

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-21-30>



УДК 004.891

Формализованное информационное описание для медицинской экспертной системы

С. А. Нестерович¹, А. Н. Брежнева²✉, С. А. Зырянова¹

¹ Московский государственный университет технологий и управлений
им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)
ул. Земляной Вал, д. 73, г. Москва 109004, Российская Федерация

² Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова
Стремянный пер., д. 36, г. Москва 117997, Российская Федерация

✉ e-mail: brezhneva.an@rea.ru

Резюме

Цель исследований. Информационное описание о состоянии здоровья пациента основывается на количественных параметрах и качественных признаках. Предлагается формализовать количественную и качественную информацию о состоянии здоровья пациента с целью использования этой информации, для построения медицинской экспертной системы. Построенная на основе этой информации экспертная система сможет точнее ставить диагноз, что сократит время на постановку диагноза и в конечном итоге повысит эффективность лечения.

Методы. На основе формализованного информационного описания о состоянии здоровья пациентов можно построить классы состояний: класс текущего состояния (на данный момент), класс эталонного (здорового) состояния здоровья пациента. В дальнейшем можно построить классы состояний здоровья пациентов с учетом возраста и ряда особенностей заболеваний, например, с учетом местности, в которой проживает пациент, и т. д. В дальнейшем эти классы могут быть реализованы в медицинской экспертной системе.

Результаты. В результате построена формализованная информационная модель описания состояния здоровья пациента на основе количественных параметров и качественных признаков, которая сможет быть основой для базы данных и базы знаний медицинской экспертной системы диагностирования.

Заключение. В результате предложено формализованное описание состояния здоровья пациента. Для реализации необходимо предусмотреть возможность построения отдельного эвристического алгоритма при диагностировании заболевания, который будет связан с воспроизведением в форме операций процесса разработки логической структуры при рассуждении экспертом (врачом) в ходе лечения пациента.

Ключевые слова: интеллектуальные системы; системы контроля; системы диагностики; экспертные системы; качественные и количественные характеристики исследуемого объекта; достоверность; знания экспертов.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Формализованное информационное описание для медицинской экспертной системы / С. А. Нестерович, К. Г. Разумовского, А. Н. Брежнева, С. А. Зырянова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2023. Т. 13, № 3. С. 21–30. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-21-30>.

Поступила в редакцию 05.07.2023

Подписана в печать 02.08.2023

Опубликована 29.09.2023

© Нестерович С. А., Брежнева А. Н., Зырянова С. А., 2023

Formalized Information Description for a Medical Expert System

Sergey A. Nesterovich¹, Aleksandra N. Brezhneva² ✉, Svetlana A. Zyryanova¹

¹ K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University)
73 Zemlyanoy Val Str, 109004 Moscow, Russian Federation

² Plekhanov Russian University of Economics
36 Stremyanny side-street, 117997 Moscow, Russian Federation

✉ e-mail: brezhneva.an@rea.ru

Abstract

The purpose of research. The information description of the patient's health status is based on quantitative parameters and qualitative signs. It is proposed to formalize quantitative and qualitative information about the patient's state of health in order to use this information to build a medical expert system. The expert system built on the basis of this information will be able to make a more accurate diagnosis, which will reduce the time for diagnosis and ultimately increase the effectiveness of treatment.

Methods. On the basis of a formalized information description of the state of health of patients, it is possible to construct classes of states: the class of the current state (at the moment), the class of the reference (healthy) state of health of the patient. In the future, it is possible to build classes of patients' health conditions taking into account age and a number of features of diseases, for example, taking into account the area in which the patient lives, etc. In the future, these classes can be implemented in a medical expert system.

Results. As a result, a formalized information model of describing the patient's health status based on quantitative parameters and qualitative signs has been built, which can be the basis for a database and knowledge base of a medical expert diagnostic system.

Conclusion. As a result, a formalized description of the patient's state of health is proposed. For implementation, it is necessary to provide for the possibility of constructing a separate heuristic algorithm for the diagnosis of the disease, which will be associated with the reproduction in the form of operations of the process of developing a logical structure when reasoning by an expert (doctor) during the treatment of a patient.

Keywords: intelligent systems; control systems; diagnostic systems; expert systems; qualitative and quantitative characteristics of the object under study; reliability; expert knowledge.

Conflict of interest: The Authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Nesterovich S. A., Brezhneva A. N., Zyryanova S. A. Formalized Information Description for a Medical Expert System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie* = *Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2023; 13(3): 21–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2023-13-3-21-30>.

Received 05.07.2023

Accepted 02.08.2023

Published 29.09.2023

Введение

Диагностика медицинских заболеваний не стоит на месте. Появляются новые методы выявления заболеваний на ранних этапах. Эти методы строятся на

современных технологиях. Все чаще используются технологии искусственного интеллекта [1; 2]. Одной из технологий искусственного интеллекта являются экспертные системы.

Экспертная система (ЭС) – это компьютерная программа, которая содержит и аккумулирует знания экспертов (высококласных специалистов) в конкретной предметной области и на основе этих знаний может принять верное самостоятельное решение [3; 4; 5; 6].

Они применяются в различных сферах деятельности человека, в т. ч. в медицине [3; 7; 8; 9; 10; 11].

Важно при диагностировании заболеваний учесть как можно больше факторов о самочувствии пациента. Этими факторами могут быть показания приборов: данные анализов, МРТ, ЭКГ, размеры на снимках рентгена и флюорографии и т. д. В дальнейшем назовем их «параметры», т. е. это те параметры, которые имеют количественную оценку, их можно измерить.

Также существуют качественные показатели. Это такие показатели, которые не имеют количественной оценки. Их трудно, а бывает невозможно оценить количественно ввиду отсутствия необходимого оборудования их оценки. Например, слабость, раздражение, головокружение, тошнота, недомогание и т. д. Эти показатели будем называть качественными признаками. Для этих признаков нет приборов, которые их могут оценить количественно. Такие качественные признаки обнаруживает в себе пациент. Например, легкое головокружение, сильная слабость и т. д. Данные признаки могут быть легко оценены с помощью нечетких множеств [5; 7; 9; 11; 12; 13; 14; 15].

Материалы и методы

Имея количественные параметры и качественные признаки, можно полу-

чить информационное описание о состоянии здоровья пациента \tilde{I}_S , из которого будет формироваться база знаний и база данных медицинской экспертной системы:

$$\tilde{I}_S = \{\tilde{I}'_S, \tilde{I}^*_S\},$$

где \tilde{I}'_S – информационное описание состояния здоровья пациента по количественным параметрам; \tilde{I}^*_S – информационное описание состояния здоровья пациента по качественным признакам.

Ставится актуальная задача о создании медицинской экспертной системы, которая на основе расширенного информационного описания \tilde{I}_S о состоянии здоровья пациента сможет поставить более точный диагноз.

Другой важной возможностью данной системы является использование ее как системы поддержки принятия решений специалистами при выполнении профессиональных задач, при принятии правильного решения, особенно тогда, когда есть ограничения во времени и существуют факторы, связанные с неточность и неопределенностью.

Неопределенность характерна для реальной системы знаний, которые плохо представляются в формальных системах [12; 13; 16; 17; 18].

Информационная модель описания состояния пациентов будет складываться из информационного описания текущего состояния по количественным параметрам и из текущего описания по качественным признакам.

Количество и состав качественных и количественных характеристик можно выбрать с помощью экспертных оценок на основе метода Делфи. В состав экспертной группы для отбора следует

отобрать от 7 до 9 экспертов. Характеристики группы экспертов определяются на основе индивидуальных их характеристик: компетентности, креативности, отношения к экспертизе, конформизма, конструктивности мышления, согласованности, самокритичности [4].

Диагностику заболевания необходимо проводить пациенту, у которого в явной и неявной форме выражены качественные (отек, покраснение, зуд, ломота, нервозность, хрипы и т. д.) признаки и количественные параметры (температура, изменение состава крови, данные КТ и МРТ и т. д.) заболевания, в условиях клинической диагностики.

Все эти данные необходимо привести к количественной оценке. Например, можно использовать последовательности обработки матрицы парных сравнений для m -экспертов. Для этого необходимо построить матрицу оценок всех пар объектов, а затем по ней вычислить вектор коэффициентов относительной важности. На основе этого вектора получится информационное описание состояния здоровья пациента с учетом значений по каждому параметру и признаку:

$$\begin{aligned} \tilde{I}'_s &= \{\pi'_s(\Pi'_{s_1}), \pi'_s(\Pi'_{s_2}), \dots, \pi'_i(\Pi'_{s_i}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{s_n})\}, \\ \tilde{I}^*_s &= \{\pi^*_1(\Pi^*_{s_1}), \pi^*_2(\Pi^*_{s_2}), \dots, \pi^*_j(\Pi^*_{s_j}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{s_k})\}, \\ i &= \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, k}. \end{aligned}$$

где π'_i – название текущего i -го количественного параметра, например *Давление*; Π'_{s_i} – значение текущего i -го количественного параметра, например *130/100*; π^*_j – название текущего j -го качественного признака, например *Дрожь в руках*; $\Pi^*_{s_j}$ – значение текущего j -го качественного признака, например *Сильная дрожь в руках*.

Знак «~» будет указывать на то, что мы имеем дело с неопределенностью исходной информации о состоянии здоровья пациента.

Например, *Дрожь* может определяться термом = {нет_дрожи, слабая_дрожь, средняя_дрожь, сильная_дрожь}.

Затем нужно сформировать класс состояние здоровья «здорового человека», он будет эталонным классом (\tilde{I}_\varnothing). С этим классом будет происходить сравнение. Представим его в виде множества:

$$\tilde{I}_\varnothing = \{\tilde{I}'_\varnothing, \tilde{I}^*_\varnothing\},$$

где \tilde{I}'_\varnothing – название информационного описания состояния здоровья пациента на основе количественных параметров как эталонное, например *Давление*;

\tilde{I}^*_\varnothing – название информационного описания состояния здоровья пациента на основе качественных признаков как эталонное, например *Дрожь в руках*.

Тогда информационные описания эталонного состояния здоровья пациента с учетом их значений по каждому параметру и признаку

$$\begin{aligned} \tilde{I}'_\varnothing &= \{\pi'_1(\Pi'_\varnothing), \pi'_2(\Pi'_\varnothing), \dots, \\ &\quad \pi'_i(\Pi'_\varnothing), \dots, \pi'_n(\Pi'_\varnothing)\}, \\ \tilde{I}^*_\varnothing &= \{\pi^*_1(\Pi^*_\varnothing), \pi^*_2(\Pi^*_\varnothing), \dots, \\ &\quad \pi^*_j(\Pi^*_\varnothing), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_\varnothing)\}, \\ i &= \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, k}, \end{aligned}$$

где π^*_i – название текущего i -го количественного параметра, например *Давле-*

ние; $\Pi_{\varepsilon i}^*$ – значение текущего i -го количественного параметра, например $120/80$; π_j^* – название текущего j -го качественного признака, например *Дрожь в руках*; $\Pi_{\varepsilon j}^*$ – значение текущего j -го качественного признака, например *Нет дрожи*.

Важное требование к информационному описанию о пациенте – это соотношение информационных данных по количеству параметров и признаков: $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, k}$ (рис. 1).

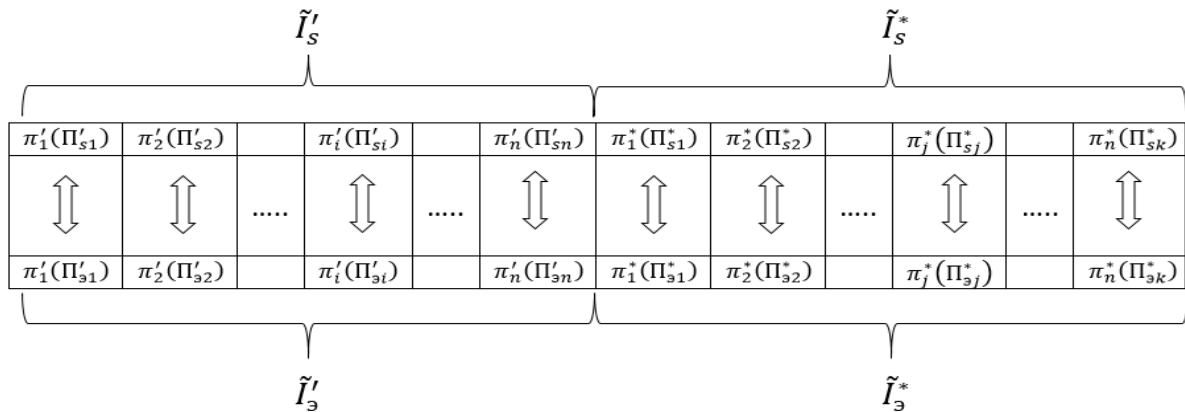


Рис. 1. Соотношение информационных данных о пациенте

Fig. 1. Correlation of patient information data

Для количественной характеристики предлагается использовать функцию нечеткого равенства с заданной точностью $\Delta_{\text{зад}}$ [14; 15; 19]:

$$\mu(\tilde{I}_S, \tilde{I}_\varepsilon) = \min \left(\max \left(1 - \left(\tilde{I}'_S, \tilde{I}'_\varepsilon \right) \right), \max \left(1 - \left(\tilde{I}^*_S, \tilde{I}^*_\varepsilon \right) \right) \right),$$

$$\mu(\tilde{I}_S, \tilde{I}_\varepsilon) \geq \Delta_{\text{зад}}.$$

Результаты и их обсуждение

Для решения этой задачи необходимо:

1. Создать \tilde{I}_S^u – формализованную интегрированную модель состояния здоровья пациента, при этом указав основные параметры и признаки:

$$\tilde{I}_S^u = \{ \pi'_1(\Pi'_{s1}), \pi'_2(\Pi'_{s2}), \dots, \pi'_i(\Pi'_{si}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{sn}), \dots, \pi'_j(\Pi'_{\varepsilon j}), \dots, \pi'_k(\Pi'_{\varepsilon k}) \},$$

$$\pi^*_1(\Pi^*_{s1}), \pi^*_2(\Pi^*_{s2}), \dots, \pi^*_j(\Pi^*_{sj}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{sk}) \},$$

$$V(I_S) \subseteq \Omega_S,$$

$$\{\Omega'_{I_S}, \Omega^*_{I_S}\} \subset \Omega_S,$$

где $V(I_S)$ – имеющийся объем информации о состоянии здоровья пациента; Ω_S – описание параметров состояния здоровья пациента; Ω'_{I_S} – расшифровка параметров о состоянии здоровья пациента по имеющимся результатам средств диагностики; $\Omega^*_{I_S}$ – эмпирическая информация о состоянии здоровья пациента, дополненная качественными признаками врачом.

2. Создать эталонное описание состояния здоровья пациента, его основных количественных параметров и качественных признаков. Для этого стоит

воспользоваться следующими решениями:

$$\begin{aligned} \tilde{I}_{\mathfrak{Z}}^u = & \{ \pi'_1(\Pi'_{\mathfrak{Z}_1}), \pi'_2(\Pi'_{\mathfrak{Z}_2}), \dots, \\ & \pi'_i(\Pi'_{\mathfrak{Z}_i}), \dots, \pi'_n(\Pi'_{\mathfrak{Z}_n}), \\ & \{ \pi^*_1(\Pi^*_{\mathfrak{Z}_1}), \pi^*_2(\Pi^*_{\mathfrak{Z}_2}), \dots, \\ & \pi^*_j(\Pi^*_{\mathfrak{Z}_j}), \dots, \pi^*_k(\Pi^*_{\mathfrak{Z}_k}) \} \end{aligned}$$

3. Создать основные классы диагнозов (классы для возрастных групп, классы для видов заболеваний, территориальной принадлежности проживания человека и т. д.), благодаря которым по текущему состоянию пациента можно с достаточной точностью распознать вид заболевания. Для этого предлагается ис-

пользовать эвристические методы, которые основываются на знаниях, опыте и интуиции разработчика системы принятия решения. В большинстве случаев эти методы ориентированы на решение конкретных типов задач распознавания. Наиболее часто применяются при использовании принципа сравнения с эталоном и принципа общности свойств:

$$\tilde{I}_S^u = \Phi_{\mathfrak{D}}(\tilde{I}_{\mathfrak{Z}}^u),$$

где $\Phi_{\mathfrak{D}}$ – алгоритм принятия решения на основе эвристического метода.

Общий вид принятия решения на основе нечёткого логического вывода можно представить схемой (рис. 2).

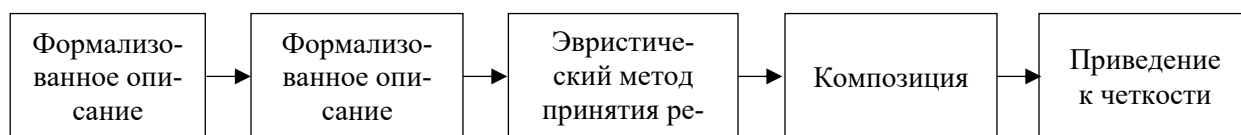


Рис. 2. Общий вид принятия решения [20; 21]

Fig. 2. General view of decision-making [20; 21]

Выводы

Для того чтобы реализовать данный метод, необходимо предусмотреть возможность построения отдельного уточняющего алгоритма при диагностировании заболевания, который будет связан с воспроизведением в форме операций процесса разработки логической структуры при рассуждении экспертом (врачом) в ходе лечения пациента.

Существуют сложности процесса диагностирования, особенно когда они связаны с разными видами нарушений, которые имеют схожие отличия друг от друга, тогда они могут создать проблемы

в применении конкретной выбранной модели, способной грамотно описать все характеристики выбранного метода.

Основная цель диагностирования заболеваний заключается в поиске причин, особенно когда нет достоверной информации, то это приводит к ограничению возможностей использования традиционных способах распознавания причин заболеваний.

Считается, что представленная система может существенно сократить усилия и время врача, потраченное на постановку правильного диагноза, а также повысит качество результатов проведения диагностики.

Список литературы

1. Kanatov M., Atymtayeva L., Yagaliyeva B. Expert systems for Information Security Management and Audit. Implementation phase issues // 2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS). Kitakyushu, Japan: IEEE, 2014.
2. Kononenko W. Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective // *Artif Intell Med.* 2001. N 23(1). P. 89–109.
3. Автоматизированное проектирование информационно-управляющих систем. Проектирование экспертных систем на основе системного моделирования: монография / науч. ред. Г. Г. Куликов. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 1999. 223 с.
4. Евланов Л. Г., Кутузов В. А. Экспертные оценки в управлении. М.: Экономика, 1978. 133 с.
5. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М.: Наука, 1990. 272 с.
6. Сидоркина И. Г. Системы искусственного интеллекта. М.: КНОРУС, 2015. 248 с.
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин, И. З. Батыршин, А. Ф. Блишун, В. Б. Силов, В. Б. Тарасов; под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
8. Алиев Р. А., Абдикеев Н. М., Шахназаров М. М. Производственные системы с искусственным интеллектом. М.: Радио и связь, 1990. 262 с.
9. Алтунин А. Е., Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография. Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. 352 с.
10. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.
11. Дунин В. О., Егоров В. А. Проблемы создания интеллектуальных средств поиска, анализа и обработки биомедицинской информации // *Инженерный вестник Дона.* 2012. № 4-1(22). С. 24.
12. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, О. А. Крумберг [и др.]. Рига: Зинатне, 1982. 256 с.
13. Поддержка принятия решений на основе нечеткой логики в системах медицинского назначения / Е. Н. Долженко, А. Н. Пылькин, А. В. Крошили, С. Ю. Жулева // *Биомедицинская радиоэлектроника.* 2015. № 7. С. 62–68.
14. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
15. Леоненко А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БВХ – Петербург, 2005. 736 с.

16. Воронина Е. И., Муравей Л. А., Костиков Ю. А. Математико-статистические модели прогнозирования эффективности оперативного лечения некоторых заболеваний // Инженерный вестник Дона. 2013. № 1(24). С. 64.
17. Гельруд Я. Д. Оптимизация развития холдинговой структуры с использованием нечеткой логики // Управление проектами и программами. 2007. № 3. С. 182–190.
18. Душкин Р. В. Методы получения, представления и обработки знаний с НЕ-факторами. М.: Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2011. 115 с.
19. Инжиниринг информационных и деловых процессов: сборник научных трудов / Ю. Ф. Тельнов [и др.]. М.: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 1998. 137 с.
20. Статические и динамические экспертные системы / Э. В. Попов, И. Б. Фоминых, Е. Б. Кисель, М. Д. Шапот. М.: Финансы и статистика, 1996. 318 с.
21. Россиев Д. А. Нейросетевые самообучающиеся экспертные системы в медицине // Молодые ученые – практическому здравоохранению. Красноярск, 1994. С. 17.

References

1. Kanatov M., Atymtayeva L., Yagaliyeva B. Expert systems for Information Security Management and Audit. Implementation phase issues. 2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS). Kitakyushu, Japan, IEEE Publ., 2014.
2. Kononenko W. Machine learning for medical diagnosis: history, state of the art and perspective. *Artif Intell Med.*, 2001, no. 23(1), pp. 89–109.
3. Computer-aided design of information and control systems. Designing expert systems based on system modeling [Computer-aided design of information and control systems. Designing expert systems based on system modeling]; ed. by G. G. Kulikov. Ufa, Ufa State Aviation Technical University Publ., 1999. 223 p.
4. Evlanov L. G., Kutuzov V. A. *Ekspertnye ocenki v upravlenii* [Expert assessments in management]. Moscow, Ekonomika Publ., 1978. 133 p.
5. Melikhov A. N., Berstein L. S., Korovin S. Ya. *Situacionnye sovetuyushchie sistemy s nechetkoj logikoj* [Situational advising systems with fuzzy logic]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 272 p.
6. Sidorkina I. G. *Sistemy iskusstvennogo intellekta* [Artificial intelligence systems]. Moscow, KNORUS Publ., 2015. 248 p.
7. Averkin A. N., Batyrshin I. Z., Blishun A. F., Silov V. B., Tarasov V. B. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]; ed. by D. A. Pospelova. Moscow, Nauka Publ., 1986. 312 p.
8. Aliev R. A., Abdikeyev N. M., Shakhnazarov M. M. *Proizvodstvennye sistemy s iskusstvennym intellektom* [Production systems with artificial intelligence]. Moscow, Radio and Communications Publ., 1990. 262 p.

9. Altunin A. E., Semukhin M. V. *Modeli i algoritmy prinyatiya reshenij v nechetkih usloviyah* [Models and algorithms of decision-making in fuzzy conditions]. Tyumen, Tyumen State University Publishing House, 2000. 352 p.
10. Beshelev C. D., Gurvich F. G. *Matematiko-statisticheskie metody ekspertnyh ocenok* [Mathematical and statistical methods of expert assessments]. Moscow, Statistics Publ., 1980. 263 p.
11. Dunin V. O., Egorov V. A. Problemy sozdaniya intellektual'nyh sredstv poiska, analiza i obrabotki biomedicinskoj informacii [Problems of creating intelligent means of searching, analyzing and processing biomedical information]. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*, 2012, no. 4-1(22), p. 24.
12. Borisov A. N., Alekseev A. V., Krumberg O. A., eds. *Modeli prinyatiya reshenij na osnove lingvisticheskoy peremennoj* [Decision-making models based on a linguistic variable]. Riga, Zinatne Publ., 1982. 256 p.
13. Dolzhenko E. N., Pylkin A. N., Kroshilin A. V., Zhuleva S. Yu. Podderzhka prinyatiya reshenij na osnove nechetkoj logiki v sistemah medicinskogo naznacheniya [Decision support based on fuzzy logic in medical systems]. *Biomedicinskaya radioelektronika = Biomedical Radioelectronics*, 2015, no. 7, pp. 62–68.
14. Zadeh L. A. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenij [The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976. 165 p.
15. Leonenko A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BVH – Petersburg Publ., 2005. 736 p.
16. Voronina E. I., Muravey L. A., Kostikov Yu. A. Matematiko-statisticheskie modeli prognozirovaniya effektivnosti operativnogo lecheniya nekotorykh zabolevanij [Mathematical and statistical models for predicting the effectiveness of surgical treatment of certain diseases]. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*, 2013, no. 1(24), p. 64.
17. Gelrud Ya. D. Optimizaciya razvitiya holdingovoj struktury s ispol'zovaniem nechetkoj logiki [Optimization of the development of the holding structure using fuzzy logic]. *Upravlenie proektami i programmami = Project and Program Management*, 2007, no. 3, pp. 182–190.
18. Dushkin R. V. *Metody polucheniya, predstavleniya i obrabotki znaniy s NE-faktorami* [Methods of obtaining, presenting and processing knowledge with NON-factors]. Moscow, National Research University "MEI" Publ., 2011. 115 p.
19. Telnov Yu. F., eds. *Inzhiniring informacionnyh i delovyh processov. Sbornik nauchnykh trudov* [Engineering of information and business processes. Collection of scientific works]. Moscow, Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics Publ., 1998. 137 p.

20. Popov E. V., Fomin I. B., Kisel E. B., Shapot M. D. Statische i dinamicheskie ekspertnye sistemy [Static and dynamic expert systems]. Moscow, Finance and Statistics Publ., 1996. 318 p.

21. Rossiev D. A. Nejrosetevye samoobuchayushchiesya ekspertnye sistemy v medicine [Neural network self-learning expert systems in medicine]. Molodye uchenye – prakticheskomu zdavooohraneniyu [Young scientists – practical healthcare]. Krasnoyarsk, 1994, p. 17.

Информация об авторах / Information about the Authors

Нестерович Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и цифровых технологий, Московский государственный университет технологий и управлений им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Российская Федерация, e-mail: s.nesterovich@mgutm.ru

Sergey A. Nesterovich, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Moscow, Russian Federation, e-mail: s.nesterovich@mgutm.ru

Брежнева Александра Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры информатики, Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: brezhneva.an@rea.ru, ORCID: 0000-0001-5226-329X

Aleksandra N. Brezhneva, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Informatics, Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russian Federation, e-mail: brezhneva.an@rea.ru, ORCID: 0000-0001-5226-329X

Зырянова Светлана Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и цифровых технологий, Московского государственного университета технологий и управлений им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Российская Федерация, e-mail: s.zyryanova@mgutm.ru

Svetlana A. Zyryanova, Cand. of Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems and Digital Technologies, K. G. Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Moscow, Russian Federation, e-mail: s.zyryanova@mgutm.ru