

Научная статья

УДК 004.89

DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1273

Olga Valentinovna Bulygina

Candidate of Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Information Technology
in Economics and Management,
Branch of National Research University
MPEI in Smolensk
Smolensk, Russian Federation
baguzova_ov@mail.ru

Ольга Валентиновна Булыгина

канд. экон. наук, доцент,
доцент кафедры информационных технологий
в экономике и управления,
Филиал Национального исследовательского университета
«МЭИ» в г. Смоленске
Смоленск, Российская Федерация
baguzova_ov@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ МЕТАЭВРИСТИК ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧ В ПРОЦЕССЕ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

5.2.2 — Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

Аннотация. Реализация инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции является длительным, дорогостоящим и высокорискованным процессом, требующим детальной проработки большого числа технических, организационных, ресурсных и иных аспектов. Успешность выполнения каждого этапа зависит от «качества» управленческих решений, на которое существенно влияет информационная неопределенность, обусловленная уникальностью проектной деятельности и создаваемого инновационного продукта. В большинстве случаев процесс поддержки принятия решений заключается в выборе одной (или нескольких) альтернативы из заранее сформированного множества, которая является наилучшей по одному или нескольким критериям с учетом ограничений, определяемых спецификой предметной области и задаваемых в виде системы равенств и/или неравенств, т. е. сводится к задаче условной оптимизации. В статье для каждого этапа инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции определен перечень задач структурной и параметрической оптимизации, а также выполнена их математическая формализация. Ввиду отсутствия

требования нахождения «строго» оптимального решения, предложено использовать метаэвристические методы, основанные на популяционном подходе, когда одновременное исследуется нескольких альтернатив. В частности, были выбраны биоинспирированные алгоритмы, моделирующие поведение колоний живых организмов (пчел, бактерий, волков, кукушек, рыб, червей), поскольку они позволяют находить близкие к оптимальным решения даже в задачах, для которых характерна нелинейность целевых функций, большая размерность, недостаток качественной информации о пространстве доступных решений. С учетом специфики концептуальной и математической постановок сформулированных оптимизационных задач были разработаны рекомендации по выбору конкретных биоинспирированных алгоритмов для их решения.

Ключевые слова: наукоемкая продукция, инновационный проект, мультипроект, условная оптимизация, структурный и параметрический синтез, эвристики, метаэвристики, биоинспирированные алгоритмы, роевый интеллект, НЕ-факторы

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

Для цитирования: Булыгина О. В. Использование биоинспирированных метаэвристик для решения оптимизационных задач в процессе реализации инновационных проектов // Бизнес. Образование. Право. 2025. № 2(71). С. 75—81. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1273.

Original article

USING BIO-INSPIRED METAHEURISTICS TO SOLVE OPTIMIZATION TASKS IN THE PROCESS OF INNOVATIVE PROJECT IMPLEMENTATION

5.2.2 – Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

Abstract. The implementation of an innovative project to create a science-intensive product is a long, expensive and high-risk process that requires detailed elaboration of a large number of technical, organizational, resource and other aspects. The success of each stage depends on the “quality” of management decisions, which is significantly affected by information uncertainty caused by the uniqueness of the project activity and the innovative product being created. In most cases, the decision support process consists of selecting one (or more) alternative from a pre-formed set, which is the best according to one or more criteria, taking into account the constraints determined

by the specifics of the subject area and defined in the form of a system of equalities and/or inequalities, i.e. it is reduced to a conditional optimization task. The article defines a list of structural and parametric optimization tasks for each stage of an innovative project to create science-intensive products, and also carries out their mathematical formalization. Due to the absence of the requirement to find a “strictly” optimal solution, it is proposed to use metaheuristic methods based on the population approach, when several alternatives are investigated simultaneously. In particular bioinspired algorithms that simulate the behavior of colonies of living organisms (bees, bacteria,

wolves, cuckoos, fish, and worms) were selected. They allow finding solutions close to optimal even in tasks characterized by nonlinearity of target functions, large dimensionality, and lack of high-quality information about the space of available solutions. Taking into account the specifics of the conceptual and mathematical formulations of the optimization tasks,

recommendations were developed for the selection of specific bioinspired algorithms for their solution.

Keywords: science-intensive products, innovative project, multi-project, conditional optimization, structural and parametric synthesis, heuristics, metaheuristics, bio-inspired algorithms, swarm intelligence, NON-factors

Funding: this study was performed within the framework of the state assignment; project number FSWF-2023-0012.

For citation: Bulygina O.V. Using bio-inspired metaheuristics to solve optimization tasks in the process of innovative project implementation. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law*. 2025;2(71):75—81. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1273.

Введение

Актуальность. В современных напряженных геополитических и макроэкономических условиях стратегическую значимость приобретает задача поддержки инновационных процессов создания отечественной продукции, способной заместить зарубежные аналоги, попавшие в санкционные списки и ныне не поставляемые на российский рынок. Заявленный в Концепции технологического развития на период до 2030 года переход к инновационно-ориентированному экономическому росту, направленный на снижение импортозависимости нашей экономики, требует значительного повышения инновационной активности предприятий по созданию технологических инноваций продуктового типа, в первую очередь, критически важных сырья, материалов, комплектующих, оборудования (в указанном документе определена потребность в 300—400 наименованиях).

Создание наукоемкой продукции, характеризующейся высокой долей затрат на научные исследования (не менее 5 % от общих издержек), является длительным, дорогостоящим и высокорискованным процессом, по ходу которого могут возникать различные задачи по поиску наилучших решений. Такие задачи решаются в рамках структурного и параметрического синтеза, заключающегося в формировании оптимальной структуры объекта (или системы) и определении значений параметров эффективного режима функционирования с целью достижения «наилучшего» результата.

Целью исследования является формализация задач структурной и параметрической оптимизации, которые могут возникать в процессе реализации инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции, и выбор методов их решения. Для ее достижения в статье решается ряд задач, связанных с анализом специфических особенностей таких проектов, формализацией возникающих в их ходе оптимизационных задач, обоснованием выбора методов их решения исходя из концептуальной и математической постановки и информационного обеспечения.

Изученность проблемы. На сегодняшний день разработано огромное множество методов решения оптимизационных задач, которые принято разделять на детерминированные и стохастические. В случае необходимости получения «строго оптимального» решения используются детерминированные методы, которые предоставляют гарантии нахождения глобального экстремума, поскольку основаны на исследовании математических свойств целевых функции. При недостатке качественной (полной, точной, своевременной и т. п.) информации о них применяются стохастические методы, основанные на введении фактора случайности в поисковый алгоритм и использовании итерационной процедуры приближения к глобальному экстремуму.

Появление высокопроизводительных, многопроцессорных ЭВМ стало толчком для развития популяционных методов, которые основаны на одновременном исследова-

нии нескольких решений, что позволяет им находить близкие к оптимальным решения за приемлемое время. В значительной степени они вдохновлены различными природными системами, процессами, явлениями. В обзорах отечественных (А. П. Карпенко, В. В. Курейчика, С. И. Родзина, И. Н. Синицына и др.) и зарубежных (Т. Bartz-Beielstein, S. Chattopadhyay, S. García, A. Eiben, F. Herrera, A. Hussain, A. Marik, D. Molina, R. Pramanik, J. Poyatos, J. Stork и др.) описывается порядка 300 метаэвристик, основанных на биологических, физических, химических или иных метафорах [1—5]. Среди них наибольшее развитие получили биоэвристики, моделирующие поведение колоний живых организмов, обитающих на суше (например, волков (S. Mirjalili, A. Lewis), червей (G. Wang, S. Deb, L. Coelho)), в воде [рыб (C. Filho, F. Neto), бактерий (K. M. Passino)], в воздухе [кукушек (X.-S. Yang, S. Deb), пчел (D. Karaboga)] [6—11]. Однако согласно NFL-теореме (D. H. Wolpert, W. G. Macready), не существует универсального алгоритма, способного «успешно» решать любые оптимизационные задачи [12]. Выбор конкретного метода обычно определяется концептуальной и математической постановками решаемой задачи и особенностями выполнения поисковых операций алгоритмов, что описывается в работах A. Latorge, D. Molina, E. Osaba, J. Ser и др. [13; 14].

Вышесказанное подтверждает **целесообразность** проведения математической формализации задач оптимизации, которые могут возникать на разных этапах инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции.

Научная новизна заключается в разработке нового подхода к решению задач структурной и параметрической оптимизации, возникающих в процессе реализации инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции, с использованием биоинспирированных метаэвристик, моделирующих поведение колоний живых организмов.

Теоретическая значимость заключается в развитии методов экономико-математического моделирования инновационных процессов в части совершенствования инструментария решения оптимизационных задач в условиях информационной неопределенности.

Практическая значимость заключается в разработке рекомендаций по выбору метаэвристических методов для поиска наилучших решений по управлению инновационными проектами.

Методология. Объектом исследования являются задачи поиска наилучших решений по управлению инновационными проектами, а предметом — возможности применения алгоритмов роевого интеллекта для их нахождения. Методологической основой являются методы инновационного и проектного менеджмента; экономико-математические модели условной оптимизации; научные положения и выводы, сформулированные в публикациях отечественных и зарубежных ученых по метаэвристическим алгоритмам оптимизации.

Основная часть

Проекты по созданию наукоемкой продукции могут быть отнесены либо к инвестиционному, либо к инновационному типу. Ключевое различие между ними заключается в том, что первые нацелены на получение инвестором финансового или иного эффекта, а вторые — на создание и коммерциализацию новшества (продукта, технологии, метода и т. п.) для получения некоторого конкурентного преимущества. В качестве других отличительных особенностей инновационных проектов следует отметить следующее:

- в обязательном порядке проводятся научные исследования, в рамках которых выполняется разработка нового продукта или модернизация/модификация уже существующего;
- присутствует информационная неопределенность, обусловленная недостаточным качеством и/или количеством информации о проекте, его результате, внешнем окружении, т. е. в процессе выработки управленческих решений должны учитываться НЕ-факторы (неполнота, неточность, недостоверность и т. п.);

- к реализации проекта привлекается большое число участников (в частности, разработчики, производители, подрядчики, поставщики сырья, материалов, комплектующих, оборудования и т. п.);
- существует возможность недостижения поставленных целей и/или получения непредсказуемых результатов.

Указанные особенности существенно влияют на процессы поддержки принятия управленческих решений в процессе реализации инновационного проекта. В большинстве случаев они требуют нахождения одного или нескольких наилучших решений среди множества альтернатив исходя из концептуальной постановки задачи и ограничений предметной области (т. е. сводятся к задаче условной оптимизации).

Все задачи поиска оптимальных решений можно разделить:

- на структурную оптимизацию, заключающуюся в проектировании структуры объекта/системы (т. е. поиск оптимального сочетания составных элементов и взаимосвязей между ними с целью достижения максимального эффекта от его функционирования);

- параметрическую оптимизацию, связанную с определением эффективного режима функционирования объекта/системы (т. е. поиск оптимальных значений параметров объекта/системы) [14].

Обобщенная математическая постановка задачи условной оптимизации выглядит следующим образом. Среди всех элементов множества X требуется найти X^{opt} , в котором целевая функция $f(X^{opt})$ достигает экстремального значения:

$$X^{opt} = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} f(x), \quad \operatorname{extr} \in \{\min, \max\},$$

где X — множество допустимых решений, задаваемое областью определения целевой функции f и системой ограничений $G = \{g_1, \dots, g_n\}$, представляемых в виде равенств и/или неравенств.

Рассмотрим процесс реализации инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции, а также возникающие на его этапах задачи поиска наилучших решений (рис. 1).

На первом этапе проекта обычно проводятся маркетинговые исследования, в ходе которых выявляется потребность в инновационном продукте и анализируются его рыночные перспективы (с учетом результатов оценки рисков внешней среды), на основании чего формируется технико-экономическое обоснование целесообразности проведения научных исследований. На этом этапе может

решаться такая оптимизационная задача, как поиск разработчика, способного выполнить эти исследования в рамках выделенного бюджета (задача 1).

На втором этапе выполняются научно-исследовательские и/или опытно-конструкторские работы (НИОКР) по созданию инновационного продукта. Согласно объединенной классификации Саймона Кузнеця и Герхарда Менша, в зависимости от степени новизны выделяют эпохальные (прорывные идеи, знаменующие технологические революции), базисные (принципиально новые продукты, приводящие к отраслевой и/или рыночной трансформации), улучшающие (значимые технологические изменения, модернизация базисных инноваций) и псевдоинновации (несущественные изменения, модификация улучшающих инноваций). Первые два вида требуют проведения НИР (эпохальные инновации зарождаются в ходе фундаментальных исследований, а базисные — поисковых и прикладных исследований), а вторые два вида являются результатом ОКР. В качестве примера оптимизационной задачи, которая может решаться на этом этапе, можно привести подбор оборудования для проведения НИОКР (задача 2).

На третьем этапе выполняется комплекс взаимосвязанных мероприятий по технической, технологической, организационной, ресурсной и иной подготовке производства и его освоению (т. е. выпуск установочной серии инновационного продукта). Его целью является обеспечение полной готовности производства к выпуску продукции заданного качества при установленных объемах, сроках и затратах. Для ее достижения могут решаться следующие задачи:

- поиск строительной площадки и подрядчика для возведения производственных мощностей (задачи 3, 4);

- формирование состава технологической линии и определение оптимального режима ее функционирования (задачи 5, 7);

- формирование структуры *IIoT*-системы (*Industrial Internet of Things*, промышленный интернет вещей), объединяющей вычислительными сетями комплекс устройств для удаленного автоматического управления технологической линией, и определением оптимального режима ее функционирования (задачи 6, 8);

- ресурсное и кадровое обеспечение (задачи 9, 10).

На четвертом этапе (промышленное производство) могут возникать оптимизационные задачи, связанные с подбором линейного персонала (задача 11), перенастройкой режима работы технологической линии (задача 12), построением маршрутов доставки и возвратов продукции (задачи 13, 14).

Помимо задач, формализованных на рис. 1, следует отметить задачу формирования мультипроекта, связанную с определением наилучшего набора инновационных проектов для достижения стратегических целей программ импортозамещения наукоемкой продукции в рамках заданных бюджетных ограничений (задача 15).

Исходя из математической постановки, приведенные задачи относятся к многокритериальной оптимизации, которая предполагает поиск наилучших решений по нескольким критериям (т. е. используется семейство целевых функций). Для их решения могут применяться разные подходы, при этом выбор конкретного определяется концептуальной постановкой. В большинстве случаев выполняют сведение многокритериальной задачи к однокритериальной с помощью разных методов (например, условной оптимизации, линейной свертки, максиминной свертки, метода идеальной точки и др.).

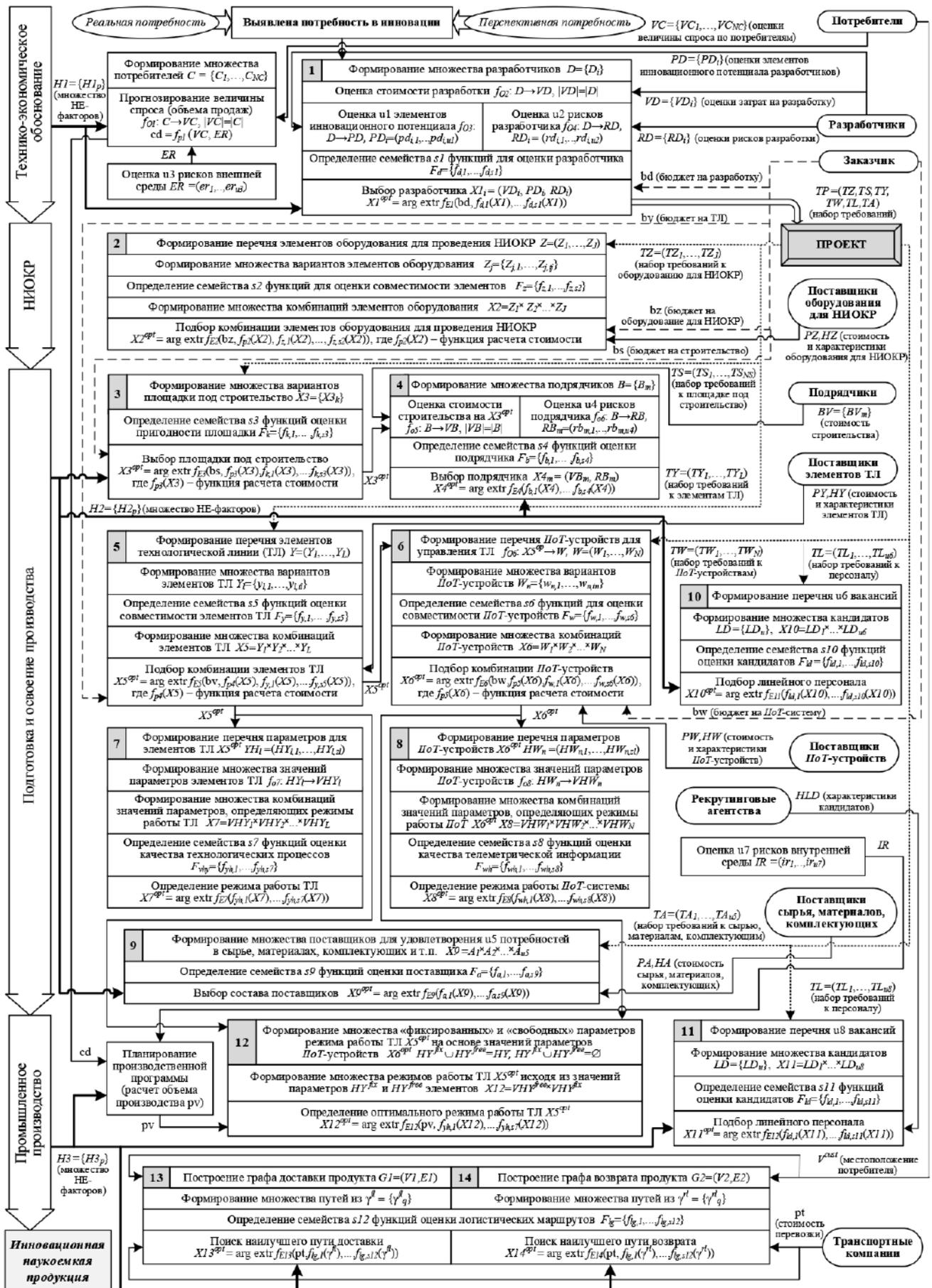


Рис. 1. Формализация оптимизационных задач, возникающих в процессе реализации инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции

Для решения задач однокритериальной оптимизации могут использоваться как детерминированные, так и стохастические методы. Детерминированные методы предполагают проведение полного или ограниченного поиска на всем множестве допустимых решений и нацелены на нахождение глобального экстремума целевой функции с предоставлением гарантии этого факта [14]. Главным ограничением их применения является размерность задачи: ее увеличение может приводить к колоссальному росту временных затрат на выполнение поисковых операций.

Стохастические методы снимают указанное ограничение путем введения фактора случайности в поисковый алгоритм. Однако именно этот фактор не позволяет гарантировать нахождения глобального оптимума целевой функции, т. е. всегда существует возможность «застревания» в локальном экстремуме. С другой стороны, увеличение времени выполнения алгоритма (в частности, числа итераций) существенно снижает такую возможность. В этом классе оптимизационных методов выделяют:

– эвристики, основанные на различных правилах (не всегда базирующихся на «строгой» математике), которые позволяют находить близкие к оптимальным

решения (т. е. представляют собой стратегии решения конкретной задачи);

– метаэвристики, основанные на высокоуровневых стратегиях поиска приближенного решения и опирающиеся на несколько эвристик нижнего уровня (т. е. подходят для решения некоторого множества задач) [17].

Все метаэвристики подразделяются на методы, исследующие либо одно решение, либо их множество (популяцию). В первом случае выполняется итерационное уточнение одного решения, а во втором — исследование каждой особи популяции. Использование популяционного подхода позволяет, с одной стороны, существенно снизить возможность «застревания» алгоритма в локальном экстремуме, а с другой — уменьшить время поиска наилучшего решения. Данный факт обуславливает его выбор для решения поставленных оптимизационных задач, ландшафт целевых функций (одно или нескольких) которых может быть достаточно сложным [14].

На сегодняшний день разработано огромное число метаэвристических методов, реализующих популяционный подход. В значительной степени они имитируют природные системы, процессы, явления. На рис. 2 представлена классификация популяционных метаэвристик в зависимости от объекта, лежащего в их основе [5].

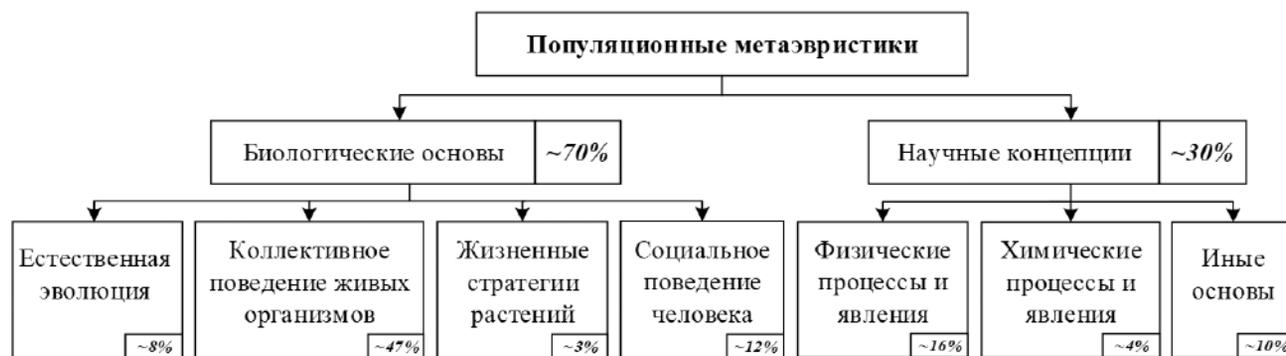


Рис. 2. Классификация популяционных метаэвристик

Наиболее многочислен класс биоинспирированных метаэвристик, имитирующих коллективное поведение живых организмов, которые принято называть «роевым интеллектом» (*Swarm intelligence*). Такие алгоритмы отличаются простотой, гибкостью, быстрой сходимостью и адаптивностью к условиям различных предметных областей. Однако согласно теореме «об отсутствии бесплатных обедов», не существует универсального алгоритма, способного «успешно» решать любые оптимизационные задачи [12]. Выбор алгоритма для решения конкретной задачи оптимизации определяется особенностями ее концептуальной и математической постановки [13].

В общем алгоритмы роевого интеллекта построены на результатах анализа поведенческих паттернов самоорганизующихся колоний живых организмов. Они реализуют мультиагентный подход: используется множество агентов (особей), действующих по примитивным правилам, при этом вся популяция ведет «разумно» за счет реализации особого механизма обмена информацией. В большинстве случаев они моделируют коллективное поведение, связанное с поиском источников пищи, охотой, миграцией, размножением.

В основе поисковых операций лежит перемещение особей в пространстве доступных решений, выполняемое в соответствии с набором правил, характерных для моделируемой бионической системы. Успешность этого перемещения оценивается с помощью функции приспособленности, а полученные результаты используются для отбора перспективных особей для перевода их на следующую ите-

рацию. В качестве условия останова обычно используется достижение заданного числа итерации или точности.

Обобщенная схема алгоритмов роевого интеллекта представлена на рис. 3. Сходимость таких алгоритмов определяется нахождением баланса между двумя поисковыми действиями: интенсификацией, отвечающей за локальный поиск (за счет возможностей исследовать окрестности «лучших» решений), и диверсификацией, отвечающей за глобальный поиск (за счет возможностей «выскакивать» из локальных экстремумов) [13].

С учетом особенностей концептуальной и математической постановки каждой из описанных задач оптимизации, были сформулированы следующие рекомендации по выбору алгоритмов для их решения:

– подбор оборудования для НИОКР, элементов технологической линии и устройств *IIoT*-системы (задачи 2, 5, 6, которые характеризуются огромным пространством доступных решений) осуществлять с помощью алгоритма *Grey wolf optimizer*, имитирующего стратегию охоты стаи волков на крупную добычу с учетом их сложной социальной иерархии и позволяющего формировать ранжированный список [6; 15];

– определение эффективного режима работы технологической линии и *IIoT*-системы (задачи 7, 8, 12) выполнять с использованием алгоритма *Cuckoo search*, основанного на явлении гнездового паразитизма и позволяющего решать задачи условной оптимизации со сложным ландшафтом целевых функций [7];

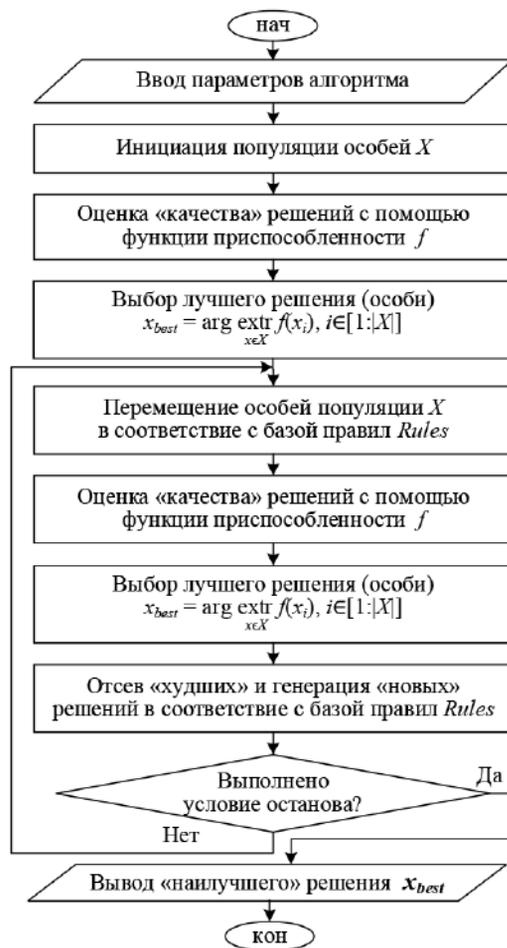


Рис. 3. Обобщенная схема алгоритмов роевого интеллекта

– для выбора площадки под строительство мощностей по производству инновационной наукоемкой продукции (задача 3) использовать алгоритм *Bacterial foraging algorithm*, основанный на принципах хемотаксиса (двигательной реакции) бактерий *E.coli* на аттрактанты и репелленты и позволяющий учитывать благоприятные и негативные факторы [8];

– для массового подбора персонала (задачи 10, 11) применять алгоритм *Fish school search*, который моделирует поведение косяка плавающих рыб, способного расширяться и сжиматься в процессе поисках пищи, и позволяет решать многокритериальные задачи в многомерном пространстве [9; 16];

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Карпенко А. П., Сеницын И. Н. Роевой интеллект и его применение в системах высокой доступности // Системы высокой доступности. 2022. Т. 18. № 4. С. 44—55. DOI: 10.18127/j20729472-202204-04.
2. Stork J., Eiben A. E., Bartz-Beielstein T. A new taxonomy of continuous global optimization algorithms // Natural Computing. 2022. Vol. 21. No. 2. Pp. 219—242. DOI: 10.1007/s11047-020-09820-4.
3. Курейчик В. В., Родзин С. И. Биоэвристики, инспирированные фауной (обзор) // Информационные технологии. 2023. Т. 29. № 11. С. 559—573. DOI: 10.17587/it.29.559-573.
4. Chattopadhyay S., Marik A., Pramanik R. A brief overview of physics-inspired metaheuristic optimization techniques // Comprehensive Metaheuristics. Algorithms and Applications / ed. by S. Mirjalili, A. H. Gandomi. Academic Press, 2022. Pp. 49—63. DOI: 10.1016/B978-0-323-91781-0.00003-X.
5. Comprehensive taxonomies of nature- and bio-inspired optimization: inspiration versus algorithmic behavior, critical analysis recommendations / D. Molina, J. Poyatos, J. D. Ser et al. // Cognitive Computation. 2020. Vol. 12. No. 1. Pp. 897—939. DOI: 10.1007/s12559-020-09730-8.
6. Meidani K., Hemmasian A. P., Mirjalili S., Farimani A. B. Adaptive grey wolf optimizer // Neural Computing and Applications. 2022. Vol. 34. Pp. 7711—7731. DOI: 10.1007/s00521-021-06885-9.
7. Yang X.-S., Deb S. Engineering Optimisation by Cuckoo Search // International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation. 2010. Vol. 1. No. 4. Pp. 330—343. DOI: 10.1504/IJMMNO.2010.035430.
8. Passino K. M. Bacterial Foraging Optimization // International Journal of Swarm Intelligence Research. 2010. Vol. 1. No. 1. Pp. 1—16. DOI: 10.4018/jsir.2010010101.

– логистические задачи 13, 14 по определению оптимальных маршрутов доставки и возвратов продукции решать с помощью алгоритма *Worm optimization*, моделирующего передвижение червей *C.elegans* в поисках пищи [10];

– для формирования мультипроекта (задача 15) использовать алгоритм *Artificial bee colony*, моделирующий пищевое поведение медоносных пчел, который несмотря на большое число «свободных» параметров позволяет успешно исследовать пространство доступных решений в задачах комбинаторной оптимизации [11; 17].

Для задач 1, 4, 9, связанных с выбором участников инновационного проекта (разработчиков, подрядчиков, поставщиков и т. п.), обычно не характерно большое число альтернатив, поэтому они могут решать путем их полного или ограниченного перебора.

Заключение

Эффективное управление процессом реализации инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции требует поиска наилучших решений, который может выполняться по одному или нескольким критериям. В статье проведена формализация основных задач оптимизации, которые могут возникать на разных этапах таких проектов. Ввиду отсутствия требования нахождения «строго оптимальных» решений, было предложено использовать биоэвристики, моделирующие коллективное поведение живых организмов, которые отличаются простотой, гибкостью, быстрой сходимостью. С учетом особенностей концептуальных и математических постановок описанных оптимизационных задач были сформулированы рекомендации по выбору алгоритмов роевого интеллекта для их решения. Предполагается, что их применение для выработки управленческих решений позволит повысить эффективность инновационной деятельности, оптимизировать технологические и бизнес-процессы, достичь стратегических целей программ импортозамещения наукоемкой продукции, критически важной для российской экономики.

В то же время уникальных характер каждого инновационного проекта по созданию наукоемкой продукции зачастую не позволяет сформировать достаточный объем качественной (полной, точной, достоверной и т. п.) информации. В этой связи дальнейшее развитие биоэвристик может быть связано с разработкой подходов к учету НЕ-факторов (неполноты, неточности, недостоверности и т. д.) при поиске наилучших решений. Перспективным направлением выступает гибридизация алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики, которые позволят успешно учитывать информационную неопределенность.

9. Filho J., Albuquerque I., Neto F. Fish School Search Algorithm for Constrained Optimization // arXiv. July 20, 2017. 1707.06169. DOI: 10.48550/arXiv.1707.06169.
10. Wang G.-G., Deb S., Coelho L. Earthworm optimization algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems // International Journal of Bio-Inspired Computation. 2018. Vol. 12. No. 1. Pp. 1—22. DOI: 10.1504/IJBIC.2018.093328.
11. Karaboga D., Akay B., Karaboga N. A survey on the studies employing machine learning (ML) for enhancing artificial bee colony (ABC) optimization algorithm // Cogent Engineering. 2020. Vol. 7. No. 1. Art. 1855741. DOI: 10.1080/23311916.2020.1855741.
12. Adam S., Alexandropoulos S.-A., Pardalos P., Vrahatis M. No Free Lunch Theorem: A Review // Approximation and Optimization. Algorithms, Complexity and Applications / eds. I. Demetriou, P. Pardalos. Cham : Springer, 2019. Pp. 57—82. (Springer Optimization and Its Applications; vol. 145). DOI: 10.1007/978-3-030-12767-1_5.
13. A prescription of methodological guidelines for comparing bio-inspired optimization algorithms / A. Latorre, D. Molina, E. Osaba et al. // Swarm and Evolutionary Computation. 2021. Vol. 67. Art. 100973. DOI: 10.1016/j.swevo.2021.100973.
14. Булыгина О. В., Ярцев Д. Д., Прохимнов Н. Н., Верейкина Е. К. Направления гибридации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики для решения оптимизационных задач в социально-экономических системах // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 5. С. 65—87. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-5-65-87.
15. Пучков А. Ю., Дли М. И., Прохимнов Н. Н., Шутова Д. Ю. Многоуровневые алгоритмы оценки и принятия решений по оптимальному управлению комплексной системой переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 6. С. 102—121. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-6-102-121.
16. Морозова И. А., Дмитриев А. С. Оптимизация кадровой работы некоммерческих организаций как условие обеспечения их конкурентоспособности // Современная конкуренция. 2024. Т. 18. № 2. С. 27—38. DOI: 10.37791/2687-0657-2024-18-2-27-38.
17. Булыгина О. В., Ярцев Д. Д., Зедина А. В., Леднева О. В. Использование алгоритмов роевого интеллекта для определения состава мультипроекта // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 6. С. 44—58. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-6-44-58.

REFERENCES

1. Karpenko A. P., Sinityn I. N. Swarm intelligence and applications in highly available systems. *Sistemy vysokoi dostupnosti = High availability systems*. 2022;18(4):44—55. (In Russ.) DOI: 10.18127/j20729472-202204-04.
2. Stork J., Eiben A. E., Bartz-Beielstein T. A new taxonomy of continuous global optimization algorithms. *Natural Computing*. 2022;21(2):219—242. DOI: 10.1007/s11047-020-09820-4.
3. Kureychik V. V., Rodzin S. I. Bio-Heuristics Inspired by Fauna. *Informatsionnye tekhnologii = Information Technologies*. 2023;29(11):559—573. (In Russ.) DOI: 10.17587/it.29.559-573.
4. Chattopadhyay S., Marik A., Pramanik R. A brief overview of physics-inspired metaheuristic optimization techniques. *Comprehensive Metaheuristics. Algorithms and Applications*. S. Mirjalili, A. H. Gandomi (eds.). Academic Press, 2022. Pp. 49—63. DOI: 10.1016/B978-0-323-91781-0.00003-X.
5. Molina D., Poyatos J., Ser J. D. et al. Comprehensive taxonomies of nature- and bio-inspired optimization: inspiration versus algorithmic behavior, critical analysis recommendations. *Cognitive Computation*. 2020;12(1):897—939. DOI: 10.1007/s12559-020-09730-8.
6. Meidani K., Hemmasian A. P., Mirjalili S., Farimani A. B. Adaptive grey wolf optimizer. *Neural Computing and Applications*. 2022;34:7711—7731. DOI: 10.1007/s00521-021-06885-9.
7. Yang X.-S., Deb S. Engineering Optimisation by Cuckoo Search. *International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation*. 2010;1(4):330—343. DOI: 10.1504/IJMMNO.2010.035430.
8. Passino K. M. Bacterial Foraging Optimization. *International Journal of Swarm Intelligence Research*. 2010;1(1):1—16. DOI: 10.4018/jsir.2010010101.
9. Filho J., Albuquerque I., Neto F. Fish School Search Algorithm for Constrained Optimization. *arXiv*. July 20, 2017. 1707.06169. DOI: 10.48550/arXiv.1707.06169.
10. Wang G.-G., Deb S., Coelho L. Earthworm optimization algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimization problems. *International Journal of Bio-Inspired Computation*. 2018;12(1):1—22. DOI: 10.1504/IJBIC.2018.093328.
11. Karaboga D., Akay B., Karaboga N. A survey on the studies employing machine learning (ML) for enhancing artificial bee colony (ABC) optimization algorithm. *Cogent Engineering*. 2020;7(1):1855741. DOI: 10.1080/23311916.2020.1855741.
12. Adam S., Alexandropoulos S.-A., Pardalos P., Vrahatis M. No Free Lunch Theorem: A Review. *Approximation and Optimization. Algorithms, Complexity and Applications*. Springer Optimization and Its Applications; vol. 145. I. Demetriou, P. Pardalos (eds.). Cham, Springer, 2019. Pp. 57—82. DOI: 10.1007/978-3-030-12767-1_5.
13. Latorre A., Molina D., Osaba E. et al. A prescription of methodological guidelines for comparing bio-inspired optimization algorithms. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2021;67:100973. DOI: 10.1016/j.swevo.2021.100973.
14. Bulygina O., Yartsev D., Prochimnov N., Vereikina E. Directions of hybridization of swarm intelligence and fuzzy logic algorithms for solving optimization problems in socio-economic systems. *Prikladnaya informatika = Journal of Applied Informatics*. 2024;19(5):65—87. (In Russ.) DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-5-65-87.
15. Puchkov A., Dli M., Prochimnov N., Shutova D. Multilevel algorithms for evaluating and making decisions on the optimal control of an integrated system for processing fine ore raw materials. *Prikladnaya informatika = Journal of Applied Informatics*. 2022;17(6):102—121. (In Russ.) DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-6-102-121.
16. Morozova I. A., Dmitriev A. S. Optimization Personnel Management of Non-profit Organizations as a Condition for Ensuring Their Competitiveness. *Sovremennaya konkurentsya = Journal of Modern Competition*. 2024;18(2):27—38. (In Russ.) DOI: 10.37791/2687-0657-2024-18-2-27-38.
17. Bulygina O. V., Yartsev D. D., Zedayna A. V., Ledneva O. V. Using swarm intelligence algorithms to determine the composition of a multiproject. *Prikladnaya informatika = Journal of Applied Informatics*. 2024;19(6):44—58. (In Russ.) DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-6-44-58.

Статья поступила в редакцию 12.03.2025; одобрена после рецензирования 28.03.2025; принята к публикации 31.03.2025.
The article was submitted 12.03.2025; approved after reviewing 28.03.2025; accepted for publication 31.03.2025.

Научная статья

УДК 338

DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1280

Natalia Fedorovna Voronina

Candidate of Sociology, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Economics
and management of the aviation industry,
“Strela” branch of Moscow Aviation Institute
Moscow, Russian Federation
voroninanf@yandex.ru

Наталья Федоровна Воронина

канд. социол. наук, доцент, профессор Академии военных наук,
доцент кафедры «Экономика и управление
авиационной промышленности»,
Филиал «Стрела» Московского авиационного института
Москва, Российская Федерация
voroninanf@yandex.ru

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ В СТАНОВЛЕНИИ ЭКОСИСТЕМЫ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

5.2.3 — Региональная и отраслевая экономика

Аннотация. В статье рассматриваются процесс становления экосистемы цифровой экономики Российской Федерации и высшее образование как элемент, обеспечивающий кадровое обеспечение этого процесса. Рассмотрено нормативно-правовое основание процесса. Обращено внимание, что успешность достижения целей становления экономики определяется, в том числе, наличием кадров, владеющих цифровыми компетенциями. Автором на основе проведенного анализа обеспеченности кадрами соответствующей квалификации потребности рынка труда в субъектах Российской Федерации сделан вывод о существующей проблеме. Процесс формирования экосистемы цифровой экономики в текущем и прогнозируемом периодах испытывает «кадровый голод». Кадры, владеющие компетенциями для реализации целей развития экономики страны, возможно подготовить только в системе высшего образования. Представлен обзор государственных мероприятий, направленных на повышение кадровой обеспеченности регионов, в т. ч. на основе Федерального проекта «Цифровая образовательная среда», а также самостоятельные проекты системы высшего образования Российской Федерации. Деятельность по данным направлениям осуществляется на основе экосистемного подхода. В статье рассмотрены отличительные особенности организа-

ции экосистем применительно к социально-экономическим процессам развития. Выделено, что, следуя принципам экосистемного подхода, происходит трансформация образовательной среды, отвечающая требованиям становления цифровой экономики в части обеспечения кадрами. Целью исследования является рассмотрение образовательной среды высшего образования как элемента в формировании экосистемы цифровой экономики в России в современных условиях. Современная экономика всё больше зависит от цифровых технологий и данных. Высшее образование играет решающую роль в подготовке специалистов, обладающих необходимыми знаниями и навыками для работы в цифровом пространстве. Без адекватной подготовки кадров невозможно обеспечить эффективное функционирование цифровой экономики. Автором определяются основные элементы, раскрывается специфика применения экосистемного подхода в образовании, обосновывается значение образовательных цифровых платформ как нового активного участника образовательной среды.

Ключевые слова: высшее образование, цифровая трансформация, цифровизация, экосистема цифровой экономики, кадры, субъект Российской Федерации, цифровые компетенции, экосистема, образовательная среда, кадровая обеспеченность

Для цитирования: Воронина Н. Ф. Высшее образование в становлении экосистемы цифровой экономики // Бизнес. Образование. Право. 2025. № 2(71). С. 82—88. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1280.

Original article

HIGHER EDUCATION IN THE FORMATION OF THE DIGITAL ECONOMY ECOSYSTEM

5.2.3 — Regional and sectoral economy

Abstract. The article examines the process of forming the digital economy ecosystem of the Russian Federation, and higher education as an element providing human resources for the process. The legal basis of the process is considered. Attention is drawn to the fact that the success of achieving the goals of economic development is determined, among other things, by the availability of personnel with digital competences. Based on the analysis of the availability of appropriately qualified personnel and the needs of the labor market in the constituent entities of the Russian Federation, the author concludes that such a problem exists. The process of forming the digital economy ecosystem is experiencing a “personnel shortage” in the current and forecast periods. It is pos-

sible to train personnel with competences to achieve the goals of the country's economic development only in the higher education system. The article provides an overview of government measures aimed at increasing the staffing levels of the regions, including on the basis of the Federal Project “Digital Educational Environment”, as well as independent projects of the higher education system of the Russian Federation. Activities in these areas are based on an ecosystem approach. The article examines the distinctive features of ecosystem organization in relation to socio-economic development processes. It is highlighted that, following the principles of the ecosystem approach, an educational environment is being organized that meets the requirements of the digital

economy in terms of staffing. The purpose of the study is to consider the educational environment of higher education as an element in the formation of the digital economy ecosystem in Russia in modern conditions. The modern economy is increasingly dependent on digital technologies and data. Higher education plays a crucial role in training professionals with the knowledge and skills necessary to work in the digital space. Without adequate training, it is impossible to ensure the effective functioning of the digital

economy. The author defines the main elements, reveals the specifics of applying the ecosystem approach to education, and substantiates the importance of educational digital platforms as a new active participant in the educational environment.

Keywords: higher education, digital transformation, digitalization, digital economy ecosystem, personnel, entity of the Russian Federation, digital competences, ecosystem, educational environment, staffing

For citation: Voronina N. F. Higher education in the formation of the digital economy ecosystem. *Biznes. Obrazovanie. Pravo = Business. Education. Law.* 2025;2(71):82—88. DOI: 10.25683/VOLBI.2025.71.1280.

Введение

В 2020 г. в соответствии с Указом Президента РФ от 21 июля 2020 г. № 474 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» разработана программа, направленная на реализацию цифровой трансформации России к 2030 г. В 2021 г. утверждены региональные стратегии цифровой трансформации ключевых отраслей, в которых особое внимание уделено вопросам кадровой обеспеченности [1]. В докладе Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» «Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерения» 2019 г. был сделан прогноз, что к 2030 г. рост ВВП во многом будет определяться уровнем цифровизации, что составит 1,47 % из 2,75 % ежегодного прироста ВВП, за счет повышения эффективности и конкурентоспособности всех секторов экономики, что требует соответствующего обеспечения кадрами [2]. В России в настоящее время уже выявлено имеющееся отставание обеспечения кадрами процесса цифровизации экономики. По данным исследований, проводимых *LinkedIn* (социальная сеть заблокирована на территории Российской Федерации за нарушение правил хранения персональных данных российских пользователей. — *Примеч. ред.*), к 2027 г. более 50 % имеющихся у работников компетенций будут не востребованы работодателями. Таким образом, для дальнейшего становления экосистемы цифровой экономики необходимо эффективное взаимодействие с образовательными организациями, способными обеспечить подготовку специалистов, обладающих востребованными компетенциями в текущий и прогнозный периоды, что определяет **актуальность** выбранной темы исследования. Для развития цифровой экономики необходимы кадры, подготовка которых возможна в системе высшего образования как имеющей необходимый потенциал [3]. Влияние образовательной среды обусловлено ее ролью и значением в освоении цифровых компетенций населением, подготовки квалифицированных кадров, способствующих обеспечению эффективного становления цифровой экономики. В настоящее время реализуются государственные программы, в т. ч. направленные на сокращение цифрового неравенства субъектов Российской Федерации, включая снижение доли населения не владеющими навыками цифровой грамотности, а именно: Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», проект «Цифровой регион», проект устранения цифрового неравенства, государственная программа «Информационное общество», обеспечение доступности обучения по программам дополнительного образования.

Изученность проблемы. По мнению Е. А. Нестеренко и А. С. Козловой [4], под цифровой экономикой можно понимать хозяйственное производство, использующее цифровые технологии. В своих работах Д. Р. Белоусов определяет экосистему цифровой экономики как систему

«взаимодействующих, обменивающихся цифровыми ресурсами и трансформирующих одни их виды в другие субъектов» (цит. по: [5, с. 42]). Развитие концепции экосистем в экономике представлено в работах О. Е. Каленова [6], В. В. Шаповалова, Е. С. Ратушняк [7], А. В. Овчинниковой [8], обосновывающих необходимость перехода к экосистемным образованиям в современных условиях трансформации социально-экономических процессов и развития цифровизации. Термин «экосистема» к организационным процессам использовал Дж. Ф. Мур, описывая им динамические процессы взаимодействия элементов в единой организационной структуре [9]. К настоящему времени использование термина «экосистема», применительно к социально-экономическим процессам развития, прошло несколько этапов. Данному вопросу посвящены труды И. А. Дмитриевой, Е. А. Третьяковой, К. Н. Сергеевой, О. Е. Каленова, И. А. Титова [6; 10—13]. Первоначально ученые рассматривали возможности экосистем как отдельных организационных структур, постепенно смещая акцент на представлении региона как экосистемы инноваций. Вопросам влияния образовательной среды на цифровую трансформацию и кадровое обеспечения посвящены труды Н. В. Хрусталева [14], В. В. Глушенко [15], А. Г. Изотовой [16], С. Ю. Преснова [17], Н. В. Дейнес [18]. Использование данной парадигмы позволяет изучать возможности и потенциал экосистемного подхода в контексте реализации информационной трансформации общества и становления цифровой экономики.

Целесообразность разработки темы определяется ролью организаций высшего образования (далее — ОВО) в обеспечении процесса становления цифровой экономики Российской Федерации востребованными кадрами, готовностью своевременно реагировать на изменения запросов на рынке труда. Отсутствие согласованности в процессе подготовки кадров и трансформации экономических процессов способствует дефициту кадров.

Целью исследования является рассмотрение образовательной среды высшего образования как элемента в формировании экосистемы цифровой экономики в России в современных условиях.

Задачи исследования:

1. Выявление особенностей применения экосистемного подхода в экономике.
2. Проведение анализа обеспечения квалифицированными кадрами отраслей экономики.
3. Выявление путей подготовки специалистов для обеспечения потребностей экосистемы цифровой экономики.

Научная новизна заключается в применении экосистемного подхода в изучении влияния деятельности ОВО на процесс становления экосистемы цифровой экономики, в котором ОВО рассматривается как элемент системы.

Работа дополняет существующие научные труды в части проведения комплексного исследования процесса формирования экосистемы цифровой экономики и определения влияния деятельности ОВО на основе актуальных данных, что позволило выявить слабые места и определить направления деятельности.

Теоретическое значение работы заключается в парадигме системного подхода к пониманию влияния ОВО на становление экосистемы цифровой экономики как результата изменений последних лет в социально-экономической структуре общественных отношений в условиях активного внедрения цифровых технологий.

Практическая значимость работы заключается в определении возможностей и барьеров применения экосистемного подхода к ОВО на основе углубления знаний о современных тенденциях экономических процессах, их зависимостью от приобретенных кадрами компетенций в результате обучения; необходимости ликвидации дисбаланса в кадровом обеспечении субъектов Российской Федерации, что позволяет разрабатывать современные и необходимые меры, реформировать взаимодействие с государственными и частными ОВО для повышения эффективности их функционирования.

Основная часть

Методы и материалы. Исследование основано на нормативных документах, определяющих стратегию развития страны, направления формирования отраслей экономики, статистической информации из открытых источников, позволяющих провести оценку соответствия текущих процессов сформулированным целям и задачам становления цифровой экономики. Рассмотрение парадигм позволило выявить актуальную область исследования образовательной среды в условиях формирования экосистемы цифровой экономики. Дискурс-анализ высшего образования в становлении экосистемы цифровой экономики позволил обосновать роль и значение образовательной среды, ориентированной на устранение выявленных разрывов обеспечения подготовки кадрами процессов цифровизации экономики в Российской Федерации.

Результаты исследования. В 2017 г. на Петербургском международном экономическом форуме Президент РФ акцентировал внимание на вопросах формирования и развития цифровой экономики в России, в частности, на «необходимости наращивать наши кадровые, интеллектуальные, технологические преимущества в сфере цифровой экономики» (<http://www.kremlin.ru/events/president/news/54667>). В этом же году сформирован Фонд развития цифровой экономики «Цифровые платформы». Основная цель деятельности которого разработка и реализация мероприятий по развитию цифровой экономики и созданию отраслевых цифровых платформ. Достижение поставленной цели потребовало разработки документов стратегического развития, в т. ч. Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 гг. и Программы «Цифровая экономика Российской Федерации». В них указано, что достижение задач цифровой экономики в РФ реализуется посредством формирования экосистемы цифровой экономики. Обоснование необходимости применения экосистемного подхода в экономике связано с существующим технологическим укладом и изменениями условий труда, характером трудовой деятельности, усилением влияния участников процесса, например ОВО на эффективность.

В Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017—2030 гг. термин «экосистема цифровой экономики» рассматривается как партнерство организаций, которые обеспечивают постоянное взаимодействие принадлежащих им технологических платформ, прикладных интернет-сервисов, аналитических систем, информационных систем органов государственной власти Российской Федерации, граждан и организаций.

Экосистема цифровой экономики состоит из взаимосвязанных элементов: информационная безопасность, правовое регулирование, цифровое государственное управление, цифровые технологии, информационная инфраструктура, кадры. Все элементы экосистемы, их формирование, динамика изменений, соотносятся друг с другом в соответствии с законами развития системы. При отсутствии равномерного развития всех элементов системы достижение положительной динамикой становится затруднительно, происходит замедление в развитии всей системы.

Для достижения целей цифровой трансформации разработан пакет документов, включающий проекты по основным направлениям цифровой трансформаций, в т. ч. направленные на подготовку кадров, владеющими цифровыми компетенциями (ведомственная программа цифровой трансформации Минэкономразвития России на 2023 г. и плановый период 2024—2025 гг.).

В 2020 г. началась деятельность по разработке и внедрению документов, направленных на цифровое развитие государственных органов в рамках реализации Ведомственной программы цифровой трансформации. Особенностью является предлагаемая новая система оценки деятельности учреждений, основанная на программно-целевом принципе и формирование программных показателей и реализуемых проектов, в т. ч. включающих показатели, характеризующих качество подготовки ведомственных программ цифровой трансформации и степень кадровой обеспеченности. Обеспечение квалифицированными кадрами всех отраслей экономики в необходимом объеме соответствующего уровня квалификации рассматривается как важный показатель, влияющий на эффективность реализации программы в целом.

По данным исследований аналитического центра при Правительстве РФ в настоящее время подготовка кадров является первичным барьером в развитии цифровой экономики. Фактически все регионы Российской Федерации в прогнозном периоде до 2030 г. будут испытывать недостаток населения трудоспособного возраста и основное, предлагаемое в Стратегиях, решение связано с увеличением притока населения из соседних регионов. Получается, что каждый регион рассчитывает на приток рабочей силы из регионов, где ее также будет недостаточно. Существующий разный уровень и темп в развитии регионов, а также разрабатываемые предложения по ликвидации дисбаланса в развитии рассматриваются многими авторами только с материальных позиций перераспределения ресурсов [19]. Такой подход существовал и ранее, что с течением времени выявило его ограниченность.

Сравнение динамики изменения вакансий и резюме по всем профессиональным областям в регионах Российской Федерации в 2023—2024 гг. в соответствующих периодах январь-август по данным, представленным общедоступной системой онлайн-мониторинга российского рынка труда «hh Статистика» можно сделать заключение, что в большинстве регионов Российской Федерации наблюдается уменьшение предлагаемых вакансий, по всем

регионам Российской Федерации на 20 %. Лидирующие позиции по отрицательной динамике предлагаемых вакансий в рассматриваемые периоды занимают Запорожская область (–54 %), Республика Калмыкия (–33 %), Республика Ингушетия (–30 %), Тамбовская область (–27 %). Динамика резюме также отрицательная и по всем регионам Российской Федерации составляет 10 %. Лидирующие позиции по отрицательной динамике резюме занимают Запорожская область (–48 %), Республика Ингушетия (–40 %), Республика Тыва (–31 %), Кабардино-Балкарская Республика (–29 %), Республика Алтай (–29 %), Еврейская автономная область (–27 %). Несмотря на общее снижение как вакансий, так и резюме, наблюдается дефицит кадров.

По данным системы мониторинга *SuperJob*, количество вакансий за год в сравнении данных за март 2024 г. к марту 2023 г. на рынке труда стало больше на 44 %, количество резюме выросло на 11 %.

Несмотря на разницу в данных, что объясняется количеством физических и юридических лиц, предпочитающих обращаться к той или иной платформе, наблюдается недостаточность кадрового обеспечения.

Деятельность, направленная на повышение кадровой обеспеченности регионов, осуществляется на основе Федерального проекта «Цифровая образовательная среда», в соответствии с которым в 2024 г. сформирована современная и безопасная цифровая образовательная среда, обеспечивающая высокое качество и доступность образования всех видов и уровней. В рамках осуществления деятельности по федеральному проекту предоставляются межбюджетные трансферты из средств федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации в форме субсидии по результатам соответствующих отборов, в т. ч.:

- по внедрению целевой модели цифровой образовательной среды, которая позволит во всех образовательных организациях на территории Российской Федерации создать профили «цифровых компетенций» для обучающихся, педагогов и административно-управленческого персонала, конструировать и реализовывать индивидуальные учебные планы (программы), в т. ч. с правом зачета результатов прохождения онлайн-курсов при прохождении аттестационных мероприятий, автоматизировать административные, управленческие и обеспечивающие процессы;
- созданию сети из 340 центров цифрового образования для детей «IT-куб».

Осуществление деятельности, связанной с реализацией проекта, способствует изменению в структуре образовательных учреждений, а также обеспечит создание условий для глобальной конкурентоспособности российского образования, высокого качества обучения, улучшение качества жизни в каждом субъекте.

В структуре системы образования Российской Федерации в соответствие с уровнем образования реализуются самостоятельные проекты, направленные на формирование и развитие потенциала обучающихся:

- Уровень общего образования — проект «Цифровая школа». В рамках реализации проекта происходит модернизация школ, закупка оборудования, внесение изменений в планы уроков, внедрение внеурочной деятельности, направленной на формирование у обучающихся необходимых цифровых компетенций и цифровой грамотности.
- Уровень профессионального образования — Стратегия развития среднего профессионального образования в России. Реализация Стратегии направлена на популяризацию

рабочих специальностей и привлечение внимание молодежи к рабочим профессиям, что включаем в себя модернизацию материально-технической оснащённости колледжей и техникумов, повышение квалификации сотрудников, обновление содержания профессиональных программ обучения, развитие культуры профессиональных соревнований.

В структуре высшего образования внесены изменения в федеральные государственные образовательные стандарты высшего образования (далее — ФГОС ВО) на уровнях бакалавриата и специалитета. Организации высшего образования с 2021/22 учебного года реализуют свою деятельность на основе этих стандартов. Необходимость внесения изменений в ФГОС ВО связаны с реализацией программы «Цифровая экономика Российской Федерации», в которой указано, что формирование и развитие современной экономики требует внедрения цифровых технологий и наличия высококвалифицированных кадров, обладающими цифровыми компетенциями. Минобрнауки России при поддержке Федерального учебно-методического объединения разработало учебные модули в части цифровых компетенций.

Реализуемые программы, направленные на формирование и развитие экономики страны, как основное условие, включают овладение населением цифровой грамотности. Современная организация образовательной среды формируется на основе экосистемного подхода. Реализация экосистемного подхода позволяет интегрировать сетевые инфраструктуры, цифровые технологии, как участников процесса, что обеспечивает быстрое реагирование на запросы обучающегося и рынка труда, представляет возможность разрабатывать индивидуальные траектории обучения, повышает эффективность обучения, снижая период освоения востребованных компетенций.

Необходимость перехода на экосистемный подход в организации образования обусловлена следующими факторами:

1. Темпы обновления знаний выросли. В настоящее время средний срок новизны составляет два года, при этом наблюдается тенденция к сокращению этого периода [20].
2. Традиционные учебные заведения не способны своевременно реагировать на быстрые изменения внешней среды, обусловленные темпами прогресса и конъюнктуры рынка труда. В результате зачастую выпускники на момент окончания высших и средних профессиональных учебных заведений овладевают компетенциями, уже не востребованными и не владеют необходимыми, что в целом приводит к понижению уровня профессионализма выпускаемого специалиста и снижению качества образования в целом.

Формирование концепции цифровой образовательной экосистемы обусловлено, с одной стороны, как ответ на вызов внешней среды, ограничений личных взаимодействий людей в условиях современных реалий, а с другой — связано с современными условиями и темпами развития технологий и платформ, позволяющих реализовывать новые схемы организации взаимодействия между участниками одной среды.

Тем не менее проект «Цифровая образовательная среда» реализует подходы существующей образовательной среды, без учета прогноза будущих потребностей и тенденций развития экосистемы цифровой экономики. Его суть заключается в быстром решении текущей проблемы приобретения цифровых компетенций большим количеством населения, вовлеченного в экономические процессы, без прогноза и перспектив развития в среднесрочном и долгосрочном периодах.

К основным угрозам при формировании новой образовательной среды региона можно отнести:

- **Отсутствие опыта выстраивания эффективных коммуникаций между участниками в границах экосистемы.** Основными критериями эффективного взаимодействия является понимание всеми стейкхолдерами необходимости открытого общения, прозрачности, наличие доступного единого информационного пространства.

- **Сохранение отношения враждебной конкурентности между участниками.** Необходимость в трансформации мировоззрения направленное на повышение доверия к региональным институтам и принятие приоритета достижения общей цели.

- **Отсутствие возможности организации информационного взаимодействия.** Существующие способы организации информации, обеспечивающие взаимодействие между стейкхолдерами требуют качественных изменений на всех уровнях.

- **Низкое технологическое обеспечение.** На региональном уровне зачастую отсутствие возможности модернизации технологической инфраструктуры в соответствии с целями цифровой экосистемы региона.

К основным возможностям при формировании новой образовательной среды региона можно отнести:

- имеющийся потенциал существующей образовательной системы при подготовке специалистов;

- обеспечение государством, являющимся монополистом на рынке образования, реализации базовых экосистемных принципов при формировании новой образовательной среды.

Экосистемный подход основан на следующих принципах [21]:

- модульность, необходимые компоненты предложения для потребителей, с учетом специфики, могут разрабатываться независимо, но функционировать как единое целое;

- кастомизация, индивидуализация применения модели, возможность учесть запросы регионов;

- многосторонние отношения, позволяющие формировать необходимые коммуникационные нелинейные каналы взаимодействия;

- координация, внедрение общих стандартов, правил и процессов формирования, поддерживающих деятельность друг друга, не противоречащих, позволяющих реализовывать образовательную деятельность согласованно.

Основными стейкхолдерами образовательной среды региона являются: органы государственной власти, органы местного самоуправления, работодатели, образовательные организации всех уровней, работник, гражданин, независимые экспертные организации.

При реализации экосистемного подхода все участники системы позитивно конкурируют между собой, работают на достижение одной цели в единой образовательной среде. Их деятельность направлена на партнерство

и конструктивный конфликт с положительной динамикой, сосредоточенна на развитии, в отличие от деструктивного соперничества. Формирования необходимых цифровых компетенций, определение траектории их освоение, выбор метода связан с использованием современных образовательных технологий, без которых невозможно обеспечить процесс обучения, что в целом направлено на активное взаимодействие различных структур. Такое сотрудничество в свою очередь позволяет учитывать интересы всех стейкхолдеров, оперативно реагировать на изменяющиеся требования к компетенциям, совместно использовать ресурсы. Тем самым достигается цель обеспечения кадрами процесса цифровизации и цифровой трансформации общества. В результате организовывается образовательная среда, отвечающая требованиям становления цифровой экономики в части обеспечения кадрами. Работник является в настоящее время основой для развития экономики, его формирование, оценка компетенций, уровня знаний, персональное образовательное портфолио, развитие потенциала, соответствие текущим профессиональным требованиям, своевременное обучение связано с наличием соответствующей образовательной среды.

Заключение

Построение экономики страны в современный и планируемый периоды происходит с позиций экосистемного подхода, что отражено в нормативно-законодательных документах. Тем не менее отсутствует разработанный единый теоретический подход, отражающий его сущность и содержание, механизм взаимодействия, сдерживающие факторы, определение роли государства [22]. Экосистемы рассматривают и как модели бизнеса, и как стратегии развития, и как структуру, и как платформы, и т. д. В совокупности такое разнообразие подходов приводит к тому, что некоторые исследователи считают, что ценностный вектор экосистемы направлен внутрь экосистемы, а не вовне, поэтому объединение действий участников процесса основано на перераспределении ресурсов кластерной и инкубационной составляющих экосистемы, а также внутри экосистемных сетей и платформ. Выделены вероятные барьеры при применении экосистемного подхода, а также раскрыты возможности его использования. Определены стейкхолдеры образовательной среды. Проведен анализ реализуемых мероприятий, направленных на ликвидацию кадрового дефицита.

Образовательная среда, направленная на подготовку специалистов, обладающих определенными компетенциями для разработки и внедрения цифровых технологий для реализации цифровой трансформации, представляет собой сдерживающий фактор становления процессов цифровизации. В результате проведенного исследования обосновано применение экосистемного подхода к среде высшего образования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кураян К. А. Анализ проблем кадрового обеспечения цифровой экономики и определение путей их решения // Лидерство и менеджмент. 2023. Т. 10. № 4. С. 1367—1380. DOI: 10.18334/lim.10.4.11914.
2. Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение : докл. к XX Апрель. междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества / науч. ред. Л. М. Гохберг. М. : Изд. дом Высш. шк. экономики, 2019. 82 с.
3. Золотова Л. В., Кужбаева А. Р., Портнова Л. В. Экономико-статистическое исследование кадрового потенциала для цифровой экономики России в условиях современных вызовов. Волгоград : Сфера, 2023. 75 с.
4. Нестеренко Е. А., Козлова А. С. Направления развития цифровой экономики и цифровых технологий в России // Экономическая безопасность и качество. 2018. № 2(31). С. 9—14.

5. Гасанов М. А., Потягайлов С. В., Волкова А. Л. Цифровая экосистема структурных сдвигов в экономике // Вестник Томского государственного университета. Экономика. 2023. № 61. С. 40—54. DOI: 10.17223/19988648/61/4.
6. Каленов О. Е. Развитие концепции экосистем в экономике // Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова. 2021. Т. 18. № 1. С. 37—46. DOI: 10.21686/2413-2829-2021-1-37-46.
7. Шаповалов В. В., Ратушняк Е. С. Концепция экосистемы в экономике и управлении: систематический обзор (часть 1) // Экономика и управление. 2024. Т. 30. № 8. С. 914—924. DOI: 10.35854/1998-1627-2024-8-914-924.
8. Овчинникова А. В., Зимин С. Д. Рождение концепции предпринимательских экосистем и ее эволюция // Экономика, предпринимательство и право. 2021. Т. 11. № 6. С. 1497—1514.
9. Филимонов О. И., Касьяненко Т. Г., Кухта М. В. Экосистема как новая организационно-экономическая форма ведения виртуального бизнеса // Актуальные исследования. 2021. № 48(75). Ч. 2. С. 31—41.
10. Дмитриева И. А. Экосистемный подход и формирование условий инновационной экосистемы // Молодой ученый. 2021. № 22(364). С. 515—516.
11. Третьякова Е. А., Фрейман Е. Н. Экосистемный подход в современных экономических исследованиях // Вопросы управления. 2022. № 1(74). С. 6—20.
12. Сергеева К. Н., Казанцева Н. В. Трансформация экосистемного подхода при реализации стратегий развития российских университетов // Вестник Евразийской науки. 2021. Т. 13. № 4. URL: <https://esj.today/PDF/19ECVN421.pdf> (дата обращения: 02.02.2025).
13. Титов И. А. Теоретические подходы к развитию концепции экосистемы в экономике // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2024. № 4. С. 26—46. DOI: 10.52180/2073-6487_2024_4_26_46.
14. Хрусталева Н. В. Формирование образовательной среды в условиях цифровой экономики // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2023. № 5. Ч. 1. С. 155—161. DOI: 10.17513/vaael.2821.
15. Глущенко В. В. Развитие национальной экосистемы высшего профессионального образования и наставничества в период цифровой экономики // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 7(121). Ч. 3. С. 85—95. DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.092.
16. Изотова А. Г., Гаврилюк Е. С. Экосистемный подход как новый тренд развития высшего образования // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 2. С. 1211—1226. DOI: 10.18334/vines.12.2.114869.
17. Преснова С. Ю. Образование в условиях цифровой экономики // Наука и бизнес: пути развития. 2024. № 3(153). С. 107—112.
18. Дейнес Н. В. Кадровый дефицит в России: структурные причины, экономические последствия и стратегии преодоления // Актуальные исследования. 2025. № 9(244). Ч. 2. С. 37—39.
19. Квасникова М. А. Цифровое неравенство и его влияние на социально-экономическое развитие регионов в России // Социально-политические исследования. 2020. № 1(6). С. 43—58. DOI: 10.20323/2658-428X-2020-1-6-43-58.
20. Сулейманкадиева А. Э., Петров М. А., Александров И. Н. Цифровая образовательная экосистема: генезис и перспективы развития онлайн-образования // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11. № 3. С. 1273—1288. DOI: 10.18334/vines.11.3.113470.
21. Воронина Н. Ф., Анопоченко Т. Ю. Формирование экосистемы цифровой экономики в образовательной среде региона // Международный научно-исследовательский журнал. 2022. № 1(115). Ч. 4. С. 19—24. DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.105.
22. Ушвицкий Л. И., Тер-Григорьянц А. А., Деньщик М. Н. Формирование концептуальной основы экосистемного подхода к развитию социально-экономических систем // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2021. № 3(84). С. 142—154. DOI: 10.37493/2307-907X.2021.3.18.

REFERENCES

1. Kurayan K. A. Identifying the challenges of staffing the digital economy and defining how to address them. *Liderstvo i menedzhment = Leadership and Management*. 2023;10(4):1367—1380. (In Russ.) DOI: 10.18334/lim.10.4.11914.
2. What is the digital economy? Trends, competences, measurement. Report on the XX April International Scientific Conference on Economic and Social Development. L. M. Gokhberg (ed.). Moscow, HSE University publ., 2019. 82 p. (In Russ.)
3. Zolotova L. V., Kuzhbaeva A. R., Portnova L. V. Economic and statistical study of human resources potential for the digital economy of Russia in the context of modern challenges. Volgograd, Sfera, 2023. 75 p. (In Russ.)
4. Nesterenko E. A., Kozlova A. S. Directions of the development of digital economy and digital technologies in Russia. *Ekonomicheskaya bezopasnost' i kachestvo*. 2018;2(31):9—14. (In Russ.)
5. Gasanov M. A., Potiagailov S. V., Volkova A. L. Digital ecosystem of structural shifts in economics. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika = Tomsk State University Journal of Economics*. 2023;61:40—54. (In Russ.) DOI: 10.17223/19988648/61/4.
6. Kalenov O. E. The Development of Ecosystem Concept in Economy. *Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G. V. Plekhanova = Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2021;18(1):37—46. (In Russ.) DOI: 10.21686/2413-2829-2021-1-37-46.
7. Shapovalov V. V., Ratushnyak E. S. The ecosystem concept in economics and management: a systematic review (part 1). *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2024;30(8):914—924. (In Russ.) DOI: 10.35854/1998-1627-2024-8-914-924.
8. Ovchinnikova A. V., Zimin S. D. The birth of the concept of entrepreneurial ecosystems and its evolution. *Ekonomika, predprinimatel'stvo i pravo = Journal of Economics, Entrepreneurship and Law*. 2021;11(6):1497—1514. (In Russ.) DOI: 10.18334/ep.11.6.112307.
9. Filimonov O. I., Kasyanenko T. G., Kukhta M. V. Ecosystem as a new organizational and economic form of virtual business. *Aktual'nye issledovaniya*. 2021;48(75)-2:31—41. (In Russ.)

10. Dmitrieva I. A. Ecosystem approach and formation of conditions of an innovative ecosystem. *Molodoi uchenyi = Young Scientist*. 2021;22(364):515—516. (In Russ.)
11. Tretiakova E. A., Freyman E. N. Ecosystem approach in modern economic research. *Voprosy upravleniya = Management issues*. 2022;1(74):6—20. (In Russ.)
12. Sergeeva K. N., Kazantseva N. V. Ecosystem approach transformation in the implementation of development strategies of Russian universities. *Vestnik evraziiskoi nauki = The Eurasian Scientific Journal*. 2021;13(4). (In Russ.) URL: <https://esj.today/PDF/19ECVN421.pdf>. (In Russ.) (accessed: 02.02.2025).
13. Titov I. A. The theoretical approaches to the development of ecosystem concept in economy. *Vestnik Instituta ekonomiki Rossiiskoi akademii nauk = The Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. 2024;4:26—46. (In Russ.) DOI: 10.52180/2073-6487_2024_4_26_46.
14. Khrustaleva N. V. Formation of the educational environment in the digital economy. *Vestnik Altaiskoi akademii ekonomiki i prava = Journal of Altai academy of economics and law*. 2023;5-1:155—161. (In Russ.) DOI: 10.17513/vaael.2821.
15. Glushchenko V. V. Development of a national ecosystem of higher professional education and mentoring in the digital economy. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2022;7(121)-3:85—95. (In Russ.) DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.092.
16. Izotova A. G., Gavriilyuk E. S. Ecosystem approach as a new trend in the development of higher education. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*. 2022;12(2):1211—1226. (In Russ.) DOI: 10.18334/vinec.12.2.114869.
17. Presnova S. Yu. Education in the Digital Economy. *Nauka i biznes: puti razvitiya = Science and business: development ways*. 2024;3(153):107—112. (In Russ.)
18. Deines N. V. Personnel shortage in Russia: structural causes, economic consequences, and coping strategies. *Aktual'nye issledovaniya*. 2025;9(244)-2:37—39. (In Russ.)
19. Kvasnikova M. A. Digital inequality and its impact on the socio-economic development of regions in Russia. *Sotsial'no-politicheskie issledovaniya = Social and political researches*. 2020;1(6):43—58. (In Russ.) DOI: 10.20323/2658-428X-2020-1-6-43-58.
20. Suleymankadiyeva A. E., Petrov M. A., Aleksandrov I. N. Digital educational ecosystem: the genesis and prospects for the development of online education. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*. 2021;11(3):1273—1288. (In Russ.) DOI: 10.18334/vinec.11.3.113470.
21. Voronina N. F., Anopchenko T. Yu. On the formation of a digital economy ecosystem in the educational environment of a region. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2022;1(115)-4:19—24. (In Russ.) DOI: 10.23670/IRJ.2022.115.1.105.
22. Ushvitsky L., Ter-Grigoryants A., Denshchik M. Formation of the conceptual foundation of the ecosystem approach to the development of socio-economic systems. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta = Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2021;3(84):142—154. (In Russ.) DOI: 10.37493/2307-907X.2021.3.18.

Статья поступила в редакцию 15.03.2025; одобрена после рецензирования 03.04.2025; принята к публикации 07.04.2025.
The article was submitted 15.03.2025; approved after reviewing 03.04.2025; accepted for publication 07.04.2025.