

Вестник кибернетики

Proceedings in Cybernetics

№ 3 (35)

12+

2019

**БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА – ЮГРЫ
«СУРГУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Вестник кибернетики

Proceedings in Cybernetics

№ 3 (35)

Сургут
2019

Учредитель и издатель

Бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
«Сургутский государственный университет»

Главный редактор

Острейковский Владислав Алексеевич, д. т. н., профессор

Заместитель главного редактора

Тараканов Дмитрий Викторович, к. т. н., доцент

Ответственный секретарь

Брагинский Михаил Яковлевич, к. т. н., доцент

Члены редакционной коллегии:

Советов Б. Я., академик РАН и РАО, д. т. н., профессор
Юсупов Р. М., член-корреспондент РАН, д. т. н., профессор
Абрамов О. В., д. т. н., профессор
Анохин А. Н., д. т. н., профессор
Антонов А. В., д. т. н., профессор
Бурханов Р. А., д. филос. н., профессор
Гетман А.Ф., д. т. н., профессор
Григорьев Л. И., д. т. н., профессор
Древс Ю. Г., д. т. н., профессор
Каштанов В. А., д. ф.-м. н., профессор
Керимов Т. Х., д. филос. н., профессор
Леонов Д. Г., д. т. н., профессор
Малышев Д. С., д. ф.-м. н., профессор
Мельников А. В., д. т. н., профессор
Увайсов С. У., д. т. н., профессор
Цибульский В. Р., д. т. н., профессор
Юрков Н. К., д. т. н., профессор
Микшина В. С., к. т. н.

Выпускающий редактор

Аширова А. В.

Редактор

Азнагулова М. Г.

Верстка

Мельниковой Е. А.

Переводчик

Бенская М. О.

Рисунок на обложке:

Визуализация магнитогидродинамических расчетов для точного решения внутри сферы
© Галкин В. А., Гореликов А. В.

Решением Высшей аттестационной комиссии с 29 мая 2017 года журнал включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» по следующим группам научных специальностей: 05.13.01 – системный анализ, управление и обработка информации, 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации

ЭЛ № ФС 77–63407 от 16.10.2015

Издается с 2002 года. Выпускается 4 раза в год

Адрес редакции:

БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
628412, Россия, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, г. Сургут, пр. Ленина, 1
Тел.: (3462) 76-29-88, факс: (3462) 76-29-29, e-mail: proceed.cyber@mail.ru. Сайт: jc.surgu.ru

Founder and Publisher
Surgut State University

Chief Editor

Prof. Vladislav A. Ostreikovskiy, Doctor of Science (Engineering)

Vice Chief Editor

Dmitry V. Tarakanov, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor

Executive Editor

Mikhail Ya. Braginsky, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor

Editorial Board:

Prof. Sovetov B. Ya., Doctor of Science (Engineering), member of the Russian Academy of Sciences (RAS), the Russian Academy of Education (RAE)

Prof. Yusupov R. M., Doctor of Science (Engineering), member of the Russian Academy of Sciences (RAS)

Prof. Abramov O. V., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Anokhin A. N., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Antonov A. V., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Burkhanov R. A., Doctor of Science (Philosophy)

Prof. Getman A. F., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Grigoryev L. I., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Drevs Yu. G., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Kashtanov V. A., Doctor of Science (Phys&Math)

Prof. Kerimov T. Kh., Doctor of Science (Philosophy)

Prof. Leonov D. G., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Malyshev D. S., Doctor of Science (Phys&Math)

Prof. Melnikov A. V., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Uvaisov S. U., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Tsibulsky V. R., Doctor of Science (Engineering)

Prof. Yurkov N. K., Doctor of Science (Engineering)

Mikshina V. S., Candidate of Science (Engineering)

Publishing Editor

Ashirova A. V.

Editor

Aznagulova M. G.

Layout

Melnikova E. A.

Translator

Benskaya M. O.

Cover Image:

A visualization of magnetohydrodynamic analysis used to find an exact solution within a sphere

© Galkin V. A., Gorelikov A. B.

Since 29.05.2017 the journal is included in the List of Leading Peer-Reviewed Scientific Journals

Published in the RF by the Higher Attestation Commission,

which publishes main scientific results of doctor's and candidate's theses, on the following subject groups: 05.13.01 – System Analysis, Data Management and Processing; 05.13.18 – Mathematical Modeling, Calculus and Program Complexes; 05.27.01 – Solid-State Electronics, Radio Electronics, Micro and Nano Electronics, Quantum Instruments

The journal is registered with the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media. Mass media registration certificate EL No. FS 77–63407 dated on 16.10.2015

Published since 2002. 4 issues per year

Editorial Board Address:

Surgut State University, Russia 628412, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Ugra, Surgut, Lenin pr., 1

Tel.: +7(3462) 76-2988, fax: +7 (3462) 76-2929, e-mail: proceed.cyber@mail.ru. Web: jc.surgu.ru

© Surgut State University

© Author

СОДЕРЖАНИЕ

Аветисян М. Г., Шапошникова И. В. Об одном бесконечномерном интеграле	6
Энгель Е. А., Энгель Н. Е. Система слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети	14
Запевалова Л. Ю., Запевалов А. В., Тараканов Д. В. Компьютерная обработка изображений в задаче идентификации состояния биологиче- ских культур	26
Гуз И. Д., Острейковский В. А. Анализ эксплуатационной надежности оборудования систем хранения данных	35
Алексейчик Т. В., Халитов Е. А., Стрюков М. Б. Построение комплексной оценки системы здравоохранения региона с помощью нечет- кого моделирования	43
Багаутдинов К. Ш. Методы интеграции информационных систем на основе универсального анализатора онлайн-информации	52

CONTENTS

Avetisyan M. G., Shaposhnikova I. V.	
One Infinite-Dimensional Integral	6
Engel E. A., Engel N. E.	
Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking System Based on Modified Fuzzy Neural Network	14
Zapevalova L. Yu., Zapevalov A. V., Tarakanov D. V.	
Computer Images Processing in State Identification of Biological Cultures	26
Guz I. D., Ostreikovsky V. A.	
Operational Reliability Analysis of Hardware of Data Storage Systems	35
Alekseychik T. V., Khalitov E. A., Stryukov M. B.	
Comprehensive Assessment Construction of Health System of Region Using Fuzzy Modeling	43
Bagautdinov K. Sh.	
Integration Methods of Information Systems Based on Universal Analyzer of Online Information	52

УДК 517.518.122
DOI 10.34822/1999-7604-2019-3-6-13

ОБ ОДНОМ БЕСКОНЕЧНОМЕРНОМ ИНТЕГРАЛЕ

М. Г. Аветисян, И. В. Шапошникова
Сургутский государственный университет,
avetisjan56@gmail.com, i-v-sh@mail.ru

В статье представлена математическая модель одного из типов задач теории переноса лучистой энергии. Математическое определение основных понятий этой теории дает сумма интегралов, где размерность интеграла стремится к бесконечности. Доказывается корректность такой постановки. При доказательстве теоремы предложен метод решения бесконечномерного интеграла.

Ключевые слова: теория переноса излучений, вероятностные пространства, бесконечномерные интегралы, N -мерная мера Лебега, борелевская σ -алгебра, распределение вероятностей на N -мерном пространстве, плотность распределения вероятностей.

ONE INFINITE-DIMENSIONAL INTEGRAL

M. G. Avetisyan, I. V. Shaposhnikova
Surgut State University,
avetisjan56@gmail.com, i-v-sh@mail.ru

The article presents a mathematical model of one of the types of problems in the radiative energy transfer theory. The mathematical definition of basic concepts gives a sum of integrals where the dimension of integral tends to infinity. The correctness of such a statement is proved. In proving the theorem, a method for solving the infinite-dimensional integral is proposed.

Keywords: radiative transfer theory, probability space, infinite-dimensional lie integrals, N -dimensional Lebesgue measure, Borel σ -algebra, probability distribution on the N -dimensional space, the density of probability distribution.

Введение. Теория переноса лучистой энергии представляет собой важнейший раздел теоретической астрофизики и используется при описании переноса излучений в физических процессах, происходящих в небесных телах. С проблемами переноса излучений можно встретиться и в геофизике, при изучении земной атмосферы и водных бассейнов. В теории переноса излучений используются такие понятия как: вероятность выхода кванта из среды, вероятность отражения кванта от среды [1–3]. В последнее время рассматриваются задачи, где параметры среды являются случайными величинами, поэтому возникает необходимость в более точном и математически обоснованном изложении основных понятий этой теории. Математическое определение этих понятий дает сумма интегралов, где размерность интеграла стремится к бесконечности [5–8].

Цель исследования. В пункте 1 представлена математическая модель одного из типов задач рассматриваемой теории, а в пункте 2 доказывается корректность такой постановки.

Пункт 1. Пусть

$$X_N^j = [0, \infty)^N, j = 1, 2, \quad (1)$$

где $[0, \infty)^N$ – это N -мерное декартово произведение пространств $[0, \infty)$.

Обозначим через

$$X^j = \bigcup_{N \geq 0} X_N^j, j = 1, 2. \quad (2)$$

Тогда

$$X = X^1 \times X^2 \quad (3)$$

декартово произведение пространств X^1 и X^2 .

Из представления (1) следует, что в каждом пространстве $X_N^j, j=1,2, N \geq 0$ определена N -мерная мера Лебега $\mu_N(d\bar{x})$ на борелевской σ -алгебре \mathfrak{R}_N . Из выражений (2) и (3) следует, что на пространствах $X^j, j = 1,2$ и X можно ввести соответствующие меры $\mu(d\bar{x})$ и $m(d\bar{x})$ на σ -алгебре $\mathfrak{R}^j = \bigcup_{n \geq 0} \mathfrak{R}_N^j$ и $\mathfrak{R} = \mathfrak{R}^1 \cup \mathfrak{R}^2$.

Каждой траектории $\bar{x} \in X$ сопоставим некоторое вещественное число $h(\bar{x})$, где $h(\bar{x})$ – длина траектории \bar{x} , которая вычисляется по формуле:

$$h(\bar{x}) = \begin{cases} h^1(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N |x_i - x_{i-1}| + x_N, & \text{при } \bar{x} \in X^1 \\ h^2(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N |x_i - x_{i-1}|, & \text{при } \bar{x} \in X^2 \\ 0, & \text{при } N(\bar{x}) = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где $N = N(\bar{x})$, $x_0 = 0$, а $x_i \in [0, \infty), i = 1, 2, \dots, N$ – состояния точки в траектории $\bar{x} \in X$. Функция $h(\bar{x})$, определенная на пространстве X , измерима относительно σ -алгебры \mathfrak{R} .

Введем распределение вероятностей на пространстве (X, \mathfrak{R}) , плотность которого относительно меры $m(d\bar{x})$ задается формулой:

$$p_{\lambda,q}(\bar{x}) = \begin{cases} q^{N(\bar{x})} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})} e^{-h^1(\bar{x})}, & \text{при } \bar{x} \in X^1 \\ q^{N^-(\bar{x})-1} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})}, & \text{при } \bar{x} \in X^2, \\ 0, & \text{при } N(\bar{x}) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

где $\lambda, q \in (0, 1)$, а $N^-(\bar{x}), \bar{x} \in X$ – число отрицательных разностей $(x_{i+1} - x_i)$, $N^-(\bar{x}) \in (0, N)$.

Покажем корректность такого введения распределения вероятностей на измеримом пространстве (X, \mathfrak{R}) .

Пункт 2. Докажем теорему: при $\forall \lambda, q \in (0, 1)$:

$$\int_X p_{\lambda,q}(\bar{x}) m(d\bar{x}) = 1.$$

Доказательство.

Материал и методы исследования. По определению

$$\int_X p_{\lambda,q}(\bar{x}) m(d\bar{x}) = \int_{X^1} q^{N(\bar{x})} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})} e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{X^2} q^{N^-(\bar{x})-1} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) = \\
 & = \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) + \\
 & + \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).
 \end{aligned}$$

Представим первую сумму в формуле (6) в виде последовательных сумм:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = \int_0^\infty q^1 (1-q)^0 \lambda^1 e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \\
 & + \left(\int_0^\infty \int_0^\infty q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \int_0^\infty \int_0^\infty q^2 (1-q)^0 \lambda^2 e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) \right) + \\
 & + \left(\int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty q^1 (1-q)^2 \lambda^3 e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty q^2 (1-q)^1 \lambda^3 e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \right. \\
 & \left. + \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty q^3 (1-q)^0 \lambda^3 e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) \right) + \sum_{N \geq 4} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Так как подынтегральные функции интегрируемы по Риману и, учитывая формулу (4), заменим интегралы Лебега в равенстве (7) на соответствующие определенные интегралы:

$$\begin{aligned}
 & \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = \left(\int_0^\infty q^1 (1-q)^0 \lambda^1 e^{-2x_1} dx_1 \right) + \\
 & + \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+x_2)} dx_1 dx_2 + \int_0^\infty \int_0^{x_1} q^2 (1-q)^0 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+x_2)} dx_1 dx_2 \right) + \\
 & + \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q^1 (1-q)^2 \lambda^3 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|+x_3)} dx_1 dx_2 dx_3 + \right. \\
 & + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^2 (1-q)^1 \lambda^3 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|+x_3)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
 & \left. + \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} q^3 (1-q)^0 \lambda^3 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_2-x_3|+x_3)} dx_1 dx_2 dx_3 \right) + \\
 & + \sum_{N \geq 4} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).
 \end{aligned} \tag{8}$$

Выражения в скобках обозначим $S_1(N)$ – суммы N -мерных ($N = 1, 2, 3$) интегралов первого вида. Тогда первую сумму в формуле (6) можно коротко записать в виде:

$$\sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = S_1(1) + S_1(2) + S_1(3) +$$

$$+ \sum_{N \geq 4} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).$$

Аналогично вторую сумму в формуле (6) представим в виде разности, затем в виде последовательных сумм, а затем заменим интегралами Лебега, которые, в свою очередь, представим через определенные интегралы в виде:

$$\begin{aligned} & \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = \\ & \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) - \\ & - \lambda \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = \\ & = \left(\int_0^\infty q^0 (1-q)^0 \lambda^0 e^{-x_1} dx_1 \right) - \lambda \left(\int_0^\infty q^0 (1-q)^0 \lambda^0 e^{-x_1} dx_1 \right) + \\ & + \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty q^0 (1-q)^1 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_2-x_1|)} dx_1 dx_2 + \int_0^{x_1} \int_0^\infty q^1 (1-q)^0 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_1-x_2|)} dx_1 dx_2 \right) - \\ & - \lambda \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty q^0 (1-q)^1 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_2-x_1|)} dx_1 dx_2 + \int_0^{x_1} \int_0^\infty q^1 (1-q)^0 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_1-x_2|)} dx_1 dx_2 \right) + \\ & + \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q^0 (1-q)^2 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \right. \\ & + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\ & + \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q^0 (1-q)^2 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \right. \\ & + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\ & + \int_0^{x_1} \int_0^\infty \int_0^{x_2} q^2 (1-q)^0 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\ & + \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} \int_0^\infty q (1-q) \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\ & - \lambda \left(\int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q^0 (1-q)^2 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \right. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
& + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
& + \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} q^2 (1-q)^0 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
& + \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_{x_2}^\infty q (1-q) \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
& + \sum_{N \geq 4} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).
\end{aligned}$$

Двойные интегралы из (9), входящие в формулу со знаком «+», интегрируем по переменной x_2 , а тройные, входящие в формулу (9) со знаком «+», – по последнему параметру x_3 .

Тогда формула (9) примет вид:

$$\begin{aligned}
& \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = (1-\lambda) + \lambda \int_0^\infty e^{-x_1} dx_1 - \lambda \int_0^\infty q e^{-2x_1} dx_1 - \\
& - \lambda \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty q^0 (1-q)^1 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_2-x_1|)} dx_1 dx_2 - \lambda \int_0^\infty \int_0^{x_1} q^1 (1-q)^0 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_1-x_2|)} dx_1 dx_2 + \\
& + (1-q) \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|)} dx_1 dx_2 - (1-q) \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \lambda^2 q e^{-(x_1+|x_2-x_1|+x_2)} dx_1 dx_2 + \\
& + \int_0^\infty \int_0^{x_1} \lambda^2 q e^{-(x_1+|x_1-x_2|)} dx_1 dx_2 - \int_0^\infty \int_0^{x_1} \lambda^2 q^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+x_2)} dx_1 dx_2 - \\
& - \lambda \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q^0 (1-q)^2 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\
& - \lambda \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\
& - \lambda \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} q^2 (1-q)^0 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\
& - \lambda \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_{x_2}^\infty q (1-q) \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
& + \sum_{N \geq 4} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).
\end{aligned} \tag{10}$$

Теперь формулы (8) и (10) подставим в (6):

$$\int_X p_{\lambda,q}(\bar{x}) m(d\bar{x}) = \int_{X^1} q^{N^-(\bar{x})} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})} e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 & + \int_{X^2} q^{N^-(\bar{x})-1} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) = \int_0^\infty q \lambda e^{-2x_1} dx_1 + \\
 & + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty q(1-q) \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+x_2)} dx_1 dx_2 + \int_0^\infty \int_0^{x_1} q^2 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+x_2)} dx_1 dx_2 + \\
 & + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q(1-q)^2 \lambda^3 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|+x_3)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
 & + \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^2 (1-q) \lambda^3 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|+x_3)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
 & + \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} q^3 \lambda^3 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_2-x_3|+x_3)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
 & + (1-\lambda) + \lambda \int_0^\infty e^{-x_1} dx_1 - \lambda \int_0^\infty q e^{-2x_1} dx_1 - \lambda \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty q^0 (1-q)^1 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_2-x_1|)} dx_1 dx_2 - \\
 & - \lambda \int_0^\infty \int_0^{x_1} q^1 (1-q)^0 \lambda^1 e^{-(x_1+|x_1-x_2|)} dx_1 dx_2 + (1-q) \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|)} dx_1 dx_2 - \\
 & - (1-q) \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \lambda^2 q e^{-(x_1+|x_2-x_1|+x_2)} dx_1 dx_2 + \int_0^\infty \int_0^{x_1} \lambda^2 q e^{-(x_1+|x_1-x_2|)} dx_1 dx_2 - \\
 & - \int_0^\infty \int_0^{x_1} \lambda^2 q^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+x_2)} dx_1 dx_2 - \lambda \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_{x_2}^\infty q^0 (1-q)^2 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\
 & - \lambda \int_0^\infty \int_{x_1}^\infty \int_0^{x_2} q^1 (1-q)^1 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_2-x_1|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\
 & - \lambda \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_0^{x_2} q^2 (1-q)^0 \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_2-x_3|)} dx_1 dx_2 dx_3 - \\
 & - \lambda \int_0^\infty \int_0^{x_1} \int_0^\infty q(1-q) \lambda^2 e^{-(x_1+|x_1-x_2|+|x_3-x_2|)} dx_1 dx_2 dx_3 + \\
 & + \sum_{N \geq 4} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).
 \end{aligned}$$

Во втором слагаемом формулы (6) при $N = 1$ одномерный интеграл равен $(1 - \lambda)$. Тогда (6) можно переписать в виде:

$$\begin{aligned}
 \int_X p_{\lambda, q}(\bar{x}) m(d\bar{x}) = & 1 - \lambda + \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \\
 & + \sum_{N \geq 0} \sum_{k=2}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) -
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$-\lambda \sum_{N \geq 0} \sum_{k=2}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}).$$

С учетом выражения (10) получаем, что

$$\begin{aligned} & \sum_{N \geq 0} \sum_{k=2}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = \\ & - \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) + \\ & + \lambda \int_0^\infty e^{-x_1} dx_1 + \lambda \sum_{N \geq 0} \sum_{k=2}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}). \end{aligned} \quad (13)$$

Если выражение (13) подставить в (12), то получим:

$$\begin{aligned} \int_X p_{\lambda,q}(\bar{x}) m(d\bar{x}) &= \int_{X^1} q^{N^-(\bar{x})} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})} e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) + \\ & + \int_{X^2} q^{N^-(\bar{x})-1} (1-q)^{N(\bar{x})-N^-(\bar{x})} \lambda^{N(\bar{x})-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) = \\ & = \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) + \\ & + \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) = \\ & = 1 - \lambda + \lambda + \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu(d\bar{x}) - \\ & - \sum_{N \geq 0} \sum_{k=1}^N \int_{X_N^1} q^k (1-q)^{N-k} \lambda^N e^{-h^1(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) + \\ & + \lambda \sum_{N \geq 0} \sum_{k=2}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}) - \\ & - \lambda \sum_{N \geq 0} \sum_{k=2}^N \int_{X_N^2} q^{k-1} (1-q)^{N-k} \lambda^{N-1} (1-\lambda) e^{-h^2(\bar{x})} \mu_N(d\bar{x}). \end{aligned}$$

Вывод. Из вышесказанного следует, что $\int_X p_{\lambda,q}(\bar{x}) m(d\bar{x}) = 1$. Справедливость данного

утверждения подтверждает корректность предложенной модели распределения вероятностей на измеримом пространстве (X, \mathfrak{R}) .

Литература

1. Соболев В. В. Курс теоретической астрофизики. М. : Наука, 1985. 503 с.
2. Амбарцумян В. А. Научные труды. Ереван : Изд-во АН Арм. ССР, 1960. Т. 1. 360 с.
3. Channdrusekhar S. R. Trunser. Oxford, 1950. 393 p.
4. Халмош П. Теория меры. М. : Изд-во иностр. лит-ры, 1953. 291 с.
5. Avetisian M. G. A Mathematical Model for One Transfer Problem // Integral Eg. Math. Phys. 1992. Vol. 1, No. 1. P. 146–151.
6. Аветисян М. Г. Диффузное отражение света // Вестник кибернетики. 2017. № 3 (27). С. 113–118.
7. Ширяев А. Н. Вероятность. М. : Книга по требованию, 2013. 580 с.
8. Иванов В. В. Перенос излучения и спектры небесных тел. М. : Наука, 1969. 472 с.

УДК 004.896

DOI 10.34822/1999-7604-2019-3-14-25

СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ ЗА ТОЧКОЙ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МАССИВА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОСЕТИ

Е. А. Энгель, Н. Е. Энгель

*Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова, г. Абакан,
ekaterina.en@gmail.com, nikita.en@gmail.com*

Рассматривается задача слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива. Разработана система слежения на основе модифицированной нечеткой нейросети. В сравнении с существующими нечеткими нейросетями модифицированная нечеткая нейросеть содержит рекуррентные нейросети, одна из которых аппроксимирует многомерные функции принадлежности модифицированной нечеткой нейросети на основе экспериментальных данных. Для создания оптимальной архитектуры модифицированной нечеткой нейросети разработан модифицированный многомерный алгоритм роя частиц, инициализирующий начальное положение лучшей частицы роя и ее размерности методом Нгуена – Видроу и сочетающий этапы глобальной оптимизации многомерными частицами роя с этапами градиентного спуска алгоритмом Левенберга – Марквардта. Разработанная система слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети в условиях случайных возмущений апробирована в ходе экспериментального моделирования в среде Octave. Результаты экспериментального моделирования демонстрируют робастность и эффективность системы слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети в сравнении со стандартными моделями управления с ПИД-контроллером на основе алгоритма возмущения и наблюдения, возрастающей проводимости.

Ключевые слова: нечеткая нейросеть, рекуррентная нейросеть, система управления, слежение за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива.

PHOTOVOLTAIC ARRAY MAXIMUM POWER POINT TRACKING SYSTEM BASED ON MODIFIED FUZZY NEURAL NETWORK

E. A. Engel, N. E. Engel

*Katanov Khakass State University, Abakan,
ekaterina.en@gmail.com, nikita.en@gmail.com*

The article considers the task of maximum power point tracking of a photovoltaic array. A photovoltaic array maximum power point tracking system based on a modified fuzzy neural network is developed. Compared to existing fuzzy neural networks a modified fuzzy neural network includes recurrent neural networks, one of which approximates multidimensional membership functions based on experimental data. In order to create an optimal architecture of a modified fuzzy neural network, we developed a modified multi-dimensional particle swarm algorithm. The algorithm generates an initial particle position based on the Nguyen–Widrow method and combines the stages of global optimization based on a multi-dimensional particle swarm optimization with the stages of gradient descent based on the Levenberg–Marquardt algorithm. The validity and advantages of the proposed photovoltaic array maximum power point tracking system based on a modified fuzzy neural network under random perturbations by numerical simulations in Octave are demonstrated. The simulation results show that the proposed tracking system achieves competitive performance and robustness, as compared to a classical control model with a PID controller based on perturbation and observation, or incremental conductance algorithm.

Keywords: fuzzy neural network, recurrent neural network, control system, maximum power point tracking, photovoltaic array.

Введение. Создание системы слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива в условиях воздействия различных внешних и внутренних факторов неопределенности на основе разработанной модифицированной нечеткой нейросети актуально, так как предлагаемое решение обеспечит энергоэффективность, относящуюся к числу приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ. В соответствии с «Энергетической стратегией на период до 2035 года» [1] приоритетом государственной энергетической политики является создание интеллектуальных энергетических систем, включая фотоэлектрические системы.

Один из основных способов создания интеллектуальных энергетических систем – масштабное внедрение современных интеллектуальных методов. Актуальность и важность проведенного исследования по данной проблеме обусловлена утвержденными правительственной комиссией по высоким технологиям и инновациям несколькими технологическими платформами, среди которых «Интеллектуальная электроэнергетическая система России» и «Малая распределенная энергетика», а также Федеральным законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [2]. Актуальность данного исследования также обусловлена появлением класса автономных фотоэлектрических систем, для которых традиционные технологии автоматического управления оказываются непригодными или крайне неэффективными [3].

Главная особенность фотоэлектрических комплексов – стохастические характеристики первичного источника энергии, имеющие выраженный максимум коэффициента полезного действия (далее – КПД), зависящий от интенсивности солнечного света, окружающей температуры. Таким образом, необходима и актуальна разработка эффективной системы слежения за точкой максимальной мощности (МРРТ). Известно несколько поисковых и не поисковых алгоритмов реализации МРРТ. Для разработки регулятора точки максимальной мощности существует ряд алгоритмов МРРТ [4]:

- алгоритм возмущения и наблюдения (РО);
- возрастающей проводимости (IC);
- короткого замыкания;
- напряжения холостого хода;
- постоянного напряжения;

Наибольшее распространение при практической реализации фотоэлектрических систем получили первый и второй алгоритмы ввиду простоты управляющих структур и реализации. Однако алгоритм возмущения и наблюдения имеет следующие недостатки, снижающие эффективность МРРТ:

1. Невозможность точного определения момента достижения регулятором точки максимальной мощности.
2. Снижение уровня освещенности сглаживает вольтамперную характеристику, что усложняет определение точки максимальной мощности вследствие малых изменений в мощности по сравнению с изменением напряжения.
3. В ситуациях непрерывного повышения солнечного излучения генерируемый алгоритмом управляющий сигнал движется в сторону, противоположную точке максимальной мощности, вследствие чего вырабатываемая мощность фотоэлектрической системы ниже максимальной.

Для фотоэлектрических систем с низким уровнем точности слежения за точкой максимальной мощности применяются последние три алгоритма, требующие меньшего количества датчиков и обеспечивающие недорогую реализацию.

Для решения задачи слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива широко применяются без соответствующей адаптации к решаемой задаче стандартные интеллектуальные методы на основе нечеткой логики, нейронных сетей, алгоритма роя частиц [4]. В настоящее время в развитии интеллектуальных систем автоматического управления имеется тенденция синергии методов искусственного интеллекта в целостный метод, поскольку это обеспечивает повышение эффективности интеллектуальных систем автоматического управления [3]. Анализ современного состояния интеллектуальных систем слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива показал [4], что адаптация к решаемой задаче и синергия методов искусственного интеллекта в целостный алгоритм слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива обеспечивают повышение эффективности слежения за точкой максимальной мощности и снижение вычислительных затрат, поэтому целесообразна разработка системы слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети. В отличие от существующих методов нелинейного управления модифицированная нечеткая нейросеть аппроксимирует закона управления, а не нелинейности системы.

В сравнении с существующими нечеткими нейросетями, такими как адаптивная сеть на основе системы нечеткого вывода (ANFIS) [5], модифицированная нечеткая нейросеть имеет следующие отличительные особенности:

1. Форма многомерной функции принадлежности априорно не задается.
2. Многомерные функции принадлежности аппроксимируются на основе экспериментальных данных нейросетью.
3. Настроенные с учетом режимов фотоэлектрической системы рекуррентные нейросети формируют агентов мультиагентной системы автоматического управления фотоэлектрическим массивом.
4. Агенты взаимодействуют друг с другом на основе алгоритма нечетко-возможностной свертки.
5. Модифицированная нечеткая нейросеть использует более широкую линейку разнообразных нейросетевых и нечетких элементов, пополненную новыми: элементом нечетко-возможностной свертки, двойственным и дважды двойственным нейросетевым элементами.

Целесообразно использовать в нейросетевом слое модифицированной нечеткой нейросети рекуррентные нейросети, поскольку они интегрируют информацию о временных рядах, генерируют робастные выходные сигналы в условиях возмущений и недостатка экспериментальных данных, в то время как стандартные алгоритмы обучения с подкреплением испытывают затруднения [6]. Разработанный алгоритм структурно-параметрического синтеза модифицированной нечеткой нейросети сочетает этапы глобальной (реализуемой многомерным алгоритмом роя частиц [7]) и локальной (реализуемой алгоритмом Левенберга – Марквардта [8]) оптимизаций. Формирование нейросетевой топологии (задаваемой количеством нейронов и слоев) – серьезная математическая проблема, основанная на использовании свойств аппроксимируемой функции, решается в данном исследовании разработанным модифицированным многомерным алгоритмом роя частиц, инициализирующим на начальном этапе положения частиц роя (синаптические карты рекуррентных нейросетей) методом инициализации весов Нгуена – Видроу [9].

Описание метода модифицированной нечеткой нейросети для решения задачи слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива

Модифицированная нечеткая нейросеть F включает рекуррентные нейросети g_{jq} и обучается на наборе экспериментальных данных вида:

$$s_k = (X_k = (V_k, I_k, \Delta I_k / \Delta V_k), u_k), \quad (1)$$

где V_k – текущее напряжение фотоэлектрического массива;

I_k – текущая сила тока фотоэлектрического массива;

ΔI_k – текущее приращение силы тока фотоэлектрического массива;

ΔV_k – текущее приращение напряжения фотоэлектрического массива;

u_k – сигнал управления (опорное напряжение), $k \in \overline{1..T}$.

Параметры архитектуры модифицированной нечеткой нейросети $F(X_k, a)$ (количество нейронов в скрытом слое рекуррентных нейросетей – $n \in \overline{1..N}$ (N – предельное количество нейронов в скрытом слое рекуррентных нейросетей), их соответствующие веса и отклонения) были закодированы как частица a . Количество временных задержек в данном исследовании равно 1. Агенты $g_{jq}(X_k, a_{jq})$ модифицированной нечеткой нейросети $F(X_k, a)$ сформированы как рекуррентные нейросети вида $g_{jq}(X_k, a_{jq})$, $q = \overline{1..3}$.

Структурно-параметрический синтез модифицированной нечеткой нейросети для решения задачи слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива основан на модификации многомерного алгоритма роя частиц, описываемой далее.

Модифицированный многомерный алгоритм роя частиц, основанный на многомерном алгоритме роя частиц [7], на каждой итерации пересчитывает положение лучшей частицы роя на основе алгоритма Левенберга – Марквардта [8], а также использует принцип элитизма.

Мы описываем модифицированный многомерный алгоритм роя частиц на i -й итерации, используя следующие обозначения:

$xd_a(i)$ – текущая размерность частицы a ;

$U(\min, \max)$ – генератор случайной величины, равномерно распределенной на интервале $[\min, \max]$;

w – адаптивный вес инерции [7];

$P_d(i)$ – количество частиц размерности d ;

$xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i)$ – j -й компонент положения частицы a размерности $xd_a(i)$;

$vx_{a,j}^{xd_a(i)}(i)$ – j -й компонент скорости частицы a размерности $xd_a(i)$;

$vd_a(i)$ – скорость изменения размерности частицы a ;

$xy_{a,j}^{xd_a(i)}(i)$ – j -й компонент положения ($pbest$) лучшей частицы итерации a размерности $xd_a(i)$;

$gbest(d)$ – индекс глобально лучшей частицы размерности d ;

$dbest$ – глобально лучшая размерность роя;

$x\bar{y}_j^d(i)$ – j -й компонент глобально лучшего положения роя размерности d ;

$x\tilde{d}_a(i)$ – лучшая размерность итерации для частицы a .

Фитнесс-функция модифицированного многомерного алгоритма роя частиц вычисляется следующим образом:

$$f(a) = 100 \times (1/T) \sum_{k=1}^T \left(1 - P(F(X_k, xx)) / P_{\max}(X_k) \right), \quad (2)$$

где $P_{\max}(X_k)$ – максимальная мощность фотоэлектрического массива для состояния X_k ;

$P(F(X_k, xx))$ – мощность фотоэлектрического массива для состояния x_k и управляющего сигнала, генерируемого модифицированной нечеткой нейросетью $F(X_k, xx)$, $k \in \overline{1..T}$.

Модифицированный многомерный алгоритм роя частиц. Параметры алгоритма: S – количество частиц роя; $IterNo$ – предельное число выполняемых итераций; ε_c – допустимая ошибка управления; β – параметр обновления скорости обучения μ для локальной оптимизации алгоритмом Левенберга – Марквардта; $[X_{\min}, X_{\max}]$ – вектор, задающий минимальное и максимальное значения каждого компонента положения частицы (в данном исследова-

нии $X_{\min} = -1$, $X_{\max} = 1$); диапазон размерности модифицированного многомерного алгоритма роя частиц $dl \in [D_{\min} = 5 \times q, D_{\max} = q \times (4 \times N + 1)]$, $q = \overline{1..3}$.

Шаг 1. For $\forall a \in 1, S$, do. Случайным образом генерируем векторы $xd_a(1), vd_a(1)$.

Генерируем $x\bar{d}_a(0)$ на основе данных (1) согласно правилу Видроу [9].

For $\forall d \in [D_{\min}, D_{\max}]$ do генерируем векторы $xx_a^d(1), xv_a^d(1)$ методом инициализации весов Нгуена – Видроу [9] на основе данных (1).

Инициализируем $xy_a^d(0) = xx_a^d(1), x\bar{y}_a^d(0) = xx_a^d(1)$.

End For.

End For.

Шаг 2. For $\forall i \in \{1, IterNo\}$ Do:

For $\forall a \in \{1, S\}$ Do:

If $\left(f\left(xx_a^{xd_a(i)}(i) \right) \right) < f\left(xy_a^{xd_a(i)}(i-1) \right)$ then do $xy_a^{xd_a(i)}(i) = xx_a^{xd_a(i)}(i)$,

If $f\left(xx_a^{xd_a(i)}(i) \right) > f\left(xy_a^{x\bar{d}_a(i-1)}(i-1) \right)$ then $x\bar{d}_a(i) = x\bar{d}_a(i-1)$ Else $x\bar{d}_a(i) = xd_a(i)$ end If

Else $xy_a^{xd_a(i)}(i) = xy_a^{xd_a(i)}(i-1)$ end If.

If $\left(f\left(xx_a^{xd_a(i)}(i) \right) \right) < \min\left(f\left(x\bar{y}^{xd_a(i)}(i-1) \right), \min_{1 \leq p < a} \left(f\left(xx_p^{xd_a(i)}(i) \right) \right) \right)$ then do

$gbest(xd_a(i)) = a$, на i -той итерации частица с индексом $gbest(xd_a(i)) = a$ объявляется элитной, If $\left(f\left(xx_a^{xd_a(i)}(i) \right) \right) < f\left(x\bar{y}^{dbest}(i-1) \right)$ then $dbest = xd_a(i)$ end If.

For $\forall j \in [1, d]$, где $d \in [D_{\min}, D_{\max}] - \{xd_a(i)\}$

For $\forall a \in \{1, S\}$ Do $xy_{a,j}^d(i) = xy_{a,j}^d(i-1), x\bar{y}_j^d(i) = x\bar{y}_j^d(i-1)$ End For. End For.

End For.

$\mu = vd_a(i)$.

Шаг 3. Вычисляется $E = f\left(xx_{gbest(xd_a(i))}^{xd_a(i)} \right)$ согласно выражению (2).

Шаг 4. While $(I < IterNo)$ OR $(E > \varepsilon_c)$.

Для вычисления приращения весов ΔW_I решается следующее уравнение $\Delta W_I = [J_I^T J_I + \mu \times X]^{-1} J_I^T E$, где J_I – матрица Якоби.

Шаг 5. Обновляются веса $W_I = W_I + \Delta W_I$. Таким образом, формируется новое положение $xx_{gbest(xd_a(i))}^{xd_a(i)}$ для частицы. Вычисляется ее фитнес-функция $E' = f(xx_{gbest(xd_a(i))}^{xd_a(i)})$ согласно выражению (2).

Шаг 6. If $E' < E$ then $W_I = W_I + \Delta W_I$; $\mu = \mu\beta$; $E' = E$; Go to шаг 3 else $\mu = \mu/\beta$; go to шаг 5 end If.

Шаг 7. For $\forall a \in 1, S$ Do:

For $\forall j \in \{1, xd_a(i)\}$ Do:

Вычислить:

$$vx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) = w(i)vx_{a,j}^{xd_a(i)}(i) + c_1 r_{1,j}(i) \left(xy_{a,j}^{xd_a(i)}(i) - xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i) \right) + c_2 r_{2,j}(i) \left(x\bar{y}_j^{xd_a(i)}(i) - xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i) \right),$$

где $r_{1,j}(i) = U(0,1)$;

$r_{2,j}(i) = U(0,1)$;

$c_1 = 1.49$;

$c_2 = 2$.

If $vx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) \in [V_{\min}, V_{\max}]$ then $xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) = xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i) + vx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1)$ else $xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) = xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i) + U(V_{\min}, V_{\max})$ end If.

If $xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) \in [X_{\min}, X_{\max}]$ then $xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) = xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1)$ else $xx_{a,j}^{xd_a(i)}(i+1) = U(X_{\min}, X_{\max})$ end If.

End For.

$$vd_a(i+1) = vd_a(i) + c_1 r_1(i) (\widetilde{xd_a}(i) - xd_a(i)) + c_2 r_2(i) (dbest - xd_a(i)).$$

If $vd_a(i+1) < v_{\min}$ then $z = v_{\min}$ end If. If $vd_a(i+1) > v_{\max}$ then $z = v_{\max}$ end If.

If $v_{\min} \leq vd_a(i+1) \leq v_{\max}$ then $xd_a(i+1) = xd_a(i) + vd_a(i+1)$

else $xd_a(i+1) = xd_a(i) + z$ end If. $[v_{\min}, v_{\max}]$ – диапазон скорости для размерности.

If $(xd_a(i+1) < D_{\min})$ or $(xd_a(i+1) > D_{\max})$ or $(P_{xd_a(i)}(i) \geq \max(15, xd_a(i+1)))$ then $xd_a(i+1) = xd_a(i)$ Else $xd_a(i+1) = xd_a(i+1)$ end If. End For. End For.

Модифицированный многомерный алгоритм роя частиц формирует оптимальную архитектуру $x\bar{y}^{dbest}$ модифицированной нечеткой нейросети $F(X_k, x\bar{y}^{dbest})$ и составляющие ее рекуррентные нейросети $g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest})$.

Алгоритм взаимодействия агентов модифицированной нечеткой нейросети основан на нечетко-возможностном алгоритме [10] и включает четыре шага:

Шаг 1: Для каждого агента $agent_q$ в субкультуре S_j do $g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest}) \rightarrow \text{GetResponse}(agent_q; X_k)$, $v_q \rightarrow \text{TakeAction}(g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest}))$: оценивается ошибка $E(g_q)$ согласно выражению (2). Вычисляется $v_q = 1 - E/100$. end For.

$$w = [g_{j1}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest}), \dots, g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest})].$$

Шаг 2. Решается уравнение $[\prod_{i=1}^q (1 + \lambda w_i) - 1]/\lambda = 1, -1 < \lambda < \infty$.

Шаг 3. Вычисляется $s = \int h \circ W_\lambda = \sup_{\alpha \in [0,1]} \min\{\alpha, W_\lambda(F_\alpha(v_j))\}$, где $F_{\alpha}(v_j) = \{F_{\alpha} | F_{\alpha} > \alpha\}$, $v_j \in V$, $W_\lambda(F_{\alpha}(v_j)) = [\prod_{i=1}^q (F_{\alpha}(v_j) \in F_{\alpha}(v_j))^{k(1 + \lambda w_i) - 1}]/\lambda$.

Шаг 4. Вычисляется $F = Fes(g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest})) = \max_{v_j \in V} s(w_j)$.

Нечетко-возможностный алгоритм позволяет эффективно формировать сигнал управления, учитывая на основе нечеткой меры и нечеткого интеграла Сугено реакцию всех агентов $g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest})$.

Алгоритм формирования модифицированной нечеткой нейросети включает четыре шага:

Шаг 1. Все примеры вида (1) были разделены на три группы согласно режиму работы фотоэлектрического массива: A_1 – переходный режим ($C_t = -1$); A_2 – режим умеренных возмущений ($C_t = 0$); A_3 – режим резких возмущений ($C_t = 1$). Указанная классификация сформировала вектор с элементами C_t .

Шаг 2. Обучена двухслойная рекуррентная нейросеть $c(s_t)$ (количество скрытых нейронов и временных задержек равно 3 и 2 соответственно). Векторы s_t (вида (1)) и C_t являются для нейросети входными и выходными сигналами соответственно.

Нечеткие множества A_j (A_1 – переходный режим; A_2 – режим умеренных возмущений; A_3 – режим резких возмущений) с соответствующими функциями принадлежности $\mu_j(s)$ сформированы на основе рекуррентной нейронной сети $c(s_t)$, где $j = \overline{1,3}$.

Шаг 3. На основе оптимизационного алгоритма o (If $o = 1$ then оптимизационный алгоритм – многомерный алгоритм роя частиц; If $o = 2$ then оптимизационный алгоритм – алгоритм Левенберга – Марквардта; If $o = 3$ then оптимизационный алгоритм – разработанный

модифицированный многомерный алгоритм роя частиц) модифицированная нечеткая нейросеть $F(X_k, a)$, включающая рекуррентные нейросети a_{jq} , обучается на наборе экспериментальных данных вида (1), $j = \overline{1..3}, q = \overline{1..3}, k = \overline{1..T}$.

Шаг 4. Составляются модифицированные нечеткие продукционные правила на основе обученной модифицированной нечеткой нейросети $F(X_k, x\bar{y}^{dbest})$ и составляющих ее рекуррентных нейросетей $g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest})$:

$$P_j: \text{IF } S_k \text{ is } A_j \text{ THEN } u_j = Fes\left(g_{jq}\left(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest}\right)\right). \quad (3)$$

Алгоритм функционирования модифицированной нечеткой нейросети включает два шага:

Шаг 1: Агрегация antecedentes модифицированных нечетких продукционных правил (3) активирует j -е рабочее правило, соответствующее на среднем уровне интеллекта j -му режиму фотоэлектрической системы и инициирующее агентов j -й субкультуры S_j , $j = \overline{1..3}$.

Шаг 2: Модифицированная нечеткая нейросеть $F(X_k, x\bar{y}^{dbest})$ формирует управляющий сигнал $u_j = Fes\left(g_{jq}\left(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest}\right)\right)$, соответствующий j -му режиму фотоэлектрической системы как результат нечетко-возможностного взаимодействия агентов $g_{jq}(X_k, x\bar{y}_{jq}^{dbest})$.

Результаты моделирования системы слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети

Для решения задачи слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе данных вида (1) ($k = \overline{1..T}, T = 1000000$) алгоритмом формирования модифицированной нечеткой нейросети $F(X_k, a)$ сгенерирована система автоматического управления фотоэлектрическим массивом на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети $F(X_k, x\bar{y}^{d(n)})$, заданной модифицированными нечеткими продукционными правилами (3) (в данном исследовании $j = \overline{1..3}, q = \overline{1..3}$).

С целью получения статистических результатов выполнено 100 прогонов оптимизационных алгоритмов o (If $o = 1$ then оптимизационный алгоритм – многомерный алгоритм роя частиц; If $o = 2$ then оптимизационный алгоритм – алгоритм Левенберга – Марквардта; If $o = 3$ then оптимизационный алгоритм – разработанный модифицированный многомерный алгоритм роя частиц), по результатам которых были сформированы и отобраны лучшие архитектуры модифицированной нечеткой нейросети $x\bar{y}^{d(n)}$, обозначенные далее MFNN o размерности $d(n)$.

Многомерный алгоритм роя частиц и разработанный модифицированный многомерный алгоритм роя частиц имеют следующие параметры: $S = 100$ (используем 100 частиц роя); $IterNo = 1000$ (предельное число выполняемых итераций – 1000); $N = 15$, размерность $d(n) = q \times (4 \times n + 1), d \in [D_{\min} = 15, D_{\max} = 183]$.

Разработанный модифицированный многомерный алгоритм роя частиц посредством процедуры инициализации на начальной итерации положения частиц роя методом инициализации весов Нгуена – Видроу и лучшей размерности роя на основе правила Видроу существенно ускоряет процесс сходимости на начальных итерациях в сравнении с многомерным алгоритмом роя частиц (рис. 1 показывает, что в данном экспериментальном исследовании лишь на 59-й итерации (в среднем) многомерный алгоритм роя частиц достигает эффективности решения начальной итерации разработанного модифицированного многомерного алгоритма роя частиц). Разработанный модифицированный многомерный алгоритм роя частиц

посредством градиентного спуска лучшей частицы роя на основе алгоритма Левенберга – Марквардта существенно ускоряет процесс сходимости на заключительных итерациях в сравнении с многомерным алгоритмом роя частиц. Рисунок 1 показывает, что в данном экспериментальном исследовании после обнаружения области глобального минимума разработанному многомерному алгоритму роя частиц для нахождения глобального минимума требуется в среднем в четыре раза меньше итераций, чем многомерному алгоритму роя частиц.

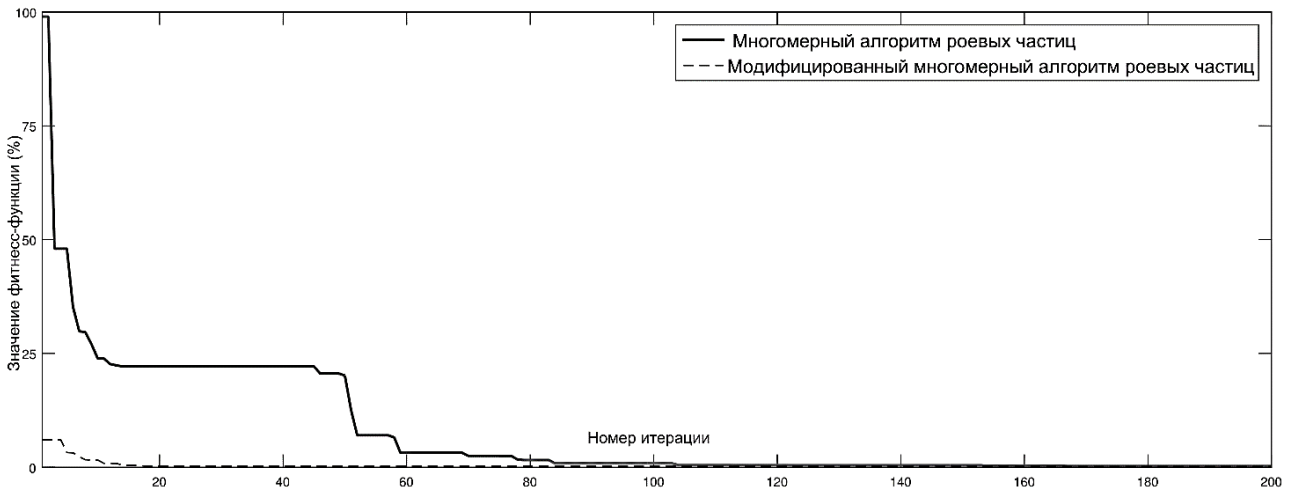


Рис. 1. График сходимости модифицированного многомерного алгоритма роя частиц и многомерного алгоритма роя частиц

Лучшие значения фитнес-функции (2) для модифицированных нечетких нейросетей MFNN1, MFNN2 и MFNN3 равны 1.1, 7 и 1 соответственно. Таким образом, далее рассматривается MFNN3. Таблица, содержащая значения вектора $f(\bar{x}\bar{y}^{d(n)})$, показывает, что только один набор архитектуры модифицированной нечеткой нейросети – MFNN3 размерности $d(7) = 87$ обеспечивает значение фитнес-функции (2) не более одного процента отклонения от максимальной мощности в среднем. Указанная архитектура модифицированной нечеткой нейросети MFNN3, как и MFNN1, MFNN2, включает три рекуррентные двухслойные нейросети с семью скрытыми нейронами (количество временных задержек – 1).

Таблица

Значения фитнес-функции для модифицированной нечеткой нейросети с архитектурой $\bar{x}\bar{y}^{d(n)}$

Значение $d(n)$	15	27	39	51	63	75	87	99	111	123	135	149	159	171	183
$f(\bar{x}\bar{y}^{d(n)})$	19	16	11	9	6	3	1	2	3	5	6	7	9	11	13

В данном сравнительном экспериментальном исследовании эффективность предлагаемых моделей слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети MFNN3 сравнивается со стандартными моделями с ПИД-контроллером (на основе алгоритма РО или IC) при тех же условиях:

1. Моделирование в среде Octave указанных систем слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива проведено по четырем сценариям изменения солнечного излучения (рис. 2).

2. С начального момента времени моделирования $t = 0$ с до 0,4 с график демонстрирует плавное изменение солнечного излучения вследствие медленного перемещения тени, отбрасываемой препятствием.

3. График с момента времени моделирования $t = 0,5$ с до 1 с демонстрирует плавное и устойчивое снижение солнечного излучения вследствие плавного нарастания облачности.

4. С момента времени моделирования $t = 1,1$ с до 2,1 с солнечное излучение плавно изменяется до точных целевых значений.

5. С момента времени моделирования $t = 2,1$ с до 2,5 с график демонстрирует очень быстрое изменение солнечного излучения вследствие тени, отбрасываемой быстродвигающимся препятствием (например, птицей).

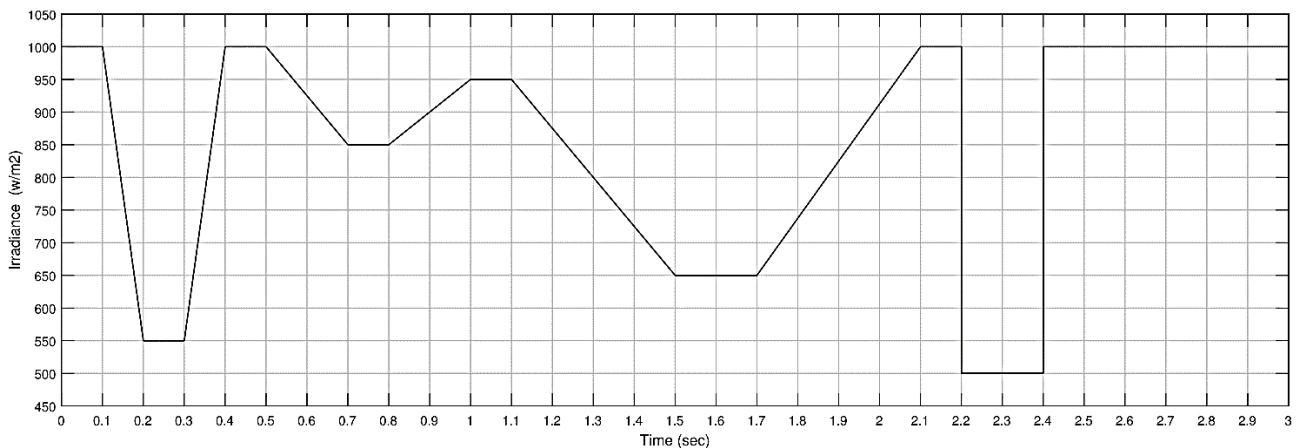


Рис. 2. График солнечного излучения

Рисунки 3–5 отражают результаты моделирования разработанной системы слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети MFNN3 в сравнении со стандартными моделями с ПИД-контроллером (на основе алгоритма РО или IC) при тех же условиях.

Рисунок 3 иллюстрирует в ситуациях непрерывного повышения солнечного излучения недостаток алгоритма РО, заключающийся в движении генерируемого алгоритмом управляющего сигнала в сторону, противоположную точке максимальной мощности, вследствие чего вырабатываемая мощность фотоэлектрической системы ниже максимальной. В таких ситуациях (в данном исследовании в моменты времени моделирования $t \in T_n = [0,3 \text{ с}, 0,4 \text{ с}] \cup [0,8 \text{ с}, 1 \text{ с}] \cup [1,7 \text{ с}, 2,1 \text{ с}]$) предлагаемая модель слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной MFNN3 вырабатывает в среднем на 8,6 % больше энергии, чем стандартная модель, основанная на алгоритме возмущения и наблюдения ($100 \times [\sum_{t \in T_n} (P_{MFNN3}^t - P_{PO}^t) / P_{PO}^t] / \sum_{t \in T_n} 1 = 8,6$, где P_{MFNN3} – энергия, обеспечиваемая разработанной моделью слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной MFNN3; P_{PO} – энергия, обеспечиваемая стандартной моделью, основанной на алгоритме РО).

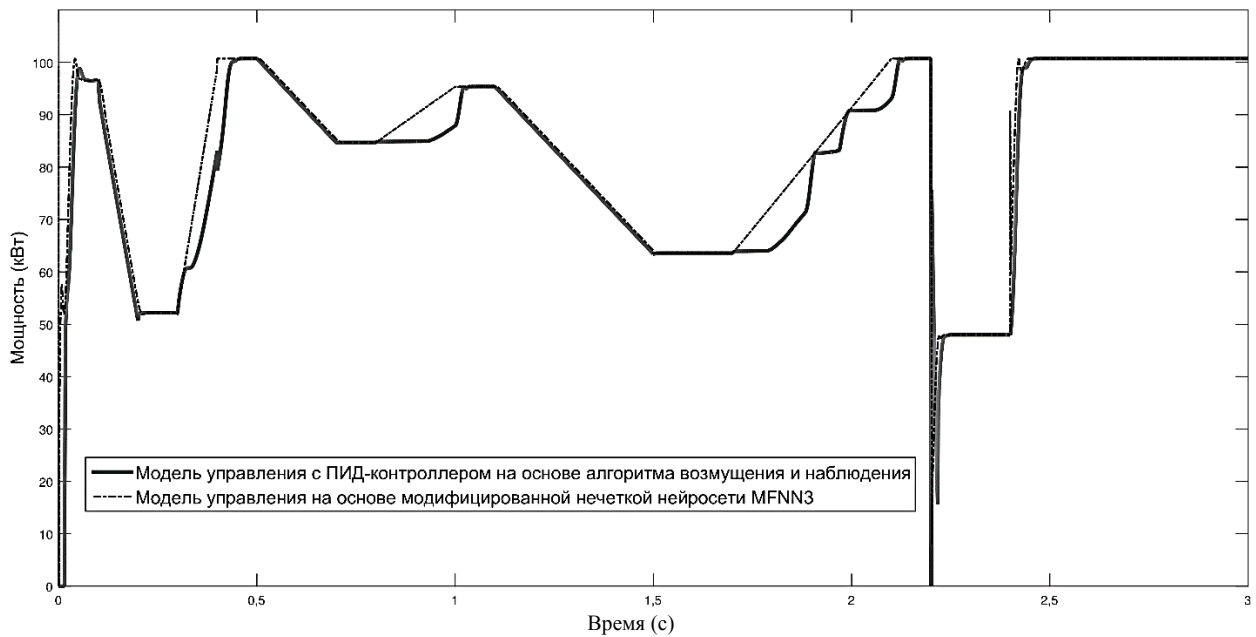


Рис. 3. Графики вырабатываемой мощности модели слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной MFNN3 и стандартной модели с ПИД-контроллером на основе алгоритма РО

Согласно рис. 5 время отклика системы управления фотоэлектрическим массивом на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети MFNN3 меньше, чем у стандартных моделей управления с ПИД-контроллером на основе алгоритма IC в первые 0,5 с.

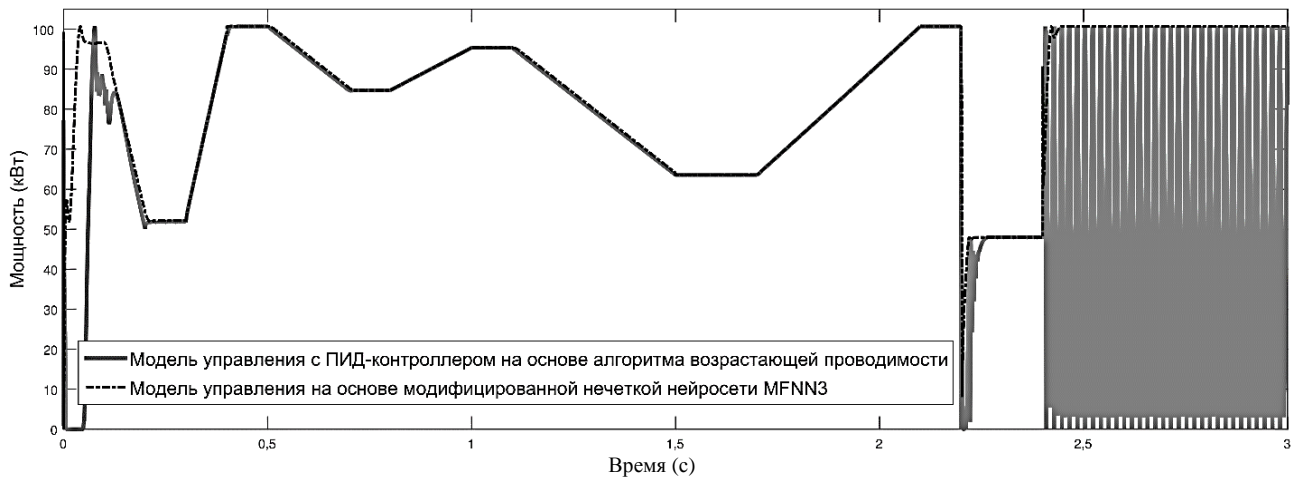


Рис. 4. Графики вырабатываемой мощности модели слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной MFNN3 и стандартной модели с ПИД-контроллером на основе алгоритма IC

В ходе четвертого сценария ПИД-контроллер на основе алгоритма IC генерирует чрезвычайно большие значения управляющего сигнала в результате внезапных колебаний солнечного излучения. В ходе четвертого сценария с момента времени моделирования $t = 2,2$ с до 3 с вырабатываемая управляющей моделью с ПИД-контроллером на основе алгоритма IC энергия фотоэлектрической системы падает до нуля, в то время как предложенная модель слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети MFNN3 обеспечивает максимальную мощность фотоэлектрического массива (рис. 2, 4, 5).

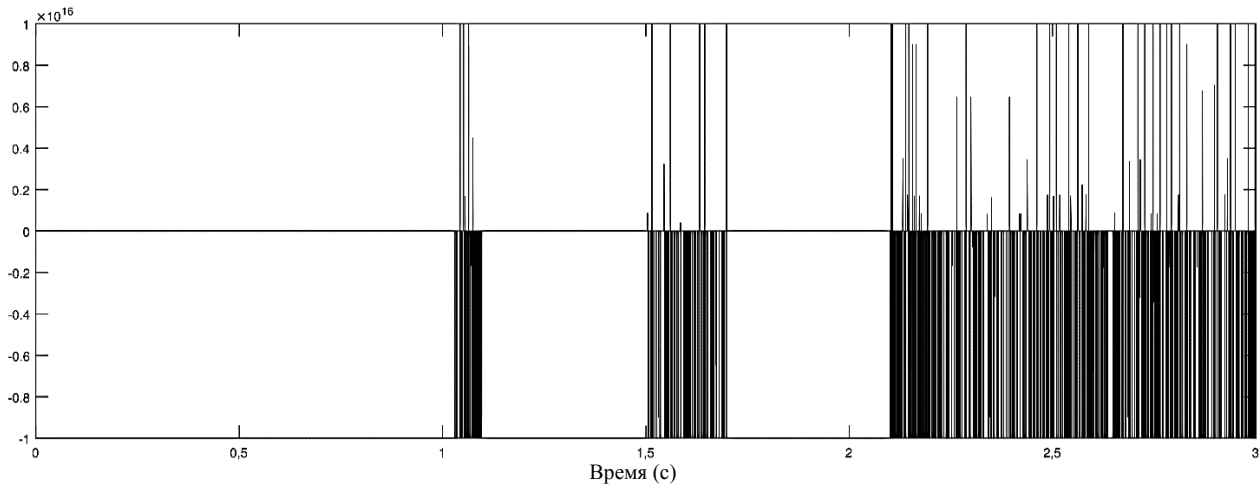


Рис. 5. График сигнала, вырабатываемого ПИД-контроллером на основе алгоритма IC

Модифицированная нечеткая нейросеть обеспечивает эффективное решение задачи слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива. В Octave проведено экспериментальное исследование моделей слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети MFNN3 в сравнении со стандартными моделями с ПИД-контроллером (на основе алгоритма РО или IC) при различных начальных условиях, различных сценариях возмущений и вариациях параметров фотоэлектрической системы и уровня солнечного излучения. Результаты показывают, что в сравнении со стандартной моделью с ПИД-контроллером на основе алгоритма РО или IC разработанная модель слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети робастна к воздействиям различных внешних и внутренних факторов неопределенности фотоэлектрической системы и обеспечивает эффективное отслеживание точки максимальной мощности. Разработанная модель управления фотоэлектрическим массивом на основе настроенной модифицированной нечеткой нейросети MFNN3 более надежна и обеспечивает большую мощность (рис. 3–4) по сравнению со стандартными моделями с ПИД-контроллером (на основе алгоритма РО или IC) при тех же условиях.

Заключение. Рассмотрена и решена задача слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива в условиях воздействия различных внешних и внутренних факторов неопределенности на основе разработанной модифицированной нечеткой нейросети.

Для структурно-параметрического синтеза модифицированной нечеткой нейросети, решающей задачу слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива, разработан и апробирован модифицированный многомерный алгоритм роя частиц, пересчитывающий на каждой итерации положение лучшей частицы роя на основе алгоритма Левенберга – Марквардта и использующий принцип элитизма при формировании положения частиц. В сравнении с существующим многомерным алгоритмом роя частиц разработанная модификация обеспечивает быструю сходимость к глобальному максимуму и снижение вычислительных затрат.

Разработана и апробирована при экспериментальном моделировании в среде Octave система слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети. Результаты сравнительного экспериментального моделирования демонстрируют эффективность и робастность модели слежения за точкой максимальной мощности фотоэлектрического массива на основе модифицированной нечеткой нейросети в сравнении со стандартной моделью с ПИД-контроллером на основе алгоритма возмущения и наблюдения или возрастающей проводимости в условиях воздействия различных внешних и внутренних факторов неопределенности фотоэлектрической системы.

В отличие от существующих методов нелинейного управления модифицированная нечеткая нейросеть аппроксимирует закон управления, а не нелинейности системы, что обеспечивает эффективность ее применения для широкого круга задач управления нелинейными системами.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Хакасия в рамках научного проекта № 19-48-190003.

Литература

1. Проект энергостратегии Российской Федерации на период до 2035 года : офиц. сайт Министерства энергетики Российской Федерации. 2019. URL: <https://minenergo.gov.ru> (дата обращения: 10.10.2019).
2. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ : принят Государственной Думой 11 ноября 2009 года.
3. Макаров И. М., Лохин В. М., Манько С. В., Романов М. П., Ситников М. С. Устойчивость интеллектуальных систем автоматического управления // Информационные технологии. 2013. № S2. С. 1–32.
4. Karami N., Moubayed N., Outbib R. General Review and Classification of Different MPPT Techniques // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. Vol. 68. P. 1–18.
5. Jang J.-S. R. ANFIS: Adaptive-network-based Fuzzy Inference System // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1993. Vol. 23, No. 3. P. 665–685.
6. Prokhorov D. V., Feldkamp L. A., Tyukin I. Y. Adaptive Behavior with Fixed Weights in RNNs: An Overview // Proceedings of the 2002 International Joint Conference on Neural Networks. 2002. Vol. 3. P. 2018–2022.
7. Kiranyaz S., Ince T., Yildirim A., Gabbouj M. Evolutionary Artificial Neural Networks by Multi-dimensional Particle Swarm Optimization // Neural Networks. 2009. Vol. 22, Is. 10. P. 1448–1462.
8. Levenberg K. A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares // Quarterly of Applied Mathematics. 1944. Vol. 2, No. 2. P. 164–168.
9. Nguyen D., Widrow B. Improving the Learning Speed of 2-layer Neural Networks by Choosing Initial Values of the Adaptive Weights // Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks. 1990. Vol. 3. P. 21–26.
10. Энгель Е. А. Метод построения эффективной системы обработки информации на основе нечетко-возможностного алгоритма // XV Всерос. науч.-технич. конференция «Нейроинформатика – 2013» : сб. науч. тр. В 3-х ч. 2013. М. : МИФИ, 2013. Ч. 3. С. 139–149.

УДК 004.93+581.2

DOI 10.34822/1999-7604-2019-3-26-34

КОМПЬЮТЕРНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ КУЛЬТУР

Л. Ю. Запеевалова, А. В. Запеевалов, Д. В. Тараканов

*Сургутский государственный университет,
larzap@list.ru, zapev@mail.ru, sprtdv@mail.ru*

В представленной работе рассматривается задача идентификации растений по визуальным признакам с использованием средств систем технического зрения. Задача решается в пространстве цветовых компонент модели RGB. Для повышения качества идентификации используются процедуры предварительной обработки изображения и морфологические операторы бинарного изображения. Результаты идентификации биологических объектов могут быть использованы в системах автоматического управления тепличным хозяйством.

Ключевые слова: распознавание зрительных образов, сегментация, фильтрация.

COMPUTER IMAGES PROCESSING IN STATE IDENTIFICATION OF BIOLOGICAL CULTURES

L. Yu. Zapevalova, A. V. Zapevalov, D. V. Tarakanov

*Surgut State University,
larzap@list.ru, zapev@mail.ru, sprtdv@mail.ru*

The article discusses the problem of plants identification based on visual signs with the use of a computer vision system. The problem is solved in the space of colour components of the RGB model. The procedures of image preprocessing and morphological operators for binary images are used to improve the quality of identification. The results of the identification of biological objects could be used in automatic greenhouse systems.

Keywords: visual recognition, segmentation, filtering.

Введение. Распознавание изображений является важным в современном мире научным направлением, имеющим большое прикладное значение в различных областях деятельности. Одной из возможных прикладных областей является применение в автоматизированных аграрных фермах. На этих фермах часто применяются компьютерные системы анализа состояний растений (анализа прироста зеленой массы растений, отслеживания состояния здоровья растений и др.), использующие различные алгоритмы анализа изображений.

Существует насущная потребность в новых технологиях, которые отслеживают и прогнозируют воздействие абиотических (например, свет, температура) и биотических (например, вредители, болезни) стрессов на рост и продуктивность растений в больших масштабах. В большинстве случаев болезни видны на листьях или стеблях растения. Следовательно, идентификация растений, листьев, стеблей и выявление болезней, процентной доли заболеваемости и симптомов поражения болезнями играют ключевую роль в успешном выращивании сельскохозяйственных культур [1].

Внешние признаки болезни растений проявляются в виде сплошного или частичного изменения окраски различных органов, местного отмирания ткани (пятнистости), деформации (курчавость листьев), опухолей и наростов, разрушения мякоти, образования налетов и т. д. Авторами работы предлагается использовать многоуровневую систему идентификации состояния растительных культур, основанную на выявлении визуальных признаков фитопатологий. Для решения задачи идентификации состояния растений предлагается использовать систему технического зрения [2–16].

Архитектура системы оценки состояния растений. Основные этапы идентификации состояния растений, блок-схема которой приведена на рис. 1, выполняются с использованием обработки изображений.

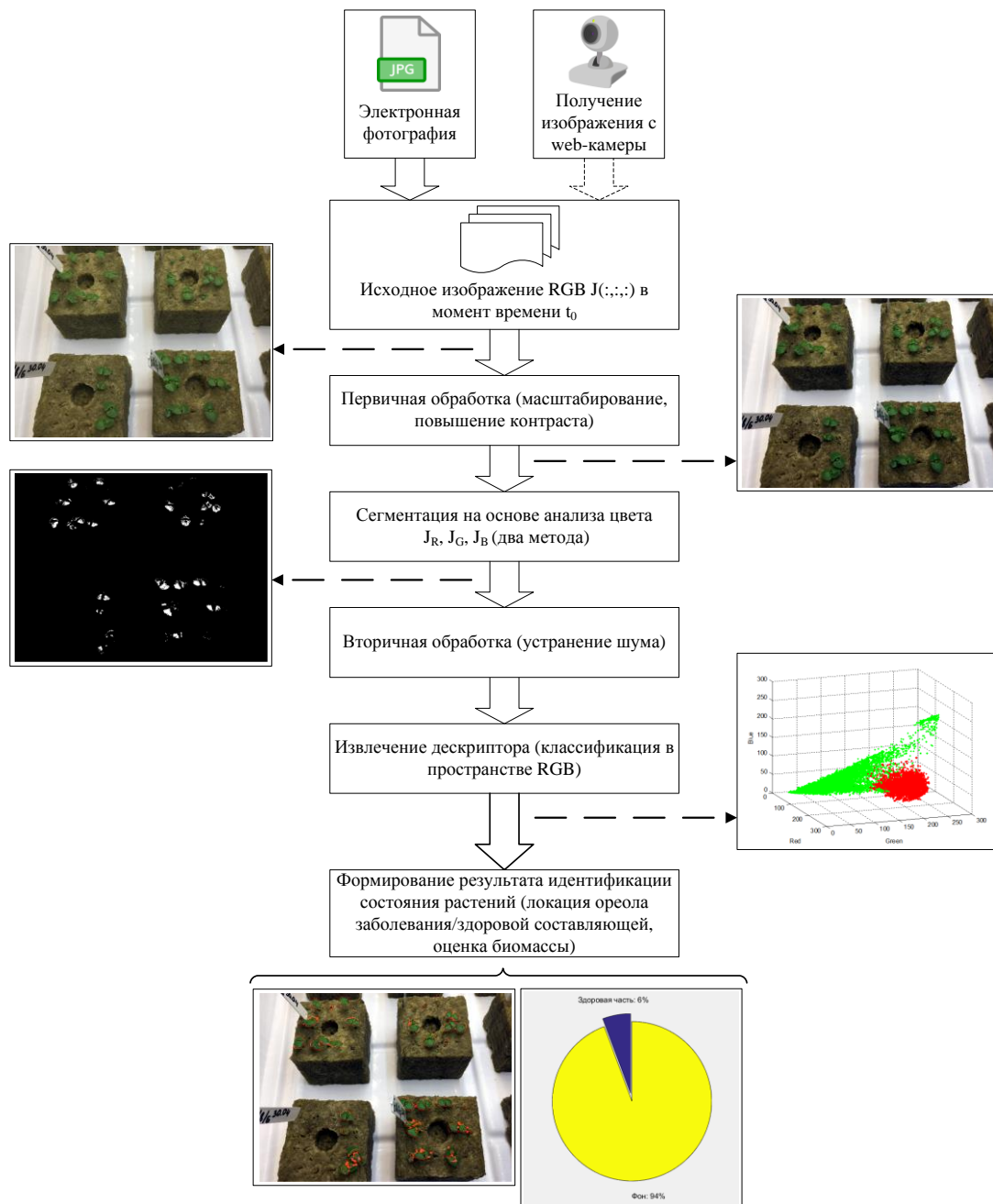


Рис. 1. Блок-схема идентификации состояния растений

Качество полученного изображения зависит как от параметров камеры, так и от внешних факторов (условия освещения, погодные условия, расстояние до интересующего биообъекта).

В данном исследовании цифровые изображения были получены с web-камеры «Logitech Webcam 250» в RGB-формате.

На этапе предварительной обработки изображения улучшается его качество (повышение контрастности, масштабирование, фильтрация) и повышается эффективность процедуры анализа состояния биологических объектов.

Искажения цифровых изображений могут иметь различную природу: перемещение объекта в процессе экспозиции или средства регистрации изображения, наличие взвеси в среде (в виде пыли, дыма, воды и проч.), расфокусировка. На рис. 2 представлена физическая схема регистрации изображения.

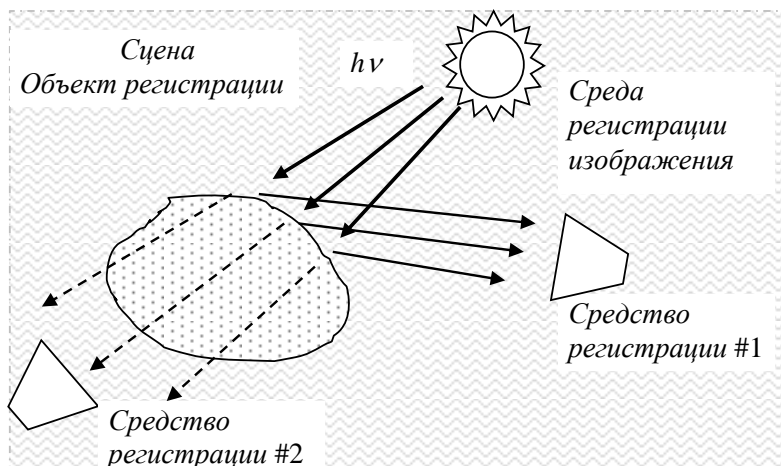


Рис. 2. Физическое представление регистрации изображения

Модель процесса искажения можно формализовать как действие оператора H , выполняющего процедуру искажения исходного изображения $f(x, y)$. Искаженное изображение в пространственной области определяется следующим выражением:

$$g(x, y) = H(x, y) \times f(x, y) + h(x, y). \quad (1)$$

При восстановлении изображения учитывается не только действие оператора H , но и аддитивный шум $h(x, y)$. Таким образом, задача восстановления изображения заключается в синтезе некоторого приближения $\tilde{f}(x, y)$ исходного изображения $f(x, y)$ по заданному искаженному изображению $g(x, y)$ (рис. 3).

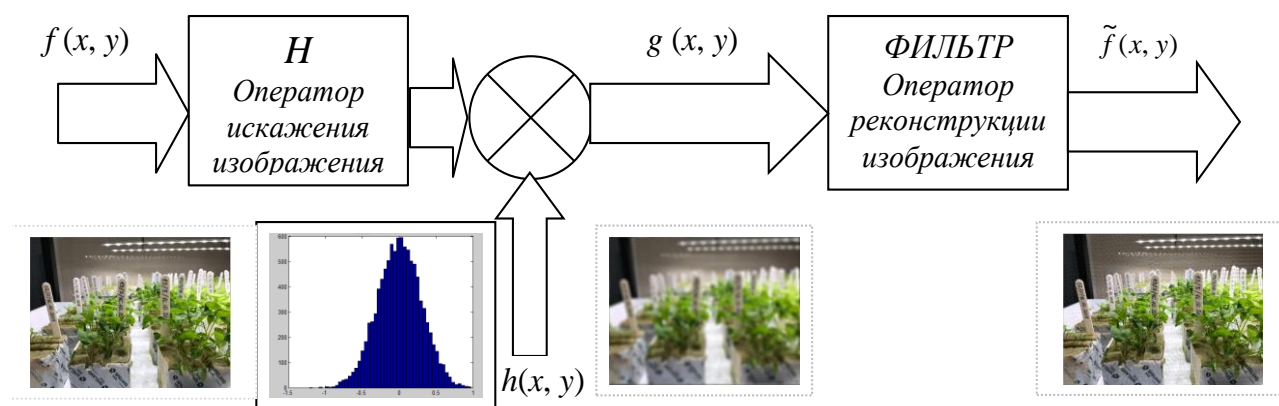


Рис. 3. Модель преобразования изображения (искажения/восстановления)

После предварительной обработки применяется сегментация изображения с целью выделения частей с одинаковыми свойствами (яркость, цвет, форма). Основная цель сегментации состоит в том, чтобы упростить и изменить представление изображения на что-то более понятное и простое для анализа. В зависимости от решаемой задачи определяется степень детализации.

В большинстве случаев алгоритмы сегментации монохромных изображений основаны на одном из двух базовых свойств яркости изображения, таких как однородность и разрывность. Первая группа методов осуществляет разбиение изображений на однородные области, которые определяются заранее заданными критериями. Во втором случае подход состоит в разделении изображения на части, исходя из резких перепадов значений яркости, которые происходят, например, на границах объектов.

Для идентификации состояния растений в данной работе применяются два метода сегментации цветных изображений.

Суть первого метода состоит в том, чтобы классифицировать все пиксели RGB-изображения для дальнейшего определения принадлежности выделенному «среднему» цветовому классу. На основе некоторой меры сходства цветов изображения можно выполнить такое сопоставление. Для этого используется метрика в евклидовом пространстве, так как она может разделять объекты по цвету, что приводит к получению трех изображений [4–6, 15, 16]. Пусть z – произвольная точка RGB-пространства. Допустим, что z схожа по цвету с точкой m , если евклидово расстояние между ними не превышает заданной пороговой величины D_0 , то оно вычисляется по следующей формуле:

$$D(z, m) = \|z - m\| = [(z - m)^T (z - m)]^{1/2} = [(z_R - m_R)^2 + (z_G - m_G)^2 + (z_B - m_B)^2]^{1/2},$$

где $\|\cdot\|$ является нормой аргумента, а нижние индексы R, G и B обозначают RGB компоненты векторов z и m . Геометрическое местоположение точек, для которых $D(z, m) \leq D_0$ является шаром радиуса D_0 , представлено на рис. 4. Исходя из определения, точки, лежащие внутри шара или на его сферической поверхности, удовлетворяют заданному цветовому критерию, а точки, лежащие вне этого шара и его граничной сферы – не удовлетворяют. Присвоив двум множествам изображения различные значения, например, 1 (белое) и 0 (черное), в результате такой сегментации получим двоичное изображение.

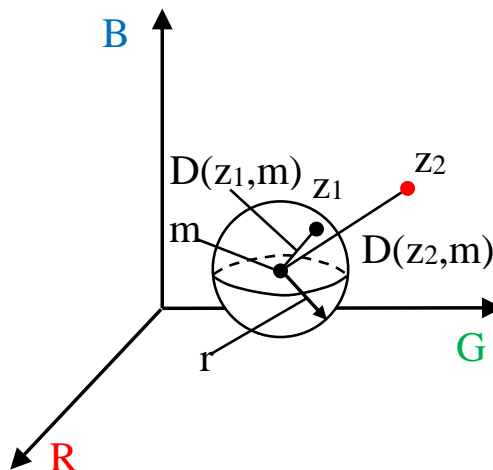


Рис. 4. Подход к окружению данных в векторном RGB-пространстве

Данный метод заключается в выборе пикселей с интересующим цветом для определения средних значений пикселей интенсивности и среднеквадратических отклонений каждой из цветовых компонент с помощью стандартных библиотечных функций MatLab.

Так как сегментация изображения – это процесс отделения полезной информации от фона на основе некоторых функций, то цвет будет являться одной из наиболее широко используемых визуальных функций для сегментации.

Для решения задачи идентификации состояния растения необходимо каждый пиксель цветовой составляющей сравнить со средним значением, и эта разница не должна превышать

значения рассчитанной ошибки. Пиксель, уровень оттенка которого меньше или превышает пороговое значение, будет назначен фону (0), в противном случае – переднему плану (1). Результирующее изображение называется двоичным изображением.

Результатом данных методов являются сгруппированные в области пиксели, имеющие общие характеристики: текстуру, цвет или интенсивность.

Сегментация изображения генерирует набор сегментов, определяя их местоположение. В зависимости от того, как расположены эти объекты – внутри области или вдоль границы, можно получить компактное представление данных для дальнейшего процесса идентификации состояния растений. Полученные данные необходимы для оценки интересующей области, например, площади здоровой или зараженной части растения.

Полученное изображение после сегментации подвергается фильтрации, чтобы избежать выделения посторонних объектов с идентичной интенсивностью пикселей. Некоторые сегментированные изображения могут содержать шум, например, зеленый фоновый материал, такой как мох (водоросли), и могут быть сегментированы с растением. Постобработка изображения имеет дело с такими исключительными случаями, позволяя определить необходимую область. Однако, чтобы точно устранить объекты со схожей интенсивностью пикселя, сегментации на основе анализа цвета не достаточно, необходимо учитывать и другие факторы, например, текстуру или форму объекта. Поэтому необходима процедура фильтрации бинарного изображения. Для этого воспользуемся морфологической процедурой эрозии [15–16]. Процедура эрозии устраняет шум, вызванный ошибкой сегментации. Эрозия – один из двух основных операторов в области математической морфологии. Данная операция над бинарным изображением заменяет граничные пиксели объекта на 0 (используется оператор поиска локального минимума). Результат эрозии схематично представлен на рис. 5, где шаблон центра, выделенный красным цветом, является ведущим элементом и соединяется с текущим пикселем при вычислении свертки, а серым цветом залиты пиксели, которые станут черными после морфологического преобразования.

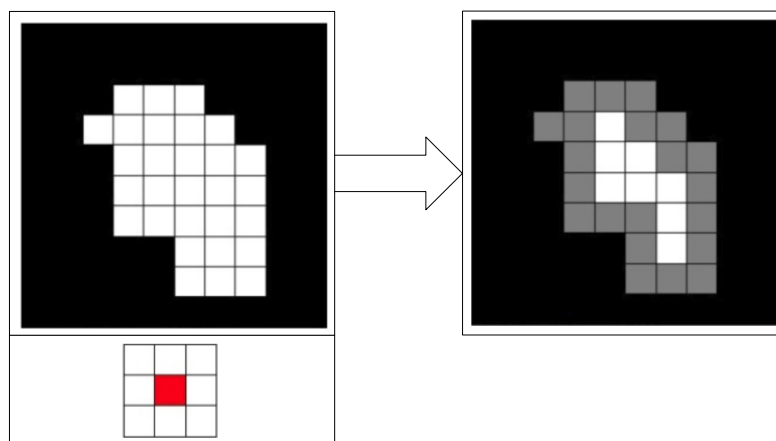


Рис. 5. Результат эрозии

После завершения этапа вторичной обработки, можно приступить к извлечению дескрипторов интересующей части изображения. Получив изображение после фильтрации необходимо выделить интересующий объект (здоровую составляющую растений либо больную часть, если таковая имеется). Метод выделения состоит из нескольких этапов:

1. Детектирование объектов (используется для построения границ обнаруженных объектов).
2. Заполнение промежутков (применяется для точного описания области интереса).
3. Дилатация объекта – один из двух основных операторов в области математической морфологии [15–16]. Данная операция над бинарным изображением заменяет граничащие

пиксели фона с объектом на 1 (используется оператор поиска локального максимума). Результат дилатации схематично представлен на рис. 6, где шаблон центра, выделенный красным цветом, является ведущим элементом и соединяется с текущим пикселем при вычислении свертки, а серым цветом залиты пиксели, которые станут белыми после морфологического преобразования. Данная операция применяется для увеличения границ областей пикселей переднего плана.

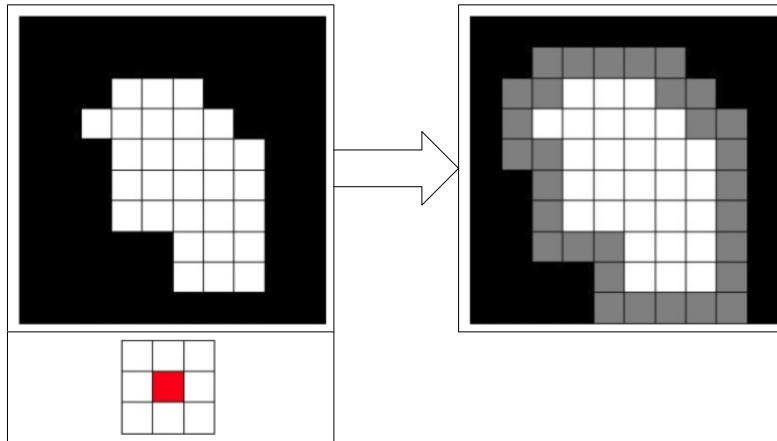


Рис. 6. Результат дилатации

4. Заполнение внутренних промежутков (используется для заливки области интереса).
5. Сглаживание объекта (применяется для того, чтобы обработка имела естественный вид).

В результате вышеперечисленной обработки получим изображение с выделенными контурами болезней листьев растений или здоровой составляющей в виде маркеров.

Для детектирования больных и здоровых растений используется пороговая сегментация в пространстве RGB (рис. 7).

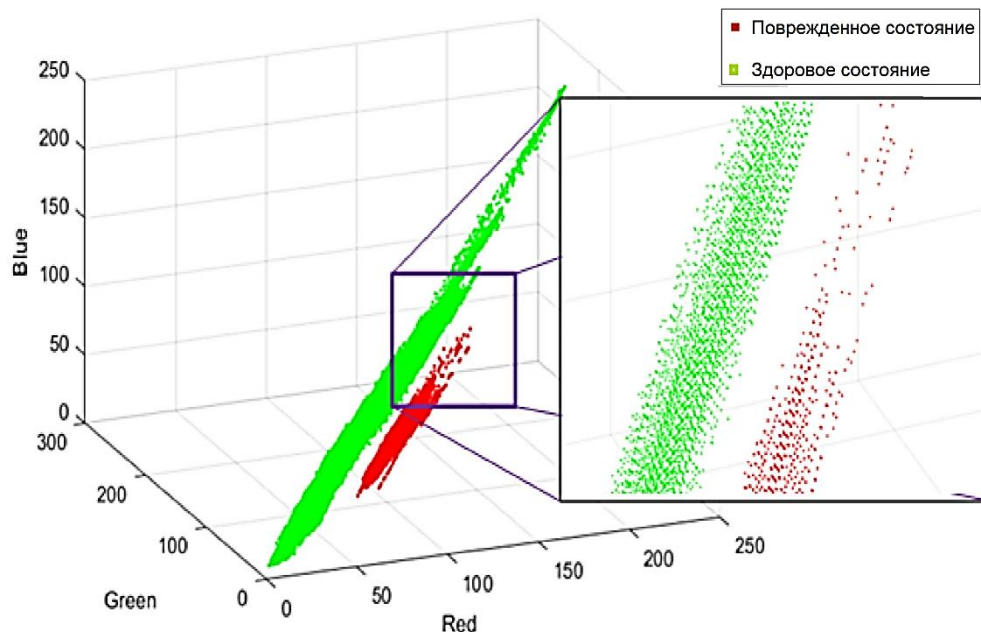


Рис. 7. Представление здорового и больного состояния растений в пространстве RGB

Результаты идентификации состояния растения. Процесс идентификации состояния растения по цветным фотографиям методами сегментации производится в среде моделирования MatLab R2015b.

Первое тестовое изображение представлено на рис. 8. Конечным результатом обработки изображения является выделение области интереса (растений) (рис. 9).



Рис. 8. Исходная фотография группы растений



Рис. 9. Результат детектирования растений

Второе тестовое изображение представлено на рис. 10. На данном изображении присутствует повреждение листьев. Результат детектирования больного фрагмента биообъекта представлен на рис. 11.



Рис. 10. Исходная фотография растения с повреждением листьев



Рис. 11. Результат детектирования заболевания растения

Заключение. Представленный метод детектирования состояния растений позволяет как формировать признаки здорового, так и фиксировать заболевания биологических культур. В качестве базовых дескрипторов использовались компоненты векторного пространства RGB. Результатом работы программы являются контуры растений, выделенные маркерами на цветных изображениях. Для проверки корректности работы программы было проведено тестирование, которое заключалось в использовании двух методов сегментации в векторном пространстве RGB. Второй метод показал меньшее количество ложных объектов. Для повышения помехоустойчивости в дальнейшем предлагается использовать текстуру и ряд дескрипторов, описывающих форму растений.

Литература

1. Руткин Н. М., Лагуткина Л. Ю., Лагуткин О. Ю. Урбанизированное агропроизводство (сити-фермерство) как перспективное направление развития мирового агропроизводства и способ повышения продовольственной безопасности // Вестн. АГТУ. Серия: Рыбное хозяйство. 2017. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 10.12.2018).
2. Albadarneh A. Automated Flower Species Detection and Recognition from Digital Images // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. 2017. Vol. 17, No. 4. P. 144–151.
3. Amanatidis D. Image Contour Segmentation in Hardware // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2015. No. 4. P. 66–71.
4. Ashwini R. Classification of Flower Images using Clustering Algorithms // IJCTA International Journal of Computer Technology and Applications. 2015. No. 8 (3). P. 1025–1032.
5. Elangovan K. Plant Disease Classification Using Image Segmentation and SVM Techniques // International Journal of Computational Intelligence Research. 2017. Vol. 13, No. 7. P. 1821–1828.
6. Hagara M., Kubinec P. About Edge Detection in Digital Images // Radioengineering. 2018. Vol. 27, No. 4. P. 919–929.
7. Jeon H. Y., Tian L. F., Zhul H. Robust Crop and Weed Segmentation under Uncontrolled Outdoor Illumination // Sensors (Basel). 2011. No. 11 (6). P. 6270–6283.
8. Mainkar P. M., Ghorpade S., Adawadkar M. Plant Leaf Disease Detection and Classification Using Image Processing Techniques // International Journal of Innovative and Emerging Research in Engineering. 2015. Vol. 2, No. 4. P. 139–144.
9. Masood R., Khan S. A., Khan M. N. A. Plants Disease Segmentation using Image Processing // I. J. Modern Education and Computer Science. 2016. No. 1. P. 24–32.
10. Myasnikov E. V. Hyperspectral Image Segmentation Using Dimensionality Reduction And Classical Segmentation Approaches // Computer Optics. 2017. No. 41 (4). P. 564–572.
11. Oo Y. M., Htun N. C. Plant Leaf Disease Detection and Classification using Image Processing // International Journal of Research and Engineering. 2018. Vol. 5, No. 9. P. 516–523.
12. Oppenheim D., Edan Y., Shani G. Detecting Tomato Flowers in Greenhouses Using Computer Vision // International Journal of Computer and Information Engineering. 2017. Vol. 11, No. 1. P. 104–109.
13. Singh V., Misra A. K. Detection of Plant Leaf Diseases Using Image Segmentation and Soft Computing Techniques // Information Processing in Agriculture. 2016. No. 4 (1). P. 41–49.
14. Swathi R., Mahalakshmi T., Srinivas A. Vision Based Plant Leaf Disease Detection on The Color Segmentation through Fire Bird V Robot // GRD Journals – Global Research and Development Journal for Engineering. 2016. Vol. 1, No. 4. P. 75–79.
15. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М. : Техносфера, 2005. 1072 с.
16. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. М. : Техносфера, 2006. 618 с.

УДК 004.052

DOI 10.34822/1999-7604-2019-3-35-42

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ

И. Д. Гуз, В. А. Острейковский

*Сургутский государственный университет,
idguzzz@gmail.com, ova@ivt.surgu.ru*

В статье даны определения сети хранения данных, системы хранения данных, приведена типовая структурная модель сети хранения данных, описаны проблемы, связанные с развитием инфраструктуры хранилищ данных, выполнен расчет показателей надежности дисковых подсистем. Целью работы является анализ надежности элементов дисковых подсистем на основе эксплуатационных данных. Основными свойствами, которыми должна обладать дисковая подсистема корпоративного уровня, являются надежность и отказоустойчивость. Доступность данных достигается за счет полного и частичного резервирования активных компонентов, а также продвинутыми функциями сохранения целостности данных. В качестве показателей надежности были выбраны интенсивность отказов и средняя наработка до отказа. После обработки входных данных были рассчитаны вероятности безотказной работы, вероятности отказов, интенсивности отказов, частоты отказов, а также построены графики. Были получены расчетные значения интенсивности отказов и средней наработки до отказа для элементов систем хранения данных.

Ключевые слова: сеть хранения данных, система хранения данных, дисковый модуль, надежность, отказоустойчивость, интенсивности отказов, средняя наработка до отказа, вероятности безотказной работы.

OPERATIONAL RELIABILITY ANALYSIS OF HARDWARE OF DATA STORAGE SYSTEMS

I. D. Guz, V. A. Ostreikovsky

*Surgut State University,
idguzzz@gmail.com, ova@ivt.surgu.ru*

The article provides definitions of a storage area network, data storage systems, a typical structural model of a storage area network, describes the problems associated with the development of storage infrastructure. An overview of major storage manufacturers and reliability indicators calculations of storage equipment are given. The study aims to analyze the reliability of the elements of disk subsystems based on operational data. The main features that corporate-level data storage systems should have are reliability and fault tolerance. Data accessibility is achieved through the full and partial backup of active storage components, as well as through advanced data integrity functions. As for indicators of reliability, we chose the failure rate and the mean time to failure. After processing the input data, the probabilities of failure-free operation, the probability of failures, the failure rate, and the failure frequency are calculated, and the graphs are plotted. The calculated values of the failure rate and the mean time to failure for the data storage elements are obtained.

Keywords: storage area network, data storage system, disk module, reliability, fault tolerance, failure rate, mean time to failure, probability of failure-free operation.

Введение. Управление ресурсами хранения данных стало одной из самых важных стратегических проблем, стоящих перед сотрудниками отделов информационных технологий. Вследствие развития Интернета и коренных изменений в процессах бизнеса информация

накапливается с невиданной скоростью. Согласно данным компании IKS-Consulting, сегодня только на серверах открытых систем хранится не менее 200 петабайт информации, и этот объем удваивается каждые полтора года. Многие компании включились в своеобразное соревнование по преобразованию внутренних систем ведения бизнеса, чтобы использовать Интернет для его развития. Они перестраивают свои IT-системы для более полной поддержки приложений электронной коммерции, непрерывно работающих 24 часа в сутки, 7 дней в неделю, 365 дней в году [1].

Целью работы является анализ надежности элементов дисковых подсистем на основе эксплуатационных данных.

Задачи и функции сетевого хранения данных

Сетевое хранение данных позволяет решить многие текущие задачи в бизнесе, связанные с хранением информации, а именно:

- универсальный и совместный доступ к ресурсам;
- поддержание непрерывного роста объемов данных IT-систем;
- обеспечение непрерывной доступности при сохранении экономичности;
- обеспечение масштабируемости и высочайшей скорости работы хранилищ данных;
- упрощение управления ресурсами, связанного с их централизацией;
- повышение уровня защиты информации и отказоустойчивости.

Сеть хранения данных – это комплексное программно-аппаратное решение по организации надежного хранения информационных ресурсов и предоставления гарантированного доступа к ним. Сети хранения данных могут быть как частью, так и основой Центра Обработки Данных (далее – ЦОД).

Storage Area Network (далее – SAN) – это сеть хранения данных, которая обеспечивает подключение физических или виртуальных серверов к устройствам хранения данных (дискам, системам хранения, ленточным библиотекам и т. д.) и обмен данными между ними, чаще всего на уровне блоков.

Теоретически данному определению удовлетворяют различные технологии, включая такие стандартные сетевые протоколы, как IP/Ethernet, но на практике для использования SAN протоколы и технологии должны соответствовать ряду дополнительных требований. Стандарты, подобные IP, разрабатывались для приложений, допускающих потерю передаваемых данных, ошибки передачи и возникновение узких мест производительности. В то же время для SAN недопустимы потери или искажение данных и низкая производительность сети в течение долгого времени. Хотя потери данных в локальных и глобальных сетях допустимы для приложений и операционных систем, те же самые приложения разрабатывались исходя из допущения, что их система хранения данных работает быстро и надежно.

Таким образом, термину SAN можно дать следующее, более точное, определение: SAN – это высокопроизводительная и надежная сеть, предназначенная, прежде всего, для обеспечения связи и обмена данными на уровне блоков между физическими или виртуальными серверами и любыми устройствами хранения данных [2].

Важно осознавать, что SAN – это не конкретный протокол, а подход к организации хранения и обработки данных. Вопрос выбора тех или иных технологий, реализующих этот подход, остается за архитектором решения. Кроме того, необходимо четко осознавать момент, когда организация хранения данных является целесообразной или необходимой для организации. Возможен вариант подключения дискового массива к серверу напрямую, если дальнейшее развитие IT-инфраструктуры не планируется.

Типовая структурная модель сети хранения данных изображена на рис.1.

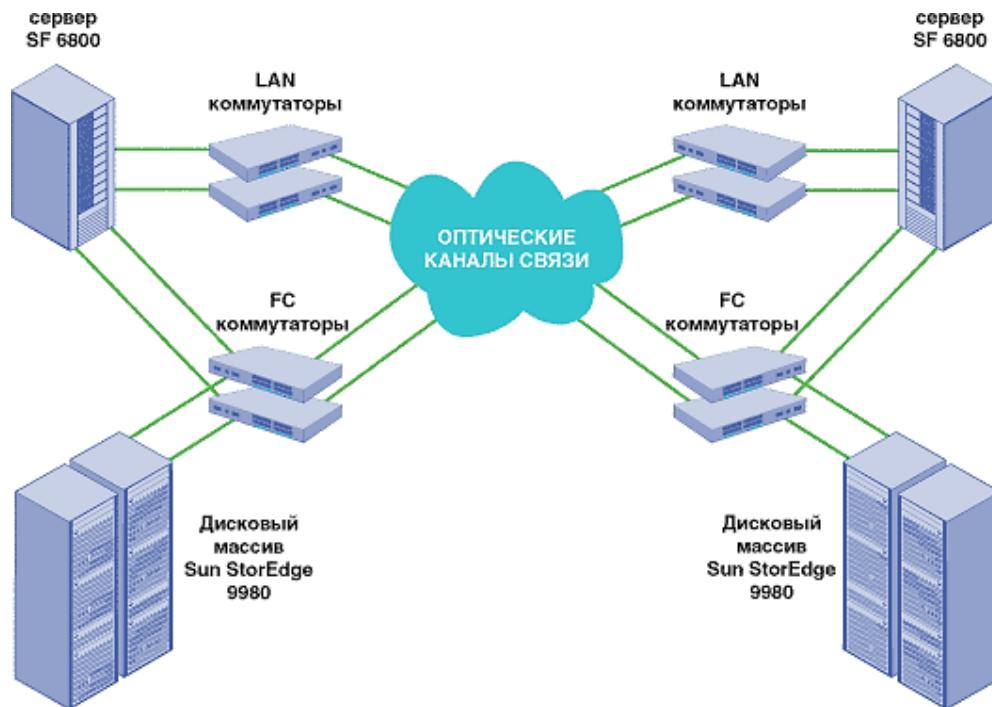


Рис. 1. Структурная модель сети хранения данных

Сеть хранения данных состоит из следующих функциональных модулей:

- серверного комплекса, включающего различные группы кластеров. Кластер рассматривается как совокупность однотипных серверов, объединенных коммутационной системой;
- системы хранения данных (далее – СХД), предназначенной для организации надежного хранения информационных ресурсов и предоставления к ним доступа со стороны серверов;
- сетевой инфраструктуры, включающей оборудование маршрутизации и коммутации, оборудование организации оптических каналов связи, оборудование подключения пользователей, средства обеспечения информационной безопасности.

Назначение систем хранения данных

Система хранения данных (или дисковая подсистема) – это совокупность специализированного оборудования и программного обеспечения, которая предназначена для хранения и передачи больших массивов информации. СХД позволяет организовать хранение информации на дисковых площадках с оптимальным распределением ресурсов [3].

На практике к СХД подключается не один сервер, а многие десятки и сотни. Это диктует ряд ключевых требований к системам такого рода:

1. Надежность и отказоустойчивость. В СХД предусмотрено полное или частичное резервирование всех компонент – блоков питания, путей доступа, процессорных модулей, дисков, кэша и т. д. Обязательно наличие системы мониторинга и оповещения о возможных и существующих проблемах.

2. Доступность данных. Обеспечивается продвинутыми функциями сохранения целостности данных (использование технологии RAID, создание полных и мгновенных копий данных внутри дисковой стойки, реплицирование данных на удаленную СХД и т. д.) и возможностью добавления (обновления) аппаратуры и программного обеспечения в горячем режиме без остановки комплекса.

3. Средства управления и контроля. Управление СХД осуществляется через web-интерфейс или командную строку, есть функции мониторинга и несколько вариантов оповещения администратора о неполадках. Доступны аппаратные технологии диагностики производительности.

4. Производительность. Определяется числом и типом накопителей, объемом кэш-памяти, вычислительной мощностью процессорной подсистемы, числом и типом внутренних и внешних интерфейсов, а также возможностями гибкой настройки и конфигурирования.

5. Масштабируемость. В СХД обычно присутствует возможность наращивания числа жестких дисков, объема кэш-памяти, аппаратной модернизации и расширения функционала с помощью специального программного обеспечения (далее – ПО). Все перечисленные операции производят без значительного переконфигурирования и потерь функциональности, что позволяет экономить и гибко подходить к проектированию ИТ-инфраструктуры [4].

Проблемы инфраструктуры систем хранения данных

Главной проблемой для большинства крупных корпоративных заказчиков стала на сегодняшний день разнородная инфраструктура СХД. Организациям нередко приходится поддерживать десятки СХД различных классов и поколений от разных производителей, поскольку разные приложения предъявляют разные требования к хранению данных. Так, критически важным транзакционным системам (биллинговым, процессинговым, ERP и т. п.) требуются высокая надежность и производительность, свойственные СХД верхнего ценового сегмента. Для аналитических систем нужны высокая производительность и низкая стоимость в расчете на единицу хранения, поэтому для них резервируются СХД с твердотельными дисками (SSD), а, например, для работы с файлами нужны функциональность и низкая стоимость, поэтому здесь применяются традиционные дисковые массивы. В разнородной инфраструктуре уровень утилизации СХД оказывается низким, общая стоимость владения (TCO) – непомерно высокой, управляемость – слабой, к тому же сложность такой инфраструктуры хранения, как правило, велика.

Еще одна серьезная проблема – модернизация СХД. Зачастую СХД, приобретенная три-пять лет назад, уже не справляется с растущими объемами данных и требованиями к скорости доступа к ним, поэтому приобретается новая система, на которую переносятся данные с прежней. По сути, заказчики повторно платят за объемы хранения, требуемые для размещения данных и, кроме того, несут расходы на установку новой СХД и перенос данных на нее. При этом прежние СХД, как правило, еще не настолько устаревшие, чтобы отказываться от них полностью, поэтому заказчики пытаются приспособить их под другие задачи [5].

Статистические данные сбоев и отказов СХД

В процессе анализа надежности элементов дисковых подсистем было исследовано следующее оборудование СХД: 2 комплекта HP XP24000, 2 комплекта EMC VNX5700, 1 комплект EMC CX4-480, 2 комплекта HP EVA P6500, 1 комплект СХД HP EVA P6350, 11 комплектов СХД IBM Storwize V7000. Перечисленные дисковые подсистемы были разработаны крупнейшими производителями СХД, использовались для выполнения различных задач (виртуальная инфраструктура предприятия, ERP, документооборот), различаются как по уровню производительности, так и встроенным функциям отказоустойчивости. В табл. 1 представлена информация по исследуемым дисковым массивам [6].

Дисковые массивы IBM Storwize V7000, идентичные по комплектации, использовались под однотипные задачи, вследствие чего считаем, что 11 комплектов IBM Storwize V7000 представляют один дисковый массив.

По данным аналитического агентства IKS-Consulting [1] была собрана статистика отказов элементов дисковых подсистем компании «РТК-ЦОД», расположенной в г. Екатеринбурге, за 2014–2018 гг. Также были рассчитаны значения вероятности безотказной работы (далее – $P(t)$), вероятности отказа (далее – $Q(t)$), частоты отказов (далее – $f(t)$), интенсивности отказов (далее – $\lambda(t)$) элементов дисковых подсистем по следующим формулам:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где N_0 – исходное число работоспособных объектов;
 $n(t)$ – число отказавших объектов за время t .

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{n(t)}{N_0 \cdot \Delta(t)} \quad (3)$$

где $\Delta(t)$ – интервал времени.

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{(N_0 - n(t)) \cdot \Delta t} \quad (4)$$

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (5)$$

где $T_{\text{ср}}$ – средняя наработка до отказа.

Данные статистики отказов элементов СХД представлены в табл. 2–6.

По полученным результатам были построены графики зависимости $P(t)$, $\lambda(t)$ дисковых модулей за 2014–2018 годы для исследуемых дисковых массивов (рис. 2–3) [7]. Отказы контроллеров и блоков питания не учитывались при построении графиков потому, что все исследуемые дисковые массивы имеют резервные компоненты, вследствие чего ни один отказ за 2014–2018 годы не привел к потере информации или останову дискового массива.

У дисковых групп, в отличие от контроллеров и блоков питания, есть ограниченный запас дисков, которые могут выйти из строя без угрозы потери информации. Кроме того, дисковые модули могут выходить из строя одновременно, целыми стеками, что, вероятнее всего, может привести к потере данных бизнес-критичных систем [8].

Таблица 1

Характеристики исследуемых СХД

Модель дискового массива	Класс оборудования	Объем памяти, ТБ	Кол-во дисков	Модель диска	Наработка до отказа дисковых модулей (данные производителя), час	Год ввода в эксплуатацию
HP XP24000	высокий	56,8	312	HP DKS2F-K300FC	1 600 000	2009
EMC VNX5700	высокий	181	284	Seagate ST3600057SS	1 600 000	2013
EMC CX4-480	средний	90	284	Seagate ST345085	1 600 000	2010
HP EVA P6500	средний	52	96	HP EG0600FBLSH	1 600 000	2014
HP EVA P6350	средний	17,45	68	HP EF0600FARNA	1 600 000	2012
IBM STORWIZE V7000	средний	10	55	IBM 85Y5862	1 600 000	2011

Таблица 2

Статистика отказов элементов дисковых подсистем за 2014 год

Модель дискового массива	Наименование единицы	Кол-во отказов дисков	Кол-во отказов контроллеров	Кол-во отказов блоков питания	Кол-во дисков в массиве	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	$\lambda(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$
HP XP24000	XP24000-1	1	0	0	312	0,997	0,003	0,366	0,367
HP XP24000	XP24000-2	5	0	0	312	0,984	0,016	1,829	1,859
EMC VNX5700	VNX5700-1	2	0	0	284	0,993	0,007	0,804	0,810

Окончание табл. 2

Модель дискового массива	Наименование единицы	Кол-во отказов дисков	Кол-во отказов контроллеров	Кол-во отказов блоков питания	Кол-во дисков в массиве	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	$\lambda(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$
EMC VNX5700	VNX5700-2	2	0	0	284	0,993	0,007	0,804	0,810
EMC CX4-480	CX4	16	0	0	212	0,925	0,075	8,615	9,319
HP EVA P6500	EVA-P6500-1	4	0	0	96	0,958	0,042	4,756	4,963
HP EVA P6500	EVA-P6500-2	1	0	1	96	0,990	0,010	1,189	1,202
HP EVA P6350	EVA-P6350-1	2	0	0	68	0,971	0,029	3,358	3,459
IBM STORWIZE V7000	IBM-V7000	8	3	0	605	0,987	0,013	1,509	1,530

Таблица 3

Статистика отказов элементов дисковых подсистем за 2015 год

Модель дискового массива	Наименование единицы	Кол-во отказов дисков	Кол-во отказов контроллеров	Кол-во отказов блоков питания	Кол-во дисков в массиве	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	$\lambda(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$
HP XP24000	XP24000-1	5	0	0	312	0,984	0,016	1,829	1,859
HP XP24000	XP24000-2	8	1	0	312	0,974	0,026	2,927	3,004
EMC VNX5700	VNX5700-1	2	0	0	284	0,993	0,007	0,804	0,810
EMC VNX5700	VNX5700-2	2	0	0	284	0,993	0,007	0,804	0,810
EMC CX4-480	CX4	10	0	0	212	0,953	0,047	5,385	5,651
HP EVA P6500	EVA-P6500-1	7	0	0	96	0,927	0,073	8,324	8,979
HP EVA P6500	EVA-P6500-2	2	0	0	96	0,979	0,021	2,378	2,429
HP EVA P6350	EVA-P6350-1	1	0	0	68	0,985	0,015	1,679	1,704
IBM STORWIZE V7000	IBM-V7000	19	5	0	605	0,969	0,031	3,585	3,701

Таблица 4

Статистика отказов элементов дисковых подсистем за 2016 год

Модель дискового массива	Наименование единицы	Кол-во отказов дисков	Кол-во отказов контроллеров	Кол-во отказов блоков питания	Кол-во дисков в массиве	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	$\lambda(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$
HP XP24000	XP24000-1	8	0	0	312	0,974	0,026	2,927	3,004
HP XP24000	XP24000-2	8	0	0	312	0,974	0,026	2,927	3,004
EMC VNX5700	VNX5700-1	13	2	0	284	0,954	0,046	5,225	5,476
EMC VNX5700	VNX5700-2	12	0	0	284	0,958	0,042	4,823	5,036
EMC CX4-480	CX4	12	0	0	212	0,943	0,057	6,462	6,849
HP EVA P6500	EVA-P6500-1	2	1	0	96	0,979	0,021	2,378	2,429
HP EVA P6500	EVA-P6500-2	5	0	0	96	0,948	0,052	5,946	6,272
HP EVA P6350	EVA-P6350-1	3	1	0	68	0,956	0,044	5,036	5,269
IBM STORWIZE V7000	IBM-V7000	18	1	5	605	0,970	0,030	3,396	3,501

Таблица 5

Статистика отказов элементов дисковых подсистем за 2017 год

Модель дискового массива	Наименование единицы	Кол-во отказов дисков	Кол-во отказов контроллеров	Кол-во отказов блоков питания	Кол-во дисков в массиве	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	$\lambda(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$
HP XP24000	XP24000-1	7	0	0	312	0,978	0,022	2,561	2,620
HP XP24000	XP24000-2	8	0	0	312	0,974	0,026	2,927	3,004
EMC VNX5700	VNX5700-1	19	0	1	284	0,933	0,067	7,637	8,185
EMC VNX5700	VNX5700-2	21	0	0	284	0,926	0,074	8,441	9,115
EMC CX4-480	CX4	5	0	0	212	0,976	0,024	2,692	2,757
HP EVA P6500	EVA-P6500-1	2	0	0	96	0,979	0,021	2,378	2,429
HP EVA P6500	EVA-P6500-2	8	0	0	96	0,917	0,083	9,513	10,378
HP EVA P6350	EVA-P6350-1	2	1	0	68	0,971	0,029	3,358	3,459
IBM STORWIZE V7000	IBM-V7000	22	5	1	605	0,964	0,036	4,151	4,308

Таблица 6

Статистика отказов элементов дисковых подсистем за 2018 год

Модель дискового массива	Наименование единицы	Кол-во отказов дисков	Кол-во отказов контроллеров	Кол-во отказов блоков питания	Кол-во дисков в массиве	$P(t)$	$Q(t)$	$f(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$	$\lambda(t), 10^{-6} \text{ час}^{-1}$
HP XP24000	XP24000-1	4	0	0	312	0,987	0,013	1,464	1,483
HP XP24000	XP24000-2	12	0	0	312	0,962	0,038	4,391	4,566
EMC VNX5700	VNX5700-1	25	1	0	284	0,912	0,088	10,049	11,019
EMC VNX5700	VNX5700-2	29	1	0	284	0,898	0,102	11,657	12,982
EMC CX4-480	CX4	9	0	1	212	0,958	0,042	4,846	5,061
HP EVA P6500	EVA-P6500-1	1	0	0	96	0,990	0,010	1,189	1,202
HP EVA P6500	EVA-P6500-2	1	0	0	96	0,990	0,010	1,189	1,202
HP EVA P6350	EVA-P6350-1	1	0	0	68	0,985	0,015	1,679	1,704
IBM STORWIZE V7000	IBM-V7000	20	3	4	605	0,967	0,033	3,774	3,903

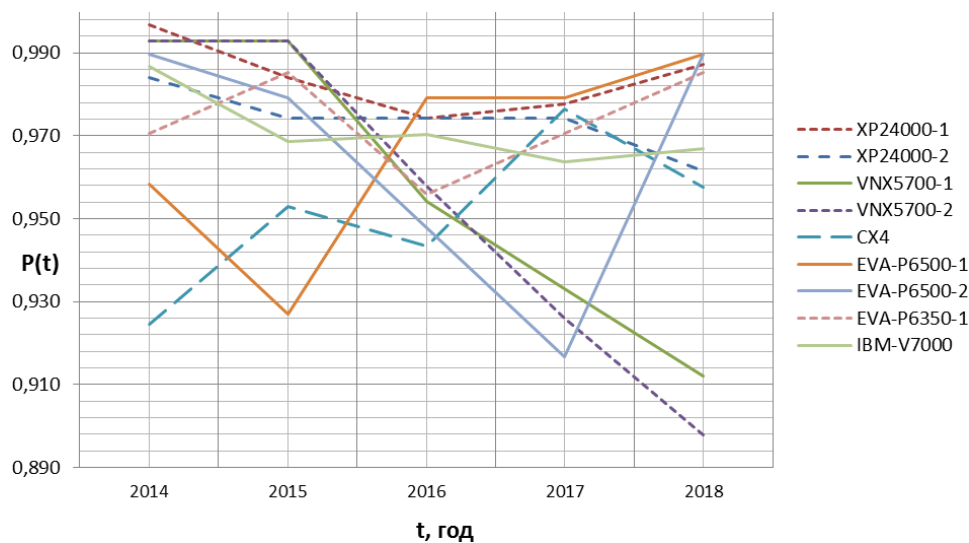


Рис. 2. Вероятность безотказной работы дисковых носителей СХД за 2014–2018 годы

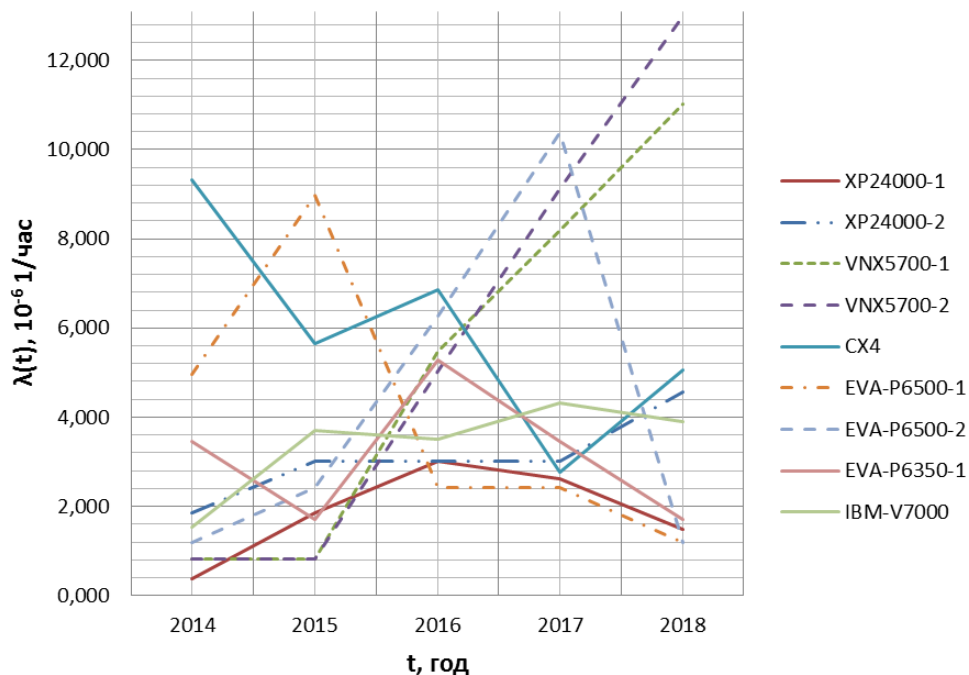


Рис. 3. Интенсивность отказов дисковых носителей СХД за 2014–2018 годы

По данным, приведенным в табл. 1–5, по формулам 4 и 5 были рассчитаны средние значения интенсивности отказов (далее – λ_{cp}) и средняя наработка до отказа (далее – T_{cp}) дисковых модулей исследуемых дисковых подсистем, также приведены значения средней наработки на отказ (далее – T_{vendor}), предоставленные компаниями-производителями дисковых носителей (табл. 7) [9].

Таблица 7

Значения показателей надежности элементов дисковых подсистем

Модель дискового массива	Модель дискового модуля	λ_{cp} (час ⁻¹)	T_{cp} (час)	T_{vendor} (час)
XP24000-1	HP DKS2F-K300FC	0,00000187	535742,45	1600000
XP24000-2	HP DKS2F-K300FC	0,00000309	323883,02	1600000
VNX5700-1	Seagate ST3600057SS	0,00000526	190122,25	1600000
VNX5700-2	Seagate ST3600057SS	0,00000575	173895,48	1600000
CX4	Seagate ST345085	0,00000593	168703,45	1600000
EVA-P6500-1	HP EG0600FBLSH	0,00000400	249986,51	1600000
EVA-P6500-2	HP EG0600FBLSH	0,00000430	232751,70	1600000
EVA-P6350-1	HP EF0600FARNA	0,00000312	320619,21	1600000
IBM-V7000	IBM 85Y5862	0,00000339	295124,74	1600000

Выводы. После обработки входных данных было сделано следующее:

1. Рассчитаны значения вероятности безотказной работы $P(t)$, вероятности отказов $Q(t)$, интенсивности отказов $\lambda(t)$, частоты отказов $f(t)$ элементов дисковых подсистем за 2014–2018 гг. [9].

2. Построены графики зависимости вероятности безотказной работы $P(t)$, интенсивности отказов $\lambda(t)$ за 2014–2018 г. для исследуемых дисковых массивов.

3. Рассчитаны значения показателей надежности элементов дисковых подсистем.

В некоторых ситуациях расчетные значения средней наработки на отказ T_{cp} и значения средней наработки на отказ T_{vendor} , предоставленные производителями СХД, отличаются в 10 раз, что говорит о высокой загруженности дисковых массивов. Решением могло бы стать проведение модернизации используемого оборудования, закупка нового более современного оборудования СХД или перераспределение нагрузки между действующими СХД [10].

Литература

1. Мирин С., Башилов Г., Патрикеев Д. Облачный провайдинг 2018–2022: экономика, стратегии, бизнес-модели: информационные и облачные технологии. Декабрь 2018 г. URL: <http://www.iksconsulting.ru/reports-91.html> (дата обращения: 03.07.2019).
2. Орлов С. А. Оптимальный ЦОД // Журнал сетевых решений Lan. 2011. С. 50–61.
3. Марк Фарли Сети хранения данных. 2-е изд. М. : Лори, 2004. 576 с.
4. Вильчинский Н. В. От хранения данных к управлению информацией. СПб. : Питер, 2016. 544 с.
5. Гоменюк А. Р., Сопенко С. И. Строим центр обработки данных // Корпоративные системы. 2017. № 5. С. 6–11.
6. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. 4-е изд. СПб. : Питер, 2015. 1120 с.
7. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Современные компьютерные сети. 5-е изд. СПб. : Питер, 2015. 960 с.
8. Джош Джад. Основы проектирования SAN. М. : Brocade Россия и СНГ, 2008. 589 с.
9. Острейковский В. А. Теория надежности. М. : Высш. шк., 2003. 463 с.
10. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. : Высш. образование, 2008. 479 с.

УДК 61:51

DOI 10.34822/1999-7604-2019-3-43-51

ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СИСТЕМЫ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕГИОНА С ПОМОЩЬЮ НЕЧЕТКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Т. В. Алексейчик, Е. А. Халитов, М. Б. Стрюков

*Ростовский государственный экономический университет (РИНХ),
mstryukoy@mail.ru, alekseychik48@mail.ru, karmagen9@gmail.com*

В статье предложена методика оценки региональной системы здравоохранения с использованием эконометрических методов и теории нечетких множеств. Новизной исследования является построение нечетких прогнозов основных показателей, характеризующих состояние исследуемой системы здравоохранения, с использованием трендовых моделей. Кроме того, предлагается методика построения комплексной числовой оценки состояния системы здравоохранения региона с использованием стандартного нечеткого трехуровневого $[0, 1]$ -классификатора.

Ключевые слова: трендовые модели, нечеткий прогноз, лингвистическая переменная, функция принадлежности.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT CONSTRUCTION OF HEALTH SYSTEM OF REGION USING FUZZY MODELING

T. V. Alekseychik, E. A. Khalitov, M. B. Stryukov

*Rostov State University of Economics,
mstryukoy@mail.ru, alekseychik48@mail.ru, karmagen9@gmail.com*

The article proposes a method for assessing the regional health care system using the econometric approach and fuzzy set theory. The scientific novelty of the study is the construction of fuzzy predictions of the main indicators characterizing the state of the studied health care system, using trend models. Furthermore, using a standard fuzzy three-level $[0,1]$ -classifier, a method of constructing a complex numerical assessment of the health system of the region is proposed.

Keywords: trend models, fuzzy prediction, linguistic variable, membership function.

Стратегической целью социально-экономического развития Ростовской области является рост человеческого потенциала и качества жизни населения региона, что впоследствии будет способствовать сохранению и укреплению здоровья населения области, сокращению прямых и косвенных потерь общества за счет снижения заболеваемости и смертности населения, улучшению социально-демографической ситуации области, в том числе увеличению ожидаемой продолжительности жизни населения. В связи с этим анализ системы здравоохранения с целью разработки рекомендаций по улучшению ее состояния имеет большое значение.

Для характеристики состояния системы здравоохранения региона были выбраны следующие основные показатели: численность населения Ростовской области (тысяч человек); численность врачей всех специальностей (человек); численность среднего медицинского персонала (человек); число больничных коек круглосуточных стационаров (штук); число амбулаторно-поликлинических учреждений (единиц); заболеваемость населения по всем болезням (тысяч человек); рождаемость (человек); смертность (человек); заболеваемость ВИЧ (человек); заболеваемость злокачественными новообразованиями (тысяч человек); заболеваемость активным туберкулезом (человек).

Информационно-эмпирической базой исследования являются сборники, описывающие основные показатели социально-экономического положения по Ростовской области за 2006–2016 гг., а также за 2017 год [1].

Построение нечеткого прогноза основных показателей состояния системы здравоохранения на основе их трендовых моделей

Посредством эконометрических методов, в данной работе для основных показателей, характеризующих состояние системы здравоохранения за 2006–2016 гг., были построены трендовые модели с использованием программного обеспечения *Eviews* [2–5]. Затем с их помощью определены теоретические значения показателей, которые применяются в дальнейшем для определения абсолютных погрешностей этих показателей. Далее для соответствующих абсолютных погрешностей вычислены относительные погрешности показателей и для них построены трендовые модели.

На основе трендовых моделей показателей были выполнены их прогнозы на 2017–2020 гг., которые описывают средние ожидаемые значения исследуемого показателя на соответствующий период.

С использованием трендовых моделей погрешностей были вычислены их теоретические значения, которые позволили построить нечеткий прогноз для исследуемых показателей, отражающий оптимистический и пессимистический прогнозы.

Проиллюстрируем предложенную методику построения нечеткого прогноза для показателей численности врачей всех специальностей (человек) и численности среднего медицинского персонала (человек).

Введем обозначения:

DOCTOR – численность врачей всех специальностей;

DOCTORP – относительная погрешность численности врачей всех специальностей;

NURSE – численность среднего медицинского персонала;

NURSEP – относительная погрешность численности среднего медицинского персонала;

t – время;

R^2 – коэффициент детерминации.

Запишем трендовые модели для показателя численности врачей всех специальностей:

$$DOCTOR = -0,5436t^3 + 16737,8821; R^2 = 0,802. \quad (1)$$

Используя уравнение (1), определим теоретические значения показателя, а также его абсолютную и относительную погрешности (табл. 1).

Таблица 1

Теоретические значения показателя **DOKTOR** и его абсолютная и относительная погрешности

Годы	<i>t</i> (время)	Реальные данные (чел.)	Теоретические данные (чел.)	Абсолютная по- грешность (чел.)	Относительная погрешность по модулю (%)
2006	1	16544	16737,33851	193,3385	1,168632
2007	2	17186	16733,53317	– 452,467	2,632764
2008	3	16174	16723,20439	549,2044	3,3956
2009	4	16316	16703,09045	387,0905	2,372459
2010	5	16487	16669,92964	182,9296	1,109539
2011	6	16960	16620,46022	– 339,54	2,002003
2012	7	17136	16551,42048	– 584,58	3,411412
2013	8	16395	16459,54871	64,54871	0,39371
2014	9	16278	16341,58318	63,58318	0,390608
2015	10	15950	16194,26217	244,2622	1,531424
2016	11	15820	16014,32396	194,324	1,228344

На основе данных относительной погрешности табл. 1 построим для нее трендовую модель:

$$DOCTORP = -0,2159 \cos(t^2) \times t + 2,2277; R^2 = 0,745. \quad (2)$$

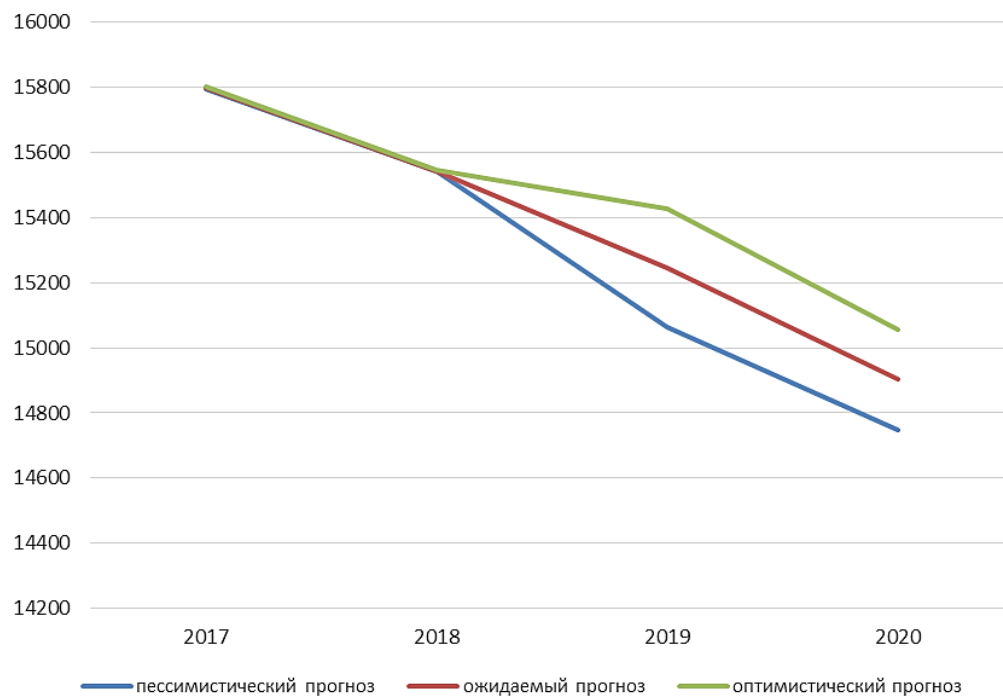
Используя уравнения (1) и (2), определим прогнозные значения показателя и их погрешности на 2017–2020 гг. (табл. 2).

Таблица 2

Прогнозные значения показателя *DOCTOR* и его погрешности

Годы	Прогнозные значения показателя (чел.)	Прогнозные значения погрешности показателя (%)
2017	15798,50683	–0,02889
2018	15543,54907	–0,01307
2019	15246,18894	1,192718
2020	14903,16475	1,038321

Используя трендовые модели показателя и его погрешности, построим его нечеткий прогноз (рис. 1).

Рис. 1. Нечеткий прогноз показателя *DOCTOR*

Аналогичные построения выполним для показателя численности среднего медицинского персонала и его относительной погрешности – уравнения (3), (4), табл. 3 и 4, рис. 2:

$$NURSE = 415,9994 \cos(t) + 38805,2585; R^2 = 0,744. \quad (3)$$

$$NURSEP = 1,3226 \cos(t^2) \times \sin(t^2) + 1,3393; R^2 = 0,738. \quad (4)$$

Таблица 3

Теоретические значения показателя *NURSE* и его абсолютная и относительная погрешности

Годы	t (время)	Реальные данные (чел.)	Теоретические данные (чел.)	Абсолютная погрешность (чел.)	Относительная погрешность по модулю (%)
2006	1	39015	39030,024	15,024	0,038508
2007	2	39899	38632,1417	–1266,86	3,175163

Окончание табл. 3

Годы	t (время)	Реальные данные (чел.)	Теоретические данные (чел.)	Абсолютная погрешность (чел.)	Относительная погрешность по модулю (%)
2008	3	38339	38393,42223	54,42223	0,14195
2009	4	39171	38533,34317	-637,657	1,62788
2010	5	39229	38923,26186	-305,738	0,779368
2011	6	39858	39204,68885	-653,311	1,639097
2012	7	39524	39118,88146	-405,119	1,024994
2013	8	39113	38744,73062	-368,269	0,941552
2014	9	38103	38426,22888	323,2289	0,848303
2015	10	38585	38456,20527	-128,795	0,333795
2016	11	37866	38807,09964	941,0996	2,485342

Таблица 4

Прогнозные значения показателя NURSE и его погрешности

Годы	Прогнозные значения показателя (чел.)	Прогнозные значения погрешности показателя (%)
2017	39156,30132	0,773612
2018	39182,7559	0,703591
2019	38862,14116	1,764901
2020	38489,22881	0,8875

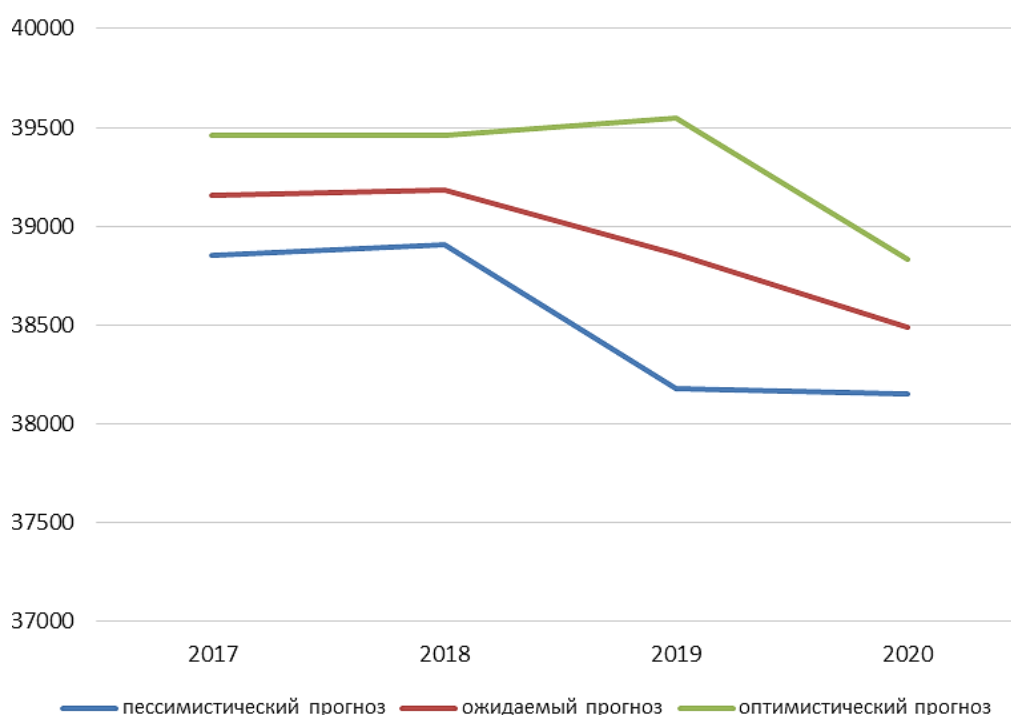


Рис. 2. Нечеткий прогноз показателя NURSE

Для всех остальных показателей были выполнены аналогичные построения.

На основании проведенных исследований были сделаны следующие прогнозы состояния системы здравоохранения региона на 2017–2020 гг.:

1. Заболеваемость населения по всем болезням в прогнозируемом периоде показывает небольшой рост с 2017–2019 гг., но в 2020 году наблюдается падение до значений 2018 года.
2. Рождаемость показывает стабильный рост во всем прогнозируемом периоде.
3. Смертность отражает рост во всем прогнозируемом периоде и перекрывает рождаемость.
4. Численность врачей всех специальностей убывает во всем периоде с 2017–2020 гг., что косвенно может являться причиной роста заболеваемости и смертности.

5. Численность среднего медицинского персонала так же убывает во всем периоде с 2017–2020 гг.

6. Число больничных коек круглосуточных стационаров в прогнозируемом периоде показывает небольшой рост с 2018–2019 гг., но в 2020 году наблюдается падение до значений 2018 года, что также может являться причиной роста заболеваемости и смертности.

7. Заболеваемость ВИЧ показывает рост во всем прогнозируемом периоде.

8. Заболеваемость злокачественными новообразованиями показывает существенное снижение во всем прогнозируемом периоде.

9. Заболеваемость активным туберкулезом почти не изменяется в прогнозируемом периоде, но границы прогноза расширяются, что может свидетельствовать о возможных существенных расхождениях с ожидаемым прогнозом в будущем.

10. Число амбулаторно-поликлинических учреждений существенно не изменяется во всем прогнозируемом периоде, но в сравнении с 2017 годом показывает небольшой рост в 2020 году.

11. Численность населения Ростовской области снижается во всем прогнозируемом периоде, что может являться следствием повышения смертности.

Построение комплексной оценки состояния системы здравоохранения на основе теории нечетких множеств. Расчет комплексной количественной оценки осуществляется с использованием стандартного нечеткого трехуровневого $[0,1]$ -классификатора [6–8]. Оценка была проведена на основе годовых данных Росстата по Ростовской области, характеризующих состояние здравоохранения региона за 2006–2016 гг. [1], которые представлены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели системы здравоохранения региона за 2006–2016 гг.

Показатели	Наблюдаемые данные										
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Численность населения	4 332,4	4 314,6	4 297,6	4 292,5	4 284,8	4 275,2	4 260,6	4 254,6	4 245,5	4 242,1	4 236
Заболеваемость населения по всем болезням	3 499,1	3 461,3	3 373,9	3 477,2	3 382,9	3 486,3	3 487,1	3 472,4	3 481,7	3 396,3	3 434,7
Смертность	66 634	63 835	63 827	62 296	62 879	60 840	59 598	58 509	59 740	58 763	58 718
Численность врачей всех специальностей	16 544	17 186	16 174	16 316	16 487	16 960	17 136	16 395	16 278	15 950	15 820
Численность среднего медицинского персонала	39 015	39 899	38 339	39 171	39 229	39 858	39 524	39 113	38 103	38 585	37 866
Число больничных коек круглосуточных стационаров	43 905	43 569	39 632	38 733	37 271	38 684	38 219	37 884	34 197	34 473	34 537
Заболеваемость ВИЧ (человек)	2 914	2 917	3 185	3 590	4 082	4 089	6 841	4 889	5 347	6 670	8 059
Заболеваемость злокачественными новообразованиями	15,10	15,50	15,80	15,80	15,90	16,10	16,71	15,29	14,86	14,74	15,07
Заболеваемость активным туберкулезом	3 121	3 248	3 175	3 044	3 020	2 793	2 542	2 235	1 981	1 940	1 691
Численность родившихся	40 876	43 606	45 876	46 120	46 607	46 519	49 935	49 569	51 392	51 081	49 038
Число амбулаторно-поликлинических учреждений	605	627	528	498	494	495	495	480	524	528	527

Для анализа состояния системы здравоохранения с помощью теории нечетких множеств указанные показатели необходимо нормировать, например, как отношение значения показателей к наибольшему значению соответствующего показателя.

Предложенные показатели здравоохранения имеют различную значимость. В связи с этим предлагается ввести весовые коэффициенты по правилу Фишберна [7, 8], причем нумерация временных периодов ведется в обратном порядке (т. е. в рассматриваемом случае первый период – 2016 год, а последний – 2006 год):

$$k_i = \frac{2(n-i+1)}{(n+4)n}, \quad (5)$$

где $n = 11$;
 $i = 1, 2, \dots, 10, 11$.

По формуле (5) определим весовые коэффициенты, причем $i = 1$ соответствует значению x_i для 2016 года, $i = 11$ соответствует значению x_i для 2006 года. Тогда расчет нормированных значений x_{F_i} исследуемых показателей с учетом их значимости производится по формуле:

$$x_{F_i} = \sum_{i=1}^n k_i \times x_i. \quad (6)$$

По формуле (6) вычислим нормированные значения показателей x_{F_i} , $i = 1, 2, \dots, 10, 11$ с учетом значимости периодов.

Величины x_i являются числовыми значениями нечетких переменных с универсальным множеством (носителем) в виде отрезка $[0, 1]$. Сопоставим им лингвистические переменные G_i , терм-множества которых – $G_i = \{G_{i1}, G_{i2}, G_{i3}\}$, $i = 1, 2, 3$ – состоят из следующих термов: G_{i1} – «низкий уровень показателя»; G_{i2} – «средний уровень показателя»; G_{i3} – «высокий уровень показателя».

Наблюдаемые показатели были разделены на 2 группы по виду влияния на систему здравоохранения: позитивные и негативные, которые будем считать в каждой группе равноценными.

Функции принадлежности подмножеств негативных показателей терм-множества G отражают, что чем ближе значение к единице, тем хуже (табл. 6).

Функции принадлежности подмножеств позитивных показателей терм-множества G отражают, что чем ближе значение к единице, тем лучше (табл. 7).

Таблица 6

Функции принадлежности подмножеств негативных показателей терм-множества G

Термы G_i	Функция принадлежности нечетких множеств G_i
G_1 – благополучное	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 0,2 \\ 2 - 5x, & 0,2 \leq x < 0,4 \end{cases}$
G_2 – относительно благополучное	$\mu_2(x) = \begin{cases} 5x - 1, & 0,2 \leq x < 0,4 \\ 1, & 0,4 \leq x < 0,6 \\ 4 - 5x, & 0,6 \leq x < 0,8 \end{cases}$
G_3 – неблагоприятное	$\mu_3(x) = \begin{cases} 5x - 3, & 0,6 \leq x < 0,8 \\ 1, & 0,8 \leq x \leq 1 \end{cases}$

Таблица 7

Функции принадлежности подмножеств позитивных показателей терм-множества G

Термы G_i	Функция принадлежности нечетких множеств G_i
G_1 – неблагоприятное	$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 0,2 \\ 2-5x, & 0,2 \leq x < 0,4 \end{cases}$
G_2 – относительно благополучное	$\mu_2(x) = \begin{cases} 5x-1, & 0,2 \leq x < 0,4 \\ 1, & 0,4 \leq x < 0,6 \\ 4-5x, & 0,6 \leq x < 0,8 \end{cases}$
G_3 – благополучное	$\mu_3(x) = \begin{cases} 5x-3, & 0,6 \leq x < 0,8 \\ 1, & 0,8 \leq x \leq 1 \end{cases} \mu$

Определим значимость исследуемых негативных показателей и, используя табл. 6, построим термы лингвистической переменной для этих показателей (табл. 8).

Таблица 8

Веса и значения функций принадлежности для негативных показателей

Нумерация показателей по степени важности	Показатели	Веса показателей (r_i)	Значения показателей	Термы лингвистической переменной		
				G_1	G_2	G_3
1	x_{F_1}	1/5	0,985333025	0	0	1
2	x_{F_2}	1/5	0,902908334	0	0	1
3	x_{F_3}	1/5	0,692013822	0	0,53993089	0,46006911
4	x_{F_4}	1/5	0,923961337	0	0	1
5	x_{F_5}	1/5	0,72156292	0	0,3921854	0,6078146

Правило перехода от значений показателей x_i ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) к весам термов лингвистической переменной γ – «комплексная оценка состояния здравоохранения» имеет вид:

$$p_l = \sum_{i=1}^5 r_i \times \mu_{il}(x_i), i=1, \dots, 5; l=1, 2, 3. \quad (7)$$

Тогда значение самой переменной γ определяется формулой:

$$\gamma = \sum_{k=1}^5 p_k \times \bar{g}_k, \quad (8)$$

где \bar{g}_k – узловые точки, т. е. середины промежутков, являющихся носителями термов $\bar{g}_1=0,2$, $\bar{g}_2=0,5$, $\bar{g}_3=0,8$.

Согласно формуле (7) веса термов лингвистической переменной с учетом значимости показателей первой группы системы здравоохранения равны:

$$p_1 = 0, \quad p_2 = 0,5399 \times \frac{1}{5} + 0,3922 \times \frac{1}{5} = 0,1864,$$

$$p_3 = 1 \times \frac{1}{5} + 1 \times \frac{1}{5} + 1 \times \frac{1}{5} + 0,4601 \times \frac{1}{5} + 0,6078 \times \frac{1}{5} = 0,8136.$$

Используя формулу (8), определим комплексную оценку состояния первой группы показателей системы здравоохранения:

$$\gamma_1 = 0,1864 \times 0,5 + 0,8136 \times 0,8 = 0,7441.$$

Полученная оценка соответствует в большей степени неблагоприятному развитию первой группы системы здравоохранения.

Определим значимость исследуемых позитивных показателей и, используя табл. 7, построим термы лингвистической переменной для позитивных показателей (табл. 9).

Таблица 9

Веса и значения функций принадлежности для позитивных показателей

Нумерация показателей по степени влияния	Показатели	Веса показателей (r_i)	Значения показателей	Термы лингвистической переменной		
				G_1	G_2	G_3
1	x_{F_1}	1/6	0,983383484	0	0	1
2	x_{F_2}	1/6	0,952176543	0	0	1
3	x_{F_3}	1/6	0,97241064	0	0	1
4	x_{F_4}	1/6	0,837326114	0	0	1
5	x_{F_5}	1/6	0,949681474	0	0	1
6	x_{F_6}	1/6	0,820960804	0	0	1

Согласно формуле (7) веса термов лингвистической переменной с учетом значимости показателей второй группы системы здравоохранения региона равны:

$$p_1 = 0, \quad p_2 = 0, \quad p_3 = 1 \times \frac{1}{6} + 1 \times \frac{1}{6} + 1 \times \frac{1}{6} + 1 \times \frac{1}{6} + 1 \times \frac{1}{6} + 1 \times \frac{1}{6} = 1.$$

Используя формулу (8), определим комплексную оценку состояния второй группы показателей системы здравоохранения:

$$\gamma_2 = 1 \times 0,8 = 0,8.$$

Полученная оценка соответствует благополучному состоянию второй группы системы здравоохранения.

Комплексную оценку состояния обеих групп получим как среднее арифметическое оценок групп:

$$\gamma = \frac{0,7441 + 0,8}{2} = 0,772.$$

На ее основании можно сделать вывод, что система здравоохранения в целом находится в благополучном состоянии, но следует обратить внимание на профилактические мероприятия по борьбе с заболеваниями и на недостаточное количество врачей и среднего медицинского персонала.

Выводы и предложения. Анализ состояния системы здравоохранения помогает выявить ее слабые стороны и сделать наиболее точный прогноз ее развития.

Были проведены исследования, нацеленные на выявление слабых и сильных сторон системы здравоохранения Ростовской области за 2006–2016 гг. с использованием следующих методов:

1. Для каждого показателя с использованием эконометрических методов были построены трендовые модели, а также трендовые модели относительных погрешностей показателей.

2. На основании построенных трендовых моделей, был предложен метод построения нечеткого прогноза в виде интервала, отражающего оптимистический, пессимистический и ожидаемый прогнозы показателя.

3. На основании проведенных исследований был выполнен прогноз состояния системы здравоохранения региона на 2010–2017 гг.

4. Для получения количественной и качественной оценки состояния системы здравоохранения Ростовской области в целом предложено использовать теорию нечетких множеств с использованием треугольных нечетких чисел. Исследуемые показатели были разбиты на 2 группы: негативные и позитивные. Для качественной оценки каждого показателя была введена лингвистическая переменная «уровень показателя».

Оценка состояния первой группы соответствует неблагоприятному состоянию. Оценка второй группы соответствует благополучному состоянию.

Система здравоохранения в целом находится в благополучном состоянии.

На основании проведенного анализа различными методами можно сделать вывод, что наблюдаются хорошие долгосрочные перспективы развития системы здравоохранения региона, но необходимо уделить внимание организации профилактических мероприятий по борьбе с заболеваниями и увеличению количества врачей и среднего медицинского персонала в медицинских учреждениях региона. Также, по мнению авторов, рекомендуется увеличить число больничных коек круглосуточных стационаров и количество амбулаторно-поликлинических учреждений.

Предложенная методика оценки состояния здравоохранения региона может быть применена для исследования любой отрасли региона.

Литература

1. РОССТАТ. Российский статистический ежегодник. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 17.03.2019).
2. Елисеева И. И., Курышева С. В., Костеева Т. В. и др. Эконометрика / под ред. И. И. Елисеевой. М. : Финансы и статистика, 2007. 576 с.
3. Кремер Н. Ш., Путко Б. А. Эконометрика / под ред. проф. Н. Ш. Кремера. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 311 с.
4. Тихомиров Н. П., Дорохина Е. Ю. Эконометрика. М. : Экзамен, 2003. 512 с.
5. Танака Х. Анализ нечетких данных с помощью возможных линейных моделей, нечетких множеств и систем. 1987. № 24 (3). С. 363–375.
6. Андрейчиков А. В., Андрейчикова О. Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. М. : Финансы и статистика, 2001. 368 с.
7. Стрюков М. Б., Сахарова Л. В., Алексейчик Т. В., Богачев Т. В. Методика оценки интенсивности сельскохозяйственного производства на основе теории нечетких множеств // Междунар. науч.-исследоват. журнал. 2017. № 7 (61). Ч. 3. С. 123–129.
8. Вовченко Н. Г., Сахарова Л. В., Алексейчик Т. В., Богачев Т. В. Методика оценки экологического природопользования в регионе на основе нечетко-множественного анализа статистических данных // Вестн. РГЭУ (РИНХ). 2018. № 2. С. 116–123.

МЕТОДЫ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА ОНЛАЙН-ИНФОРМАЦИИ

К. Ш. Багаутдинов

*Российский государственный университет нефти и газа (национальный
исследовательский университет) им. И. М. Губкина,
bagautdinov@asugubkin.ru*

На сегодняшний день не существует единого формализованного алгоритма решения задачи интеграционного взаимодействия. В представленной работе рассматривается анализ вопроса интеграции, выявлены некоторые закономерности, а также выбран и раскрыт подход к решению указанной задачи. Данное решение позволяет обеспечить автоматизацию процессов выявления мошенничества с залоговым обеспечением и верификацию (оценка) принимаемых в залог объектов недвижимости/ипотечных портфелей (антифрод-система).

Ключевые слова: интеграция, информационные системы, универсальный анализатор данных, антифрод-системы, подходы к интеграции данных.

INTEGRATION METHODS OF INFORMATION SYSTEMS BASED ON UNIVERSAL ANALYZER OF ONLINE INFORMATION

K. Sh. Bagautdinov

*National University of Oil and Gas "Gubkin University",
bagautdinov@asugubkin.ru*

Today there is no unified algorithm for solving problems of integrated interaction. This article analyses the issue of integration and reveals some patterns. In addition to it, an approach to problem solving is distinguished. The considered solution provides automation of the processes of detection of collateral fraud and verification (assessment) of real estate or mortgage portfolios accepted as collateral (anti-fraud system).

Keywords: integration, information systems, universal data analyzer, anti-fraud systems, data integration approaches.

В современном мире одной из сложных задач в сфере информационных технологий (ИТ) является интеграция систем. Рано или поздно перед компаниями встанет задача автоматизации бизнес-процессов. При этом интеграция информационных систем делится на две части: это интеграция приложений и интеграция данных.

Под интеграцией данных в информационных системах (далее – ИС) следует понимать разработку и поддержку интерфейса для работы с данными из различных независимых неоднородных источников как с единой моделью данных. Источником данных могут быть различные системы баз данных (далее – БД), файлы структурированных данных, веб-сайты и т. п. С увеличением объема и потребностью совместного использования данных роль интеграции увеличивается.

Процесс интеграции данных актуален как в коммерческих задачах (когда разным компаниям нужно объединять БД), так и в научных (для комбинирования результатов исследований из различных источников).

В данной работе рассматриваются методы интеграции информационных систем, архитектуры систем интеграции, механизмы отображения моделей данных, современные подходы к интеграции данных.

Интеграция информационных систем. Под интеграцией информационных систем подразумевают создание единого информационного пространства организации, которое можно осуществить, объединив все внедренные и планируемые к внедрению автоматизированные системы в одну интегрированную систему. Проблема интеграции автоматизированных систем возникает при анализе следующих направлений:

- разработка технологий для возможности выпуска большого количества видов продукции, корректировка производственных заданий;
- необходимость в организации системы функционирования организации на основе гибких методов и подходов;
- устранение барьеров для обмена информацией внутри организации;
- повышение управляемости за счет организационных мер путем обеспечения прозрачности информационных потоков, оперативного управления, принятия согласованных решений;
- развитие универсального объединенного информационного пространства для всех автоматизированных систем организации, под которым подразумевается потенциальная возможность взаимообмена в реальном времени между разными компонентами и модулями АС.

Можно выделить следующие направления интеграции: программная, функциональная, информационная, техническая и организационная.

Программная необходима для обеспечения совместимости функциональных особенностей программных средств, которые используются для решения конкретных детерминированных задач.

Функциональная объединяет в себе базовые элементы информационной и технической инфраструктуры, включая компоненты, для каждого из которых разрабатывается методика расчета критерия эффективности, базовая функционально-аналитическая модель, информационные и функциональные взаимосвязи между модулями систем. В итоге обеспечивается консолидированное пространство локальных направлений функционирования всех модулей.

Информационная смотрит на универсализацию подходов к хранению, сбору, использованию и представлению данных на различных уровнях системы управления. В этом направлении обеспечивается взаимосвязанное движение потоков информации между модулями системы [1].

Техническая необходима для обеспечения единых средств аппаратно-вычислительной техники и локальных сетей, которые в своей совокупности являются базовыми элементами для абсолютно всех направлений интеграции.

Организационная необходима для сопровождения и поддержания деятельности персонала в области управления.

Необходимо постоянно иметь в виду тот неоспоримый факт, что существует большое разнообразие автоматизированных систем. Тогда становится очевидным, что задачи интеграции могут быть самыми разнообразными.

Разносторонние проблемы. Проблема интеграции данных очень многообразна и имеет много важных аспектов. Сложность и характер методов, которые используют для решения данной проблемы, напрямую зависят от требуемого уровня интеграции, а также от свойств множества источников данных и отдельных исходных источников.

Системы интеграции данных способны обеспечивать интеграцию данных как на физическом, так и на логическом и семантическом уровнях. С теоретической точки зрения интеграция данных на физическом уровне сводится к сбору данных из различных хранилищ в единый формат их физического представления. Интеграция данных на логическом уровне организует доступность данных, содержащихся в разных источниках, в терминах объединенной глобальной схемы, описывающей их общее представление, при этом учитывая структурные и поведенческие свойства данных (при этом семантические свойства данных не учитываются). Интеграция данных на семантическом уровне обеспечивает поддержку единого отображения данных, учитывая их семантические свойства в контексте объединенной онтологии предметной области [2].

Источник данных могут обладать различными свойствами, которые, в свою очередь, являются очень существенными для выбора методов интеграции данных:

- поддержка представления данных в терминах той или иной модели данных;
- источники данных могут быть динамическими и статическими;
- источники данных могут быть неоднородными или однородными относительно характеристик, соответствующих требуемому уровню интеграции.

Неоднородность источников данных. Неоднородность источников данных в большинстве случаев отображается в системах интеграции данных с разных сторон. В данном случае описываются неоднородности характеристик источников данных в соответствии с требуемым уровнем интеграции.

Так, например, при интеграции на физическом уровне в исходных источниках данных могут применяться различные форматы файлов. В то время как на логическом уровне интеграции может существовать неоднородность применяемых моделей данных для различных исходных источников или могут различаться схемы данных, несмотря на то, что применяется одна и та же модель данных. Одни источники могут быть объектными базами данных, а другие – веб-сайтами и т. д.

Постановка задачи. В связи с ростом потребностей организации в получении данных от внешних источников появляется необходимость автоматизировать процесс интеграции данных. Для этого нужно разработать архитектуру взаимодействия систем, благодаря которой другие ИС смогут легко и безопасно получать данные из внешних источников.

Часто сторонние сервисы по тем или иным причинам не хотят открывать свои API, в таких случаях приходится вытаскивать информацию самим, отсюда возникают задачи, которые решает универсальная система сбора данных:

1. Извлечение частично структурированной текстовой информации с сайтов.
2. Большинство сайтов с данными устроены таким образом, что для получения доступа к информации необходимо эмулировать поведение пользователя, потому что некоторые сайты используют специальные фильтры, чтобы выдавать роботам другую информацию, т. е. анализатор должен выгружать информацию, оставаясь незаметным для сайта.
3. Приведение формата данных, специфичных для сайтов, в промежуточный, схожий (но не вполне идентичный). Кроме того, необходимо отслеживать изменение формата данных и уведомлять об этом.
4. Отслеживание явных дубликатов, обновление измененной информации.
5. Разбор текстовой информации с сайтов и преобразование в полностью структурированный формат.

Требуемая архитектура необходима для системы, обеспечивающей автоматизацию процессов выявления мошенничества с залоговым обеспечением и верификацию (оценка) принимаемых в залог объектов недвижимости/ипотечных портфелей (антифрод-система).

Для выявления признаков мошенничества (внешнего и внутреннего) система производит анализ как по ранее собранным данным, так и по текущим рыночным данным о залогах.

Система встроена в онлайн режиме в технологический процесс выдачи ипотечных кредитов как инструмент автоматизированного принятия решения и АРМ-верификатора залогов.

Для оценки залогов в системе используется сравнительный (рыночный) подход, основанный на сравнении объекта оценки с аналогичными объектами недвижимости, в отношении которых имеется информация о ценах сделок с ними или ценах предложения о продаже.

По характеристикам объекта подбираются аналогии на рынке недвижимости и по их ценам рассчитывается стоимость объекта.

Система используется как для оценки индивидуальных объектов, так и для оценки и анализа портфеля объектов.

Сбор информации о предложениях по продаже жилой недвижимости осуществляет программная часть необходимой системы. Данная программа должна выполнять следующие задачи:

- «обход» интернет-сайтов и загрузка HTML-страниц, открытых для публичного использования. Используемое количество сайтов – 120. Объем ежедневно загружаемых объявлений составляет порядка 25 гигабайт;

- перевод прочитанных объявлений, имеющих специфичный для каждого сайта вид, в некоторое промежуточное унифицированное представление (набор и содержание полей);

- отслеживание изменений, происходящих в формате описания документов на сайте. (Предполагается, что структура страниц сайта меняется в среднем 1–2 раза в год, тогда при скачивании информации со 120 сайтов следует ожидать, что периодичность доработки сайтов может быть ежедневной);

- отслеживание явных дубликатов объявлений, а также учет обновлений информации в объявлении;

- подсчет срока экспозиции объявления на сайте;

- сохранение архива объявлений (HTML + Изображение страницы в графическом формате) в первичной БД с возможностью поиска по ID, URL;

- в системе предусматривается ряд алгоритмов, которые могут быть встроены в различные ее части для решения внутренних задач (например, разбор адреса, выявление дубликатов), которые могут простираются по многим подсистемам (расчет срока экспонирования объявления).

Полученные неструктурированные данные из внешних источников должны храниться в упорядоченном формате.

Подход к решению поставленной задачи. При развитии организаций происходит смена внутренней архитектуры, бизнес-процессов, пользовательских интерфейсов, ускорение процессов, и в такой ситуации задача интеграции превращается в серьезную проблему. Продолжая развиваться, компании становятся крупными, задачи становятся комплексными, и появляется распределенность, которая требует поддержки. Кроме того, во многих организациях, в зависимости от бюджета и поставленных задач, используются различные платформы и инструменты от разных производителей (гетерогенность), которые приходится поддерживать в дальнейшем. Также не стоит забывать про морально устаревшие технологии, системы либо неформализованные структурные данные, которые тоже приходится использовать. Задачи интеграции не ограничиваются пределами организации, все чаще необходимо получать данные от партнеров, клиентов, подрядчиков, государственных структур и других внешних источников (межсистемная интеграция) и др.

Параметры, отвечающие за сложность интеграции:

1. Концептуальная разница – основа данной разницы заключается в том, что разработчики разных ИС приняли концептуально разные допущения, поэтому данные системы не могут корректно состыковаться [3]. Решается такая проблема при помощи введения еще одного слоя абстракции, который не будет противоречить концептуально обеим системам. При этом можно выделить два варианта реализации:

- получившаяся система является централизованной, а все остальные интегрируемые системы превращаются в подсистемы;

- применение архитектуры брокера, посредника, который не является центром, а только обеспечивает прослойку между системами. Все интегрируемые системы остаются независимыми.

2. Технологическая разница – основывается на несовместимости форматов обмена данными, протоколов взаимодействия и интерфейсов. Решается использованием брокеров, прослоек, конвертеров и других не вполне красивых, но достаточно надежных средств.

Общая задача выглядит так: необходимо интегрировать N информационных систем, учитывая данные факторы, с минимизацией количества прослоек. При первом варианте решения задачи получается, что между N системами будет $\frac{N(N-1)}{2}$ связей при двустороннем взаимодействии $N \times (N-1)$ интерфейсов.

Существует много решений данной задачи, но были выделены следующие классические методы:

- интеграция на уровне данных – смысл данного метода заключается в том, что некоторый массив приложений посылает запрос в одну единую БД или в несколько разных БД, которые связаны репликациями [4];

- интеграция на уровне брокеров – суть данного метода заключается в разработке и реализации дополнительного (не основного) программного модуля, обращающегося во множество систем;

- стандартизация – типичный классический метод, который требует применять различные стандарты (как международные, так и государственные, а также отраслевые) при разработке систем для обратной совместимости;

- интеграция на уровне пользователей – данный метод является нежелательным, можно сказать, не является автоматизацией. Смысл представленного метода заключается в том, что пользователи обмениваются данными между системами несистемным путем, а другими доступными способами. Например, через почту, копирование данных, перенос файлов и т. д. Данный метод используется в крайнем случае, когда во время обновления, модернизации невозможно заморозить бизнес-процесс;

- интеграция на уровне сервисов – данный метод содержит в себе очень изящную концепцию интеграции, при которой фиксируются интерфейсы и форматы данных со всех сторон. При использовании данного метода интеграции получается очень легко отработать и настроить межсистемную логику [5].

Сравнение методов интеграции представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение методов интеграции

Метод	Преимущества	Недостатки
Стандартизация	Совместимость	Долгий ввод новых стандартов при необходимости
Интеграция на уровне брокеров	Универсальность	Сложность, трудоемкость, высокая стоимость разработки
Интеграция на уровне данных	Низкая стоимость интеграции	Разные приложения могут приводить данные в противоречивые состояния; дублирование кода
Интеграция на уровне сервисов	Быстрая отработка межкорпоративной бизнес-логики	Присутствует фиксация
Интеграция на уровне пользователя	Используется в крайнем случае	Не автоматизированная интеграция

Выбор подхода к интеграции и средств разработки. Интеграция данных будет производиться не только на физическом, но и логическом и семантическом уровнях. Для данной разработки важны сами данные, а также их логическая связь в источниках с учетом природы этой информации [6].

Поэтому, исходя из анализа решаемых задач и требований к ним, было решено автоматизировать процесс интеграции неструктурированных данных путем разработки ETL системы, которая позволит реализовать гибкое, легко поддерживаемое, расширяемое решение, основанное на open source технологиях.

У представленной системы будет своя база данных для консолидации информации из целевых источников, отслеживания изменений и передачи данных другим ИС и приложениям.

Архитектура разработанной системы. После выбора подхода к интеграции и средств разработки, была предложена архитектура системы сбора данных. Всю архитектуру (рис. 1) можно разделить на две части.

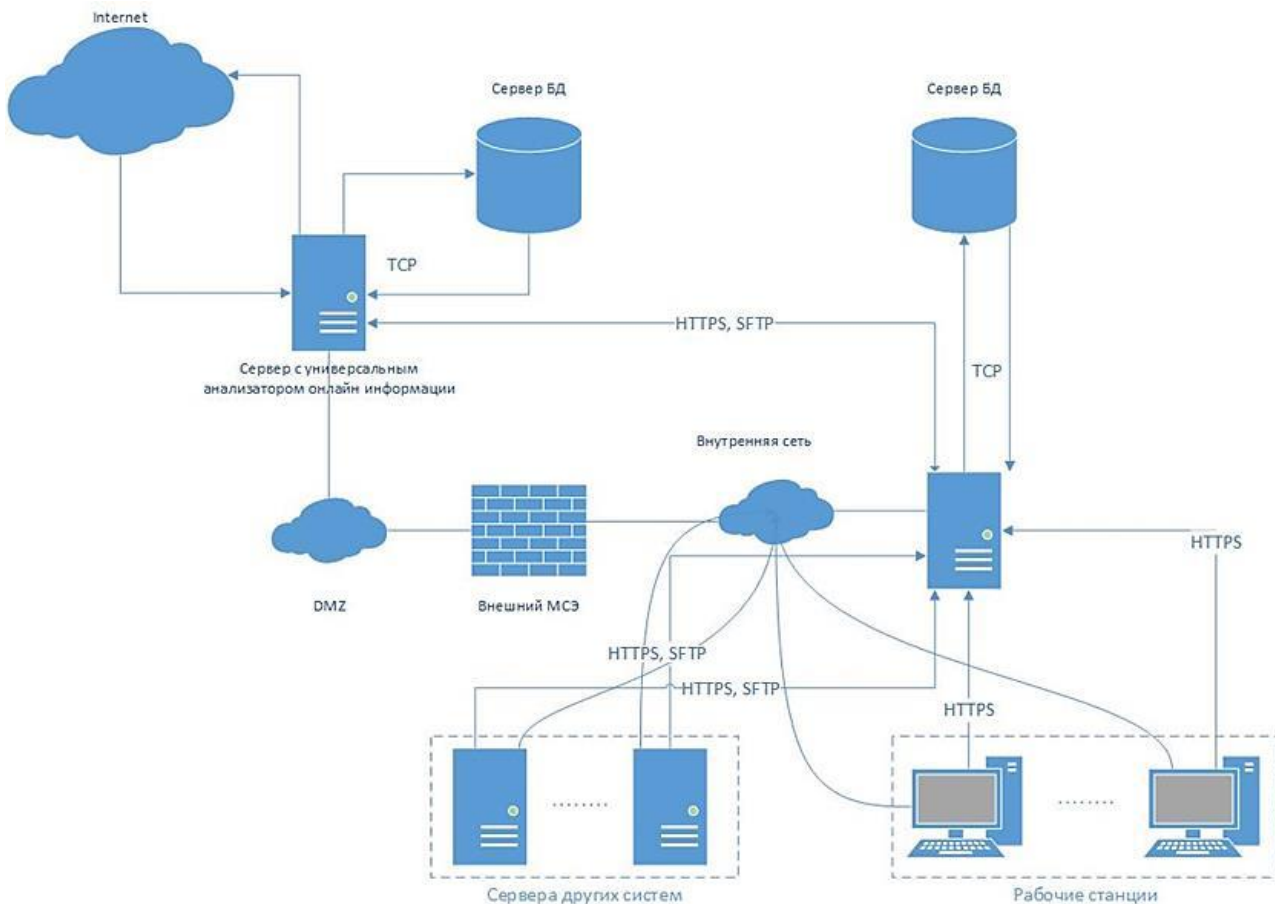


Рис. 1. Архитектура системы сбора данных

В первой части имеются сервер приложений, который взаимодействует с внешними источниками, и сервер БД для хранения полученных данных. Вся часть находится в DMZ (демилитаризованной зоне).

В компьютерной безопасности DMZ, или демилитаризованная зона (иногда называемая периметрической сетью), представляет собой физическую или логическую подсеть, которая содержит и предоставляет внешние службы организации для ненадежной сети. Обычно это более крупная сеть, такая как Интернет. Целью DMZ является добавление дополнительного уровня безопасности в локальную сеть организации (ЛВС): внешний сетевой узел может получить доступ только к тому, что отображается в DMZ, а остальная сеть организации – межсетевой экран. DMZ функционирует как небольшая изолированная сеть, расположенная между Интернетом и частной сетью, и, если ее дизайн эффективен, позволяет организации уделять дополнительное время обнаружению и устранению нарушений до того, как они будут проникать во внутренние сети.

Название происходит от термина «демилитаризованная зона» – область между национальными государствами, в которой военная операция не разрешена.

Сервер с универсальным анализатором передает данные через протокол TCP к серверу БД и имеет выход в сеть Интернет через протоколы https и http.

Во второй части имеется сервер приложений, который взаимодействует с сервером универсального анализатора в первой части архитектуры через протоколы https и sftp.

Сервер приложений во второй части позволяет другим системам через API получать данные, полученные из внешних источников.

С рабочих станций через сервер приложений во второй части имеется доступ к серверу универсального анализатора через интерфейс для задания внешних источников, которые будут подлежать анализу.

Описание программного модуля. Для разработки анализатора был выбран язык PERL, потому что основной особенностью языка считаются его богатые возможности для работы с текстом, в том числе работа с регулярными выражениями, встроенная в синтаксис.

При разработке приложения использовались модули:

- модуль CGI, который предназначен для упрощения создания HTML-документов;
- модуль DBI, необходимый для работы с БД;
- библиотека модулей LWP, которая позволяет в полной мере использовать возможности http(s)-протоколов.

Приложение написано так, что оператор вносит некоторые правила, условия, настройки и шаблоны (которые хранятся в БД приложения) через интерфейс. Затем, в зависимости от настроек, начинается анализ онлайн сервисов, выборка информации и скачивание в БД.

Универсальный анализатор решает все поставленные задачи:

- извлечение частично структурированной текстовой информации с сайтов;
- во время получения информации анализатор способен оценить кодировку получаемых данных и привести к кодировке целевой таблицы для корректного отображения данных.

Данный пункт очень важен для текстовой информации на русском языке.

Кроме того, если кодировка была подобрана неверно либо неверно отображена в источнике, то пользователь сам вручную сможет подобрать кодировку, выбрав читаемый текст, и преобразовать данные для дальнейшей работы с ними;

- разработанный программный модуль способен имитировать браузер пользователя и действия живого человека.

Владельцы некоторых сайтов целенаправленно определяют ботов для последующей подмены контента.

Для решения предоставленной задачи модуль может использовать:

- различные случайные задержки при обращении к сайту. Данный способ помогает предотвратить хаотичные интенсивные запросы, которые приводят к блокировке пользователя сайта, отправляющего эти запросы;

- данные для авторизации на веб-сервисе. Используются, если данные доступны конкретному пользователю. При защищенном соединении происходит обязательная проверка ssl-сертификатов;

- распознавание капчи. Часто на сайтах просят пройти компьютерный тест, используемый для определения, кем является пользователь системы: человеком или компьютером. В универсальном анализаторе за дополнительную плату используется сторонний сервис распознавания капч. Очень полезная функция, когда владельцы информации не хотят отдавать данные роботам;

- использование заданных прокси-серверов. Данный функционал необходим для анонимизации соединения;

- универсальный анализатор способен корректно обработать код состояния HTTP и определить, какие действия ему предпринимать дальше. В приоритете стоят попытки решения проблемы без участия пользователя;

Кроме того, робот уведомляет о неизвестных ошибках, возникших в ходе работы, и имеет реестр решений типовых ошибок. Если оператор может обойти эту ошибку, то и робот сможет сделать это по введенным данным от оператора;

- форматно-логический контроль – для снижения числа потенциальных ошибок с получением данных пользователь может задавать определенные шаблоны для полей. Например, ИНН, СНИЛС, Адрес, Паспорт РФ и т. д.;

- проверка адекватности полученных данных, уведомление пользователя о проблемах – при получении явно короткого сообщения, при неуспешной попытке разбиения страницы на структурированный формат пользователь будет уведомлен и будут предложены варианты решения проблемы;

- универсальный анализатор не требует специально обученного человека для его использования. Любой пользователь ПК спокойно справится со всеми настройками и сможет создать задание на выгрузку данных. Данный робот имеет множество настроек, позволяющих пользователю, не заходя в исходный код, использовать его для различных источников информации с разными структурами данных;

- представленный модуль способен анализировать не только html-страницы, а также популярные форматы обмена данными, такие как json, xml и др.;

- у данного анализатора реализован открытый API с основными методами для того, чтобы его можно было использовать без стандартного интерфейса, а также для того, чтобы другие разработчики могли написать свой интерфейс, учитывая особенности их систем;

- помимо прямого получения структурированных данных из БД, их можно получать как дампы базы, таблицы в excel в письме или скачивать напрямую.

На рис. 2 отображена схема извлечения из внешних источников, преобразования и загрузки данных в хранилище антифрод-системой.

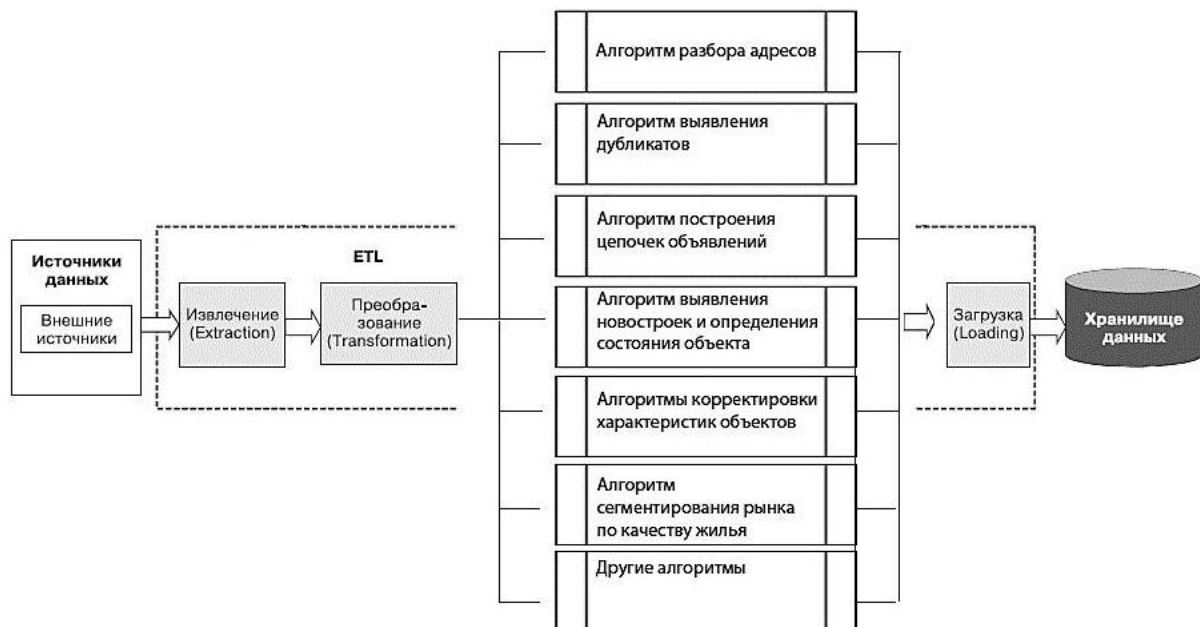


Рис. 2. Схема извлечения данных из внешних источников

Результаты внедрения системы. Представленная разработка позволила повысить эффективность определения мошенников как со стороны клиентов, так и со стороны сотрудников, оформляющих кредит, а также позволила в онлайн-режиме производить оценку принимаемых в залог объектов недвижимости/ипотечных портфелей и ускорила механизм принятия решения о выдаче ипотеки.

До внедрения системы с универсальным анализатором требовалось два сотрудника (оператор и верификатор) на полный рабочий день (работа 7 часов 5 дней в неделю). Все заявки обрабатывались вручную, анализировались сайты недвижимости (около 100 шт.) и подготовленная организацией БД. Производительность данных сотрудников ограничивалась обработкой 200 заявок в день (~1 заявка в 3 мин). В ходе работы возникало 5 % ошибок в связи с ошибками ввода.

После ввода представленной системы производительность повысилась. Теперь требуется всего лишь один сотрудник (администратор) для поддержки (неполный рабочий день). Обработка заявок происходящая в режиме реального времени благодаря максимально свежей БД. Процент ошибки снизился до 0,005 %. Производится автоматический контроль дубликатов и ведение истории.

На примере антифрод-системы, разработанной на основе универсального анализатора, можно увидеть, как универсальный анализатор позволяет автоматизировать процессы, связанные с интеграцией данных.

Заключение. В представленной статье рассмотрены разносторонние проблемы, возникающие при интеграции информационных систем. Также раскрыты подходы к решению поставленной задачи, которые включают в себя планирование архитектуры взаимодействия систем и разработку универсального анализатора данных.

Литература

1. Schmarzo B. Big Data: Understanding How Data Powers Big Business / Bill Schmarzo. Hoboken, NJ : Wiley, 2013. 240 p.
2. Леонов Д. Г. Методы, модели и технологии разработки и интеграции распределенных гетерогенных программно-вычислительных комплексов в транспорте газа. М. : ИЦ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2017. 196 с.
3. Byrne C. Integration and the Path to Becoming a Digital Business. O'Reilly Media, Inc, 2018. 26 p.
4. Костогрызов А. И., Нистратов Г. А. Стандартизация, математическое моделирование, рациональное управление и сертификация в области системной и программной инженерии. 2-е изд. М. : Вооружение, политика, конверсия, 2005. 395 с.
5. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. М. : ДМК Пресс, 2003. 288 с.
6. Шмаль Г. И., Григорьев Л. И., Кершенбаум В. Я., Леонов Д. Г. Цифровая экономика нефтяного производства. М. : Нефть. хоз-во, 2019. С. 100–104.

Сетевое издание. Полные тексты статей размещаются на официальном сайте издания jc.surgu.ru и в базе данных Научной электронной библиотеки на сайте elibrary.ru, сведения о публикуемых материалах включаются в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Адрес учредителя и издателя:
бюджетное учреждение высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры
«Сургутский государственный университет»,
628412, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Сургут, пр. Ленина, 1. Тел. (3462) 76-30-67

Дата опубликования 10.12.2019
Формат 60 × 84/8
Уч.-изд. л. 6,2
Цена свободная