

УДК 681.518.2

DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_24

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМАТИКА В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ И БЕЗОПАСНОСТЬЮ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

С.А. Манцеров

ORCID: 0000-0001-8458-8259 e-mail: mca_9@nntu.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Рассматривается применение модифицированных методов функциональной систематики для идентификации и дальнейшего управления показателями качества и безопасности состояний сложных технических объектов. Предлагается подход к комплексной оценке экологической безопасности на основе множества единичных показателей, которые формируются в результате декомпозиции и детального анализа объекта утилизации. Определяются коэффициенты разборки, применяемости, рециклинга и утилизации. Проводится обобщенная оценка утилизационной способности изделия на основе единого показателя экобезопасности. Использование модифицированных методов функциональной систематики для кодификации и поиска объектов-аналогов как объектов-функционалов, объектов, подвергающихся воздействию и факторов внешних воздействий, позволяет организовать эффективный поиск эквивалентов при условии наличия базы систематизированных объектов. Особенностью баз данных, основанных на методах функциональной систематики, является неоднократная запись одного и того же объекта в зависимости от выполняемой роли (объект-функционал; объект, на который оказывается воздействие; объект внешних воздействий). Предлагаемая модификация таксономической модели функциональной систематики обеспечивает возможность записи вектора состояния сложного технического объекта. Рассмотрена практическая реализация методов модифицированной функциональной систематики для сложных технических объектов на примере металлорежущего оборудования.

Ключевые слова: экологическая безопасность, функциональная систематика, базы данных, классификация, таксон, технический объект, состояние, сложная структура.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Манцеров, С.А. Функциональная систематика в управлении качеством и безопасностью состояний сложных технических объектов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2022. № 1. С. 24-31.
DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_24

FUNCTIONAL SYSTEMATICS IN QUALITY MANAGEMENT AND SAFETY OF STATES OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

S.A. Mantserov

ORCID: 0000-0001-8458-8259 e-mail: mca_9@nntu.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Use of functional systematics modified methods for identification and further management of quality and safety indicators of states of complex technical objects is considered. Approach to comprehensive assessment of environmental safety is proposed based on a set of single indicators that are formed as a result of decomposition and detailed analysis of disposal object. Coefficients of disassembly, applicability, recycling and disposal are determined. Generalized assessment of disposal capacity of the product is carried out based on environmental safety single indicator. Use of functional systematics modified methods for codification and search of analog objects as functional objects, affected objects, and external influence factors, allows to organize an effective search for equivalents, provided that a database of systematized objects database is available. A distinctive feature of databases based on functional systematics methods is the repeated recording of the same object depending on the role performed (functional object; object that is affected; object of external influences). Proposed modification of the functional systematics taxonomic model provides a possibility of recording the vector of a complex technical object state. Practical implementation of modified functional systematics methods for complex technical objects on the example of metal-cutting equipment, is considered.

Key words: environmental safety, functional systematics, databases, classification, taxon, technical object, state, complex structure.

FOR CITATION: S.A. Mantserov. Functional systematics in quality management and safety of states of complex technical objects. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2022. №1. Pp. 24-31.
DOI: 10.46960/1816-210X_2022_1_24

Введение

В сравнении с традиционными направлениями, современное наукоемкое производство предъявляет значительно более высокие требования к качеству и безопасности состояния технических и технологических объектов. Это обусловлено высокой долей НИОКР, ускорением сроков разработки и вывода новых продуктов на рынок, жесткими требованиями к экологической безопасности продукции и производственных процессов. Возникает необходимость в едином системном подходе к управлению качеством и безопасностью технических и технологических объектов, а также к оценке его технического состояния. Для этого используют показатели качества, т.е. количественные и качественные характеристики свойств объекта, рассматриваемые применительно к этапам разработки, производства или эксплуатации объекта сложной структуры.

Обеспечение эксплуатационной способности сложного технического объекта достигается за счет управления его техническим состоянием, связанных с рядом трудностей. С одной стороны, многие современные сложные технические и технологические объекты характеризуются отсутствием или недостаточной пригодностью к контролю технического состояния (диагностированию). С другой стороны, отсутствует общий системный подход для определения технического состояния сложного объекта при обработке и дальнейшем анализе разнородной информации – множества параметров разного типа, описывающих его техническое состояние. При этом для промышленного технического оборудования задача определения технического состояния часто является невозможной. Это связано с недоступностью получения значений многих параметров в процессе эксплуатации промышленного оборудования. Таким образом, процесс определения состояний сложных технических объектов для эффективного управления качеством требует системного подхода.

При этом промышленные технические и технологические объекты в подавляющем большинстве случаев являются потенциальными источниками опасности. На первый план выходят проблемы соответствия промышленного производства современным экологическим требованиям, соблюдения норм безопасности. Их решение невозможно без обеспечения экологической безопасности (*экобезопасности*) состояния технических и технологических объектов. Данная задача, прежде всего, направлена на реализацию мероприятий, обеспечивающих допустимое воздействие факторов экологической опасности сложных технических объектов на окружающую среду и человека, что не может быть достигнуто без утилизируемости объектов по истечении срока эксплуатации, выхода из строя или ликвидации. Учитывая современную тенденцию ускорения технологического развития и увеличения наукоемкого оборудования, что ведет к уменьшению периодов обновления технических и технологических объектов, можно утверждать, что в настоящее время возникла необходимость в новых подходах к данной проблеме, а именно: предотвращении негативных воздействий на окружающую среду, а не борьбы с последствиями. Решению данной проблемы может способствовать разработка метода систематизации экобезопасных технических или технологических объектов. Ключевой особенностью метода должна являться возможность классификации разнородной слабоструктурированной информации с учетом воздействий объектов сложной структуры на окружающую среду. Возникает острая необходимость в создании системы классификации, позволяющей охватить все обширное пространство разнородных объектов, идентифицировать набор их состояний, а также степень взаимодействия с окружающей средой (экобезопасность).

Теоретический анализ

Основы функциональной систематики (ФС) базируются на концепции функциональных воздействий, в соответствии с которой «процессы, реализуемые в материальном производстве, в экологии, в научных исследованиях, представляются как взаимодействие минимум двух материальных объектов, совершаемое в рамках определенной среды. Концепция функциональных воздействий реализуется в принципе применимости» [1]. Одним из основополагающих принципов движения материи является функциональное воздействие. Систематика служит основой деления технических и технологических объектов на иерархию систем и подсистем. Для обозначения служебных целевых функций, введем наименование «исходные», для объектов, взаимодействующих с главным объект-функционалом (далее – ОФ).

На рис.1 изображена такая функциональная система, где ОФ – R_i , объект V_i , который принимает воздействие от ОФ, а факторы внешней среды обозначаются B_a .

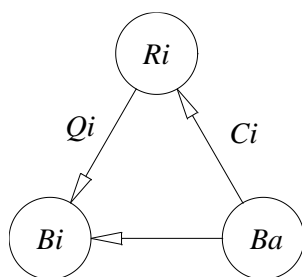


Рис. 1. Структура функциональных систем [2]

Fig. 1. Structure of functional systems [2]

Технические объекты определяют функциональные воздействия R_i и характеризуют влияние на исходные объекты. ОФ (R_i) подразделяются на:

- 1) вещественные объекты M_i ;
- 2) поля, волны и микрочастицы-функционалы T_i ;
- 3) энергию-функционал J_i ;
- 4) процессы-функционалы P_i .

ОФ R_i влияет на исходный объект, при помощи заданной служебной функции F_i (функциональная связь $R_i - V_i$), что можно отобразить следующим образом (1):

$$R_i \rightarrow F_i \rightarrow V_i \quad (1)$$

где R_i – объект, определяющий функциональные воздействия; F_i – служебная функция; V_i – исходный объект, подвергающийся воздействию.

Степень совместимости объектов можно отразить в виде зависимых связей $B_a - R_i$ и $B_a - V_i$ (рис. 1). Дополнительно они демонстрируют взаимодействие с факторами внешней среды. Вышепредложенная совместимость определяется собственным критерием (C_i). Норма совместимости с внешней средой (критерий C_i), определяется материальными объектами-факторами внешней среды (B_a): $C_i(B_a)$.

Объекты в зависимости от поставленной задачи могут быть представлены:

- 1) ОФ;
- 2) объектами, на которые оказывается воздействие;
- 3) объектами внешней среды.

Все взаимодействия осуществляются в процесс-функционалах (внешняя среда, ОФ, исходные объекты) – P_i . Объекты-факторы внешней среды реализуют только служебную функцию – F_i .

Методика

В соответствии с общим подходом, таксономия – теория систематики. Принципы и основы декомпозиции в ФС характеризуются таксономической моделью, имеющей четкую структуру функциональных формул. На рис. 2. наглядно представлена одна из таких структур материаловедческой систематики для сферы, которая затрагивает пространство материального производства, где [3]:

- R_i – объекты и процессы, определяющие функциональные воздействия;
- Q_{ijkl} – служебные функции; где (B_i, V_i) – мерон исходного объекта;
- (B_i, V_i) в позиции перед правой квадратной скобкой – мероны факторов внешней среды;
- (B_i, V_i) в позиции после правой квадратной скобки – мерон морфологического образа ОФ;
- C_{ij} – факторы внешней среды (критерии).

По формулам можем определить отношение либо принадлежность объекта и процесса, классифицированного в системе, к выбранному таксону, а также способность объектов в условиях влияния внешней среды выполнять определенные служебные функции. Образец базовой (таксономической) модели ФС представлена на рис. 2. С некоторыми непринципиальными уточнениями, как показано ниже, модель используется в экологической классификации. Суть изображенной модели – последовательное увеличение представленной формулы за счет прибавления к делимому формулы основания.

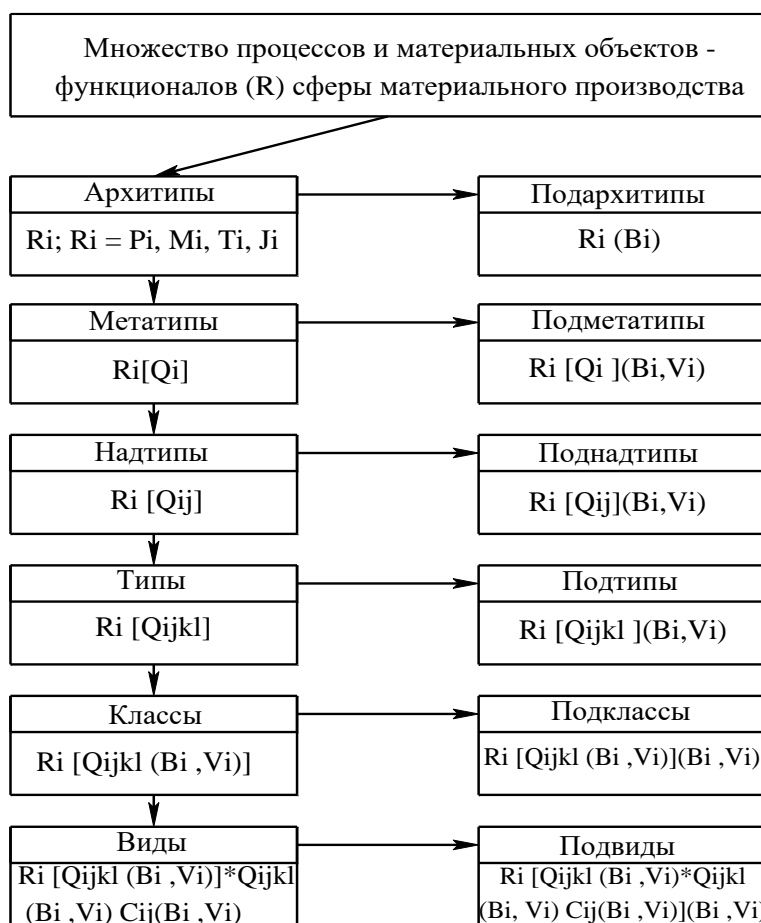


Рис. 2. Таксономическая модель процессов и объектов сферы материального производства [3]

Fig. 2. Taxonomic model of processes and objects in the sphere of material production [3]

Все пространство ОФ, объектов и процессов-функционалов делится на подвиды (только физическая сфера):

- Р – процессы, определяющие функциональные воздействия;
- М – вещественные объекты, реализующие функциональные воздействия;
- Т – поля, волны, излучения, микрочастицы и элементарные частицы-функционалы;
- J – энергия, определяющая функциональные воздействия.

Осуществление определенных служебных функций выполняется техническими и технологическими объектами сложной структуры, которые могут подвергаться декомпозиции. Таким образом, объекты сложной структуры декомпозируются на составные узлы, агрегаты, компоненты и конструкционные материалы. Последние используются для изготовления конструкций, невыполняющих иного функционального назначения. Главное отличие технических и технологических объектов от материалов и веществ – отсутствие размерной величины, весь учет осуществляется в штуках или других единицах. Для веществ, наоборот, фиксируются все размерные характеристики, у материалов один из параметров может быть свободным.

Представлена таксономическая модель (рис. 2), в соответствии с которой весь ряд функциональных процессов и объектов-функционалов делится на надтаксоны, таксоны и подтаксоны. Предлагается внести изменения в стандартную запись таксономической модели (1), для записи количественных характеристик объекта, прежде всего вектора состояний (2):

$$R_i[Q_{ijkl}(B_i, V_i) * Q_{ijkl}(B_i, V_i) C_{ij}(B_i, V_i)](B_i, V_i)(S_i(B_i, V_i), S_i(B_i, V_i), \dots) \quad (2)$$

где S – таксон характеристик ОФ, i – номер параметра, (B_i, V_i) после S_i – мерон значения ОФ.

При этом предусмотрена возможность включения в модифицированную таксономическую модель комплексного показателя экобезопасности, который добавляется в формулу ОФ, например, M6[Q1.12.4.1(B5.11.1) C1.5(A)] (S_i(L6.1)), где (S_i(L6.1)) – таксон состояния объекта, значение которого характеризует комплексный показатель экобезопасности объекта L6.1. Показатель мерона S указывается без запятой (трехзначное значение).

Необходимо провести оценку параметров всех составных элементов для получения оценки вектора состояний сложных технических объектов. Для технического объекта сложной структуры (рис. 3), необходимо придерживаться иерархической системы. В качестве такого показателя можно использовать индекс технического состояния (ИТС) [3], который так же, как и комплексный показатель экобезопасности, может быть добавлен в виде таксона состояния объекта в формулу ФС.

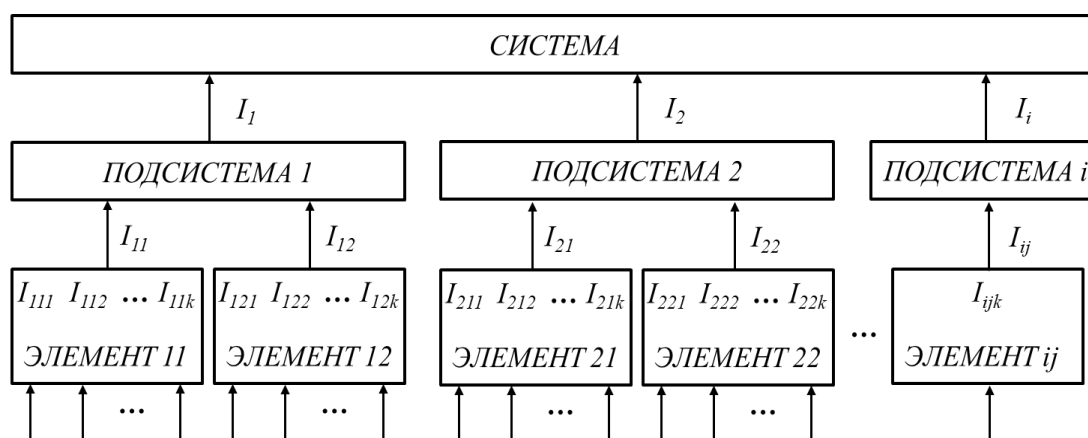


Рис. 3. Модель сложного технического объекта

Fig. 3. Model of complex technical object

Использование модифицированных методов ФС для кодификации и поиска объектов-аналогов (ОФ, объектов, подвергающихся воздействию и факторов внешних воздействий) позволяет организовать эффективный поиск эквивалентов. Безусловно, данный алгоритм осуществим и работает при условии наличия базы систематизированных объектов. При этом один и тот же объект может быть указан в базе ФС неоднократно.

Экспериментальная часть

В качестве решаемой задачи рассматривается применение методов модифицированной ФС для промышленного технологического оборудования. Применительно к машиностроительной сфере анализируются основные концепции в форме таксономии выбранных объектов и процесс-функционалов сферы металлообработки, экологии, смазывающе-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Проводится анализ состава и структуры функциональных систем, которые образуют рассматриваемый объект сложной структуры.

В качестве ОФ выбрано металлообрабатывающее станочное оборудование (МС), исходным объектом, на который оказывается воздействие – обрабатываемая заготовка-деталь (Д), объект внешней среды – СОЖ (рис. 4).

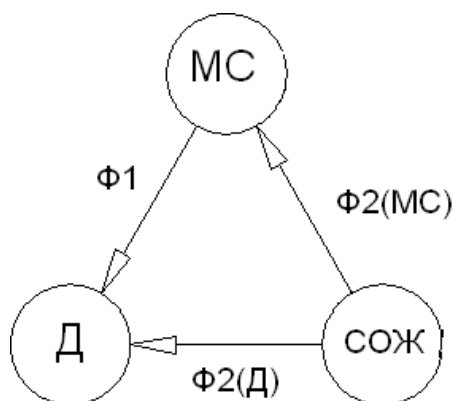


Рис. 4. Функциональная система металлообрабатывающего оборудования

Fig. 4. Functional system of metal-working equipment

Воздействия ОФ на исходный объект (функциональная связь МС – Д), происходят для реализации указанной функции Ф1. Данную зависимость можно охарактеризовать записью (3):

$$\text{МС} \rightarrow \text{Ф1} \rightarrow \text{Д} \quad (3)$$

Здесь служебной функцией выступает обработка детали. Функциональные связи Ф2(МС) и Ф2(Д) определяют совместимость ОФ с объектами-факторами внешней среды – СОЖ. Совместимость выражена критерием совместимости К. В зависимости от реализуемых служебных функций материальный объект может выступать любым объектом рассматриваемой системы: оказывающим или принимающим воздействие. Систематизируемый объект всегда рассматривается в качестве ОФ-объекта, предназначенного для реализации служебной функции в установленных условиях взаимного обмена с факторами внешней среды. В данном случае обрабатываемая заготовка-деталь из металла Д – исходный объект, по которому определяется морфология служебных функций.

Служебные функции реализуются в процессах-функционалах П. Полученная структура – основа для разбиения большого числа ОФ и процессов на иерархические группы – таксоны, объединенные общими признаками.

В функциональной компьютерной классификации токарный горизонтальный станок 16A20Ф3 в качестве ОФ может быть записан в следующем виде: М6[Q2.13.7.2(A5.16.11.4)C2.7(B)], где М6 – машины и оборудование, Q2.13.7.2 – для технологических преобразований в производстве, А5.16.11.4 – токарные станки для точения заготовок из металла, С2.7 – диаметр обработки 300-800 мм, В – расположение горизонтальное.

На основе предложенной методики разработан программный комплекс «Тахон», который может использоваться как для создания формул ФС, так и для дальнейшей их расшифровки. Также предусмотрена возможность дальнейшей его интеграции в современные системы управления базами данных (рис. 5).

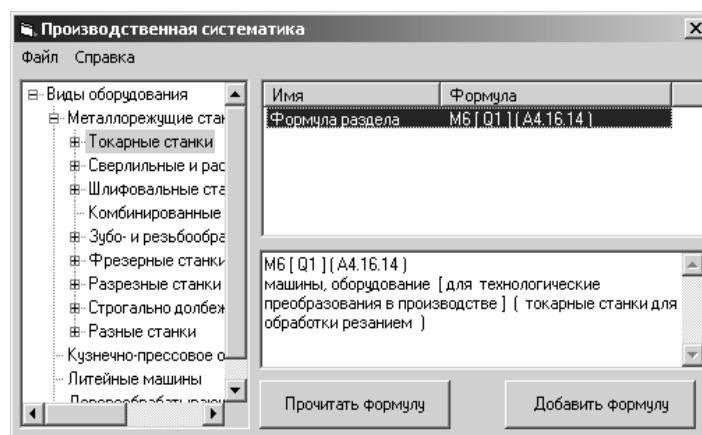


Рис. 5. Пример записи формулы в каталогах производственной систематики

Fig. 5. Example of writing a formula in catalogues of production systematics

Результаты и выводы

В настоящее время все системы классификации, от самых распространенных (универсальная десятичная классификация и Международная классификация изобретений) до менее известных (библиотечно-библиографическая классификация), приводят к усилению и расширению тенденции разобщенности знаний всех систем, что будет препятствовать объективности оценочных суждений возможности применения на практике разных объектов и процессов материального производства и их взаимного действия друг на друга. Недостатки современных систем, задачей которых является классификация объектов, включают игнорирование:

- 1) структурных особенностей объектов;
- 2) особенностей взаимодействий;
- 3) способности выполнения объектом определенных функций в заданных условиях.

В свою очередь, вышесказанные факторы оказывает существенное влияние на эффективность поисковых механизмов в области материального производства и обеспечения. Сохранение преемственности стадий жизненного цикла и единства применения классификатора – главные и основополагающие условия эффективности применения классификационных систем. Естественно, что максимальная результативность процессов классификации достигается при комплексном изучении всех нюансов автоматизации поисковых механизмов. Ее необходимость резко возрастает при увеличении номенклатуры и уменьшении партийности промышленных изделий. Модифицированная ФС выделяется из известных систематизаций следующими показателями:

- 1) широким охватом классификационного поля;

2) ориентацией на включение показателей качества и безопасности состояний технических и технологических объектов;

3) информационно-поисковым языком;

4) долгосрочным целевым использованием.

Систематика охватывает все сферы жизнедеятельности человечества – от материалов и различных видов энергии до научной деятельности, документооборота, изучения носителей информации. О необходимости применения нового вида классификации говорит тенденция современных классификаторов к ухудшению (или деградации) имеющихся знаний. Напротив, ФС – толчок к развитию науки и техники. В существующих классификациях технических и технологических объектов (Общероссийский классификатор продукции (ОКП), единая система классификации и кодирования информации (ЕСКК), товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности (ТН ВЭД) и др.) все изделия классифицируются, прежде всего, в соответствии с морфологическими свойствами (наименование). Но показатели, характеризующие качество и безопасность технических и технологических объектов (качественные и количественные признаки), не учитываются.

Современный подход неприменим для промышленных сфер (материаловедение, строительство и производство технического оборудования). Огромным дополнительным преимуществом предложенной системы является восприятие на всех естественных языках. Разработка автоматизированной системы классификации технических и технологических объектов, включающей данные их состояний, является важной задачей для промышленных предприятий. На основе модифицированных методов ФС возможно построение подобной системы, которая позволяет охватить все пространство материальных и нематериальных объектов, что имеет особенное значение при систематизации экологических факторов.

Библиографический список

1. **Манцеров, С.А.** Развитие системы единой функциональной систематики для хранения данных о техническом состоянии объекта / С.А. Манцеров, А.Ю. Панов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 6. Ч. 1. С. 235-238.
2. **Бреховских, С.М.** Функциональная компьютерная систематика материалов, машин, изделий и технологий / С.М. Бреховских, А.П. Прасолов, В.Ф. Солинов. – Москва: Машиностроение, 1995. – 551 с.
3. **Манцеров, С.А.** Создание баз данных объектов машиностроения на основе формул функциональной систематики // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2007. Т. 3. № 11. С. 171-176.
4. **Gavriliuk, E.A.** Fuzzy Reliability Model of Systems for Decision Support in Technical Diagnostics [Electronic resource] / E.A. Gavriliuk, S.A. Mantserov / CEUR Workshop Proceedings. – Electronic text data. – 2018. – Vol. 2258. – P. 222–234. Mode of access: <http://ceur-ws.org/Vol-2258/paper28.pdf>. – Title from screen.
5. **Клячкин, В.Н.** Автоматизированная система диагностики технического состояния объекта с использованием агрегированных классификаторов / В.Н. Клячкин, Д.А. Жуков // Надежность и качество сложных систем. – 2020. – № 4 (32). – С. 50-57.
6. **Leukert, K.** Transferability of knowledge-based classification rules / K. Leukert, ISPRS2004, Istanbul. 2004.
7. **Savchenko, L.V.** Classification of a Sequence of Objects with the Fuzzy Decoding Method / L.V. Savchenko // Lecture Notes in Artificial Intelligence. 2014. Vol. 8536. P. 309-318.
8. PR 50.1.019-2000 Main provisions of the unified system of classification and coding of technical, economic and social information and standardized documentation systems in the Russian Federation
9. **Mishanov, R.O.** Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system [Reliability and quality of complex systems] / R.O. Mishanov. 2019, no. 4 (28), pp. 112-117.
10. ОК 005-93 National Classification of products.

*Дата поступления
в редакцию: 23.01.2022*