном количеством почвы в нем. В работе [10] представлена адаптация алгоритма интеллектуальных капель воды для решения задач комбинаторики. Согласно данной работе агенты (интеллектуальные капли) начинают свой путь из любой вершины графа, обходят весь граф, возвращаясь в точку начала обхода, параллельно реализуя модель настоящей реки, в которой капля, пройдя определенный путь, влияет на прохождение другой капли своего (смежного) пути. В ходе работы алгоритма фиксируется минимальное время, необходимое для преодоления заданного расстояния, значение которого заносится в массив времени для каждой итерации.

В теории данный алгоритм может быть адаптирован для использования в ходе построения индивидуальных образовательных траекторий. Агентами в данном алгоритме будут выступать обучающиеся, вершинами графа – элементы образовательной траектории (отдельные курсы, дисциплины), скорость движения алгоритма – функция, зависящая от времени, затрачиваемого на прохождение курса.

Рассмотренные адаптированные системы на основе муравьиного алгоритма, ис-

пользуемые при построении образовательного пути в системах электронного обучения, применяют относительно простые подходы к обновлению феромонов. В изученных алгоритмах обновление феромонов осуществляется на основании следующих показателей: успешность обучения, частота прохождения, временной показатель.

Существующая потребность в построении индивидуальных образовательных траекторий на основе обработки данных с помощью интеллектуальных алгоритмов требует разработки более сложной математической модели обновления феромонов, которая должна учесть следующие параметры:

- обязательные элементы дисциплины (курса);
- вариативные элементы дисциплины (курса) в разрезе профильности проектов обучающихся;
- компетенции, осваиваемые в рамках изучения дисциплины (курса);
- взаимосвязь освоения компетенций (условия изучения новой компетенции);
- личные индивидуальные характеристики обучающегося (входной уровень, базовые компетенции и другое).

### **Выводы**

В условиях национальной цифровой трансформации государства, всех отраслей экономики успех трансформации напрямую зависит от наличия высококвалифицированных междисциплинарных специалистов различного уровня.

Обучение подобного рода специалиста возможно за счет создания рекомендательных систем построения индивидуального образовательного пути на основе интеллектуального анализа образовательных данных, которые помогут обучающемуся увидеть различные образовательные траектории и осуществить выбор одной из них.

Построение данных систем затрудняется обилием верифицированного образовательного контента, размещенного на различных платформах, несистематизированного, требующего сложной аналитики.

Развивающиеся в настоящее время подходы к использованию искусственного интеллекта при анализе образовательных данных в большинстве случаев предназначены для интеллектуальной проверки работ обучающихся, анализа их успеваемости. Использование интеллектуальных алгоритмов в процессе построения индивидуальных образовательных траекторий является относительно молодой ветвью анализа образовательных данных. Исследователями также активно прорабатываются альтернативные системы, основанные на технологиях компьютерного моделирования и обработки информации. В условиях стремительного развития технологий искусственного интеллекта, поддержки их развития со стороны государства решения, основанные на интеллектуальном анализе данных, являются наиболее востребованными и оптимальными для различных отраслей, в том числе и образования.

В работе рассмотрена текущая потребность в решении задач по формированию рекомендаций к построению индивидуальных образовательных траекторий на основе интеллектуальных алгоритмов, рассмотрены некоторые алгоритмы роевого интеллекта, возможность их применения при построении оптимальных образовательных путей. Найден основной недостаток данных систем, заключающийся в подходах к расчету обновления феромонов. Существующая потребность в построении индивидуальных образовательных траекторий требует разработки более сложной математической модели, учитывающей базовые входные параметры обучающегося, взаимосвязь компетенций (последовательность их освоения) и иные входные параметры.

В настоящее время начата работа по модификации алгоритмов роевого интеллекта путем разработки математической составляющей обновления феромонов, учитывающей все необходимые входные параметры. Планируется программная реализация полученного модифицированного алгоритма в виде надстройки для электронной информационно-образовательной среды ВУЗа, позволяющей апробировать подсистему по формированию рекомендаций для студентов по построению образовательных траекторий.

## Примечания

1. Паспорт стратегии цифровой трансформации образования. URL: <https://docs.edu.gov.ru/id2637>
2. Стратегия цифровой трансформации отрасли высшего образования. URL: [https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT\\_ID=36749](https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=36749)
3. Тимошина Т.А. Опыт организации индивидуальной образовательной траектории студентов // Вестник ЧГПУ. 2012. № 1. С. 196–207.
4. Частикова В.А., Жерлицын С.А. Исследование алгоритма серых волков // Научные труды КубГТУ. 2016. № 16. С. 136–142.
5. Частикова В.А., Воля Я.И. Анализ эффективности работы алгоритма светлячков в задачах глобальной оптимизации // Научные труды КубГТУ. 2016. № 15. С. 105–111.
6. Курейчик В.В., Полупанова Е.Е. Эволюционная оптимизация на основе алгоритма колонии пчел // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 12 (101). С. 41–46.
7. Частикова В.А., Власов К.А. Разработка и сравнительный анализ эвристических алгоритмов для поиска наименьшего гамильтонова цикла в полном графе // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-1. С. 63–67.
8. Lung-Hsiang Wong, Chee-Kit Looi. Adaptable Learning Pathway Generation with Ant Colony Optimization // Educational Technology & Society. 2009. No. 12 (3). P. 309–326.
9. Дюличева Ю.Ю. Алгоритмы роевого интеллекта и их применение для анализа образовательных данных // Открытое образование. 2019. № 5. С. 33–43.
10. Закиян Х.С., Частикова В.А. Адаптация алгоритма интеллектуальных капель воды для решения задач комбинаторики // Научные труды КубГТУ. 2015. № 12. С. 140–147.

## References

1. Passport of the strategy of digital transformation of education. URL: <https://docs.edu.gov.ru/id2637>
2. Strategy for the digital transformation of the higher education industry. URL: [https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT\\_ID=36749](https://minobrnauki.gov.ru/documents/?ELEMENT_ID=36749)
3. Timoshina T.A. Experience of the students' individual educational trajectory organization // Bulletin of ChSPU. 2012. No. 1. P. 196–207.
4. Chastikova V.A., Zherlitsyn S.A. Research of the grey wolf algorithm // Scientific Works of KubSTU. 2016. No. 16. P. 136–142.
5. Chastikova V.A., Volya Ya.I. Firefly algorithm efficiency analysis in case of global optimization problems // Scientific Works of KubSTU. 2016. No. 15. P. 105–111.
6. Kureychik V.V., Polupanova E.E. Artificial bee colony algorithm of evolutionary optimization // Bulletin of the Southern Federal University. Technical Sciences. 2009. No. 12 (101). P. 41–46.
7. Chastikova V.A., Vlasov K.A. Development and comparative analysis of heuristic algorithms to search for the minimal Hamiltonian cycle in the complete graph // Fundamental Research. 2013. No. 10-1. P. 63–67.
8. Lung-Hsiang Wong, Chee-Kit Looi. Adaptable Learning Pathway Generation with Ant Colony Optimization // Educational Technology & Society. 2009. No. 12 (3). P. 309–326.
9. Dyulicheva Yu.Yu. Swarm intelligence algorithms and their application for the educational data analysis // Open Education. 2019. No. 5. P. 33–43.
10. Zakiyan Kh.S., Chastikova V.A. Adaptation of the intelligent water drops algorithm for solving combinatorial problems // Scientific Works of KubSTU. 2015. No. 12. P. 140–147.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 21.05.2022; одобрена после рецензирования 19.06.2022; принята к публикации 19.06.2022.*

*The article was submitted 21.05.2022; approved after reviewing 19.06.2022; accepted for publication 19.06.2022.*

© В.А. Частикова, А.Г. Псеуш, 2022