

## РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА

Научная статья  
УДК 553:510.64  
doi:10.46554/1993-0453-2023-1-219-38-45

### Проектирование системы геолого-экономической оценки перспективности участков недр на основе онтологии предметной области и применения методов нечеткой логики

Валерий Сергеевич Дадыкин<sup>1</sup>, Ольга Викторовна Дадыкина<sup>2</sup>,  
Наталья Викторовна Одиноченкова<sup>3</sup>, Софья Сергеевна Стуканова<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Брянский государственный технический университет, Брянск, Россия

<sup>1</sup> Dadykin88@bk.ru

<sup>2</sup> Atamanova\_281287@mail.ru

<sup>3</sup> kaf.eim@yandex.ru

<sup>4</sup> Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, Россия, ss.zhuk@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время задача применения автоматизированных информационных систем для оценки экономической эффективности участков недр становится весьма актуальной. Связано это с повышением роли экспертных информационно-аналитических систем в структуре программных продуктов, используемых в процессе анализа результатов геолого-разведочных работ и определения новых приоритетов в исследованиях минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых и подземных вод для нужд региональной экономики. Снижение количества специалистов-геологов в данной сфере приводит к необходимости проектирования системы геолого-экономической оценки перспективности участков недр, базирующегося на онтологическом подходе. Применение онтологии призвано воспроизвести цепочку принятия решений специалистом-экспертом, но уже в новом представлении, основанном на ассоциативных связях и эмпирических правилах. В данной работе предпринята попытка построить модель геолого-экономической оценки на базе онтологического подхода для последующего проектирования системы поддержки принятия решений с применением методов нечеткой логики. Предметом исследования является применение онтологического подхода и методов нечеткой логики к анализу объекта исследования. Цель данной работы – проектирование системы геолого-экономической оценки перспективности участков недр на основе онтологии предметной области и применения методов нечеткой логики. В результате исследования была разработана система геолого-экономических показателей оценки перспективности участков недр.

**Ключевые слова:** ранжирование участков недр по перспективности, нечеткая логика, оценка экономической эффективности, интегральная экономическая оценка

#### **Основные положения:**

- ♦ онтологическая модель, содержащая геолого-экономические показатели оценки перспективности участков недр, позволяет установить совокупность факторов, используемых для принятия управленческих решений;
- ♦ применение в составе онтологической модели качественных факторов оценки требует дополнения модели правилами нечеткого вывода (импликация);

◆ фактическая оценка показателей геолого-экономической оценки в составе модели позволяет ранжировать объекты минерально-сырьевой базы и прогнозные ресурсы по степени их перспективности.

**Для цитирования:** Проектирование системы геолого-экономической оценки перспективности участков недр на основе онтологии предметной области и применения методов нечеткой логики / В.С. Дадыкин, О.В. Дадыкина, Н.В. Одиноченкова, С.С. Стуканова // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2023. № 1 (219). С. 38–45. doi:10.46554/1993-0453-2023-1-219-38-45.

## REGIONAL AND SECTORAL ECONOMY

Original article

### Designing a system of geological and economic assessment of prospects of subsurface areas based on the ontology of the subject area and the use of fuzzy logic methods

Valery S. Dadykin<sup>1</sup>, Olga V. Dadykina<sup>2</sup>, Natalia V. Odinochenkova<sup>3</sup>, Sofya S. Stukanova<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> Dadykin88@bk.ru

<sup>2</sup> Atamanova\_281287@mail.ru

<sup>3</sup> kaf.eim@yandex.ru

<sup>4</sup> National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia, ss.zhuk@mail.ru

**Abstract.** Currently, the task of using automated information systems to assess the economic efficiency of subsurface areas is becoming very relevant. This is due to the increasing role of expert information and analytical systems in the structure of software products used in the process of analyzing the results of geological exploration and determining new priorities in the research of mineral resources of solid minerals and groundwater for the needs of the regional economy. The decrease in the number of geologists in this field leads to the need to design a system of geological and economic assessment of the prospects of subsurface areas based on an ontological approach. The application of ontology is designed to reproduce the chain of decision-making by an expert specialist, but in a new view based on associative relationships and empirical rules. In this paper, an attempt is made to build a model of geological and economic assessment based on an ontological approach for the subsequent design of a decision support system using fuzzy logic methods. The research object is the application of the ontological approach and fuzzy logic methods to the analysis. The purpose of this work is to design a system of geological and economic assessment of the prospects of subsurface areas based on the ontology of the subject area and the use of fuzzy logic methods. As a result, a system of geological and economic indicators for assessing the prospects of subsurface areas was developed.

**Keywords:** ranking of subsurface areas by prospects, fuzzy logic, economic efficiency assessment, integrated economic assessment

#### Highlights:

- ◆ an ontological model containing geological and economic indicators for assessing the prospects of subsurface areas allows us to establish a set of factors used to make managerial decisions;
- ◆ the application of qualitative evaluation factors in the ontological model requires the addition of the model with the rules of fuzzy inference (implication);
- ◆ the actual assessment of the geological and economic assessment indicators as part of the model makes it possible to rank the objects of the mineral resource base and forecast resources according to the degree of their prospects.

**For citation:** Designing a system of geological and economic assessment of prospects of subsurface areas based on the ontology of the subject area and the use of fuzzy logic methods / V.S. Dadykin, O.V. Dadykina, N.V. Odinochenkova, S.S. Stukanova // Vestnik of Samara State University of Economics. 2023. No. 1 (219). Pp. 38–45. (In Russ.). doi:10.46554/1993-0453-2023-1-219-38-45.

### Введение

Объем накопленной информации по геологии и недропользованию стремительно возрастает. Накопленный исторически геологический фонд достаточно сложно разместить даже в одном физическом или информационном пространстве. Требуется использовать распределенную систему хранения, основанную на взаимодействующих фондах геологической информации на местах.

Специфика накопления геологической информации и ее последующего хранения направлена, как правило, на решение задач учета имеющихся данных и аккумуляирования информации о недрах. В то же время для работы с накопленными геологическими материалами необходимо привлекать экспертов, так как требуется решать задачи классификации и выбора необходимых для принятия решения данных в геологических информационных ресурсах, а затем использовать обработанные сведения для принятия управленческих решений.

Следует отметить, что задача геолого-экономической экспертизы состоит в изучении исходных или обработанных геологических данных с целью оценки совокупности факторов и последующего вывода о перспективности участка недр или ее отсутствии.

К сожалению, по различным причинам количество экспертов в отрасли снижается. В отдельных случаях при принятии решений в территориальных комиссиях по запасам отсутствуют специалисты-геологи. Поэтому актуальность разработки экспертной системы с использованием искусственного интеллекта в настоящее время существенно возросла. Под многозначительным термином «искусственный интеллект» в данном случае понимается использование комплекса в виде онтологической модели принятия решений в геологии (недропользовании) и применение математического аппарата нечеткой логики. Подобная комбинация, по нашему мнению, позволит до-

биться выстраивания всей цепочки последовательности принятия решений.

### Методы

В данной работе требуется определить перспективность прогнозных ресурсов участков недр (месторождений). Для этого нужно решить следующие задачи:

- 1) определить лингвистические переменные и выбрать соответствующий алгоритм;
- 2) выполнить ранжирование участков недр (месторождений);
- 3) выполнить формализацию процедур составления правил нечеткого логического вывода;
- 4) выполнить апробацию в программном продукте Matlab посредством компонента Fuzzy Logic Toolbox.

Предлагается использовать в качестве критериев геолого-экономической оценки следующие показатели:

1. Размерность по сумме  $A+B+C1$  или  $C2+P1+P2$  (прогнозные), где  $A, B, C1, C2$  – категории запасов по степени убывания геологической изученности в соответствии с принятой в настоящее время классификацией Минприроды;  $P1$  и  $P2$  – соответствующие категории прогнозных ресурсов по убыванию их перспективности.
2. Возможность прироста запасов за счет прогнозных ресурсов.
3. Уровень по содержанию полезных компонентов (обогатимости сырья).
4. Уровень по возможному использованию.
5. Глубина залегания тела полезного ископаемого (способ отработки).
6. Сложность геологического строения (горнотехнические условия).
7. Удаленность от транспортных магистралей, населенных пунктов, объектов инфраструктуры (км).
8. Удаленность от основных территориальных сегментов рынка, зон сбыта сырья (км).

9. Уровень по рейтингу инвестиционного климата субъектов Федерации.

10. Уровень по рейтингу (индикаторам) социально-экономической обстановки (уровень безработицы, уровень доходов по субъектам Федерации).

11. Физико-географические условия по природным зонам (коэффициент удорожания СМР).

12. Уровень по категориям оценки экологической обстановки.

Для унификации оценки каждый из критериев с точки зрения перспективности можно свести к одному из трех возможных вариантов: низкоперспективное (НП), среднеперспективное (СП) и высокоперспективное (ВП). Именно благодаря наличию подобных экспертных оценок требуется использовать нечеткую логику в качестве математического аппарата при оценке перспективности участков недр (месторождений). Процедуры нечеткой логики позволят более продуктивно описывать характеристики участков недр (месторождений), а также качественно интерпретировать результаты их выполнения.

Таким образом, теория нечетких множеств, применяемые правила импликации и нечеткие рассуждения составляют в данной работе систему нечеткого вывода.

Иными словами, в качестве входа и выхода при проведении экспертной оценки выступают точные значения (баллы), поэтому в качестве системы нечеткого вывода будем использовать фазификатор на входе и дефазификатор на выходе [1]. Принято использовать в системах нечеткого вывода продукционные правила, где причинно-следственные связи определяются в терминах нечетких высказываний [2].

Границы диапазонов примем равными интервалам в промежутке 0–100 (табл. 1).

Введенные функции принадлежности графически выглядят следующим образом (рис. 1).

Аналогичным способом вводится лингвистическая переменная на выходе – «оценка перспективности участка недр (месторождения)». В выходной функции будем использовать 5 степеней оценки перспективности: НР – низкорентабельный, НП – низкоперспективный, СП – среднеперспективный, ВП – высокоперспективный, ВР – высокорентабельный. Функция принадлежности в данном случае распределяется как гауссовская (табл. 2).

Графически функция принадлежности выглядит следующим образом (рис. 2).

Параметры выходной функции необходимо определить в соответствии с табл. 3.

Таблица 1

Параметры термов для входной функции «Оценка критерия»

№ п/п	Термы «Оценка критерия»	Диапазоны	Ширина
1	НП (низкоперспективный)	0–40	41
2	СП (среднеперспективный)	30–70	41
3	ВП (высокоперспективный)	60–100	41

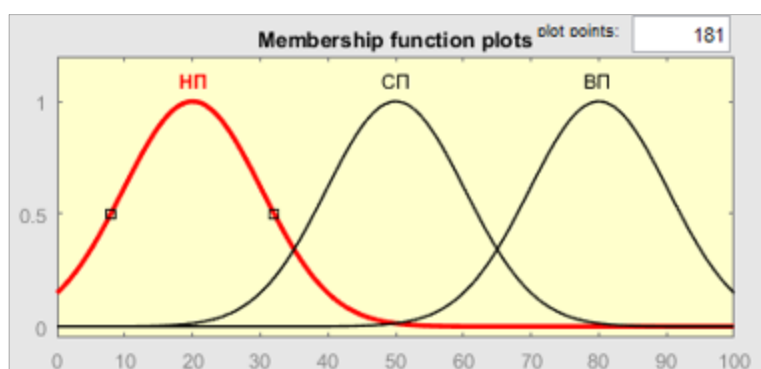


Рис. 1. Функции принадлежности в программе редакторе

Таблица 2

Распределение выходной функции «Оценка участка недр (месторождения)»

№ п/п	Термы «Оценка участка недр (месторождения)»	Диапазоны	Ширина
1	НР	0–25	26
2	НП	15–45	31
3	СП	35–65	31
4	ВП	55–85	31
5	ВР	75–100	26

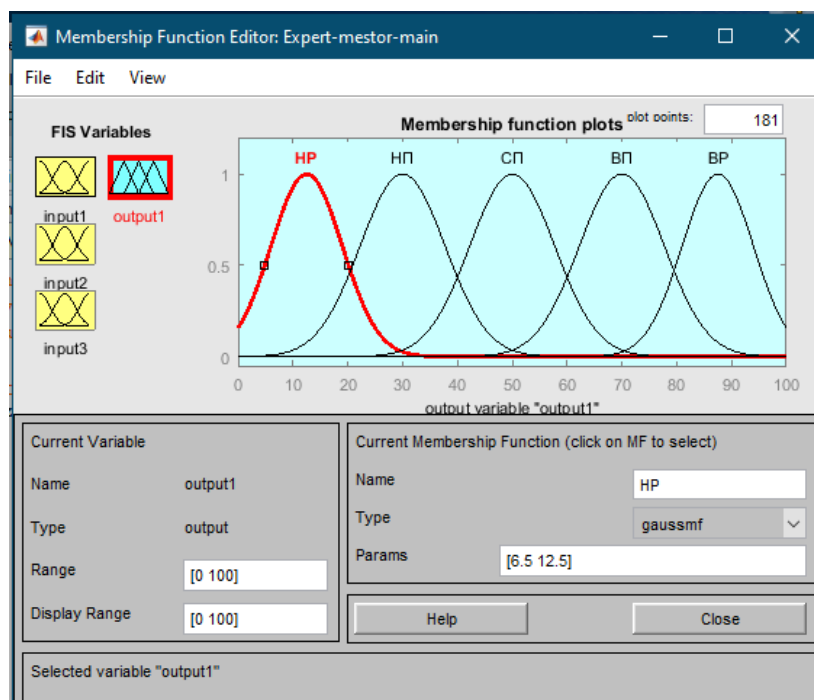


Рис. 2. Выходная функция

Таблица 3

Параметры для выходной функции

№ п/п	Термы	Среднее значение	Стандартное отклонение
1	НР	12,5	6,5
2	НП	30	7,75
3	СП	50	7,75
4	ВП	70	7,75
5	ВР	87,5	6,5

### Результаты

Для экспертной оценки каждого из критериев необходимо 3 входных лингвистических переменных из группы «Оценка критерия» и 1 выходная лингвистическая переменная «Оценка участка недр (месторождения)». Для составления данной оценки потребуется применить продукционные правила. В данном

случае потребуется  $3^3=27$  продукционных правил.

Результаты оценки месторождений в программе Matlab представлены в табл. 4 и на рис. 3.

Участки, признанные перспективными, отмечены знаком (п) в столбце с наименованием. Как видно, онтологическая модель с ис-

Таблица 4

Входные данные для выполнения оценки

№ п/п	Наименование участка	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Интегральная оценка
1	Объект 1 (п)	73	82	85	86,5 (ОВ)
2	Объект 2	32	57	35	34,3 (Н)
3	Объект 3	57	44	44	49,1 (С)
4	Объект 4	24	34	44	24,1 (Н)
5	Объект 5	33	28	36	26 (Н)
6	Объект 6	44	40	35	36,9 (Н)
7	Объект 7	46	56	48	50,4 (С)
8	Объект 8	55	36	39	39,5 (Н)
9	Объект 9	44	34	23	23,7 (Н)
10	Объект 10	38	27	45	29,3 (Н)
11	Объект 11	37	25	44	27,5 (Н)

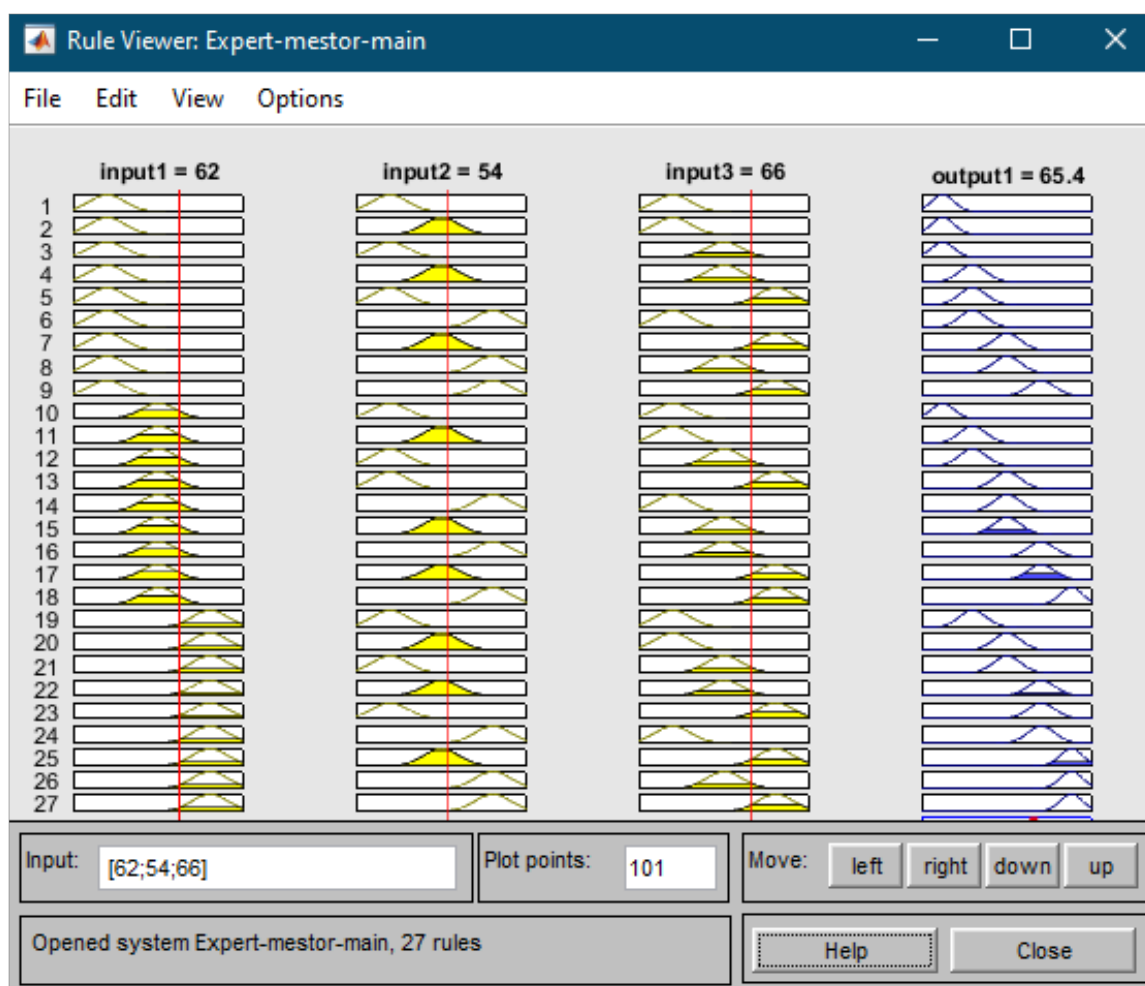


Рис. 3. Результаты оценки месторождения № 1 в компоненте Fuzzy logic

пользованием алгоритмов нечеткой логики позволяет с высокой долей вероятности оценить перспективность участков недр (схождение более 90%), что свидетельствует о коррект-

ности применяемых правил нечетких выводов, заложенных в алгоритм расчета.

Симметричный вид функции принадлежности подтверждает вывод о корректном ис-

пользовании правил нечетких выводов в модели.

### Обсуждение

Существуют и другие подходы к оценке перспективности объектов. Например, для решения данной задачи можно использовать деревья решений, метод Дельфи, нейросетевое программирование. В качестве модели нечеткого вывода, аналогично, имеются и другие модели: Сугено, Ларсена, Цукамото.

Каждый из подходов при этом имеет свои особенности. Так, например, модель Ларсена чаще применяется в случаях, когда оценки всех параметров расположены в одном диапазоне и не планируется их последующее масштабирование [3].

Модель Цукамото используется, как правило, в ситуациях, когда все используемые в расчете функции принадлежности являются однородными [1].

Модель Сугено применяется в ситуациях, когда в результате вычисления нечетких правил получено простое нечеткое множество, элементы которого не вычисляются с помощью специального программного продукта [4].

### Заключение

В данной работе предложен подход к геолого-экономической оценке перспективности участков недр на основе онтологии предметной области и применения методов нечеткой логики. Геолого-экономическая оценка выполняется на основе данных мониторинга, собранных в рамках формирования комплексного отчета по обследованию территории Центрального федерального округа. Часть показателей в рамках методики оценки представлена в количественном выражении по данным статистической геологической отчетности 5-ГР и т.д. Отдельные показатели в модели оценки представлены их качественным выражением. Для сведения всех показателей в единую модель используются правила нечеткого вывода, а затем операции фазификации-дефазификации, приведенные в данной работе. Полученные результаты геолого-экономической оценки могут быть использованы федеральными и региональными органами исполнительной власти в части недропользования в вопросах совершенствования плана по лицензированию права пользования участками недр [5].

### Список источников

1. Zhong J., Aydina A., McGuinness D. Ontology of fractures // *Journal of Structural Geology*. 2009. No. 31. Pp. 251–259. doi:10.1016/j.jsg.2009.01.008.
2. Геолого-экономическое районирование в управлении фондом недр и геологоразведочной промышленностью / Р.Р. Ноговицын, О.Н. Федонин, В.С. Дадыкин, В.М. Сканцев. Брянск : Новый проект, 2018. 304 с.
3. The geocore ontology: A core ontology for general use in Geology / L. Garcia, M. Abel, M. Perrin, R. Alvarengarenata // *Computers & Geosciences*. 2019. No. 135. doi:10.1016/j.cageo.2019.104387.
4. Guarino N., Welty C. Evaluating ontological decisions with ontoclean // *Communications of the ACM*. 2002. No. 45. Pp. 61–65.
5. Дадыкин В.С., Дадыкина О.В. Снижение воспроизводства минерально-сырьевой базы как угроза экономической безопасности // *Социально-экономические и гуманитарные исследования: проблемы, тенденции и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф.*, Брянск, 27–28 апр. 2016 г. Брянск : Брянский гос. аграр. ун-т, 2016. С. 24–27.

### References

1. Zhong J., Aydina A., McGuinness D. Ontology of fractures // *Journal of Structural Geology*. 2009. No. 31. Pp. 251–259. doi:10.1016/j.jsg.2009.01.008.
2. Geological and economic zoning in the management of the subsoil fund and the exploration industry / R.R. Nogovitsyn, O.N. Fedonin, V.S. Dadykin, V.M. Skantsev. Bryansk : New project, 2018. 304 p.
3. The geocore ontology: A core ontology for general use in Geology / L. Garcia, M. Abel, M. Perrin, R. Alvarengarenata // *Computers & Geosciences*. 2019. No. 135. doi:10.1016/j.cageo.2019.104387.
4. Guarino N., Welty C. Evaluating ontological decisions with ontoclean // *Communications of the ACM*. 2002. No. 45. Pp. 61–65.

5. Dadykin V.S., Dadykina O.V. Reduction of reproduction of the mineral resource base as a threat to economic security // Socio-economic and humanitarian research: problems, trends and prospects of development : materials of the International Scientific and Practical Conference, Bryansk, Apr. 27-28, 2016. Bryansk : Bryansk State Agrarian University, 2016. Pp. 24–27.

#### **Информация об авторах**

*В.С. Дадыкин* – доктор экономических наук, доцент, декан факультета отраслевой и цифровой экономики, профессор кафедры «Цифровая экономика» Брянского государственного технического университета;

*О.В. Дадыкина* – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Цифровая экономика» Брянского государственного технического университета;

*Н.В. Одиноченкова* – доктор экономических наук, доцент, профессор Брянского государственного технического университета;

*С.С. Стуканова* – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры экономики, менеджмента и финансов Национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники».

#### **Information about the authors**

*V.S. Dadykin* – Doctor of Economics, Associate Professor, Dean of the Faculty of Industrial and Digital Economics, Professor of the Department "Digital Economy" of Bryansk State Technical University;

*O.V. Dadykina* – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Digital Economy" of Bryansk State Technical University;

*N.V. Odinochenkova* – Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Bryansk State Technical University;

*S.S. Stukanova* – Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of the Department of Economics, Management and Finance of the National Research University of Electronic Technology.

Статья поступила в редакцию 16.06.2023; одобрена после рецензирования 23.06.2023; принята к публикации 31.07.2023.

The article was submitted 16.06.2023; approved after reviewing 23.06.2023; accepted for publication 31.07.2023.