

ФОРМАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ

Братусь Надежда Валерьевна¹,
e-mail: bratus@mirea.ru,

Рачков Андрей Владимирович¹,
e-mail: rachkov@mirea.ru,

¹Институт информационных технологий «МИРЭА – Российский технологический университет»,
г. Москва, Россия

В статье исследован феномен информационной определенности и неопределенности в информационном поле. Расширяется понятие информационного поля за счёт включения в него фактора неопределенности. Определенность и неопределенность рассматриваются как состояние, как фактор, как отношение. Выделены описательные и процессуальные задачи информационного поля, приведены их характеристики во взаимосвязи с определенностью и неопределенностью. Выделены основные факторы, повышающие степень неопределенности, связанные с измерениями и трансформацией связей и отношений отображаемых в информационном поле объектов и их частей. Рассмотрен переход от точечных к ареальным моделям, которые могут применяться для анализа пространственно распределённых объектов, типичных в геоинформатике и ситуационном моделировании. Предложены формальные модели, которые демонстрируют, как неопределенность может быть представлена и интерпретирована. На ареальных примерах продемонстрированы модели определенности и неопределенности. Неопределенность интерпретируется не только как эпистемологическое явление, но и как формализуемое в рамках вычислительных моделей состояние. Это позволяет применять результаты исследования в таких сферах, как когнитивное моделирование, беспилотное управление, извлечение знаний и других.

Ключевые слова: информационное поле, определенность, неопределенность, формальные модели определенности и неопределенности

FORMAL MODELS OF INFORMATION CERTAINTY AND UNCERTAINTY IN THE INFORMATION FIELD

Bratus N.V.¹,
e-mail: bratus@mirea.ru,

Rachkov A.V.¹,
e-mail: rachkov@mirea.ru,

¹Institute of Information Technology, "MIREA – Russian Technological University", Moscow, Russia

The article explores the phenomenon of information certainty and uncertainty in the information field. The concept of the information field is being expanded by including the uncertainty factor in it. Certainty and uncertainty are considered as a condition, as a factor, as an attitude. Descriptive and procedural tasks of the information field are highlighted, their characteristics in relation to certainty and uncertainty are given. The main factors that increase the degree of uncertainty associated with the measurement and transformation of connections and relationships of objects and their parts displayed in the information field are highlighted. The transition from point to areal models, which can be used to analyze spatially distributed objects typical in geoinformatics and situational modeling, is considered. Formal models are proposed that demonstrate how uncertainty can be represented and interpreted. Models of certainty and uncertainty are demonstrated using areal examples. Uncertainty

is interpreted not only as an epistemological phenomenon, but also as a state formalized within computational models. This makes it possible to apply the research results in areas such as cognitive modeling, unmanned control, knowledge extraction, and others.

Keywords: information field, certainty, uncertainty, formal models of certainty and uncertainty

Введение

Информационное поле есть интегральная информационная модель реальности [1; 2]. Информационное поле отражает информационные процессы, информационные взаимодействия делируемых объектов. Оно содержит информационные модели, информационные ситуации [3] и информационные отношения. При описании реального пространства информационное поле содержит пространственные отношения [4]. Информационное поле дополняет информационное пространство, которое часто выполняет координационные функции. Информационное поле создает базис для выполнения системного анализа, количественного анализа, сравнительного анализа, корреляционного анализа [5]. Во многих определениях информационного поля упускают факторы определенности и неопределенности для объектов поля. В большинстве случаев полагают наличие только определенности. В то же время наличие неопределенности меняет содержательность и результат взаимодействия объектов информационного поля. Это становится особенно важно, с учетом того, что информационное поле содержит в неявной форме закономерности и законы реальности [6].

В информационном поле существуют процессы, повышающие степень неопределенности. Это диссипативные процессы. Информационная диссипация является аналогом физической диссипации и характерна для многих информационных процессов [7]. Диссипация (лат. *Dissipatio* – «рассеяние») в широком смысле означает рассеяние или ослабление. Диссипация в информационном поле связана с информационными процессами, которые повышают исходную информационную неопределенность.

Задачей многих наук является формирование картины мира [8; 9], в том числе информационной картины мира. Информационная картина мира может трактоваться как системное и комплементарное научное описание реальности. Неопределенность в информационном поле искажает или размывает информационную картину мира, создаваемую наукой. Отсюда неопределенность может быть рассмотрена как размытость и нечеткость картины мира. Антропогенной причиной неопределенности является рецепция информации [10; 11], то есть восприятие информации человеком и преобразование ее в соответствии с восприятием и сенсорными возможностями.

Большое значение определенность и неопределенность имеет при решении задач управления. Особенно большое негативное значение неопределенность имеет в технологиях с автоматизированным или беспилотным управлением. К таким технологиям относятся технологии цифровой железной дороги [12], киберфизические системы [13], технологии беспилотного транспорта [14] и другие. Большое значение неопределенность имеет в области когнитивного моделирования, онтологии [15; 16], при извлечении знаний.

Многие виды вычислений и моделирования зависят от степени определенности и неопределенности исходных данных. Неопределенность в информационном поле по способу и характеру проявления может быть стохастической, нестохастической, семантической, синтаксической, прагматической, информационной, когнитивной [17]. Многоаспектность проявления неопределенности в информационном поле делает актуальным ее исследование.

Целью исследования является разработка подхода к формализованному представлению определенности и неопределенности в информационном поле с учетом многоаспектности их проявления.

В качестве методологической базы используются принципы системного анализа и кибернетики, математические модели на основе множеств и ареалов.

Модели определенности и неопределенности в информационном поле

В развитии определения информационного поля, данного в [1], уточним его формулировку: информационное поле есть интегральная модель реальности, которая содержит информационные модели объектов, ситуаций и отношений между ними, а также факторы определенности и неопределенности

описания этих моделей. Отсюда вытекают описательные и процессуальные задачи информационного поля. Первой описательной задачей информационного поля является отражение реальности внешнего мира в виде моделей информационного поля. Второй описательной задачей информационного поля является сравнение объектов и явлений в единой информационной среде. Процессуальной функцией информационного поля является информационный морфизм [18] или преобразование моделей. Процессуальная задача информационного поля состоит в исследовании процессов реального мира и результатов их отражения в информационном поле. В рамках процессуальной задачи могут выполняться обобщения и метамоделирование [19]. Наличие неопределенности ставит процессуальную задачу оценки определенности и неопределенности в информационном поле [20].

Неопределенность часто, но не всегда, связывают с нечеткостью. Определенность связывают с четкостью описания. Понятия определенности и неопределенности разнообразны и необходимо уточнять область исследования и формы проявления неопределенности. В разных видах анализа определенность и неопределенность рассматривают как дихотомическую пару. При этом следует отметить, что на одно четкое или определенное описание существует несколько неопределенных описаний.

Формально любая модель (M) может быть представлена в виде кортежа

$$M = \langle P_1, P_2, P_3, \dots, P_n \rangle. \quad (1)$$

Выражение (1) включает P_i – параметры, число которых равно n . Если хотя бы один параметр не определен или нечеткий, то выражение (1) описывает состояние неопределенности. Таких состояний может быть n , определенным является выражение (1) только в одном случае, когда все параметры четко определены. Следовательно, на одно четкое определение или состояние существует конечное множество нечетких состояний. Выражение (1) позволяет сделать вывод, что определенность может быть условной. Для этого надо ввести понятия «полная модель» и «частичная модель». Полной моделью назовем модель, включающую все параметры, как в выражении (1). Если в выражении (1) все параметры определенные, то такая модель является полностью определенной. Возможны случаи, когда для решения частной задачи не требуются все параметры модели (1), а только их часть. В этом случае нет необходимости определять все параметры, а только те, которые необходимы для решения частной задачи. Модель (1), в которой определена часть параметров, позволяющих решить частную задачу, называют частично определенной. Определенной она является потому, что позволяет решить частную задачу, частично определенной потому, что не все параметры требуется определить.

Определенности и неопределенности существуют в информационном поле в двух качествах. Первый тип определенности и неопределенности является отражением этих факторов как факторов реальности. При переносе информации о реальных объектах в информационное поле возникают дополнительные неопределенности, связанные с описанием объектов и процессов реальности, например, многие нелинейные процессы описывают упрощенно через линейные описания.

Важной особенностью информационного поля является то, что информация в информационном поле во многих случаях собирается с помощью информационно-измерительных систем. При этом возникают два основных фактора неопределенности. Первый фактор заключается в измерении приборами с погрешностями и переносе этих погрешностей в информационное поле и информационные модели объектов. Второй фактор связан с точечным измерением объектов, при котором теряются связи и отношения между частями объектов. Примером может служить цифровой снимок, который состоит из пикселей разной плотности и цветности. При этом связь между пикселями отсутствует. Такое измерение представляет собой совокупность точек, а не объектов. Для восстановления моделей объектов из пикселей необходимо использовать когнитивный поиск и когнитивное моделирование.

Для примера рассмотрим области теории множеств и геоинформатики, в которых широко применяют ареальные объекты. Рассмотрим определенность и неопределенность на примере ареальных моделей. Ареальной определенностью для элементов множества S назовем ситуацию, в которой выполняются условия

$$m(x, y) \in S; \forall l(x, y) \in L. \quad (2)$$

Выражение (2) содержит две связанные формулы. Первая формула включает точку ареального множества m с координатами (x, y) . Символ S обозначает ареальное множество; L обозначает ли-

нейное множество четкой границы; $l(x, y)$ точка, принадлежащая четкой границе. Выражение (2) описывает два связанных условия: условие четкой принадлежности точки к множеству и условие наличия четкой границы данного ареального множества. Для ареального множества, в отличие от параметрического множества в выражении (1), появляется дополнительное условие наличия четкой границы. На рисунке 1 показана ситуация определенности с четкими границами. Символом μ показана функция принадлежности. Ареальное множество показано в плане и разрезе, из разреза видно, что границы четкие.

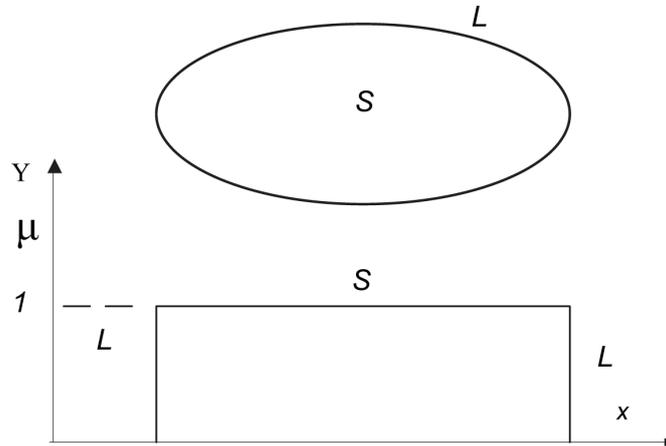


Рисунок 1 – Ситуация определенности с четкими границами

Ареальной определенностью для ареала подмножества назовем ситуацию, в которой выполняются условия

$$S1(x, y) \subset S; \forall l(x, y) \in L. \tag{3}$$

Выражение (3) содержит подмножество $S1$ ареального множества S . Символ L обозначает линейное множество четкой границы, $l(x, y)$ точка, принадлежащая четкой границе. Сравнение выражений (1) и (2) показывает, что четкость или определенность задается четкой границей. На рисунке 2 показана ситуация определенности для подмножества $S1$.

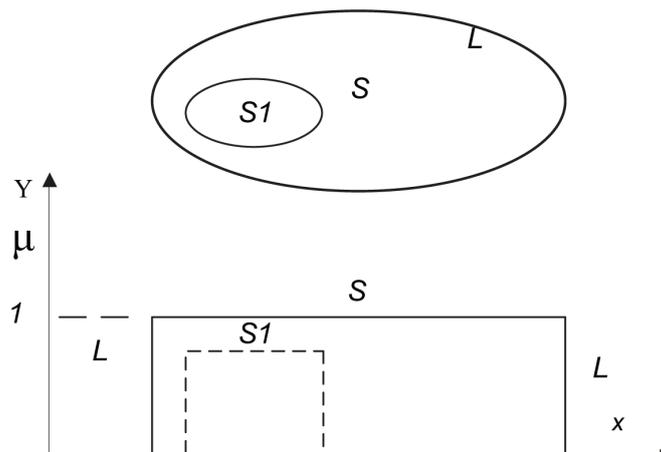


Рисунок 2 – Ситуация определенности для подмножества $S1$

Можно сравнить сложную систему и информационную ситуацию в аспекте границ. Для системы границы четкие, для ситуации границы нечеткие.

$$IS(x, y) \subset S; \forall l(x, y) \in (L+dl). \tag{4}$$

Выражение (4) показывает, что подмножество информационной ситуации $IS(x, y)$ принадлежит информационному множеству S . Обозначение $(L+dl)$ описывает ареальное множество нечеткой границы, $l(x, y)$ точка, принадлежащая нечеткой границе. Важным фактором ареальной неопределенности, согласно выражению (4), является появление нового качества у границы. В четкой модели в выражениях (2), (3) граница есть линейное множество. Для линии существует однозначное определение функции и аргумента. Граница в этих случаях есть четкая линия. В нечеткой модели (4) неопределенность характеризуется ареалом. То есть происходит замена или размытие линии ареалом. В этом случае отсутствует однозначная связь между функцией и аргументом. Отсюда следует, что ареальная неопределенность характеризуется размыванием линейного однозначного множества границы в ареальное множество границы. На рисунке 3 показана ситуация (4).

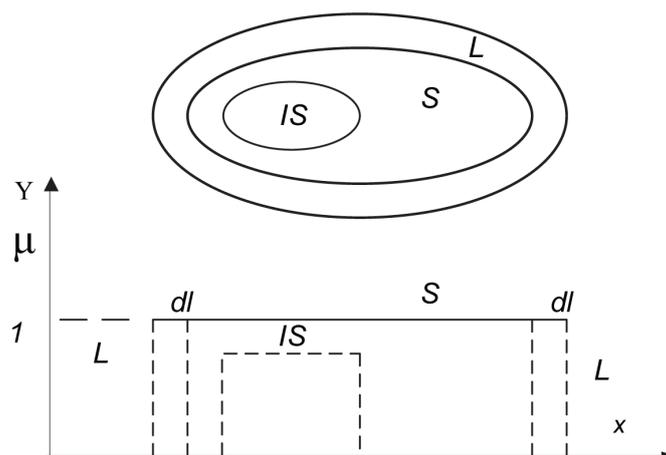


Рисунок 3 – Ситуация неопределенности для подмножеств

На практике может существовать вероятностная граница. Для вероятностной границы существуют отношения

$$IS(x, y) \subset S; \forall l(x, y, p) \in (L+dl). \quad (5)$$

Выражение (5) показывает, что подмножество информационной ситуации IS принадлежит информационному множеству S . Различие между выражениями (4) и (5) в появлении параметра вероятности. Точки границы подмножества $l(x, y, p)$ с вероятностью p принадлежат ареалу нечеткой границы и с вероятностью $(1-p)$ не принадлежат ему.

Более сложный случай имеет место при вероятностной принадлежности точек m множеству S . В этом случае существуют отношения

$$m(x, y, q) \in S; \forall l(x, y, p) \in (L+dl). \quad (6)$$

Выражение (6) показывает, что точки (информационной ситуации) принадлежат информационному множеству S с вероятностью q и с вероятностью $(1-q)$ не принадлежат ему. Точки границы подмножества $l(x, y, p)$ с вероятностью p принадлежат ареалу нечеткой границы и с вероятностью $(1-p)$ не принадлежат ему.

При переносе рассмотренных моделей в область ситуационного анализа можно использовать понятие «ядро ситуации» и «ситуация». Множество S может характеризовать ситуацию, а подмножество $S1$ характеризует ядро. Эта модель может быть использована для семантического анализа. При семантическом анализе в семантическом поле (подмножество информационного поля) ядром ситуации является семантическое ядро, которое имеет семантическое окружение, определяющее ситуацию. Это семантическая модель ситуации. Она позволяет использовать модели (2)–(6) для анализа семантической определенности и неопределенности. Можно использовать модели (2)–(6) для управления. В этом случае S есть управленческая ситуация, а $S1$ – управленческое решение, которое может быть определенным и неопределенным.

Заключение

Определенность и неопределенность в информационном поле могут быть рассмотрены как состояние, как фактор, как отношение. Наиболее часто определенность и неопределенность характеризуют обобщенную информационную ситуацию в информационном поле. Одинаково важными являются методы оценки определенности и неопределенности. Определенность может быть условной характеристикой, так как зависит от требований решаемой задачи. Это обуславливает ввести понятие определенности по задаче. Поэтому необходимо оценивать дихотомически определенность и неопределенность для задачи и ситуации. Целесообразно определять определенность и неопределенность для полной оценки ситуации. Зависимость неопределенности от ситуации состоит в том, что ее оценка производится с учетом всех факторов ядра ситуации и его окружения. Кибернетический аспект оценки неопределенности состоит в подключении когнитивной области человека, которая в одних случаях может создавать неопределенность, а в других ее устранять. Поточечный сбор информации создает неопределенность, объектный сбор информации уменьшает степень неопределенности.

По результатам исследования предложен подход к формализованному представлению определенности и неопределенности с учетом многоаспектности их проявления через модели из области теории множеств и геоинформатики. Построение моделей способствует уменьшению степени неопределенности.

Дается новая точка зрения на понятие «информационное поле» с учетом неопределенности. Информационное поле включает не только информационные модели, информационные ситуации и информационные отношения, но и факторы определенности и неопределенности для объектов поля. На ареальных примерах продемонстрированы модели определенности и неопределенности.

Полученные результаты могут применяться в сфере разработки систем управления с учетом неопределенности, например, в киберфизических системах, цифровой железной дороге, а также для совершенствования методов ситуационного анализа.

Развитие моделей определенности и неопределенности и методов их оценки требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. *Tsvetkov V.Ya. et al. The Information Field as an Integral Model // Computer Science On-line Conference. – Cham: Springer International Publishing, 2023. – P. 174–183.*
2. *Кудж С.А. Информационное поле: монография. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 97 с.*
3. *Потанов А.С. Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // Славянский форум. – 2017. – № 1 (15). – С. 283–289.*
4. *Савиных В.П. Информационные пространственные отношения // Образовательные ресурсы и технологии. – 2017. – № 1 (18). – С. 79–88.*
5. *Tsvetkov V.Ya. Framework of Correlative Analysis // European researcher. – 2012. – № 6-1 (23). – P. 839–844.*
6. *Ожерельева Т.А. Закон Ципфа в информационном поле // Славянский форум. – 2017. – № 2 (16). – С. 62–67.*
7. *Мельников С.В. Семантическая диссипация информации при асимметричном шифровании // Техника и технология. – 2012. – № 3. – С. 42–44.*
8. *Sishchuk J.M., Gerasimova I.G., Goncharova M. Anthropocentric world picture in German and English geological and mining metaphoric terms // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects-11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2019. – P. 555–560.*
9. *Чехарин Е.Е. Картина мира как когнитивная модель // Славянский форум. – 2016. – № 4 (14). – С. 290–296.*
10. *Цветков В.Я. Рецепция информации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – № 1 (13). – С. 121–129.*
11. *Джорова С.М. Рецепция, перцепция и апперцепция при интерактивной обработке в геоинформационных системах // Славянский форум. – 2022. – № 4 (38). – С. 25–33.*

12. *Tsvetkov V.Ya., Shaytura S.V., Ordov K.V.* Digital management railway // *Advances in Economics, Business and Management Research: 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE) – 2019.* – Vol. 105. – P. 181–185.
13. *Duo W., Zhou M.C., Abusorrah A.* A survey of cyber attacks on cyber physical systems: Recent advances and challenges // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica.* – 2022. – Vol. 9, No. 5. – P. 784–800.
14. *Kwon D.Y., Kim J., Park S., Hong S.* Advancements of remote data acquisition and processing in unmanned vehicle technologies for water quality monitoring: An extensive review // *Chemosphere.* – 2023. – P. 140198.
15. *Розенберг И.Н., Цветков В.Я.* Применение онтологий в управлении транспортом // *Автоматика, связь, информатика.* – 2024. – № 12. – С. 12–14.
16. *Kurdukov N.S.* Ontologies in Information Retrieval // *European Journal of Technology and Design.* – 2023. – Vol. 11, No. 1. – P. 9–14.
17. *Tsvetkov V.Ya.* Information-Cognitive Semantics // *European Journal of Technology and Design.* – 2016. – Vol. 4, No. 10. – P. 164–175.
18. *Tsvetkov V.Ya.* Information morphism, information correspondence and proportionality // *European Journal of Technology and Design.* – 2022. – Vol. 10, No. 1. – P. 22–29.
19. *Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P.* Metamodelling in the information field // *Amazonia Investiga.* – 2020. – Vol. 9, No. 25. – P. 395–402.
20. *Номоконова О.Ю.* Информационная неопределенность в информационном взаимодействии // *Славянский форум.* – 2017. – № 1 (15). – С. 104–110.

References

1. *Tsvetkov V.Ya. et al.* The Information Field as an Integral Model // *Computer Science On-line Conference.* – Cham: Springer International Publishing, 2023. – P. 174–183.
2. *Kudzh S.A.* Информационное поле: монография. – Москва: MAKS Press, 2017. – 97 с.
3. *Potapov A.S.* Информационная ситуация и информационная позиция в информационном поле // *Славянский форум.* – 2017. – № 1 (15). – С. 283–289.
4. *Savinyh V.P.* Информационные пространственные отношения // *Образовательные ресурсы и технологии.* – 2017. – № 1 (18). – С. 79–88.
5. *Tsvetkov V.Ya.* Framework of Correlative Analysis // *European researcher.* – 2012. – № 6-1 (23). – P. 839–844.
6. *Ozherel'eva T.A.* Закон Ципфа в информационном поле // *Славянский форум.* – 2017. – № 2 (16). – С. 62–67.
7. *Mel'nikov S.V.* Семантическая диссипация информации при ассиметричном шифровании // *Техника и технология.* – 2012. – № 3. – С. 42–44.
8. *Sishchuk J.M., Gerasimova I.G., Goncharova M.* Anthropocentric world picture in German and English geological and mining metaphoric terms // *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects-11th conference of the Russian-German Raw Materials, 2019.* – P. 555–560.
9. *Chekharin E.E.* Картина мира как когнитивная модель // *Славянский форум.* – 2016. – № 4 (14). – С. 290–296.
10. *Cvetkov V.Ya.* Рецепция информации // *Образовательные ресурсы и технологии.* – 2016. – № 1 (13). – С. 121–129.
11. *Dzhorova S.M.* Рецепция, перцепция и апперцепция при интерактивной обработке в геоинформационных системах // *Славянский форум.* – 2022. – № 4 (38). – С. 25–33.
12. *Tsvetkov V.Ya., Shaytura S.V., Ordov K.V.* Digital management railway // *Advances in Economics, Business and Management Research: 1st International Scientific and Practical Conference on Digital Economy (ISCDE) – 2019.* – Vol. 105. – P. 181–185.
13. *Duo W., Zhou M.C., Abusorrah A.* A survey of cyber attacks on cyber physical systems: Recent advances and challenges // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica.* – 2022. – Vol. 9, No. 5. – P. 784–800.
14. *Kwon D.Y., Kim J., Park S., Hong S.* Advancements of remote data acquisition and processing in unmanned vehicle technologies for water quality monitoring: An extensive review // *Chemosphere.* – 2023. – P. 140198.
15. *Rozenberg I.N., Cvetkov V.Ya.* Применение онтологий в управлении транспортом // *Автоматика, связь, информатика.* – 2024. – № 12. – С. 12–14.

16. *Kurdukov N.S.* Ontologies in Information Retrieval // European Journal of Technology and Design. – 2023. – Vol. 11, No. 1. – P. 9–14.
17. *Tsvetkov V.Ya.* Information-Cognitive Semantics // European Journal of Technology and Design. – 2016. – Vol. 4, No. 10. – P. 164–175.
18. *Tsvetkov V.Ya.* Information morphism, information correspondence and proportionality // European Journal of Technology and Design. – 2022. – Vol. 10, No. 1. – P. 22–29.
19. *Tsvetkov V.Ya., Shaitura S.V., Minitaeva A.M., Feoktistova V.M., Kozhaev Yu.P., Belyu L.P.* Metamodelling in the information field // Amazonia Investiga. – 2020. – Vol. 9, No. 25. – P. 395–402.
20. *Nomokonova O.Yu.* Informacionnaya neopredelennost' v informacionnom vzaimodejstvii // Slavyanskij forum. – 2017. – № 1 (15). – С. 104–110.

Статья поступила в редакцию: 08.02.2025

Received: 08.02.2025

Статья принята к публикации: 16.04.2025

Accepted: 16.04.2025