

УДК 004.81

## СИСТЕМАТИКА АЛГОРИТМОВ ТЕСТИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Рогов Игорь Евгеньевич<sup>1</sup>,

e-mail: rogov@mirea.ru,

<sup>1</sup>Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Россия

*Статья исследует алгоритмы, которые применяют в области образования при тестировании обучающихся. Показано, что для тестирующих систем применяют специальные алгоритмы, которые могут представлять инструмент познания и инструмент оценки знаний. Показано, что алгоритм может служить для описания закономерностей окружающего мира. Общим описанием алгоритмов является информационная конструкция. Показана связь алгоритма и информационного поля. Дается систематика алгоритмов применительно к задачам тестирования. Рассмотрены аспекты сложности, использования ресурсов, структуры и последовательности действий. Даны схемы алгоритмов разных типов. Статья описывает тринитарную модель алгоритма, которая может служить основой описания алгоритма как объекта познания. Рассматриваются свойства познавательной модели алгоритма. Статья вводит новую характеристику алгоритма – «когнитивность алгоритма», которая является важной и необходимой при создании алгоритмов тестирования. Когнитивность алгоритма тестирования характеризует ряд факторов: воспринимаемость теста, рецепция, перцепция и апперцепция учащимся тестирующего задания. Полученные результаты исследования могут найти применение при создании модели интеллектуальной системы тестирования обучающихся.*

**Ключевые слова:** алгоритмы тестирования, образование, когнитивность алгоритма, систематика, информационное поле, формальный объект познания

## TESTING AND LEARNING ALGORITHMS

Rogov I.E.<sup>1</sup>,

e-mail: rogov@mirea.ru,

<sup>1</sup>Russian Technological University, Moscow, Russia

*The article explores the algorithms that are used in the field of education when testing students. It is shown that special algorithms are used for testing systems, which can represent a cognition tool and a knowledge assessment tool. It is shown that the algorithm can serve to describe the patterns of the surrounding world. The general description of algorithms is an information structure. The relationship between the algorithm and the information field is shown. The systematics of algorithms in relation to testing tasks is given. The aspects of complexity, resource use, structure and sequence of actions are considered. Schemes of algorithms of different types are given. The article describes a trinitarian model of the algorithm, which can serve as the basis for describing the algorithm as an object of cognition. The properties of the cognitive model of the algorithm are considered. The article introduces a new characteristic of the algorithm – “algorithm cognitiveness”, which is important and necessary when creating testing algorithms. The cognitiveness of the testing algorithm is characterized by a number of factors: test perception, reception, perception and apperception by students of the testing task. The obtained research results can be used to create a model of an intelligent testing system for students.*

**Keywords:** testing algorithms, education, algorithm cognition, systematics, information field, formal object of cognition

DOI 10.21777/2500-2112-2021-3-5-12

## Введение

В настоящее время существуют разные виды алгоритмов, которые применяют не только в вычислительных системах, но и в эвристических системах. Первоначально алгоритм трактовался как информационная конструкция, предназначенная только для выполнения вычислений [1; 2]. В настоящее время алгоритмы применяют при решении разнообразных задач и в разном качестве. Часто алгоритмы используют как описательные схемы, в частности при рассуждениях. Алгоритмы служат основой вычислительных процедур и принятия решений [3]. Их используют в интеллектуальных вычислениях [4] и интеллектуальных системах [5]. Существует общепринятый термин «алгоритмизация». Технологию алгоритмизации широко применяют в разных сферах. Например, различают алгоритмизацию для решения задач, алгоритмизацию моделей [6], алгоритмизацию систем [7] и алгоритмизацию информации как средство организации данных. Широко применяют алгоритмизацию технологий как средство повышения их качества и надежности.

Алгоритмы применяют для качественной обработки информации [8], для интерпретации [9] и в медицинской диагностике [10]. С позиций системного анализа алгоритмы представляют собой аналог сложной системы. Они имеют вход и выход, начало и конец. Алгоритмы осуществляют функциональное преобразование и могут работать с входными и выходными множествами, что является признаком сложной системы. Не все алгоритмы как сложные системы обладают свойством эмерджентности. По этому признаку их как системы разбивают на две категории: аддитивные системы и эмерджентные системы. Как сложные системы алгоритмы обладают следующими свойствами: функциональность, структурированность, связанность, целостность. Алгоритм является основой технологической системы обработки информации. Поэтому для него существует логическая структура [2] и логическое описание. Это обязательное свойство алгоритма. Системы тестирования обучающихся большей частью являются интерактивными и используют специальные алгоритмы, которые могут представлять как инструмент познания, так и инструмент оценки знаний.

### 1. Систематика алгоритмов

По сложности алгоритмы разделяют на простые и сложные. Простые алгоритмы характеризуются простой логикой и простой структурой. Сложные алгоритмы [11] имеют сложную топологию, например большие графы и большое число циклов, которые обуславливают неустойчивость работы. Сложными алгоритмами называют также алгоритмы, поведение которых трудно моделировать из-за сложных зависимостей между потоками или из-за сложных информационных взаимодействий. Примером сложных алгоритмов являются алгоритмы мультиагентных систем и генетические алгоритмы. Каждый алгоритм является носителем знания. Можно сказать, что в алгоритмах происходит преобразование неявных знаний [12] в явные. В аспекте познания алгоритм можно рассматривать как закономерность или как механизм, отражающий закономерность. Именно в таком аспекте применяет понятие алгоритма Н. Моисеев [13]. Алгоритм можно рассматривать как процесс, как описание закономерности, как паттерн, как схему познания и схему передачи знания. При тестировании предпочитают использовать простые алгоритмы или условно сложные алгоритмы в расчете на знания учащихся.

По последовательности действий алгоритмы разделяют на последовательные и итеративные.

На рисунке 1 показана последовательность действий от этапа (a1) до этапа (a5). Последовательные алгоритмы выполняют одну операцию за другой. Это повышает скорость вычислений. Однако в случае сбоя на определенном этапе алгоритм зависает.

Схема итеративных алгоритмов более сложная (рисунок 2). Итеративные алгоритмы выполняют операции с возвратом к предыдущей по мере необходимости. Часто итеративные алгоритмы используют в научном поиске при нахождении новых решений. Простейшая схема такого алгоритма представляет собой перебор вариантов или сортировку.

При тестировании предпочитают использовать линейные алгоритмы тестирования, но в отдельных случаях применяют и итеративные.

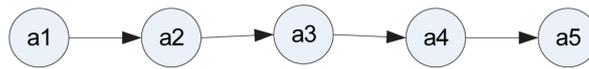


Рисунок 1 – Последовательный алгоритм тестирования

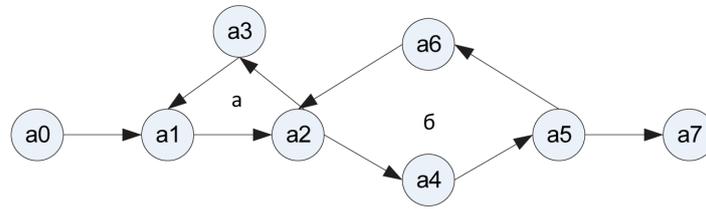


Рисунок 2 – Итеративный алгоритм

По использованию ресурсов алгоритмы разделяют на прямые (рисунок 1) и инкрементные (рисунок 3). Прямые алгоритмы выполняют операции поэтапно с использованием первоначально имеющегося ресурса. Инкрементные алгоритмы выполняют операции с накоплением ресурса на каждом этапе и использованием полученного ресурса на последующем этапе.

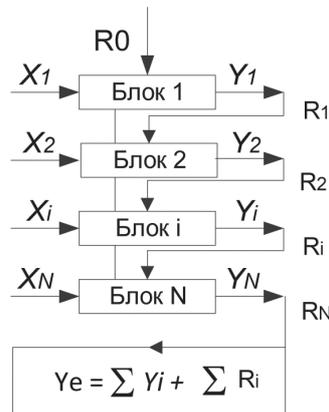


Рисунок 3 – Инкрементный алгоритм тестирования

На рисунке 3 обозначение  $R_0$  – первоначальный ресурс. На первом этапе тестирования (блок 1) учащийся предпринимает действия  $X_1$  и получает результат  $Y_1$ . Наряду с результатом он вырабатывает некий ресурс  $R_1$ , который может использовать или не использовать на следующем этапе. На втором этапе тестирования (блок 2) учащийся предпринимает действия  $X_2$ , использует ресурс  $R_1$  и получает результат  $Y_2$ . Наряду с результатом  $Y_2$  он вырабатывает новый ресурс  $R_2$ , который может использовать в дальнейшем тестировании. Результат тестирования  $Y_e$  оценивается по накопленным решениям и по суммарным накопленным ресурсам. При тестировании предпочитают использовать инкрементные алгоритмы, поскольку они наиболее всесторонне показывают умения и знания учащихся.

По организации структуры алгоритмы разделяют на линейные и рекурсивные. Линейные алгоритмы имеют структуру линейного типа, выполняют одну операцию за другой согласно линейной схеме. Рекурсивные алгоритмы имеют не линейную структуру, с возвратом выполняют действия по этой схеме до достижения некоего заданного критерия. При тестировании чаще используют линейные алгоритмы, но для выполнения специальных задач применяют и рекурсивные алгоритмы.

По повторяемости алгоритмы разделяют на циклические (рисунок 2) и ациклические (рисунок 1). Ациклические алгоритмы не имеют циклов и зависание или заикливание в них исключается. Циклические алгоритмы содержат циклы и в них возможно зависание или заикливание. При тестировании чаще используют ациклические алгоритмы.

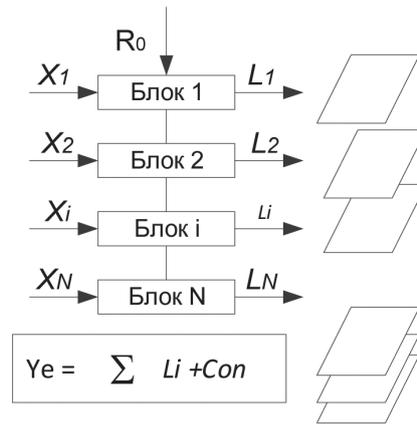


Рисунок 4 – Аддитивный алгоритм тестирования

По связанности алгоритмы разделяют на связанные (рисунки 1 и 2) и аддитивные (рисунок 4). В связанных алгоритмах конечный результат зависит от промежуточных результатов. Если один из промежуточных результатов неверен, то неверен и окончательный результат. В аддитивных алгоритмах конечный результат зависит от промежуточных результатов. Результат тестирования на каждом этапе не зависит от результатов тестирования на других этапах. Результат тестирования  $Y_e$  оценивается статистически по сумме правильных и неправильных решений на каждом этапе.

## 2. Алгоритм как формальный объект познания

Алгоритм является многоаспектным объектом информационного поля [14]. При вычислениях его рассматривают как технологическую схему. При тестировании его рассматривают как схему информационного взаимодействия «человек – тестирующая система». Это дает основание рассматривать тестирующую систему как человеко-машинную систему и применять соответствующие методы.

Алгоритм является также формальным объектом познания и имеет онтологические свойства. В силу этого формальная модель алгоритма зависит от выбранного языка информатики [15]. Онтологическая модель алгоритма определяется его местом в информационном поле [16]. На рисунке 5 приведена модель алгоритма как тринитарной системы.



Рисунок 5 – Тринитарная модель алгоритма в информационном поле

Эта модель отражает три связанные сущности алгоритма, которые образуют замкнутую тринитарную модель [17]. На рисунке 5 вершины соответствуют трем сущностям и отмечены цифрами для сопоставления с последующими моделями. В процессе познания тринитарная модель алгоритма, использует познавательную сущность как объекта реального мира (вершина 1) или первичного описания.

Эта вершина соответствует исходной информационной ситуации [18], предшествующей ситуационной обработке [19]. Затем алгоритм трансформируется в технологический объект (вершина 2). Этот объект производит обработку информации и формирует результат в виде формального объекта (вершина 3) или вторичного описания. При этом сам алгоритм также входит в это описание как инструмент получения результата.

Основой процесса познания является накопление опыта. Накопление опыта выражается в расширении области решений путем добавления в нее нового решения. Таким образом, алгоритм как объект познания создает новое знание и формирует обобщенную модель познания.

На рисунке 6 приведена процессуально познавательная модель алгоритма, отражающая его каузальные свойства. Данный рисунок показывает, что алгоритм может быть инструментом импакт-анализа [20].



Рисунок 6 – Процессуально познавательная модель алгоритма

На начальной стадии познания имеются факты, которые содержат неявное знание. Факты преобразуются в данные (вершина 1), которые затем подвергаются обработке (ребро «Обработка 1»). В результате первого этапа обработки формируется модель (вершина 2). Эта модель анализируется и корректируется, обработка продолжается (ребро «Обработка 2»). В результате обработки получается результат, который позволяет выявить причину фактов.

Существенным недостатком многих методов импакт-анализа является попытка напрямую связать причину и следствие. Нумерация вершин на рисунке 2 показывает последовательность действий и позволяет построить ряд информационных конструкций, отражающих процессы применения алгоритма.

Используя понятие «информационная конструкция», можно отразить динамику на рисунке 6. Рисунок 6 описывает следующие информационные конструкции:

$$DC \rightarrow CIS; PT \rightarrow GM; Res \rightarrow Cons. \quad (1)$$

В выражении (1) приняты следующие обозначения: DC – набор конкретных данных; CIS – причина (cause) информационной ситуации; PT – частное преобразование (private transformation); GM – общий механизм; Res – результат (result); Cons – следствие (consequence).

В настоящее время необходимо рассматривать алгоритм не только с технической стороны, но и с познавательной стороны. Некоторые сложные алгоритмы [20; 21] не могут быть четко описаны из-за их сложности и не повторяемости. Это дает основание считать носителем знания не каждый алгоритм, а только тот, который имеет признаки явного знания: воспроизводимость, передаваемость, интерпретируемость. Два последних признака связаны с когнитивным моделированием. Это дает основание исследовать когнитивные особенности алгоритмов. Данное обстоятельство дает основание говорить о новой характеристике алгоритма тестирования – «когнитивность алгоритма». Когнитивность алгоритма тестирования характеризует ряд факторов: воспринимаемость теста, рецепция, перцепция и апперцепция учащимся тестирующего задания.

Примером когнитивности алгоритма могут служить эвристические методы решения задач второго рода или пространственного когнитивного моделирования [22]. Другим примером когнитивности

алгоритма тестирования являются методы решения органолептических задач [23; 24], такие как дегустация вин или оценка драгоценных камней экспертами. Это дает основание ввести класс алгоритмов – когнитивные алгоритмы. Многие эвристические методы являются формальными алгоритмами. Поэтому в дополнение им можно ввести понятие когнитивный алгоритм. Практическим примером такого алгоритма может служить когнитивная карта [25].

Целесообразно ввести классы алгоритмов тестирования по следующим категориям: технологические, связанные с количественной обработкой информации; интерпретационные, связанные качественной обработкой информации; управленческие, связанные с поддержкой принятия решений; познавательные, связанные с переносом знания и формированием нового знания; когнитивные, связанные с включением человеческого интеллекта в работу алгоритма. При этом возможна ситуация, когда алгоритм, в силу своей многоаспектности, может принадлежать нескольким классам.

### Заключение

В отличие от широко распространенного определения алгоритма, как жесткого технологического описания, он является не только технологическим описанием, но и носителем знания, а также инструментом познания. Именно последнее свойство дает основание использовать его в тестирующих системах. В системах тестирования алгоритм выступает в двух качествах: как инструмент познания и как инструмент оценки знаний. В системах тестирования алгоритм ориентирован на человеческое восприятие, то есть в нем необходимо учитывать рецепцию и перцепцию информации. В системах тестирования применяют специальные алгоритмы, которые можно определить как алгоритмы тестирования. Тринитарная модель может служить хорошей основой описания алгоритма как объекта познания. Существует понятие «алгоритмический подход», которым обозначают попытку формального описания ситуаций, исключая субъективную оценку их человеком. Однако рост сложности задач в современном мире исключает применение простых алгоритмов. Информационная неопределенность, информационная асимметрия [26], нечеткие множества требуют расширения понятия «алгоритм» и введения новых типов алгоритмов, включая обучение и тестирование.

### Список литературы

1. *Щенников, А.Н.* Информационные конструкции алгоритмов // Славянский форум. – 2018. – № 3(21). – С. 54–60.
2. *Рогов, И.Е.* Логика и алгоритмы обработки информации. – Издательский Дом: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. – 112 с. [Republic of Moldova].
3. *Алтунин А.Е., Семухин М.В.* Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
4. *Рожнов А.В., Жарков И.Д.* Алгоритмизация интеллектуальной обработки данных в задачах слабо формальных систем // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2008. – № 1–2. – С. 35–42.
5. *Цветков В.Я., Розенберг И.Н.* Интеллектуальные транспортные системы – LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. – 297 с. ISBN: 978-3-659-15742.
6. *Тарасенко В.П., Силич В.А.* Алгоритмизация и автоматизация процесса построения содержательной модели организационной системы и формирования на ее основе дерева целей // Вопросы кибернетики. – Томск, 1982. – № 83. – С. 14–35.
7. *Шалыто, А.А.* Алгоритмизация и программирование для систем логического управления и «реактивных» систем // Автоматика и телемеханика. – 2001. – № 1. – С. 3–39.
8. *Домашук, П.В.* Алгоритм оценки коррупционной составляющей при проведении торгов // Славянский форум. – 2015. – № 2(8) – С. 68–74.
9. *Чехарин, Е.Е.* Алгоритмы интерпретации данных дистанционного зондирования // Славянский форум. – 2015. – № 3. – С. 301–308.
10. *Цветков В.Я., Номоконова О.Ю.* Алгоритмическое диагностирование кашля // Медицина и высокие технологии. – 2017. – № 2. – С. 53–57.

11. *Цветков, В.Я.* Сложность алгоритмов первого рода // Образовательные ресурсы и технологии. – 2020. – № 4 (33). – С. 73–80.
12. *Цветков, В.Я.* Неявное знание и его разновидности // Вестник Мордовского университета. – 2014. – Т. 24. – № 3. – С. 199–205.
13. *Мoiseev, Н.* Алгоритмы развития. – Москва: Наука, 1987. – 304 с.: Litres, 2017.
14. *Tsvetkov, V.Ya.* Information Space, Information Field, Information Environment // European researcher. – 2014. – № 8-1(80). – P. 1416–1422.
15. *Иванников, А.Д.* Проблемы информационных языков и современное состояние информатики // Вестник МИРЭА. – 2014. – № 4(5). – С. 39–62.
16. *Кудж, С.А.* Информационное поле: монография. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 97 с.
17. *Цветков, В.Я.* Триада как интерпретирующая система // Перспективы науки и образования. – 2015. – № 6. – С. 18–23.
18. *Цветков, В.Я.* Модель информационной ситуации // Перспективы науки и образования. – 2017. – № 3(27). – С. 13–19.
19. *Титов, Е.К.* Ситуационная обработка информации // Славянский форум. – 2018. – № 3(21). – С. 120–125.
20. *Рогов, И.Е.* Разработка алгоритмов для обучающих систем // Славянский форум. – 2019. – № 3(25). – С. 56–66.
21. *Бейзер, Б.* Тестирование чёрного ящика. Технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем. – Санкт-Петербург: Питер, 2004. – 320 с.
22. *Tsvetkov, V.Ya.* The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // European Journal of Technology and Design. – 2015. № 4(10). – P. 149–158.
23. *Макино Т., Охаси М., Докэ Х., Махино К.* Контроль качества с помощью персональных компьютеров. – Москва: Машиностроение, 1991. – 224 с.
24. *Ребрин, Ю.И.* Управление качеством: учебное пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004.
25. *Гольдштейн А.Б., Пожарский Н.А., Лихачев Д.А.* О когнитивных картах в управлении телекоммуникационным оператором // Информатизация и связь. – 2016. – № 1. – С. 11–15.
26. *Елсуков, П.Ю.* Информационная асимметрия и информационная неопределенность // Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2017. – № 4. – С. 69–76.

#### References

1. *Shchennikov, A.N.* Informacionnye konstrukcii algoritmov // Slavyanskij forum. – 2018. – № 3(21). – S. 54–60.
2. *Rogov, I.E.* Logika i algoritmy obrabotki informacii. – Izdatel'skij Dom: LAP Lambert Academic Publishing, 2019. – 112 s. [Republic of Moldova].
3. *Altunin A.E., Semuhin M.V.* Modeli i algoritmy prinyatiya reshenij v nechetkih usloviyah: monografiya. – Tyumen': Izdatel'stvo Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 2000. – 352 s.
4. *Rozhnov A.V., Zharkov I.D.* Algoritmizaciya intellektual'noj obrabotki dannyh v zadachah slabo formal'nyh sistem // Nejrokompyutery: razrabotka, primenenie. – 2008. – № 1–2. – S. 35–42.
5. *Cvetkov V.Ya., Rozenberg I.N.* Intellektual'nye transportnye sistemy – LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Germany, 2012. – 297 s. ISBN: 978-3-659-15742.
6. *Tarasenko V.P., Silich V.A.* Algoritmizaciya i avtomatizaciya processa postroeniya sodержatel'noj modeli organizacionnoj sistemy i formirovaniya na ee osnove dereva celej // Voprosy kibernetiki. – Tomsk, 1982. – № 83. – S. 14–35.
7. *Shalyto, A.A.* Algoritmizaciya i programmirovaniye dlya sistem logicheskogo upravleniya i «reaktivnyh» sistem // Avtomatika i telemekhanika. – 2001. – № 1. – S. 3–39.
8. *Domashuk, P.V.* Algoritm ocenki korrupcionnoj sostavlyayushchej pri provedenii tovgov // Slavyanskij forum. – 2015. – № 2(8) – S. 68–74.
9. *Chekharin, E.E.* Algoritmy interpretacii dannyh distancionnogo zondirovaniya // Slavyanskij forum. – 2015. – № 3. – S. 301–308.
10. *Cvetkov V.Ya., Nomokonova O.Yu.* Algoritmicheskoe diagnostirovaniye kashlya // Medicina i vysokie tekhnologii. – 2017. – № 2. – S. 53–57.

11. *Cvetkov, V.Ya.* Slozhnost' algoritmov pervogo roda // *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii.* – 2020. – № 4 (33). – S. 73–80.
12. *Cvetkov, V.Ya.* Neyavnoe znanie i ego raznovidnosti // *Vestnik Mordovskogo universiteta.* – 2014. – T. 24. – № 3. – S. 199–205.
13. *Moiseev, N.* Algoritmy razvitiya. – Moskva: Nauka, 1987. – 304 s.: Litres, 2017.
14. *Tsvetkov, V.Ya.* Information Space, Information Field, Information Environment // *European researcher.* – 2014. – № 8-1(80). – R. 1416–1422.
15. *Ivannikov, A.D.* Problemy informacionnyh yazykov i sovremennoe sostoyanie informatiki // *Vestnik MIREA.* – 2014. – № 4(5). – S. 39–62.
16. *Kudzh, S.A.* Informacionnoe pole: monografiya. – Moskva: MAKS Press, 2017. – 97 s.
17. *Cvetkov, V.Ya.* Triada kak interpretiruyushchaya sistema // *Perspektivy nauki i obrazovaniya.* – 2015. – № 6. – S. 18–23.
18. *Cvetkov, V.Ya.* Model' informacionnoj situacii // *Perspektivy nauki i obrazovaniya.* – 2017. – № 3(27). – S. 13–19.
19. *Titov, E.K.* Situacionnaya obrabotka informacii // *Slavyanskij forum.* – 2018. – № 3(21). – S. 120–125.
20. *Rogov, I.E.* Razrabotka algoritmov dlya obuchayushchih sistem // *Slavyanskij forum.* – 2019. – № 3(25). – S. 56–66.
21. *Bejzer, B.* Testirovanie chyornogo yashchika. Tekhnologii funkcional'nogo testirovaniya programmogo obespecheniya i sistem. – Sankt-Peterburg: Piter, 2004. – 320 s.
22. *Tsvetkov, V.Ya.* The Cognitive Modeling with the Use of Spatial Information // *European Journal of Technology and Design.* – 2015. № 4(10). – R. 149–158.
23. *Makino T., Ohasi M., Doke H., Mahino K.* Kontrol' kachestva s pomoshch'yu personal'nyh komp'yuterov. – Moskva: Mashinostroenie, 1991. – 224 s.
24. *Rebrin, Yu.I.* Upravlenie kachestvom: uchebnoe posobie. – Taganrog: Izd-vo TRTU, 2004.
25. *Gol'dshtejn A.B., Pozharskij N.A., Lihachev D.A.* O kognitivnyh kartah v upravlenii telekommunikacionnym operatorom // *Informatizaciya i svyaz'.* – 2016. – № 1. – S. 11–15.
26. *Elsukov, P.Yu.* Informacionnaya asimmetriya i informacionnaya neopredelennost' // *Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii.* – 2017. – № 4. – S. 69–76.