





ФИЗИКА. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 735.29
обзорная статья

DOI 10.52575/2687-0959-2022-54-2-124-130

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ПРИ ВЫБОРЕ СПОСОБА ИССЛЕДОВАНИЯ ФЕРРИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е. В. Голованова¹ , Т. Г. Кузьмичева² 
Н. П. Путивцева² , Т. В. Зайцева² 

(Статья представлена членом редакционной коллегии Ю. П. Вирченко)

¹ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

п. Майский, Белгородская область, 308503, Россия

²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, 308015, Россия

E-mail: golovanova@bsu.edu.ru, kuzmicheva@bsu.edu.ru, putivzeva@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru

Аннотация. Рассматривается задача выбора наиболее подходящего метода исследования для проведения анализа параметров ферритовых материалов. Приводится обзор основных характеристик ферритовых материалов, которые выбираются в качестве критериев для сравнения и выбора наиболее подходящего метода их исследования. На основе анализа библиографических источников и с учетом характеристик получаемых материалов был проведен предварительный отбор методов, которые могут быть использованы для исследования ферритовых материалов. В качестве инструмента был выбран метод анализа иерархий. Метод анализа иерархий позволяет определить наиболее подходящий вариант решения с наибольшим собственным значением, определяющимся на основе попарного сравнения исследуемых характеристик на основе иерархического представления проблемы, заполнения матриц парных сравнений критериев и альтернатив, расчета векторов локальных приоритетов критериев и альтернатив и вычисления вектора глобальных приоритетов с использованием линейной свертки. Кратко приводится описание метода анализа иерархий. Приводится пример решения задачи выбора метода исследования ферритовых материалов с использованием СППР «Решение».

Ключевые слова: метод анализа иерархий, ферритовые материалы, методы исследования параметров веществ

Для цитирования: Голованова Е. В., Кузьмичева Т. Г., Путивцева Н. П., Зайцева Т. В. 2022. Использование метода анализа иерархий при выборе способа исследования ферритовых материалов. Прикладная математика & Физика. 54(2): 124–130. DOI 10.52575/2687-0959-2022-54-2-124-130

USING THE ANALYTICAL HIERARCHICAL PROCESS WHEN CHOOSING A METHOD FOR THE STUDY OF FERRITE MATERIALS

E. V. Golovanova¹ , T. G. Kuzmicheva² , N. P. Putivtseva² , T. V. Zaitseva² 

(Article submitted by a member of the editorial board Yu. P. Virchenko)

¹Belgorod State University, Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, 308503, Russia;

²Belgorod National Research University, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: golovanovabsu.edu.ru, kuzmichevabsu.edu.ru, putivzevabsu.edu.ru, zaitsevabsu.edu.ru

Received May, 04, 2022

Abstract. The problem of selecting the most appropriate research method for analyzing the parameters of ferrite materials is considered. An overview of the main characteristics of ferrite materials that are selected as criteria for comparison and selection of the most appropriate method of their research is given. Based on the analysis of bibliographic sources and taking into account the characteristics of the obtained materials, a preliminary selection of methods that can be used for the study of ferrite materials was carried out. The hierarchy analysis method was chosen as a tool. The hierarchy analysis method allows you to determine the most appropriate solution with the highest eigenvalue, determined on the basis of pairwise comparison of the studied characteristics based on the hierarchical representation of the problem, filling in matrices of paired comparisons of criteria and alternatives, calculating vectors of local priorities of criteria and alternatives, and calculating the vector of global priorities using linear convolution. A brief description of the hierarchy analysis method is provided. An example of solving the problem of choosing a method for studying ferrite materials using the "Solution" method is given.

Keywords: method of analysis of hierarchies, ferrite materials, methods of research of parameters of substances

For citation: Elena Golovanova, Tatiana Kuzmicheva, Natalia Putivtseva, Tatiana Zaitseva. 2022. Using the analytical hierarchical process when choosing a method for the study of ferrite materials. Applied Mathematics & Physics. 54(2): 124–130. (in Russian) DOI 10.52575/2687-0959-2022-54-2-124-130

1. Введение. Различные методы поддержки принятия решений на сегодняшний день используются в разных предметных областях [1],[2]. В работе рассматривается применение метода анализа иерархий для определения подходящей технологии получения ферритовых материалов. Метод анализа иерархий позволяет определить наиболее подходящий вариант решения с наибольшим собственным значением, определяющимся на основе попарного сравнения исследуемых характеристик. В качестве исходных параметров решаемой задачи рассматриваются наиболее значимые параметры для определения технологии ферритизации, а также оценка качества исследования данных параметров при использовании различных методов исследования.

2. Определение исходных параметров решаемой задачи. Выбор технологии получения ферритовых материалов зависит от различных параметров. Разнообразие и уникальность свойств нано-частиц ферритовых материалов зависит от их состава, размера частиц, технологии получения, магнитных характеристик, времени и температуры ферритизации. Так, используя разные технологии: криохимическая, соосаждение из раствора, соосаждение из расплава, кристаллизация из стекла, вододисперсионная технология, получают ферритовые порошки с разными выходными характеристиками. Отсюда вытекает важность минимизации погрешности при определении физических параметров исходных материалов при производстве ферритов [9]–[11].

При исследовании физических свойств ферритовых материалов используются различные методы исследования. К методам, охватывающим наиболее обширный спектр характеристик и имеющих наименьшие погрешности, можно отнести следующие: метод электромагнитной индукции, термогравиметрический анализ, рентгенофазовый анализ, индукционный метод Фонера, мессбауэровский метод. Расширенный обзор методов приводится в работах известных исследователей [4]–[13].

3. Описание работы метода анализа иерархий. Метод анализа иерархий (МАИ) [14]–[15] – математический инструмент, позволяющий решать сложные многокритериальные проблемы принятия решений. При оценке вариантов решений на основе МАИ используется как объективная, так и субъективная исходная информация.

Структура модели принятия решения в методе анализа иерархий представляет собой схему, которая включает:

- 1) набор реальных или потенциально возможных альтернативных решений;
- 2) главный критерий рейтингования решений;
- 3) набор групп однотипных факторов, влияющих на рейтинг;
- 4) множество направленных связей, указывающих на влияние решений, критерия и факторов друг на друга.

Структура модели отражает результат анализа ситуации принятия решения. Первая группа понятий связана с описанием возможных структур моделей принятия решения. Для вычисления приоритетов альтернативных решений к структуре необходимо добавить информацию о силе влияний решений, критерия и факторов друг на друга. Вторая группа понятий связана с описанием данных для моделей принятия решения. После того как сформирована структура и собраны все данные, в модели принятия решений могут быть рассчитаны рейтинги приоритетов решений и факторов. Рассчитанные приоритеты используются в процессе принятия решения о наиболее подходящей альтернативе. Третья группа понятий связана с описанием результатов, получаемых в моделях принятия решения. Четвертая группа понятий связана с пояснением полученных результатов.

Основным инструментом для обработки данных, большинство из которых являются качественными, является процедура парных сравнений.

Первым шагом при решении задачи методом МАИ является формулировка цели и совокупности одновременно реализуемых альтернатив, которые обеспечивают достижение этой цели. Затем указанная цель декомпозируется на ряд подцелей или критериев (условий), выполнение которых обеспечивает достижение поставленной цели. Этот процесс называется построением дерева иерархий проблемы. Выбранные критерии попарно сравниваются между собой по девятибалльной шкале относительной важности, разработанной автором метода.

Для каждого элемента строится квадратная матрица, размерность которой равна числу элементов n более низкого уровня иерархии ($1, 2, \dots, n$), связанных с соответствующим элементом верхнего уровня. Элементы a_{ij} определены по следующим правилам.

Правило 1. Если $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$.

Правило 2. Если суждения таковы, что i имеет одинаковую с j относительную важность, то $a_{ij} = 1$, $a_{ji} = 1$; в частности, $a_{ii} = 1$ для всех i .

В дальнейшем с учетом степени важности каждого критерия определяется предпочтительность каждой альтернативы для достижения поставленной цели.

Процедура МАИ располагает встроенным критерием, позволяющим оценить качество работы эксперта – индексом согласованности (ИС), который дает информацию о степени нарушения экспертом согласованности при формулировке экспертных суждений. Отсутствие согласованности может быть серьезным ограничивающим фактором для исследования некоторых проблем.

ИС является мерой оценки степени отклонения матрицы парных сравнений, заполненной экспертом, от идеально согласованной. ИС в каждой матрице и для всей иерархии можно приближенно оценить, используя формулу:

$$\text{ИС} = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1},$$

где λ – собственное значение, n – число сравниваемых факторов.

Случайные согласованности (СС) для матриц разного порядка приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения случайной согласованности для матриц разного порядка
Table 1. Values of random consistency of matrices of different order

Порядок матрицы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СС	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Если разделить ИС на СС, рассчитанную для матрицы того же порядка, то получим отношение согласованности (ОС):

$$ОС = \frac{ИС}{СС}.$$

Качество суждений эксперта, под которым в методе подразумевается согласованность его суждений, оценивается по величине ОС. Приемлемым считается значение оценки согласованности, не превышающее 10%. В случаях исследования сложной и зависящей от большого количества факторов системы можно установить верхнюю границу в 20%. Если ОС выходит за эти пределы, то экспертам рекомендуется пересмотреть свои суждения о превосходстве одних объектов над другими.

4. Применение метода для решения задачи. При применении метода анализа иерархий к решению поставленной в данной работе задачи в качестве цели выступает выбор наиболее подходящего метода исследования ферритовых материалов.

На втором уровне представлены характеристики ферритовых материалов, качество исследования которых является основным критерием для определения наиболее подходящего метода их исследования. На основе анализа литературных источников [11 – 15] были выделены следующие критерии оценки альтернативных методов исследования: возможность исследования температуры ферритизации, возможность исследования времени ферритизации, возможность исследования однофазности материала, возможность исследования намагниченности насыщения, возможность исследования коэрцитивной силы, возможность исследования размера частиц, возможность исследования состояния порошка.

Каждому из представленных типов исследования характеристик ферритов на третьем уровне иерархии сопоставлены пять альтернативных методов исследования: метод электромагнитной индукции; термогравиметрический анализ; рентгенофазовый анализ; индукционный метод Фонера; мессбауэровский метод исследования. Из этих перечисленных методов выбирается наиболее подходящий.

Вначале произведем парное сравнение критериев для того чтобы определить, какие из них наиболее важны при выборе метода исследования ферритовых материалов (Таблица 2).

Таблица 2. Матрица приоритетов критериев
Table 2. The matrix of priority criteria

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	Приоритеты
1. Учет температуры ферритизации	1	1/2	1	1/3	2	1	1/2	0,092
2. Исследование однофазности	2	1	2	1/2	5	2	1	0,183
3. Исследование намагниченности насыщения	1	1/2	1	1/3	2	1	1/2	0,092
4. Исследование коэрцитивной силы	3	2	3	1	9	3	2	0,318
5. Исследование времени ферритизации	1/2	1/5	1/2	1/9	1	1/2	1/5	0,041
6. Исследование размера частиц	1	1/2	1	1/3	2	1	1/2	0,092
7. Исследование состояния порошка	2	1	2	1/2	5	2	1	0,183

Важность критериев: исследование температуры ферритизации (9%), исследование времени ферритизации (4%), исследование однофазности материала (18%), исследование намагниченности насыщения (9%), исследование коэрцитивной силы (31%), исследование размера частиц (9%), исследование состояние порошка (18%). ИС = 0,005; ОС = 0,004.

Таким образом, при выборе метода исследования наиболее важны наличие возможности исследования коэрцитивной силы, возможности исследования однофазности материала и состояния порошка.

Далее в таблицах 3–9 приводятся попарные сравнения пяти сравниваемых методов между собой по каждому критерию в отдельности.

Таблица 3. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию
«Учет температуры ферритизации»

Table 3. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Ferritization temperature"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	1/4	1/2	4	1/2	0,114
2. Термогравиметрический анализ	4	1	4	5	6	0,516
3. Рентгенофазный анализ	2	1/4	1	3	2	0,187
4. Индукционный метод Фонера	3	2	3	1	9	0,318
5. Мессбауэровский метод исследования	2	1/6	1/2	3	1	0,131

Оценка методов по учету температуры ферритизации: метод электромагнитной индукции (11%); термогравиметрический анализ (51%); рентгенофазовый анализ (18%); индукционный метод Фонера (5%); мессбауэровский метод исследования (13%). Таким образом, наилучшим методом для учета температуры является термогравиметрический анализ, на втором месте рентгенофазовый анализ.

Таблица 4. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Исследование однофазности»

Table 4. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Investigation of the single-phase"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	5	4	1/2	1	0,231
2. Термогравиметрический анализ	1/5	1	1/2	1/9	1/5	0,043
3. Рентгенофазный анализ	1/4	2	1	1/6	1/4	0,067
4. Индукционный метод Фонера	2	9	6	1	2	0,427
5. Мессбауэровский метод исследования	1	5	4	1/2	1	0,231

Оценка методов по исследованию однофазности: метод электромагнитной индукции (23%); термогравиметрический анализ (4%); рентгенофазовый анализ (6%); индукционный метод Фонера (42%); мессбауэровский метод исследования (23%). То есть лидерами в исследовании однофазности являются индукционный метод Фонера и мессбауэровский метод исследования.

Таблица 5. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Исследование намагниченности насыщения»

Table 5. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Investigation of saturation magnetization"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	1/2	1/4	1/2	1/3	0,077
2. Термогравиметрический анализ	2	1	1/3	1	1/4	0,117
3. Рентгенофазный анализ	4	3	1	2	1/2	0,276
4. Индукционный метод Фонера	2	1	1/2	1	1/3	0,135
5. Мессбауэровский метод исследования	3	4	2	3	1	0,395

Оценка методов по исследованию намагниченности насыщения: метод электромагнитной индукции (36%); термогравиметрический анализ (5%); рентгенофазовый анализ (9%); индукционный метод Фонера (36%); мессбауэровский метод исследования (11%). Наилучшими методами для исследования намагниченности насыщения являются метод электромагнитной индукции и индукционный метод Фонера.

Таблица 6. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Исследование коэрцитивной силы»

Table 6. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Investigation of coercive force"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	1/2	1/4	1/2	1/3	0,077
2. Термогравиметрический анализ	2	1	1/3	1	1/4	0,117
3. Рентгенофазный анализ	4	3	1	2	1/2	0,276
4. Индукционный метод Фонера	2	1	1/2	1	1/3	0,135
5. Мессбауэровский метод исследования	3	4	2	3	1	0,395

Оценка методов по исследованию коэрцитивной силы: метод электромагнитной индукции (8%); термогравиметрический анализ (12%); рентгенофазовый анализ (28%); индукционный метод Фонера (13%); мессбауэровский метод исследования (40%), то есть наилучшим методом исследования коэрцитивной силы выступает мессбауэровский метод исследования. Несколько хуже для данной цели подходит рентгенофазовый анализ.

Таблица 7. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Исследование времени ферритизации»

Table 7. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Investigation of ferritization time"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	2	1	1/2	5	0,222
2. Термогравиметрический анализ	1/2	1	1/2	1/2	3	0,132
3. Рентгенофазный анализ	1	2	1	1/2	5	0,222
4. Индукционный метод Фонера	2	2	2	1	9	0,379
5. Мессбауэровский метод исследования	1/5	1/3	1/5	1/9	1	0,044

Оценка методов по исследованию времени ферритизации: метод электромагнитной индукции (22%); термогравиметрический анализ (13%); рентгенофазовый анализ (22%); индукционный метод Фонера (40%); мессбауэровский метод исследования (4%). На первом месте по данному критерию индукционный метод Фонера.

Таблица 8. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Исследование размера частиц»

Table 8. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Investigation of particle size"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	1	1/6	1	1/6	0,070
2. Термогравиметрический анализ	1	1	1/7	1	1/3	0,078
3. Рентгенофазный анализ	6	7	1	5	1	0,416
4. Индукционный метод Фонера	1	1	1/5	1	1/6	0,072
5. Мессбауэровский метод исследования	6	3	1	6	1	0,364

Оценка методов по исследованию размера частиц: метод электромагнитной индукции (7%); термогравиметрический анализ (8%); рентгенофазовый анализ (42%); индукционный метод Фонера (7%); мессбауэровский метод исследования (36%). С незначительным отрывом лидерами по исследованию размера частиц являются рентгенофазовый анализ и мессбауэровский метод исследования.

Таблица 9. Матрица попарных сравнений альтернатив по критерию «Исследование состояния порошка»

Table 9. The matrix of paired comparisons of alternatives according to the criterium of "Investigation of particle size"

	1.	2.	3.	4.	5.	Приоритеты
1. Метод электромагнитной индукции	1	1/6	1/2	1	1/2	0,148
2. Термогравиметрический анализ	1	1/6	1/9	1	1/9	0,040
3. Рентгенофазный анализ	2	9	1	9	1	0,378
4. Индукционный метод Фонера	1	1	1/9	1	1/9	0,057
5. Мессбауэровский метод исследования	2	9	1	9	1	0,378

Оценка методов по исследованию состояния порошка: метод электромагнитной индукции (14%); термогравиметрический анализ (4%); рентгенофазовый анализ (38%); индукционный метод Фонера (6%); мессбауэровский метод исследования (38%), то есть примерно одинаков будет результат использования рентгенофазового анализа и мессбауэровского метода исследования.

В результате, оценка предпочтения методов исследования физических свойств ферритовых материалов по КПД (практический выход/теоретический выход) имеет следующие показатели: метод электромагнитной индукции (16%); термогравиметрический анализ (19%); рентгенофазовый анализ (24%); индукционный метод Фонера (19%); мессбауэровский метод исследования (30%).

Из приведенных расчетов мы видим, что наиболее предпочтительным методом является мессбауэровский метод исследования, несмотря на то, что по некоторым не самым важным критериям данный метод не являлся наиболее предпочтительным.

5. Заключение. В результате проведенного исследования продемонстрировано использование метода анализа иерархий при решении задачи выбора наиболее подходящего метода исследования физических свойств материалов. Наиболее предпочтительным методом исследования определен мессбауэровский метод. Матрицы попарных сравнений были заполнены при участии экспертов предметной области, решающих задачу подбора технологии получения ферритовых материалов. Поэтому следует учитывать, что при решении задачи, имеющей другую цель, при использовании тех же критериев либо альтернатив, матрицы попарных сравнений будут отличны от приведенных.

Список литературы

1. Антамошин А. Н. 2016. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами. М., ГЛТ, 160.
2. Антамошин А. Н. 2014. Математические методы принятия решений. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 584.
3. Василенко В. Т. 1970. Материалы III межотраслевого совещания по методам получения и анализа ферритовых, сегнето- и пьезоэлектрических материалов и сырья для них. Донецк: ВНИИ «Реактивэлектрон», ч. 3, 283.
4. Вонсовский С. В. 1948. Ферромагнетизм. М., Гостехиздат, 816.
5. Евменов В. П. 2016. Интеллектуальные системы управления: превосходство искусственного интеллекта над естественным интеллектом. М.: КД Либроком, 304.
6. Катудев А. Н. 2012. Математические методы в системах поддержки принятия решений; Высшая школа, Москва, 312.

7. Комиссарова Т. Е. 1969. Материалы II межотраслевого совещания по методам получения и анализа ферритовых, сегнето- и пьезоэлектрических материалов и сырья для них. Донецк: ВНИИ «Реактивэлектрон», ч. 2, 19.
8. Котельникова О. А. 2003. Исследование температурной зависимости намагниченности ферромагнетиков. М., МГУ, 23.
9. Кузьмичева Т. Г. 2011. Магнитные свойства нанодispersных ферритовых порошков с криохимической предысторией, ФТТ, Т.53, №11, 2169-2174.
10. Кузьмичева Т. Г. 2012. Получение и исследование высокодисперсных ферритовых порошков для создания биосовместимой подмагничивающей среды, Труды XIV Международной конференции «Электромеханика, Электротехнологии, Электрические материалы и Компоненты» (МКЭЭЭ-2012), Крым, Алушта. 8-10.
11. Кузьмичева Т. Г. 2011. Синтез высокодисперсного гексаферрита кальция и исследование его структурных и магнитных параметров, Физикохимия поверхности и защита материалов, Т.47, №5, 534-540.
12. Набатова Д. С. 2016. Математические и инструментальные методы поддержки принятия решений: Учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. Люберцы: Юрайт, 292.
13. Павлов Г. Д. 1989. Анализ методов получения ферритовых порошков и сырьевых материалов для них. Оценка перспективности их использования. Обзоры по электронной технике, №6, вып. 7, 32.
14. Саати Т. Л. 1997. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва, «Радио и связь», 278.
15. Семенов С. С. 2016. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем. М.: Ленанд, 520.

References

1. Antamoshin A. N. 2016. Intelligent organizational management systems - technical system. M., GLT, 160.
2. Antamoshin A. N. 2014. Mathematical methods of decision-making. Moscow: Moscow state technical University. N. E. Bauman, 584.
3. Vasilenko V. T. 1970. Proceedings of the III inter-sectoral meeting on methods of obtaining and analyzing ferrite, ferroelectric and piezoelectric materials and raw materials for them Donetsk: research Institute "reactivelectron part 3, 283.
4. Vonsovsky S. V. 1948. Ferromagnetism. M., Gostekhizdat, 816.
5. Evmenov V. P. 2016. Intelligent control systems: excellence artificial intelligence over natural intelligence. M.: KD Librokom, 304.
6. Katulev A. N. 2012. Mathematical methods in decision support systems; Higher school, Moscow, 312.
7. Komissarova T. E. 1969. Materials of the II inter-sectoral meeting on methods of obtaining and analyzing ferrite, ferroelectric and piezoelectric materials and raw materials for them Donetsk: research Institute "reactivelectron part 2, 19.
8. Kotelnikova O. A. 2003. Study of temperature dependence of ferromagnetics Magnetization. M., MSU, 23.
9. Kuzmicheva T. G. 2011. Magnetic properties of nanodisperse ferrite powders with cryochemical background, ФТТ, V.53, №11, 2169-2174.
10. Kuzmicheva T. G. 2012. Obtaining and research of highly dispersed ferrite powders for creation of biocompatible magnetizing medium, Proceedings of the XIV International conference "Electro-Mechanics, Electrotechnologies, Electrical materials and Components"(FEEE-2012), Crimea, Alushta. 8-10.
11. Kuzmicheva T. G. 2011. Synthesis of highly dispersed calcium hexaferrite and investigation of its structural and magnetic parameters, surface physicochemistry and material protection, V.47, №5, 534-540.
12. Nabatova D.S. 2016. Mathematical and instrumental methods of decision support solutions: Textbook and workshop for undergraduate and graduate studies. Lyubertsy: Yurayt, 292.
13. Pavlov G. D. 1989. Analysis of methods for obtaining ferrite powders and raw materials for them. Assessment of the prospects of their use Reviews on electronic technology, №6, V.7, 32.
14. Saati T.L. 1997. Decision making. Method of analysis of hierarchies. Moscow, Radio and communications, 278.
15. Semenov S.S. 2016. Methods of decision-making in the problems of quality assessment and technical level of complex technical systems. M.: Lenand, 520.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 04.05.2022

Поступила после рецензирования 08.06.2022

Принята к публикации 10.06.2022

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Голованова Елена Васильевна – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физики, математики, химии и информационных технологий, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

ул. Вавилова, 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, 308503, Россия

E-mail: golovanovabsu.edu.ru

Кузьмичева Татьяна Георгиевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет

ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия

E-mail: kuzmichevabsu.edu.ru

Путивцева Наталья Павловна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет

ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия

E-mail: putivzevabsu.edu.ru

Зайцева Татьяна Валентиновна – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет

ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Россия

E-mail: zaitsevabsu.edu.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena Golovanova – PhD in Mathematics, Associate Professor, Head of the Department of Physics, Mathematics, Chemistry and Information Technology, Belgorod State University, Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia

Tatiana Kuzmicheva – PhD in Mathematics, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Natalia Putivtseva – PhD in Technicals, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia

Zaitseva Tatiana Valentinovna – PhD in Technicals, Associate Professor of the Department of Applied Informatics and Information Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia