

с е т е в о й н а у ч н ы й ж у р н а л ISSN 2518-1092

НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ

R E S E A R C H R E S U L T

Том 2 | № 1
Volume 2 |

ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ

INFORMATION
TECHNOLOGY

Сайт журнала:
rrinformation.ru

сетевой научный рецензируемый журнал
online scholarly peer-reviewed journal



Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)
Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл. № ФС77-69101 от 14 марта 2017 г.

The journal has been registered at the Federal service for supervision of communications information technology and mass media (Roskomnadzor)
Mass media registration certificate El. № FS 77-69101 of March 14, 2017



Том 2, № 1. 2017

СЕТЕВОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с 2016 г.

ISSN2518-1092



Volume 2, № 1. 2017

ONLINE SCHOLARLY PEER-REVIEWED JOURNAL

First published online: 2016

ISSN 2518-1092

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР: **Жиликов Е.Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА: **Черноморец А.А.**, кандидат технических наук, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ: **Болгова Е.В.**, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий Белгородского государственного национального исследовательского университета.

РЕДАКТОР АНГЛИЙСКИХ ТЕКСТОВ СЕРИИ: **Ляшенко И.В.**, кандидат филологических наук, доцент

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

Ломакин В.В., кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной информатики и информационных технологий НИУ «БелГУ»

Гахова Н.Н., кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий НИУ «БелГУ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Волчков В.П., доктор технических наук, профессор (Московский технический университет связи и информатики, г. Москва)

Дмитриенко В.Д., доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина)

Капалин В.И., доктор технических наук, профессор (Московский государственный институт электроники и математики (технический университет), г. Москва)

Корсунев Н.И., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Ломазов В.А., доктор физико-математических наук, профессор (Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, г. Белгород)

Маторин С.И., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Рубанов В.Г., заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород)

Белов С.П., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

Коськин А.В., доктор технических наук, профессор (Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел)

Иващук О.А., доктор технических наук, профессор (Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород)

EDITORIAL TEAM:

EDITOR-IN-CHIEF: **Evgeniy G. Zhilyakov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF: **Andrey A. Chernomorets**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

EXECUTIVE SECRETARY: **Evgeniya V. Bolgova**, Senior Lecturer, Belgorod State National Research University

ENGLISH TEXT EDITOR: **Igor V. Lyashenko**, Ph.D. in Philology, Associate Professor

EDITORIAL BOARD:

Vladimir V. Lomakin, Candidate of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

Nina N. Gahova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Belgorod State National Research University

CONSULTING EDITORS:

Valery P. Volchkov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Valery D. Dmitrienko, Doctor of Technical Sciences, Professor (Ukraine)

Vladimir I. Kapalin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Nikolay I. Korsunov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vadim A. Lomazov, Doctor of Physico-mathematical Sciences, Professor (Russia)

Sergey I. Matorin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Vasily G. Rubanov, Honoured Science Worker of Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Alexander V. Koskin, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Olga A. Ivaschuk, Doctor of Technical Sciences, Professor (Russia)

Учредитель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Издатель: НИУ «БелГУ». Адрес издателя: 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.

Журнал выходит 4 раза в год

Founder: Federal state autonomous educational establishment of higher education
«Belgorod State National Research University»

Publisher: Belgorod State National Research University

Address of publisher: 85 Pobeda St., Belgorod, 308015, Russia

Publication frequency: 4 /year

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

Пигнастый О.М. Модель производственного процесса обработки партии предметов труда	3
Путивцева Н.П., Зайцева Т.В., Пусная О.П., Трошина Т.С., Васина Н.В. О разработке методики комплексного оценивания принадлежности учителей к категории	14
Оладько В.С., Бабенко А.А., Алексина А.А. Оценка защищенности системы дистанционного образования вуза	20
Карви Д.К., Салах Х.А., Брусенцев А.Г. Система поддержки принятия решений для оценки уровня загрязнения воды в реке Тигр	28
Путивцева Н.П., Пусная О.П., Игрунова С.В., Зайцева Т.В., Нестерова Е.В. Сравнительный анализ применения многокритериальных методов	40
Жихарев А.Г., Шарапов Д.П. Системно-объектное имитационное моделирование систем массового обслуживания на примере "Многофункционального центра предоставления государственных и муниципальных услуг"	48

ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Болгова Е.В. О субинтервальных матрицах на основе унитарных преобразований	55
--	-----------

CONTENTS

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

Pihnastyi O.M. The model of production process of the party of the subjects of labour	3
Putivtseva N.P., Zaitseva T.V., Pusnaya O.P., Troshina T.S., Vasina N.V. On the development of methods of comprehensive evaluation of conformity of teachers to categories	14
Oladko V.S., Babenko A.A., Aleksina A.A. Security assessment of university distance education	20
Karwi J.Q., Salah H.A., Brusentsev A.G. Decision support system for the evaluation of water pollution in Tigirs river	28
Putivtseva N.P., Pusnaya O.P., Igrunova S.V., Zaitseva T.V., Nesterova E.V. Comparative analysis of the use multi- criteria methods	40
Zhikharev A.G., Sharapov D.P. System-object imitative modeling of the mass service system by the example "multifunctional center of providing state and municipal services"	48

SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Bolgova E.V. About subinterval matrices based on unitary transformations	55
--	-----------

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ SYSTEM ANALYSIS AND PROCESSING OF KNOWLEDGE

UDC 658.51.012

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-3-13

Pihnastyi O.M.

THE MODEL OF PRODUCTION PROCESS OF THE PARTY
OF THE SUBJECTS OF LABOUR

National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute»
79-2 Pushkinskaya St., Kharkov, 61102, Ukraine
e-mail: pom7@bk.ru

Abstract

The article discusses the construction of the model of streaming production line with the constraints on the technological trajectory of subjects of labour. The work shows the influence of the subject of labour movement trajectory, which is related to the limited maximum capacity of the operating storage. It analyses constraint that is associated with the serial order of subjects of labour processing. The equation for the trajectory of the regulatory process is built, taking into account the constraints on the trajectory of the subjects of labour, which can be used for closing the balance equations of PDE-models of streaming production lines.

Keywords: Euler's equation; the production line; mass production; work in progress; the Lagrange formalism; technological trajectory; production line; PDE model.

УДК 658.51.012

Пигнастый О.М.

МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА
ОБРАБОТКИ ПАРТИИ ПРЕДМЕТОВ ТРУДА

Национальный технический университет
«Харьковский Политехнический институт», ул. Пушкинская, 79-2, г. Харьков, 61102, Украина
e-mail: pom7@bk.ru

Аннотация

В статье рассматривается методика построения модели производственной поточной линии при наличии технологических ограничений на движение предмета труда по технологическому маршруту. Проанализировано влияние двух основных ограничений: ограничения, связанного с максимальной емкостью технологических накопителей и ограничения, связанного с заданной технологией производства последовательным порядком обработки предмета труда. Построена функция Лагранжа, описывающая движение партии предметов труда в технологическом пространстве состояний, получены уравнения движения отдельных предметов труда вдоль технологического маршрута. Записанные уравнения Эйлера могут быть использованы для замыкания балансовых уравнений PDE-моделей производственных поточных линий.

Ключевые слова: уравнение Эйлера; производственная линия; массовое производство; незавершенное производство; формализм Лагранжа; технологическая траектория; PDE модель.

INTRODUCTION

Regular changes of the products range causes the need of enterprises to design the effective systems of production control based on modern economic-mathematical models describing production phenomena [1-4]. Modern industrial enterprise functioning in conditions of uncertainty requires the usage of new, highly effective

ways and methods of economic management [1-6]. The streaming models occupy an important place among the models of streaming production lines [7-12]. The models of streaming production lines using partial differential equations (PDE-models) are singled out into special class among other production models. [6]. One of the ways, which makes it possible to close the system of balance equations of PDE model, is an approach that uses the averaged equation of subjects of labour motion on the technological route. The subject of labour moves on the technological route under different technological constraints. The restriction on the capacity of inter-operational storage drive is one of the types of constraints. The subject of labour, which passed technological process, moves to the inter-operational storage drive (fig. 1). The overflow of inter-operational storage drive leads to step of the production process [13-16]. Inter-operational storage drive acts as a buffer, which smoothers out the intermittent work and a synchronicity in the production rate of technological equipment [17-21].

Another constraint on the subject of labour movement trajectory is the fact, that the subject of labour processing cannot be started until the processing of the previous subject of labour hasn't been finished [22, 23]. Waiting in line for the technological processing, the subject of labour is in the inter-operational storage drive. It causes the fact that the technological trajectories of subjects of labour do not intersect. The technological trajectory of the subject of labour acts as the restriction for the trajectory of the next subject of labour.

The goal of the study is to make the models of the streaming production lines, with provision for the constraints imposed on the movement trajectories of subjects of labour by the production system.

The relevance of the work contains the making the formalised description of the production system in the form by Lagrange and directly the derivation of the equation of subjects of labour motion on a technological trajectory with the constraints caused by the interaction of labour subjects with each other and with technological equipment. The equation of subjects of labour movement is used to close the balance equations of PDE models. The precision of its construction greatly affects the accuracy of PDE models of streaming production lines [20, 21, 24]. This fact causes to the actuality of the research made in this work.

Problem statement. On the streaming production line (fig. 1) we need to manufacture a batch of similar parts in the amount of N pieces. The production line includes m technological positions, on each of which m-th technological operation is running. Each position, starting from the second one, contains the storage drive, processing module and devices for parts movement between the positions (fig. 1). To describe the work of the streaming production line we use designations $\Delta S_{m, \psi}$ (RUB) – the cost of the resources, transferred by the processing module while operation; $\Delta \tau_m$ (h) effective time of the subject of labour processing on the m-th operation [1].

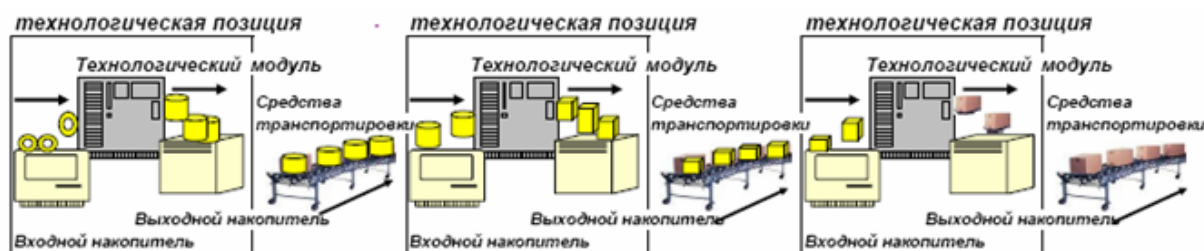


Fig. 1. The structure of the streaming production line

The total cost of the resources, transferred by the processing modules of the subject of labour after the execution of the m-th operation, is calculated as the sum of the costs of the technological operations:

$S_{m, \psi} = \sum_{k=1}^m \Delta S_{k, \psi}$ (RUB). The normative tempo of the subjects of labour processing on the m-th module is

$[\chi]_{1m, \psi} = \frac{1}{\Delta \tau_m}$ (pcs. /h). For the free streaming line the characteristic of the separate part is tempo of co-processing

$[\chi]_{1m, \psi}$, which represents the temp of subjects of labour exit from m-th module of the streaming production line

$[\chi]_{1m, \psi} = \min \{ [\chi]_{k, \psi}, k = 1, m \}$ (pcs. /h). We suppose that technological modes of the subject of labor processing are specified and constant during the period of the production cycle of batch processing. The state of the subject of Labor will be characterised by the phase technological space coordinates (S, μ) [6].

The values of the parameters of the condition and the position of the j -th subject of labour at the moment of time t we will determine with the help of the cost of technological resources transferred on it $S_j(t)$ (RUB) and the intensity of the transferring of the technological resources $\mu_j(t)$ (rub. /h). The principle of the transferring of resources is based on the peculiarities of the operation mode of the technological process [25]. The fig.2 shows the graph of the function $\Delta S_{m,\psi}(t)$ describing the transferring of resources on the subject of labour as the result of the operation for different types of processing. The left graph (fig. 1) is determined by the fact that during the time $N_m \cdot \Delta \tau_m$ of the N_m subjects of labour staying in the storage drive before the m -th technological module the cost of resources is not transferred to them.

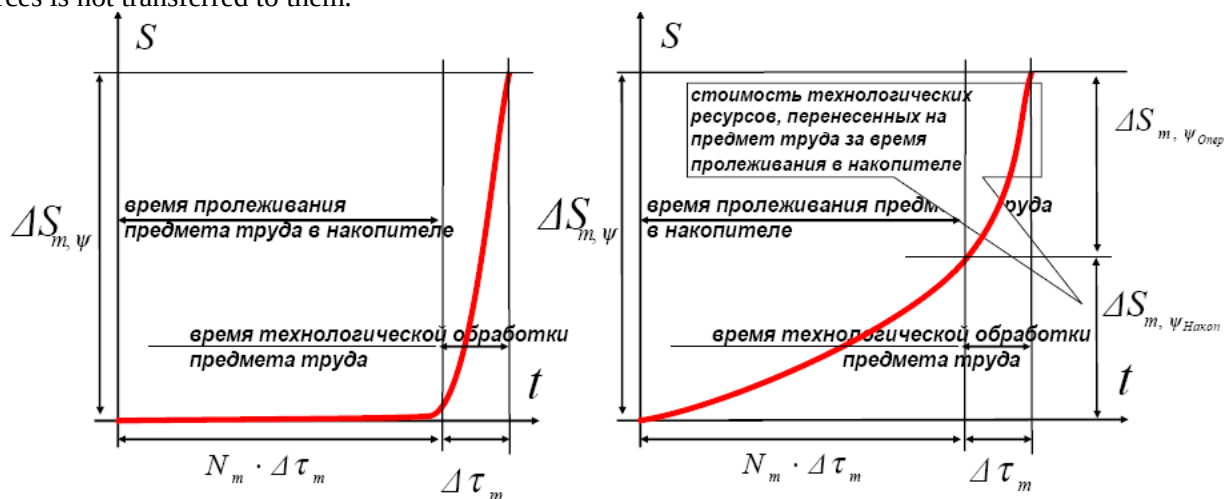


Fig. 2. Transferring of the technological recourses on the subject of labour

Table 1

Parameters of the technological operations

Operation number	1st	2nd	3rd	4th	5th	7th	8th	9th
$\Delta S_{m,\psi}$, RUB	1	5	1	8	1	14	2	9
$\Delta \tau_m$, h	2	1	3	2	9	7	4	2
$S_{m,\psi} = \sum_{k=1}^m \Delta S_{k,\psi}$, RUB	1	6	7	15	16	30	32	41
$\tau_m = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_k$, RUB	2	3	6	8	17	24	28	30
$[\chi]_{lm,\psi} = \frac{1}{\Delta \tau_m}$, pcs/h	0,5	1	0,33	0,5	0,11	0,14	0,25	0,5
$[\chi]_{lm,\psi} = \min \{[\chi]_{lk,\psi}, k=1,m\}$, pcs/h	0,5	0,5	0,33	0,33	0,11	0,11	0,11	0,11
$\mu_{m,\psi} = \frac{\Delta S_{m,\psi}}{\Delta \tau_m}$, rub/h	0,5	5	0,33	4	0,11	2	0,5	4,5
Entrance storage drive capacity, $N_{m,\psi \text{ Max}}$, pcs	10	3	5	7	8	8	8	8

These operations include the operation of machining and assembling. The second type of operations is determined by the fact that during the subjects of labor staying in the storage drives, the cost of resources is not transferred on them (left graph, Fig 1).

Let's consider the subject of labor movement on the technological route and linking operations, during which the resources transferring happens during processing of the subjects of labor. Let's assume that, if the part is in a storage drive, its cost does not increase. After the end of the technological processing of the subject of labor on m -th technological module, its cost increases on value $\Delta S_{m,\psi}$.

Duration of transferring of the subject of labour from the storage drive to the technological position is much less than the duration of the operation. The trajectory of the subject of labour movement on technological route for free (unoccupied) streaming production line is determined by the Euler equation:

$$\frac{d\mu}{dt} = \mu_{\psi}(S) \frac{\partial \mu_{\psi}(S)}{\partial S}, \quad \frac{dS}{dt} = \mu. \quad (1)$$

The equation (1) allows the solving in analytical form for some functions $\mu_{\psi}(S)$. For functions of the type $\mu_{\psi}(S) = \sqrt{2 \cdot S}$ the equation of the subject of labour movement trajectory is defined by the quadratic function $S(t) = \frac{1}{2} \cdot t^2$, for functions type $\mu_{\psi}(S) = 1$ – by a linear function $S(t) = t$. Let's consider the movement of the batch of 5 parts on the route that consists of 8 operations, each of which is characterised by values $\Delta S_{m,\psi}$ и $\Delta \tau_m$ (table 1). It is anticipated that the processing time for m-th operation is deterministic.

1. THE BATCH OF THE SUBJECT LABOUR PROCESSING ON THE FREE STREAMING PRODUCTION LINE

The technological trajectory of the first subject of labour, moving on the free streaming production line with the normative tempo $[\chi]_{1m,\psi} = \frac{1}{\Delta \tau_m}$ (pcs/h) (fig. 3) satisfies the equation (1) presented in Fig. 4. While constructing the technological trajectory of the function $\mu_{m,\psi} = \mu_{m,\psi}(S_{m,\psi})$ (table 1) is approximated by a continuous smooth function $\mu_{\psi}(S)$. The characteristic points of the technological trajectory of the first subject of labor for the free streaming production line are defined by integer coordinates $(S_{m,\psi}, \tau_m)$: $A_1(0,0)$; $B_1(1,2)$; $C_1(6,3)$; $D_1(7,6)$; $G_1(15,8)$; $E_1(16,17)$; $K_1(30,24)$; $H_1(32,28)$; $Q_1(41,30)$ (fig. 4, fig. 5). The letters, with the exception of $A_1(0, 0)$, correspond to the coordinates of the end of the m-th operation. The index at the bottom indicates the subject of labour that the trajectory belongs to. If after the end of the (m-1) th operation the subject of labour still stays in the storage drive before the m-th operation, the characteristic point of the beginning of the subject of labour processing on the m-th operation will be denoted with letters in italic. The segment, connecting points $C_5(6,11)$ and $c_5(6,15)$, forms the part of the trajectory of which the 5-th subject of labour is waiting for processing (fig. 6). The segment of the technological trajectory, connecting points $G_5(15,18)$ and $g_5(15,44)$, is similar (fig.6). While the movement of the first subject of labour on the free streaming production line is described by equation (1), the movement of the second and subsequent subjects of labour is limited by the condition of the previous processing. The first constraint is that it is possible to start the processing of the j-th subject of labour at the m-th only after the end of the processing of the (j-1) th subject of labour. At any time for two points $S_{j-1}(t_1)$ and $S_j(t_1)$ of the trajectories of the subjects of labour following after each other (fig. 5) the next relation is valid:

$$S_{j-1}(t) = S_j(t) + S_{12}(S_j). \quad (2)$$

Analogically, when $S_{j-1}(t_1) = S_j(t_2)$ for two points $S_{j-1}(t_1)$ and $S_j(t_2)$ of the trajectories of the successive subjects of labour:

$$t_j = t_{j-1} + t_{12}(S_{j-1}), \quad S_{j-1}(t_1) = S_j(t_2) \quad (3)$$

The first constraint can be written in the form of inequality

$$S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \geq S_j(t). \quad (4)$$

The function $\Delta \tau_m(S_m)$ is represented by a continuous function, so that point for the point $S = S_m$

$$\tau_{\psi 12}(S_m) = \Delta \tau_m(S_m). \quad (5)$$

According to (2)-(4) trajectories of (j-1) th and j-th subject of labour cannot cross. The constraint is that processing of the j-th subject of labour on the m-th operation must be completed later than the beginning of processing of the $(j - N_{(m,\psi) \text{ Max}})$ -th subject of labour on the (m+1)th operation with entrance storage drive $N_{(m+1),\psi \text{ Max}}$. When processing of the $N_{(m+1),\psi \text{ Max}}$ subject of on the (m+1)th operation on the entrance storage drive with capacity $N_{(m+1),\psi \text{ Max}}$ there is free space which we get as the result of fact that the j-th subject of labour is under

processing on the m -th operation. The constraint connected with the ultimate storage drive capacity is written in the form of inequality

$$S_{j-N_{m,\psi} \text{ Max}}(t) \geq S_j(t). \quad (6)$$

We suppose that the j -th subject of labour waiting for the end of the processing of the $(j-N_{m,\psi} \text{ Max})$ -th subject of labour on the $(m+1)$ th operation is in m -th module.

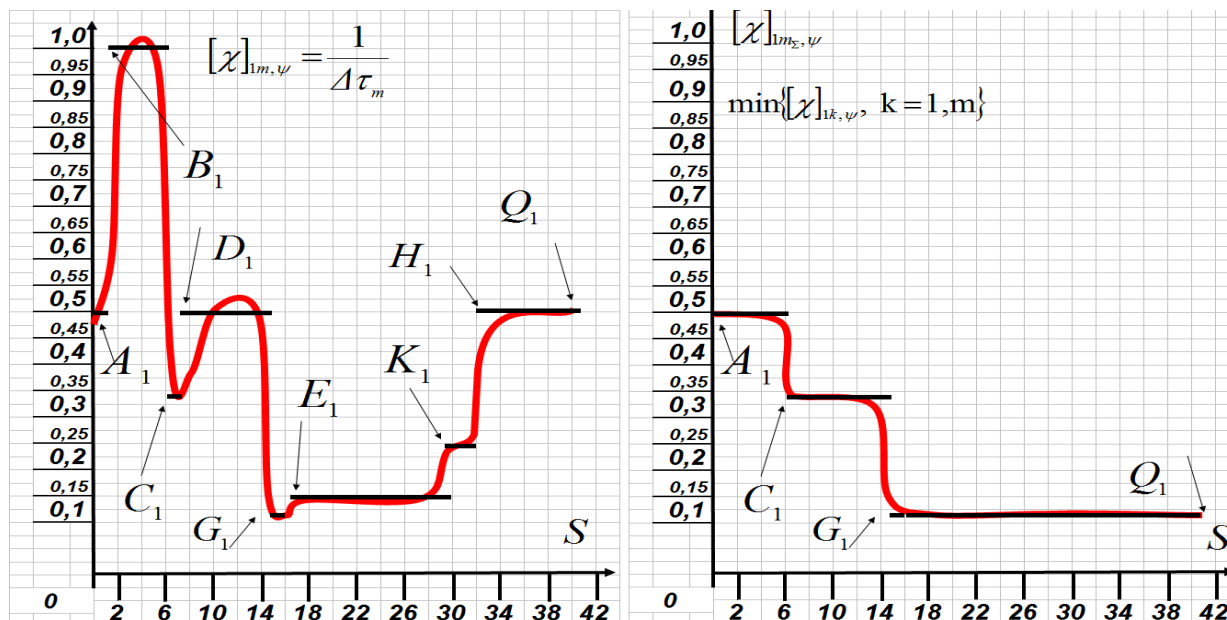


Fig. 3. Rate of the batch processing: a-normative; b-while co-processing

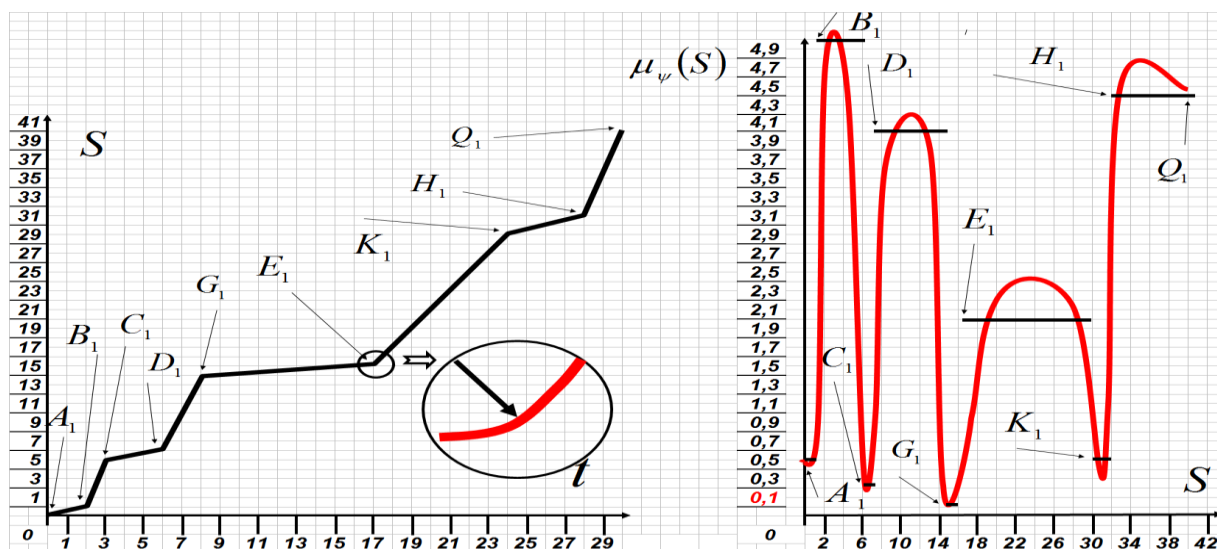


Fig. 4. Technological trajectory of the first subject of labour

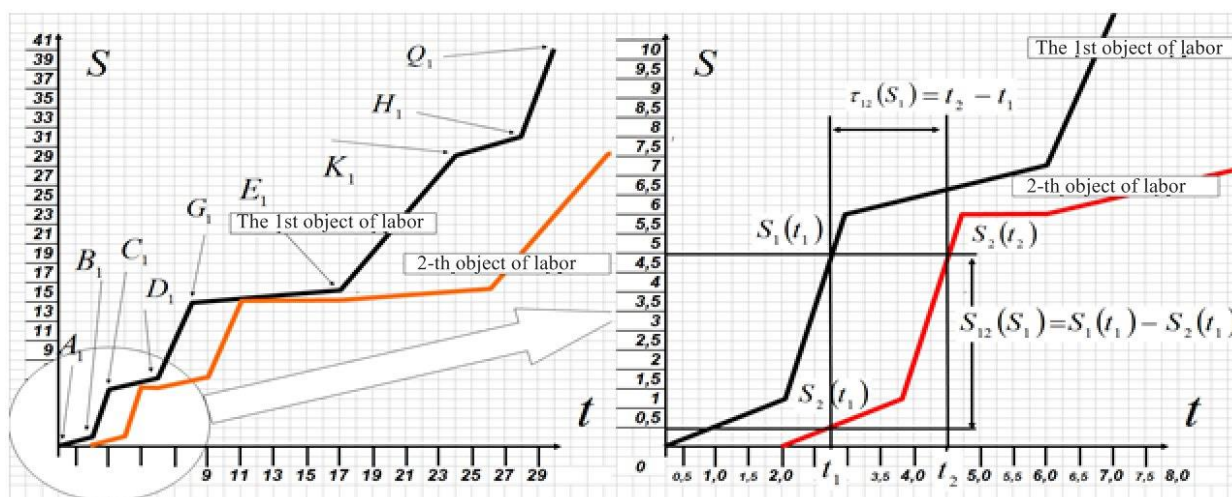


Fig. 5. Constraints on the trajectories imposed by the conditions of processing

The trajectory of the J-th subject of labour in phase technology space satisfies the equations

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \mu_j} = \frac{\partial L}{\partial S_j}, \quad \frac{dS_j}{dt} = \mu_j, \quad (j=1..N) \quad (7)$$

$$S_j(t_{0j}) = 0, \quad \mu_j(t_{0j}) = \mu_{0j}, \quad (8)$$

with the constraints imposed on the technological trajectories connected with the sequence of the subjects of labour processing and storage drive capacity:

$$S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \geq S_j(t), \quad S_{j-N_{m,\psi} \text{ Max}}(t) \geq S_j(t). \quad (9)$$

Lagrange function is defined as

$$L = J(S_j, \mu_j) + \lambda_1 \cdot \{S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) - S_j(t)\} + \lambda_2 \cdot \{S_{j-N_{m,\psi} \text{ Max}}(t) - S_j(t)\}, \quad (10)$$

where $J(S_j, \mu_j) = \mu_j^2 + \mu_{\psi}^2(S_j)$, t_{0j} - a time of the beginning of the j-th subject of labour processing.

We assume that the transferring of the resources on the individual separate operation occurs only on one subject of labour. It is not possible to process two following after each other subjects of labour on the m-th operation at the same time. The equations of movement for -j-th subject of labour in phase space considering (5)-(10) have the following form:

$$\frac{d\mu_j}{dt} = \mu_{\psi}(S_j) \frac{\partial \mu_{\psi}(S_j)}{\partial S} + \lambda_1 \cdot \left\{ \mu_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \cdot \frac{d(t - \tau_{\psi 12}(S_j))}{dS_j} - 1 \right\} - \lambda_2, \quad (11)$$

$$\frac{dS_j}{dt} = \mu_j, \quad (12)$$

$$S_j(t_{0j}) = 0, \quad \mu_j(t_{0j}) = \mu_{0j}, \quad (j=1..N) \quad (12)$$

$$S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \geq S_j(t), \quad \lambda_1 \geq 0, \quad \lambda_1 \cdot \{S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) - S_j(t)\} = 0, \quad (13)$$

$$S_{j-N_{m,\psi} \text{ Max}}(t) \geq S_j(t), \quad \lambda_2 \geq 0, \quad \lambda_2 \cdot \{S_{j-N_{m,\psi} \text{ Max}}(t) - S_j(t)\} = 0 \quad (14)$$

$$\lambda_1 \equiv 0 \text{ when } j-1 \leq 0 \text{ and } \lambda_2 \equiv 0 \text{ when } j - N_{m,\psi} \text{ Max} \leq 0. \quad (15)$$

From the condition by Kun-Tacker the conditions of additional state slackness results. It means that Lagrange multiplier λ_k equals zero if the constraint is performed as strict inequality, and the corresponding Lagrange multiplier is positive, if the constraint is performed as equality. Solving the system of equations (11)-(15) for the

batch of five subjects of labour, moving on the free streaming production line with equipment parameters (table 1) and initial conditions

$$S_j(\Delta\tau_1 \cdot (j-1)) = 0, \quad \mu_j(\Delta\tau_1 \cdot (j-1)) = \mu_\psi(0), \quad (j=1..5) \quad (16)$$

are presented in fig. 6.

The trajectory of movement of the j -th subject of labour on the segment $[A_j...g_j]$ is determined by the constraint (4) $S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \geq S_j(t)$ that leads to the fact that subjects of labour wait before the third and the fifth operations (fig. 8).

After the fifth operation subjects of labour movement doesn't have constraints. The equation describing the motion of subjects of labour after the fifth operation is:

$$\frac{d\mu_j}{dt} = \mu_\psi(S_j) \frac{\partial \mu_\psi(S_j)}{\partial S}, \quad \frac{dS_j}{dt} = \mu_j. \quad (17)$$

$$S_j(\tau_5 + \Delta\tau_5 \cdot (j-1)) = S_1(\tau_5) = S_{5,\psi}, \quad (j=1..5) \quad (18)$$

Conditions (16), (18) are defined by the tempo of co-processing $[\chi]_{m_\Sigma, \psi}$ of a batch of subjects of labour after the fifth operation $[\chi]_{m, \psi} > [\chi]_{m_\Sigma, \psi}$, $m > 5$ (fig. 3), that determines the time intervals of subjects of labor exit from the fifth and the subsequent operations (fig. 6). If we suggest for this batch of subjects of labour the initial conditions

$$S_j(\Delta\tau_5 \cdot (j-1)) = 0, \quad \mu_j(\Delta\tau_5 \cdot (j-1)) = \mu_\psi(0), \quad (j=1..5) \quad (19)$$

determined by the tempo of co-processing of the batch $[\chi]_{m_\Sigma, \psi}$, the constraints (13), (14) transform into strict equality with Lagrange multipliers $\lambda_k = 0$. With that, the system of equations (17), (18), describing the movement of subjects of labour along the route of a free streaming production line, will take the form

$$\frac{d\mu_j}{dt} = \mu_\psi(S_j) \frac{\partial \mu_\psi(S_j)}{\partial S}, \quad \frac{dS_j}{dt} = \mu_j, \quad (20)$$

Solving the system of equations (19), (20) is presented in Fig. 7. Technological trajectories of subjects of labour are shifted along the time axis on the value $\Delta\tau_5$, corresponding to the processing time of the subject of labour on the 5-th technological operation. With the original data (19) the solving of the system of equations (20) corresponds to the situation of the processing of the j -th subject of labour on 5-th operation without waiting in the entrance drive.

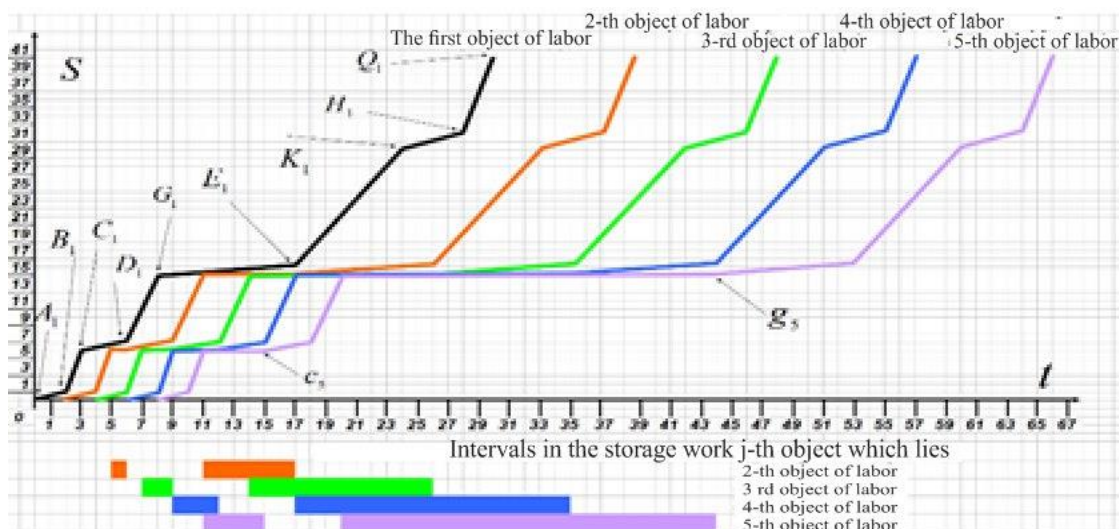


Fig. 6. The batch of subjects of labour movement trajectories with waiting in the drive

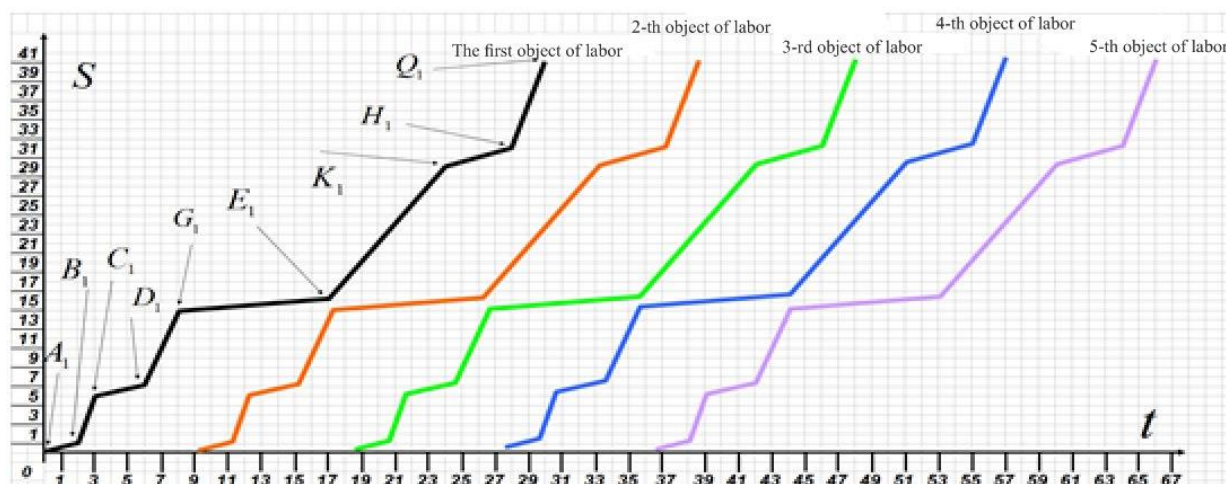


Fig. 7. The batch of subjects of labour movement trajectories without waiting in the drive

It should be noted that the production cycle time for the case with initial conditions (19) and (16), (12) remained unchanged. Thus, the following initial conditions

$$S_j \left(\frac{1}{[\chi]_{M\Sigma, \psi}} \cdot (j-1) \right) = 0,$$

$$\mu_j \left(\frac{1}{[\chi]_{M\Sigma, \psi}} \cdot (j-1) \right) = \mu_\psi(0), \quad (j=1..N) \quad (21)$$

do not affect the time of production cycle of the parts.

With increasing of the time between the start of the technological processing of subjects of labour on the first technological operation to $([\chi]_{M\Sigma, \psi})^{-1}$ the quantity of the subjects of labour in storages doesn't increase. When $\Delta\tau_1 \rightarrow ([\chi]_{M\Sigma, \psi})^{-1}$ the processing of the batch of the subjects of labour can be carried out without input storage devices (fig. 7).

The input of the subjects of labour on the first technological operation is determined by condition (21)

THE PROCESSING OF THE BATCH OF SUBJECT LABOUR ON BUSY PRODUCTION LINE

We examine the movement of the batch of parts (consisting of 5 items) on the technological route of the production streaming line, busy with the processing of a previous batch. The technological route consists of 8 operations, each of which is characterised by values $\Delta S_{m, \psi}$ and $\Delta\tau_m$ (table 1). The batch consisting of 10 subjects of labour is processed on the streaming production line. The subject of labour route consists of 6 operations, each of which is characterised by values $\Delta S_{m, \psi}$ and $\Delta\tau_m$ (table 2). Before processing of the batch of 5 subjects of labour, the streaming production line is busy with the processing of the batch of 10 subjects of labour. The trajectories of movement of the last subjects of the labour of the previous batch are constrained for the trajectories of movement of subjects of Labour of the following batch, entering the processing. The equations of movement of the j-th subject of labour received from the batch entering the processing have following forms:

$$\frac{d\mu_j}{dt} = \mu_\psi(S_j) \frac{\partial \mu_\psi(S_j)}{\partial S} + \lambda_1 \cdot \left\{ \mu_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \cdot \frac{d(t - \tau_{\psi 12}(S_j))}{dS_j} - 1 \right\} - \lambda_2, \quad \frac{dS_j}{dt} = \mu_j,$$

$$S_j(t_{Hj}) = 0, \quad \mu_j(t_{Hj}) = \mu_{Hj}, \quad (j=1..N),$$

$$S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) \geq S_j(t), \quad \lambda_1 \geq 0, \quad \lambda_1 \cdot \{S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j)) - S_j(t)\} = 0,$$

$$S_{j-N_{m, \psi} \text{ Max}}(t) \geq S_j(t), \quad \lambda_2 \geq 0, \quad \lambda_2 \cdot \{S_{j-N_{m, \psi} \text{ Max}}(t) - S_j(t)\} = 0.$$

In the considered case, while determining the trajectories of subjects of labour from the batch entering the processing, the index for $S_{j-1}(t - \tau_{\psi 12}(S_j))$ and $S_{j-N_{m, \psi} \text{ Max}}(t)$ can be less than zero or equal to zero. It means that the

trajectory of movement of the subject of labour from the batch entering the processing is limited by the trajectory of movement of the subjects of labour from the previous batch (fig. 8).

Table 2

Parameters of the technological operations						
Operation number	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
$\Delta S_{m, \psi}$, RUB	3	6	2	8	14	3
$\Delta \tau_m$, h	5	3	6	6	1	8
$S_{m, \psi} = \sum_{k=1}^m \Delta S_{k, \psi}$, RUB	3	9	11	19	33	36
$\tau_m = \sum_{k=1}^m \Delta \tau_k$, h	3	8	14	20	21	29
$[\chi]_{m, \psi} = \frac{1}{\Delta \tau_m}$, pcs. /h	0,2	0,33	0,17	0,17	1	0,12
$[\chi]_{m, \psi} = \min \{[\chi]_{k, \psi}, k=1, m\}$, pcs./h	0,2	0,2	0,17	0,17	0,17	0,12
$\mu_{m, \psi} = \frac{\Delta S_{m, \psi}}{\Delta \tau_m}$, hrn. /h	0,6	2	0,33	1,33	14	0,38
Entrance storage drive capacity, $N_{m, \psi \text{ Max}}$, pcs	5	2	3	4	4	4

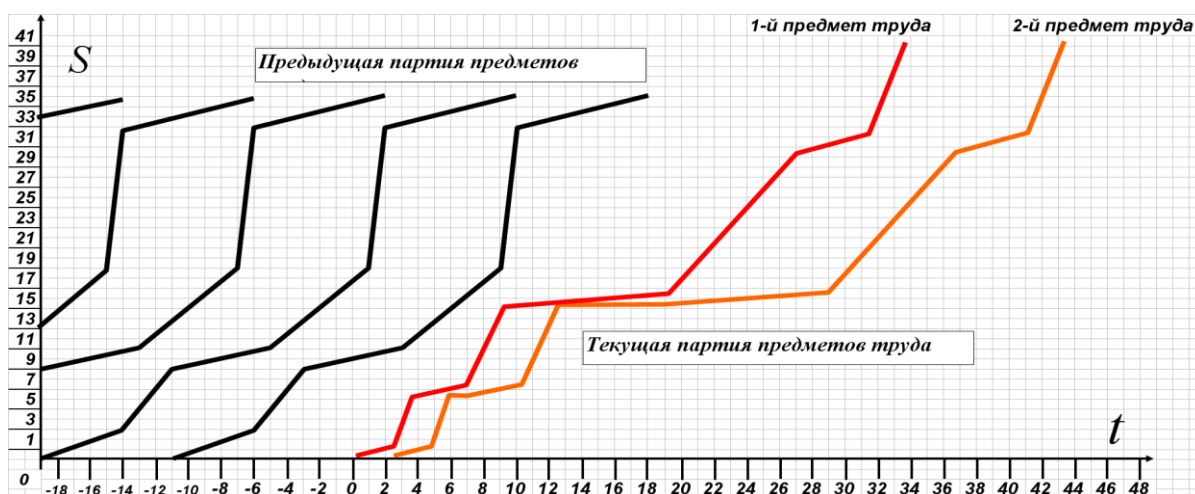


Fig. 8. Initial trajectories of the subjects of labour for busy

CONCLUSION

Final part. In the work we built a domain-technical description of the production process, based on conservation laws characterising the process of transfer of technological resources on the subject of labour, and the law of spatiotemporal structure of the technological process. It is shown that parameters of the managed production process are the variables which behaviour in general, is caused by the processes of transferring of technological resources on the subject of labour. The state of parameters of the production process is determined by the status of a great number of parameters of subjects of labour that are on the different processing stages along the route of technological operations. For the derivation of the unsteady-state equations of state of parameters of streaming line functioning in transient modes, we got the equation subjects of labour motion.

The following things were made in this work. A model of processing batches on the free streaming line was considered. We analysed the constraints that are imposed on technological trajectories of subjects of labour in production technology. The system of equations by Lagrange is obtained to describe changes of the properties of the batch of the subject of labour in the phase space, taking constraints into account. We defined the scope of values for the initial parameters conditions of subjects of labour, admitting analytical solution of a system of equations by Lagrange. It is shown that if we follow the conditions of continuous processing of subjects of labour

on one or few technological operations for a period of time, that is much longer than the effective time of the processing, the initial conditions do not affect the tempo of production.

As developing of the tasks about the batch of products processing on the free streaming line, the problem of processing of subjects of labour on the production line, busy with the processing of the previous batch, was considered. We got the system of equations by Lagrange to describe the movement of the subjects of labour batch in the phase space, taking into account the imposed constraints. Similarly to the task of processing of batch of products on the free streaming line, it is shown that for the period of time, much longer than the effective time of the processing, the initial conditions do not affect the tempo of the production under the circumstance of continuous operating of the modules for each technological operation.

Список литературы

1. Лысенко Ю.Г. Моделирование технологической гибкости производственно-экономических систем / Ю.Г. Лысенко, Н.В. Румянцев. – Донецк: ДНУ, 2007. – 238 с.
2. Митрофанов С.П. Технологическая подготовка гибких производственных систем / С.П. Митрофанов, Д.Д. Куликов. – Л.: Машиностроение, 1987. – 352 с.
3. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных производственных систем / В.Я. Копп. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – 700 с.
4. Лотов А.В. Введение в экономико-математическое моделирование / А.В. Лотов. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1984. – 392 с.
5. Scholz-Reiter B. Modelling and Control of Production Systems Based on Nonlinear Dynamics Theory / B. Scholz // Annals of the CIRP. – New York: Reiter. – 2002. – № 1. – PP. 375–378.
6. Пигнастый О.М. Статистическая теория производственных систем / О.М. Пигнастый. – Харків: ХНУ, 2007. – 388 с. – Available at: <https://goo.gl/dzcEZk>
7. Hopp W.J. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management / W.J. Hopp, M.L. Spearman. – Boston: Irwin. McGraw-Hill, 2001. – 698 p.
8. Бусленко Н.П. Математическое моделирование производственных процессов / Н. П. Бусленко. – М.: Наука, 1964. – 363 с.
9. Katzorke K. Chaos and complexity in simple models of production dynamics / K. Katzorke, A. Pikovsky // Discrete Dynamics in Nature and Society. – №5.–2000. – PP. 179-187.
10. Riano G. Transient behavior of stochastic networks: Application to production planning with load-dependent lead times / G. Riano // Atlanta, 2003. – 556 p.
11. Schmitz J.P. Chaos in Discrete Production Systems / J.P. Schmitz, J.E. Rooda // – Journal of Manufacturing Systems. – 2002. – V. 21. – №3. – P. 236-246.
12. Пигнастый О.М. Расчет производственного цикла с применением статистической теории производственно-технических систем / О.М. Пигнастый, В.Д. Ходусов // Доповіді Національної академії наук України. – Киев: Видавничий дім "Академперіодика". – 2009. – №12. – С. 38-44. Available at: <https://goo.gl/Qw6qqK>
13. Дудорин В.И. Математические методы в планировании машиностроительного производства / В.И. Дудорин. – М.: Машгиз, 1963. – 215 с.
14. Данилевский В.В. Технология машиностроения / В.В. Данилевский. – М.: Высшая школа, 1984. – 416 с.
15. Бессонов В.А. Темповые производственные зависимости с ограниченным эффективным множеством / В.А. Бессонов, И.П. Иванюков // ДАН СССР. – 1989. – Том 309, №5. – С. 1033-1036.
16. Бигель Дж. Управление производством / Дж. Бигель. – М.: Мир, 1973. – 420 с.
17. Бир С. Кибернетика и управление производством / С. Бир. – М.: Изд-во Физ.-мат. литературы, 1963. – 276 с.
18. Бабук В.В. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / В.В. Бабук, В.А. Шкред. – Минск: Выш. шк., 1987. – 255 с.
19. Балашевич В.А. Математические методы в управлении производством / В.А. Балашевич. – Минск: Выш. шк., 1976. – 334 с.
20. Pihnastyi O.M. Distinctive numbers of production systems functioning description / O.M. Pignasty // Problems of Atomic science and technology. – Kharkov: KIPT. – 2007. – №3 – P. 322-325. Available at: <https://goo.gl/1o9QIH>
21. Lefebvre E. Modeling, Validation and Control of Manufacturing Systems / E. Lefebvre, R.A. Berg, J.E. Rooda // Proceeding of the 2004 American Control Conference. – Massachusetts. – 2004. – PP. 4583-4588.
22. Пигнастый О.М. О построении целевой функции производственной системы / О.М. Пигнастый // Доповіді Національної академії наук України. – Київ: Видавничий дім "Академперіодика". – 2007. – №5. – С. 50-55. Available at: <https://goo.gl/dF18Kx>
23. Демуцкий В.П. Целевая функция производственной системы с массовым выпуском продукции / В.П. Демуцкий, О.М. Пигнастый, В.Д. Ходусов // Вісник Харківського національного університету. – Харків: ХНУ. – 2006. – N746. – С. 95-103. Available at: <https://goo.gl/KzUDqO>

24. Демущий В.П. Стохастическое описание экономико-производственных систем с массовым выпуском продукции / В.П. Демущий, В.С. Пигнастая, О.М. Пигнастый // Доповіді Національної академії наук України. – Київ: Видавничий дім "Академперіодика". – 2005. – №7. – С. 66-71. Available at: <https://goo.gl/Cu6MXe>

25. Раскин Л.Г. Прогнозирование технического состояния систем управления / Ю.Т. Костенко, Л.Г. Раскин. Х.: Основа, 1999, 303 с.

References

1. Lysenko Yu.G. Modelling of technological flexibility of production and economic systems / Yu.G. Lysenko, N.V. Romyantsev. – Donetsk: DNU, 2007. – 238 p.
2. Mitrofanov S.P. Technological preparation of flexible manufacturing systems / S.P. Mitrofanov, D.D. Kulikov. – L.: Mashinostroenie, 1987. – P. 352.
3. Kopp V.Ya. Simulation of automated production systems / V.Ya. Kopp. – Sevastopol': SevNTU, 2012. – 700 p.
4. Lotov A.V. Introduction to the economic and mathematical modeling / A.V. Lotov. – M.: Nauka. Glavnaya redaktsiya fiz-mat. literatury, 1984.– 392 p.
5. Scholz-Reiter B. Modelling and Control of Production Systems Based on Nonlinear Dynamics Theory / B. Scholz // Annals of the CIRP. – New York: Reiter. – 2002. – № 1. – P. 375–378.
6. Pihnastyi O. M. Statistical theory of production systems / O.M Pihnastyi. – Kharkiv: KhNU, 2007. – 388 p. Available at: <https://goo.gl/dzcEZk>
7. Hopp W.J. Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management / W.J. Hopp, M.L. Spearman. – Boston: Irwin. McGraw-Hill, 2001. – 698 p.
8. Buslenko N.P. Mathematical modeling of production processes / N.P. Buslenko. – M.: Nauka, 1964. – 363 p.
9. Katzorke K. Chaos and complexity in simple models of production dynamics / K. Katzorke, A. Pikovsky // Discrete Dynamics in Nature and Society. – №5.–2000. – PP. 179-187.
10. Riano G. Transient behavior of stochastic networks: Application to production planning with load-dependent lead times / G.Riano // Atlanta, 2003. – 556 p.
11. Schmitz J.P. Chaos in Discrete Production Systems. / J.P. Schmitz, J.E. Rooda // – Journal of Manufacturing Systems. – 2002. – V. 21. – №3. – P. 236-246.
12. Pihnastyi O. M. The calculation of the production cycle with the use of the statistical theory of technological systems / O.M. Pihnastyi, V.D. Khodusev // Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukraini. – Kiev: Vidavnychiy dim "Akademperiodika". – 2009. – №12. – P. 38-44. – Available at: <https://goo.gl/Qw6qqK>
13. Dudorin V.I. Mathematical methods in the planning of machine-building production / V.I. Dudorin. – M.: Mashgiz, 1963. – 215 p.
14. Danilevskiy V.V. Mechanical engineering Technology / V.V. Danilevskiy. – M.: Vysshaya. shkola, 1984. – 416 p.
15. Bessonov V. A. Depending tempo production with limited effective set / V. A. Bessonov, I. P. Ivanilov // DAN SSSR. – 1989. – Tom 309, №5. – P. 1033-1036.
16. Bigel' Dzh. Upravlenie proizvodstvom / Dzh. Bigel'. – M.: Mir, 1973. – 420 p.
17. Bir S. Cybernetics and production management / S. Bir. –M.: Izd-vo Fiz.-mat. literatury, 1963. – 276 p.
18. Babuk V.V. Designing technological processes of machining in mechanical engineering / V.V. Babuk, V.A. Shkred. – Minsk: Vysh. shk., 1987. – 255 p.
19. Balashevich V.A. Mathematical methods in production management / V.A. Balashevich. – Minsk: Vysh. shk., 1976. – 334 p.
20. Pihnastyi O.M. Distinctive numbers of production systems functioning description / O.M. Pignasty // Problems of Atomic science and technology. – Kharkov: KIPT. – 2007. – №3 – P. 322-325. Available at: <https://goo.gl/1o9QIH>
21. Lefeber E. Modeling, Validation and Control of Manufacturing Systems / E. Lefeber, R.A. Berg, J.E. Rooda // Proceeding of the 2004 American Control Conference. –Massachusetts. – 2004. – P. 4583-4588.
22. Pihnastyi O.M. On the construction of the objective function of the production system / O.M. Pihnastyi // Dopovidi Natsional'noi akademii nauk Ukraini. – Kiiiv: Vidavnychiy dim "Akademperiodika". – 2007. – №5. – P. 50-55. Available at: <https://goo.gl/dF18Kx>
23. Demutskiy V.P. The objective function of the production system with mass production / V.P. Demutskiy, O.M. Pihnastyi, V.D. Khodusev // Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo universitetu. – Kharkiv: KhNU. – 2006. – №746. – P. 95-103. Available at: <https://goo.gl/KzUDqO>
24. Demutskiy V.P. Stochastic description of the economic and production systems to mass production / V.P. Demutskiy, V.S. Pihnastyi, O.M. Pihnastyi // ovidi Nacional'noi akademii nauk Ukraini. – Kiiiv: Vidavnychij dim "Akademperiodika". – 2005. – №7. – P. 66-71. – Available at: <https://goo.gl/Cu6MXe>
25. Raskin L.G. Forecasting technical state management systems / Yu.T. Kostenko, L.G. Raskin. Kh.: Osnova, 1999, 303 p.

Pihnastyi Oleh Mikhalovich, Doctor of Technical Sciences, Department of Computer Monitoring and logistics

Пигнастый Олег Михайлович, доцент, доктор технических наук, профессор кафедры компьютерного мониторинга и логистики

УДК 004.62

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-14-19

Путивцева Н.П.¹
Зайцева Т.В.¹
Пусная О.П.¹
Трошина Т.С.²
Васина Н.В.³

О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ УЧИТЕЛЕЙ К КАТЕГОРИИ

¹ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85, г. Белгород, 308015, Россия

² МБОУ СОШ №21, ул. Чапаева д.14, г. Белгород, 308015, Россия

³ Тульский государственный университет, пр. Ленина, 92, г. Тула, 300012, Россия

e-mail: putivzeva@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru, 79192824931@ya.ru, vasina@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе рассматривается новая методика оценивания принадлежности учителей к категории. На заседании Государственного совета по вопросам совершенствования системы общего образования в Российской Федерации президент предложил разработать и внедрить общенациональную систему профессионального роста учителей. Оценка производится на основе комплексного показателя, рассчитываемого как взвешенная сумма двух частных оценок. Приведены оценка признаков, определяющих профессиональные и личные качества учителей, оценка уровня квалификации учителя, установлены значения по степени усложнения работ. В статье установлены градации для определения соответствия учителей категориям. На основании применения данного подхода для сравнения категории, которая должна быть присвоена учителю после расчета, с той категорией, которую он в данный момент имеет в соответствии с решением руководства школы, можно сказать, что предложенный подход позволяет более обоснованно определять уровень соответствия учителей имеющимся категориям.

Ключевые слова: методика оценивания; система профессионального роста; комплексная оценка; категория учителя.

UDC 004.62

Putivtseva N.P.¹
Zaitseva T.V.¹
Pusnaya O.P.¹
Troshina T.S.²
Vasina N.V.³

ON THE DEVELOPMENT OF METHODS OF COMPREHENSIVE EVALUATION OF CONFORMITY OF TEACHERS TO CATEGORIES

¹ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

² Seconddary school №21, 14 Chapaeva St., Belgorod, 308015, Russia

³ Tula State University, 92 Lenina Av., Tula, 300012, Russia

e-mail: putivzeva@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru, 79192824931@ya.ru, vasina@bsu.edu.ru

Abstract

The paper deals with a new method of evaluation of if the teacher corresponds to the category. At a meeting of the State Council on the improvement of the educational system in the Russian Federation, the President proposed to develop and implement a national system of teachers' professional development. In this paper the assessment is based on an integrated index, which is calculated as a weighted sum of two partial assessments. Results of assessment of characteristics that define the professional and personal qualities of teachers, assessment of the teacher's qualifications are given in the paper, and degrees of complexity of their work are set. The article describes established graduations to determine whether teachers correspond to their categories. On the basis of this approach that compare the categories that should be assigned to the teacher

after the described calculation, with the categories which the teacher currently has in accordance with the decision of the school management, it can be said that the proposed approach allows to determine the level of compliance of teachers to available categories more reasonably.

Keywords: assessment methodology; system for professional growth; comprehensive evaluation; teacher category.

Президент Российской Федерации отметил важность профессионального роста учителей в современных условиях, когда педагоги уже не являются одним источником информации, и оставаться на уровне конкурентоспособности очень сложно. Разработать и внедрить общенациональную систему профессионального роста учителей призвал правительство РФ президент Владимир Путин, выступая в Кремле на заседании Государственного совета по вопросам совершенствования системы общего образования в Российской Федерации.

Первым пунктом этой программы глава государства назвал внедрение современных программ подготовки и повышения квалификации педагогов, которые соответствуют профессиональным требованиям. Президент призвал совершенствовать систему оценки квалификации, качества результатов работы учителя, «делать её более объективной, менее бюрократической, и главной должна быть оценка не чиновника, а коллег, профессионального сообщества».

«Современные информационные технологии позволяют создать механизм оценки учителей, в том числе на основе мнения выпускников школ, тех, кто уже вошёл во взрослую жизнь и уже с высоты каких-то прожитых лет, времени может дать действительно заслуженную, справедливую оценку своим школьным наставникам», — отметил он.

Таким образом, проблема объективной оценки учителей является на сегодняшний день действительно актуальной.

Для того чтобы обоснованно определить, соответствует ли учитель присвоенной ему категории или чтобы при приеме учителя определить, какую категорию ему присвоить, целесообразно использовать комплексную оценку, которая позволила бы оценить учителей одновременно по разным показателям их работы либо по сферам их деятельности в рамках занимаемой должности. Одним из возможных методов оценки может быть следующий подход, в котором оценка производится на основе комплексного показателя, рассчитываемого как взвешенная сумма двух частных оценок [1]. Применим данный подход к оценке учителей.

Первая частная оценка определяет показатели, характеризующие степень развития профессиональных и личных качеств работника (П) и его уровень квалификации (К), а также их количественные измерители, поскольку для оценки педагога сложно отделить его профессиональные качества от личностных, что связано со спецификой выполняемой им деятельности.

Вторая частная оценка определяет показатели, характеризующие выполняемую работу, и позволяет сопоставить результаты работы учителя (Р) с учетом уровня сложности выполняемых им функций (С).

Комплексная оценка (Д) определяется по формуле:

$$Д = w_1 \times П \times К + w_2 \times Р \times С,$$

где w_1, w_2 – весомости каждой из двух частных оценок.

Каждый частный показатель комплексной оценки характеризуется своим набором признаков и имеет соответствующую шкалу для их количественного измерения [6].

Для определения показателя (П) производится оценка проявления каждого из признаков (табл.1) с учетом их удельной значимости, определяемой экспертным путем.

Каждый признак профессиональных и личных качеств (для учителей $n=7$) имеет 3 уровня проявления и оценивается по принципу отклонения от среднего значения. При соответствии конкретного признака среднему уровню его количественная оценка =1.0, ниже среднего=0.75, выше среднего=1.25.

Оценка всей совокупности признаков производится как сумма произведений оценок признаков и их удельной значимости:

$$П = \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot x_i$$

где i – порядковый номер признака;

j – уровень проявления признака;

a_{ij} – количественная мера признака у работника;

x_i – удельная значимость признака в общей оценке.

Таблица 1

Оценка признаков, определяющих профессиональные и личные качества учителей

Table 1

Assessment of symptoms that define the professional and personal qualities of teachers

№ п/п	Признаки профессиональных и личных качеств учителя	Удельная значимость признака в общей оценке профессионально- личностных качеств	Оценка признаков с учетом удельной значимости		
			0,75	1,0	1,25
1.	Профессиональная компетентность – знание педагогики, возрастной и педагогической психологии, нормативных документов по образовательной деятельности, широта профессионального кругозора; знание преподаваемого предмета	0,25	0,1875	0,25	0,3125
2.	Сознание ответственности за последствия своих действий, принимаемых решений, за учеников на уроке	0,14	0,105	0,14	0,175
3.	Способности четко организовывать и планировать выполнение полученных заданий, умение рационально использовать рабочее время, сосредоточиться на главном, умение работать с документами, в том числе и электронными	0,12	0,09	0,12	0,15
4.	Способность выполнять должностные обязанности самостоятельно, без помощи завуча или наставника	0,1	0,075	0,1	0,125
5.	Творческий подход к решению поставленных задач, активность и инициатива в освоении новых компьютерных и информационных технологий, способность быстро адаптироваться к новым условиям и требованиям, способность к саморазвитию, умение проводить уроки с использованием инновационных технологий	0,15	0,1125	0,15	0,1875
6.	Способность сохранять высокую работоспособность в экстремальных условиях	0,1	0,075	0,1	0,125
7.	Умение взаимодействовать с родителями и коллегами по работе	0,14	0,105	0,14	0,175

Для оценки К используются уровень специального образования и стаж работы по специальности.

По уровню образования учителя распределяются на 4 группы [3]:

- 1 группа – имеющие среднее специальное образование (педколледж);
- 2 группа – имеющие высшее образование (бакалавриат или специалитет)
- 3 группа – имеющие высшее образование (магистратура)
- 4 группа – имеющие высшее образование и научную степень

В зависимости от стажа работы по специальности учителя распределяются на 4 группы по каждому уровню образования (табл.2)

Оценка уровня квалификации определяется:

$$K = \frac{ОБ + СТ}{5}$$

ОБ – оценка образования (ОБ=1,2,3,4)

СТ – оценка стажа работы по специальности

5 – постоянная величина, соответствующая сумме максимальных оценок (ОБ+СТ)

Таблица 2

Оценка уровня квалификации

Table 2

The proficiency level

Номер группы по стажу	Оценка стажа	Стаж работы по специальности у работников, имеющих образование, годы			
		1 группа – имеющие среднее специальное образование (педколледж)	2 группа – имеющие высшее образование (бакалавриат или специалитет)	3 группа – имеющие высшее образование (магистратура)	4 группа – имеющие высшее образование и научную степень
1	0,25	0-9	0-9	0-7	0-5
2	0,5	10-13, свыше 30	10-13	8-11	6-10
3	0,75	14-17, 25-30	14-22, свыше 30	12-20, свыше 30	11-17
4	1	18-24	23-30	21-30	свыше 17

Для оценки С по каждому признаку (характер работ помимо проведения уроков, разнообразие применяемых в обучении методов и технологий, степень самостоятельности при их разработке, масштаб и сложность руководства, дополнительная ответственность) установлены значения по степени усложнения работ (табл.3, 4) [4].

Таблица 3

Средние коэффициенты сложности работ учителей в зависимости от присвоенной категории

Table 3

Average coefficients of complexity of the work of teachers, depending on the assigned categories

№ п/п	Наименование категории учителя	Коэффициент сложности
1.	Высшая	1,0
2.	Первая	0,85
3.	Вторая	0,7
4.	Специалист	0,5

Для определения величины Р производится оценка уровня проявления каждого из следующих признаков (табл. 4). Количественные оценки по каждому из признаков определяются путем сопоставления фактически достигнутых

результатов с критериями оценки в виде полученных заданий, установленных сроков, среднего уровня достигнутых результатов по группе работников [2].

Определяется аналогично П.

Таблица 4

Оценка признаков, определяющих результаты труда

Table 4

Evaluation of signs that determine the results of labor

№ п/п	Признаки профессиональных и личных качеств	Удельная значимость признака в общей оценке деловых качеств	Оценка признаков с учетом удельной значимости		
			0,75	1,0	1,25
1.	Количество выполненных работ	0,3	0,225	0,3	0,375
2.	Качество выполненных работ	0,4	0,3	0,4	0,475
3.	Соблюдение сроков выполнения работ	0,3	0,225	0,3	0,375

Д получается на основе учета всех рассмотренных выше показателей оценки.

$$Д = w_1 \times П \times К + w_2 \times Р \times С$$

Для определения значения весов был проведен опрос среди учителей и руководства пяти школ г. Белгород и Белгородского района, усредненные значения весомостей составили: $w_1=0,55$, $w_2=0,45$.

Установим градации для определения соответствия учителей категориям.

Для высшей категории

[1,115; 1,239] – высокий уровень соответствия присвоенной категории

[0,867; 1,102] – хороший

[0,619; 0,855] – удовлетворительный
[0,393; 0,619] – неудовлетворительный

Для первой категории

[0,877; 0,974] – высокий уровень соответствия присвоенной категории
[0,682; 0,867] – хороший
[0,487; 0,672] – удовлетворительный
[0,393; 0,487] – неудовлетворительный

Для второй категории

[0,828; 0,920] – высокий уровень соответствия присвоенной категории
[0,644; 0,819] – хороший
[0,460; 0,635] – удовлетворительный
[0,275; 0,460] – неудовлетворительный

Для категории специалиста

[0,523; 0,581] – высокий уровень соответствия присвоенной категории
[0,407; 0,517] – хороший
[0,291; 0,401] – удовлетворительный
[0,204; 0,291] – неудовлетворительный

Применим данный подход для сравнения категории, которая должна быть присвоена учителю после расчета на основе представленного подхода, с той категорией, которую он в данный момент имеет в соответствии с решением руководства школы [5].

На основе собеседования в школе и анализа формальных показателей руководство школы присвоило учителю первую категорию.

Частные показатели имеют следующие значения:

Профессиональная компетентность... – 0,25

Сознание ответственности... – 0,175

Способности четко организовывать и планировать... – 0,15

Способность выполнять должностные обязанности самостоятельно... – 0,125

Творческий подход к решению поставленных задач... – 0,1875

Способность сохранять высокую работоспособность... – 0,1

Умение взаимодействовать с родителями и коллегами по работе – 0,14

По уровню образования – 4 группа

Стаж – 6-10

Категория – первая

Количество выполненных работ – 0,3

Качество выполненных работ – 0,475

Соблюдение сроков выполнения работ – 0,375

Произведем расчеты, и определим, в какую категорию попал бы учитель при использовании при приеме на работу вышеописанного подхода. Значение Д для данного учителя составило 0,998 – это составляет хороший уровень соответствия высшей категории и выше, чем высокий уровень соответствия первой категории.

Таким образом, данный подход позволяет более обоснованно определять уровень соответствия учителей имеющимся категориям.

Список литературы

1. Барышникова Е.И. Оценка персонала методом ассессмент-центра. Лучшие HR-стратегии. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2013. 255 с.
2. Кибанова А.Я. Управление персоналом организации. М.: ИНФРА-М, 1997.
3. Организационная диагностика и оценка персонала. Технология LASPI / Ерофеев, А.К. // Ежегодник Российского психологического общества. Психология и ее приложения, Т. 9, вып. 3. М., 2002.
4. Оценка профессиональных компетенций учителей общеобразовательных учреждений URL: <http://pandia.ru/text/77/129/155.php> (дата обращения: 15.02.2017)
5. Оценка профессиональных компетенций учителей общеобразовательных учреждений, участвующих в апробации новых механизмов оплаты труда Раздел портфолио «Качество предметной подготовки и здоровья обучающихся» URL: <http://lib.znate.ru/docs/index-111970.html> (дата обращения: 15.02.2017)

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 8 августа 2013 г. N 678 г. Москва "Об утверждении номенклатуры должностей педагогических работников организаций, осуществляющих образовательную деятельность, должностей руководителей образовательных организаций"

References

1. Baryshnikova E.I. Personnel assessment method assessment center. Top HR-strategy. Moscow: Mann, Ivanov i Ferber, 2013. P. 255.
2. Kibanova A.Ja. Human Resources Organization. Moscow: INFRA-M, 1997.
3. Organizational diagnosis and assessment of staff. Technology LASPI / Erofeev, A.K. // Yearbook of the Russian Psychological Society. Psychology and its applications, T. 9, vyp. 3. M., 2002.
4. Assessment of professional competence of teachers of educational institutions URL: <http://pandia.ru/text/77/129/155.php> (date of the application: 15.02.2017)
5. Assessment of professional competence of teachers of educational institutions participating in the testing of new remuneration arrangements Section Portfolio "quality subject training and health of students" URL: <http://lib.znate.ru/docs/index-111970.html> (date of the application: 15.02.2017).
6. Resolution of the Russian Government dated August 8, 2013 N 678 Moscow "On approval of the nomenclature of the posts of teachers organizations engaged in educational activities, positions of heads of educational institutions"

Путивцева Наталья Павловна, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат технических наук

Зайцева Татьяна Валентиновна, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат технических наук, доцент

Пусная Ольга Петровна, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Трошина Татьяна Сергеевна, учитель начальных классов

Васина Наталья Валентиновна, доцент кафедры начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графики, кандидат технических наук, доцент

Putivtseva Natalia Pavlovna, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Technologies, PhD in Technical Sciences

Zaitseva Tatyana Valentinovna, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Technologies, PhD in Technical Sciences

Pusnaya Olga Petrovna, Senior Lecturer, Department of Applied Informatics and Information Technologies

Troshina Tatyana Sergeevna, primary school teacher

Vasina Natalia Valentinovna, Associate Professor, Department of descriptive geometry, engineering and computer graphics, PhD in Technical Sciences

УДК 004.56

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-20-27

Оладько В.С.¹
Бабенко А.А.²
Алексина А.А.²

**ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ СИСТЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ ВУЗА**

¹) Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
Ленинградский просп., 49, г. Москва, 125993 (ГСП-3), Россия

²) Волгоградский государственный университет. Проспект Университетский, 100, г. Волгоград, 400062, Россия
e-mail: oladko.vs@yandex.ru, ba_benko@mail.ru, ulesova_anastasia@mail.ru

Аннотация

Исследование посвящено проблеме информационной безопасности системы дистанционного образования вуза. Выделены функции, задачи, субъекты и элементы системы дистанционного образования. Определены ценные активы и информационные ресурсы. Описан технологический процесс обработки информации в системе дистанционного образования и выделены его уязвимости. Составлена модель угроз и выделены основные направления обеспечения безопасности системы дистанционного образования. Показана необходимость проведения регулярной оценки защищенности, как средства контроля эффективности системы защиты. Предложен и формализован подход к выбору рационального метода оценки защищенности системы дистанционного образования. В соответствии с разработанным подходом проведен сравнительный анализ методов оценки защищенности, показавший, что при разработке модели оценки защищенности СДО вуза наиболее рациональными являются методы количественно-качественной оценки защищенности по уровням и квалитетическим шкалам.

Ключевые слова: информационная безопасность; угроза; атака; информационная система; образовательное учреждение; модель угроз.

UDK 004.56

Oladko V.S.¹
Babenko A.A.²
Aleksina A.A.²

**SECURITY ASSESSMENT
OF UNIVERSITY DISTANCE EDUCATION**

¹) Financial University under the Government of the Russian Federation,
49 Leningradsky prosp., Moscow, 125993 (GSP-3), Russia

²) Volgograd State University, 100 Prospect Universitetskiy, Volgograd, 400062, Russia
e-mail: oladko.vs@yandex.ru, ba_benko@mail.ru, ulesova_anastasia@mail.ru

Abstract

Research is devoted to information security problem of distance education university system. The functions, tasks, subjects and elements have been determined in the system of distance education. The technological process of processing information in the system of distance education is described and are marked its vulnerability. The model of threats is made and identified basic directions of the security system of distance education. The need for regular assessment of the security as a means of monitoring the effectiveness of the protection system is shown. The authors have proposed and formalized approach to the choice of rational method of distance education system security assessment. A comparative analysis of the vulnerability assessment methods showed that the development model of the university LMS security assessment is the most rational methods of quantitative and qualitative evaluation of security through the levels.

Keywords: information security; threats; attacks; information system; educational institution; threat model.

Введение

В настоящее время одним из важных направлений в глобализации образовательного пространства является применение средств и систем дистанционного образования (СДО), позволяющих адекватно и гибко реагировать на потребности общества и обеспечивать реализацию конституционного права на образование каждого гражданина [3]. Любая СДО использует информационно-коммуникационные технологии и сети передачи данных для осуществления взаимодействия между участниками образовательного процесса, хранения и обработки информации. СДО строится на базе информационной системы (ИС) учебного заведения и представляет собой распределенное, гетерогенное приложение с базой данных и web-интерфейсами. Как показано в работах [1, 2] подобная архитектура и принцип функционирования порождает ряд проблем связанных с безопасностью сервисов СДО, а также качеством предоставляемых пользователям услуг. Нарушение безопасности СДО в результате воздействий различной природы, приводит и к нарушению информационной безопасности (ИБ) в сегменте или всей ИС учебного заведения. Вывод подтверждается статистикой представленной компанией Positive Technologies в 2016 году [5], показывающей, что 30% всех атак на корпоративные ресурсы идут через web-приложения, что связано с высоким процентом критически опасных уязвимостей web-инфраструктуры (70%). Следовательно, для предотвращения различных сценариев нарушения ИБ, как СДО, так и базовой ИС учебного заведения, необходимо осуществлять периодический контроль над состоянием защищенности системы, выявлять потенциальные риски и своевременно применять механизмы безопасности, направленные на предотвращение угроз и минимизацию рисков.

Анализ систем дистанционного образования вуза

В настоящее время существуют множество СДО вузов. Это готовые программные продукты – «Прометей», «СТ Курс», Moodle, «Интразнание», «Батисфера» и собственные разработки учебного заведения – ПТК «УМКА» в ВолГУ. СДО – комплекс различных программных продуктов и решений, часть из которых находится на сервере, часть – на персональных компьютерах учащихся. Взаимодействие между ними, основанное на передаче данных, происходит через глобальную сеть. Вся информация, которая относится к учебному процессу, хранится на сервере вуза.

СДО позволяют решать следующие основные задачи:

- 1) организация проверки знаний обучающихся через интернет;
- 2) организация учебного процесса с различной степенью соответствия классической модели университетского образования;
- 3) создание модели распределенной образовательной сети.

Для решения описанных выше функций в СДО выделяют следующие возможные подсистемы (табл. 1).

Таблица 1

Подсистемы СДО вуза

Table 1

Subsystems LMS university

Подсистема	Функции
Регистрации	Позволяет просматривать списки учебных курсов, получать подробную информацию по курсам и программам обучения, формировать «корзину», вводить персональные данные, отправлять заказ на обработку, для входа в систему пользователи проходят процедуры идентификации и аутентификации на основе пары – логин, пароль.
Библиотека	Хранение учебных материалов в виде файлов, разграничение доступа участников учебного процесса к курсам и файлам, сбор статистики.
Подсистема календарного плана	Создание и редактирование плана-графика учебного процесса и мероприятий, установка оценок обучающимся по выполнению мероприятий плана-графика.
Тестирование	Проверка знаний обучающихся, проведение тестирования для самостоятельного контроля знаний и проведение экзаменационного тестирования, подсчет оценок и набранных баллов, формирование отчета об успеваемости и прохождении курса.
Обмен информацией	Общение участников образовательного процесса посредством: форума, чата, почтовый рассылки, обмена сообщениями, доски объявлений, обмена файлами

Анализ структуры, функций и подсистем СДО выделил информационные активы: персональные данные пользователей, аутентификационные и идентификационные данные, авторские учебные материалы,

тесты и курсы, оценочные ведомости, списки студентов и групп, списки курсов, платежные данные и данные о покупке курсов, образовательные материалы, файлы, фото, изображения, видеоматериалы, учебные планы, стандарты, инструкции по работе пользователей в СДО.

Активы имеют свою ценность, уровень доступа, что следует учитывать при анализе ИБ СДО, составлении модели актуальных для СДО угроз и оценке рисков.

Функциональными компонентами СДО являются:

1) веб-приложение – внешний интерфейс, предназначенный для организации удаленного доступа студентов к содержанию учебных курсов, презентациям, мультимедийным материалам, тестам и интерактивного взаимодействия с преподавателем;

2) база данных, в которой хранится наполнение учебных курсов, размещаются оценочные материалы, электронные учебники, информация для студентов и данные об успеваемости;

3) сервер СДО, являющийся ядром системы и обеспечивающий основные функциональные возможности.

Основными субъектами взаимодействия в СДО являются внутренне и внешние пользователи, которых можно разделить на следующие группы: преподаватели вуза; методисты вуза; администраторы, программисты, специалисты по ИБ информационных подразделений вуза; студенты.

В соответствии с выделенными функциональными подсистемами и субъектами типовой технологический процесс обработки информации в СДО допустимо представить следующим образом:

1) подключение пользователя к веб-сайту СДО;

2) предоставление пользователем регистрационных данных необходимых для прохождения процедур идентификации и аутентификации и входа в личный кабинет;

3) авторизация пользователя на сервере СДО;

4) запрос на сервер СДО на предоставление информации и доступа к ресурсам курсов и подсистем СДО;

5) ввод, модификация или вывод информации открытого и/или ограниченного доступа;

6) получение пользователем запрошенного материала и данных;

7) отключение пользователя от ресурсов СДО.

В этом случае наиболее уязвимыми с точки зрения ИБ будут процессы:

- передачи идентификационных и аутентификационных данных пользователя СДО;
- обмен данными между браузером удаленного пользователя и веб-сайтом СДО.
- авторизации пользователя в СДО;
- извлечение и запись данных в БД СДО и ИС вуза;
- обмен данными между сервером СДО и сервером ИС вуза;
- система организации платежей и покупки курсов СДО;
- администрирование СДО.

Данный вывод обусловлен тем, что именно в процессе выполнения данных действий, наиболее вероятна попытка злоумышленника реализовать атаку на СДО и получить доступ к ее ресурсам, сервисам и данным.

Исследование угроз безопасности СДО

Анализ отчетов по нарушениям и инцидентов ИБ от ведущих компаний в области ИБ [5, 6] показывает, что в 82% ИС существует возможность преодоления сетевого периметра и НСД к ресурсам из внешней сети. Это особенно характерно для распределенных в сети систем, к которым относится СДО, часть архитектуры которой вынесена за периметр основной сети вуза и находится в круглосуточном доступе пользователей глобальной сети и может стать объектом целевых атак злоумышленника. Согласно [5] наиболее распространенными стали атаки, направленные на: браузер пользователей и веб-приложения (26%), отказ в обслуживании веб-приложений и серверов (22%), на систему аутентификации пользователей (18%), которые реализуются с помощью вредоносного программного обеспечения.

Согласно проекту методического документа ФСТЭК по определению угроз безопасности в ИС [4] процесс определения ИБ должен охватывать все объекты защиты и сегменты в логических и физических границах системы. Поэтому при составлении модели угроз СДО, предлагается выделить четыре основных структурных элемента (таблица 2).

Таблица 2

Модель угроз безопасности СДО вуза

Table 2

Model security threats university LMS

	Элемент СДО	Угроза	Последствия
1	Веб-интерфейс СДО	1) SQL и PHP-инъекции; 2) XSS-атаки; 3) подделка межсайтовых запросов ; 4) атаки на браузер; 5) удаленное выполнение кода и отказ в обслуживании сервисов; 6) спам рассылки; 7) фишинг.	Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации и сервисов веб-приложения СДО, финансовые потери, потери репутации вуза, проникновение на сервер СДО и ИС вуза.
2	Сервер СДО	1) перебор паролей и атаки на систему аутентификации пользователей; 2) вызов исключительных ситуаций; 3) повышение привилегий; 4) ошибки администрирования; 5) сканирование портов; 6) DDos и Dos-атаки; 7) сбои и отказы программно-аппаратных средств сервера; 8) отказ поддерживающей инфраструктуры.	Нарушение конфиденциальности, целостности и доступности информации, проникновение в ИС вуза, прерывание бизнес-процессов, нарушение доступности сервисов.
3	БД СДО	1) SQL-инъекции; 2) случайное удаление/модификация данных в БД и журналах транзакций в результате ошибок пользователей; 3) кража персональных данных; 4) НСД к БД и журналам транзакций; 5) намеренное уничтожение и модификация данных; 6) уничтожение БД в результате сбоя и отказов технических средств.	Отказ от обязательств и совершенных действий, нарушение авторского права, нарушение целостности и конфиденциальности.
4	Подсистема платежей и покупки курсов.	1) НСД к платёжным данным; 2) мошенничество; 3) кража финансовых средств.	Финансовые и репутационные потери.

При реализации целевых атак, злоумышленник использует [7]:

– уязвимости в веб-приложении (CMS) и сервисах СДО;

– уязвимости в веб-браузерах пользователей СДО;

– уязвимости в прикладных программах и плагинах Adobe Reader, Adobe Flash Player и OracleJava, которые используются при выполнении скриптов, а также чтении и загрузки документов и мультимедиа файлов;

– слабые пароли и недостатки процесса аутентификации на сервере СДО;

– ошибки в конфигурировании и администрировании СДО;

– вредоносное программное обеспечение;

– слабости системы защиты информации ИС вуза и СДО.

В среднем для получения доступа к СДО внешнему злоумышленнику требуется использовать лишь две уязвимости.

Идентифицированные в общей модели угрозы безопасности СДО подлежат исследованию на предмет актуальности и необходимости применения защитных средств и механизмов, направленных на блокирование угрозы и снижение тяжести ее последствий. Для этого исследуются такие характеристики угроз как вероятность реализации и потенциальный ущерб. Оценка может производиться как на основании статистической информации, так и по результатам экспертной оценки.

Как показывает [8,10] при формировании экспертной группы привлекаются несколько категорий специалистов от аналитиков, специалистов по защите информации, разработчиков, пользователей и руководителей, которые оценивают угрозы и их параметры по количественной или качественной шкале, затем на основании оценок формируется интегральный показатель каждой угрозы. Соотношение между ущербом, вероятностью или частотой возникновения угрозы определяет уровень риска от реализации угрозы, использующийся при ранжировании угроз по степени опасности. Чем опасней угроза, тем более актуальной она является для СДО вуза. Оценку актуальности угроз рекомендуется проводить периодически на всех этапах жизненного цикла СДО, поскольку именно она указывает насколько необходимо использовать средства и механизмы, противодействующие угрозе.

Для противодействия угрозам ИБ и удержания рисков в пределах допустимого, используются различные механизмы и средства защиты информации, организационно-правового, технического и программного характера, которые реализуют общую стратегию защиты информации как в СДО, так и в вузе в целом. При реализации стратегии защиты СДО необходимо учитывать ряд особенностей, связанных с процессом функционирования СДО вуза:

- СДО должна быть доступна для пользователей 24 часа 7 дней в неделю;
- межсетевые экраны и применение SSL не всегда обеспечивают защиту от взлома СДО поскольку, доступ к веб-сайту СДО из внешних сетей должен быть всегда открыт;
- СДО часто имеет прямой доступ к данным, обрабатываемым в ИС вуза: базы данных, ERP-системы, информация об инновационных разработках и научной деятельности вуза, учебные ведомости, персональные данные;
- узконаправленные СДО, собственной разработки вуза, более восприимчивы к атакам, так как они не подвергаются такому длительному тестированию и эксплуатации, как известные коммерческие СДО;
- традиционные сетевые средства защиты не предназначены для отражения специализированных атак на веб-приложения СДО, поэтому злоумышленники при помощи браузеров легко проходят через периметр ИС вуза и получают доступ к внутренним системам и серверам;
- ручное обнаружение и устранение уязвимостей в СДО часто не дает положительных результатов – разработчики могут находить и исправлять сотни уязвимостей в коде, но злоумышленнику для проведения результативной атаки достаточно обнаружить всего одну.

Следовательно, обеспечение защиты СДО должно осуществляться на различных этапах жизненного цикла СДО. Поскольку даже если в программном коде СДО уязвимостей нет, необходима комплексная защита, учитывающая наличие базы данных, веб-приложений, сервера СДО и прочих элементов информационной инфраструктуры вуза. В соответствии с требованиями государственных стандартов по защите информации в информационных системах и регуляторов в области ИБ защита должна строиться по следующим основным направлениям:

- 1) составление моделей актуальных угроз ИБ в СДО;
- 2) контроль над безопасностью кода и наличием уязвимостей в СДО, своевременное обновление программного обеспечения;
- 3) использование специализированных средств защиты информации;
- 4) проведение периодического контроля уровня безопасности СДО и выработка управляющих решений в области ИБ в случае необходимости.

Данные направления в защите СДО вуза должны реализовываться в рамках единого комплекса мер для оценки качества и эффективности которых необходимо проводить периодический мониторинг текущей защищенности СДО, которая в сравнении с «эталонной», целевой защищенностью, будет играть роль метрики-индикатора состояния уровня общей безопасности СДО вуза. При этом частота проведения подобной оценки, как показано в [9], должна зависеть от уровня показателя защищенности, полученного в результате предыдущего контроля, чем ближе было значение показателя защищенности к целевой защищенности, тем больше временной интервал между контрольными оценками.

Выбор подхода к оценке защищенности СДО вуза

В настоящее время наиболее распространенными являются следующие подходы к оценке защищенности систем: количественно-качественная оценка защищенности по уровням и квалиметрическим шкалам, оценка защищенности как величины предотвращенного ущерба, оценка защищенности на основе

непрерывного бета-распределения плотности вероятности ущерба, оценки количественного показателя защищенности на основе вероятностно-статистического подхода, оценка количественной защищенности с помощью сетей Петри, оценка количественной защищенности с помощью графов атак и конечных автоматов, методика CRAMM, методика RiskWatch, методика ГРИФ, методика векторного анализа ИБ.

Каждый подход имеет свои достоинства и недостатки, сложность и особенности реализации, а также форму представления показателя общей защищенности системы. Поэтому для сравнительного анализа и выбора подхода к оценке защищенности, была использована критериальная оценка. Для сравнения методик использовались следующие частные показатели оценки:

- квалификация аудитора – Q^{MO3}_1 ;
- сложность реализации Q^{MO3}_2 ;
- трудоемкость проведения оценки Q^{MO3}_3 ;
- открытая методика Q^{MO3}_4 ;
- возможность обновления Q^{MO3}_5 ;
- количество входных параметров Q^{MO3}_6 ;
- возможно получение значений входных параметров на практике Q^{MO3}_7 ;
- удобно применять для реальных систем Q^{MO3}_8 ;
- учитывает различные виды угроз Q^{MO3}_9 ;
- наглядность представления итогового результата оценки Q^{MO3}_{10} .

Каждый частный показатель выбора подхода к оценке защищенности $Q_i^{MO3} | i = 1...10$ имеет свой вес, сумма весов показателей нормирована в единицу, и принимает значения в соответствии с правилами, указанными в таблице 3.

Таблица 3

Правила расчета частных показателей выбора подхода к оценке защищенности

Table 3

Rules of calculation of particular indicators choice approach to security assessment

Частный показатель	Правила выставления значений частного показателя
Q^{MO3}_{10}	$Q^{MO3}_{10} = \begin{cases} 1, \text{если высокая} \\ 0.5, \text{если средняя} \\ 0, \text{если низкая} \end{cases}$
$Q^{MO3}_8, Q^{MO3}_5, Q^{MO}_4$ Q^{MO3}_7, Q^{MO}_9	$Q^{MO3}_{i=4,5,7,8,9} = \begin{cases} 1, \text{если возможно} \\ 0, \text{если невозможно} \end{cases}$
Q^{MO3}_6	$Q^{MO3}_6 = \begin{cases} 0, \text{если один параметр} \\ 0.5, \text{если 2 параметра} \\ 1, \text{если 3 и более параметров} \end{cases}$
Q^{MO3}_3 Q^{MO3}_1 Q^{MO3}_2	$Q^{MO3}_{i=1,2,3} = \begin{cases} 1, \text{если низкая} \\ 0.5, \text{если средняя} \\ 0, \text{если высокая} \end{cases}$

Значения показателей используются для получения интегральной оценки см. формулу 1.

$$Q_0^{MO3}(j) = \sum_{i=1}^n w_i Q_i^{MO} \quad (1)$$

$$w = \sum_{i=1}^n w_i = 1$$

где w_i – вес, важность i частного критерия оценки, Q_i^{MO3} – частные показатели оценки подхода, j – подход к оценке защищенности системы из списка альтернативных подходов J .

Результаты сравнения подходов представлены в таблице 4. Все оценки выставлены экспертным путем, на основе информации полученной из источников. При расстановке весов показателей выбора учитывались предпочтения и важность того или иного показателя в рамках данной работы.

Таблица 4

Результат анализа подходов к оценке защищенности

Table 4

The result of the analysis of the security assessment methods

Подход к оценке защищенности	Q^{MO3}	Q^{MO3}	Q_3^{MO3}	Q_4^{MO3}	Q_5^{MO3}	Q_6^{MO3}	Q_7^{MO3}	Q_8^{MO3}	Q_9^{MO3}	Q_{10}^{MO3}	Q_0^{MO3}
	Веса показателей выбора w_i										
	0,05	0,2	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	0,1	0,1	0,1	
по уровням и квалиметрическимшкалам	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,5	0,925
как величины предотвращенного ущерба	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0,5	0,75
на основе непрерывного бетта-распределения плотности вероятности ущерба	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0	1	0	0,5	0,55
с помощью сетей Петри	0,5	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0,575
с помощью графов атак и конечных автоматов	0,5	0	0,5	1	1	1	0	1	1	1	0,575
методика CRAMM	1	0,5	0,5	0	0	0,5	1	1	1	1	0,675
методика RiskWatch	1	0,5	1	1	0	1	0	1	1	0,5	0,65
методика векторного анализа ИБ	1	1	1	1	1	0,5	0	1	0	0,5	0,675
методика ГРИФ	1	1	1	1	0	0,5	1	1	1	0,5	0,875

В результате сравнительного анализа получено, что наилучшим образом для основы в качестве разработки модели оценки СДО вуза подходят количественно-качественная оценка защищенности по уровням и квалиметрическимшкалам (0,925), а также оценка защищенности по методики ГРИФ (0,875), получившие максимальные значения обобщенного показателя выбора.

Заключение

При разработке модели оценки защищенности СДО необходимо использовать комбинированный подход, построенный на применении нескольких методик оценки, который учитывает требования стандартов и внутренних нормативных документов вуза, объективную информацию о наличии угроз ИБ СДО вуза и выдает ранжированный список рекомендаций, которые необходимо выполнить для построения эффективной и удовлетворяющей требованиям системы защиты информации.

Список литературы

1. Бабенко А.А. Использование дистанционных технологий при подготовке специалистов в области информационной безопасности // Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. 2011. № 4. С. 44-52
2. Колгатин А.Г. Информационная безопасность в системах открытого образования // Образовательные технологии и общество. 2014. Т.17, №1. С. 417 – 425.
3. Кошкина Е.Н. SWOT-анализ дистанционного обучения в России // Вестник Международного института экономики и права. 2013. №4 (13). С.28-31.
4. Методика определения угроз безопасности информации в информационных системах. Проект методического документа//Официальный сайт ФСТЭК России. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/812> (дата обращения 03.10.2016).
5. Отчет Positive Research 2016 // Аналитика компании Positive Technologies 2016. URL: <http://www.ptsecurity.ru/upload/ptru/analytics/Positive-Research-2016-rus.pdf> (дата обращения 29.09.2016).
6. Отчет McAfee Labs об угрозах за февраль 2015 [Электронный ресурс] // Компания McAfee Labs. URL: <http://www.mcafee.com/ru/resources/reports/rp-quarterly-threat-q4-2014.pdf?cid=BHP035> (дата обращения 03.10.2016).
7. Callegari C., Vaton S., Pagano M. A. New statistical approach to network anomaly detection .Proc. of Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS). 8 (2008); p.441–447.
8. Landoll, D.J. The security risk assessment handbook (Second Edition). Boca Raton, BC: CRC Press, 2011. 474 p.

9. Rahman, M., & Al-Shaer, E.A. Formal Framework for Network Security Design Synthesis. Proceedings of the 2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems (2013): P. 560-570.
10. Whitman, M.E., & Mattord, H.J. Management of Information Security (Fourth Edition). Cengage Learning, 2014. 566 p.

References

1. Babenko A.A. The use of remote sensing technologies in the preparation of information security professionals // Proceedings of the Baltic State Fishery Academy: psychological and pedagogical sciences. 2011. No 4. P. 44-52/
2. Kolgatin A.G. Information security in open education systems // Educational Technology and Society. Vol.17 2014, No1. P. 417 – 425.
3. Koshkin E.N. SWOT-analysis of distance learning in Russia // Bulletin of the International Institute of Economics and Law. 2013. №4 (13). S.28-31.
4. Method of determining the information security threats in information systems. The draft guidance document // Official site FSTEC Russia. URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/812> (reference date 10/03/2016).
5. Positive Research Report 2016 // Analysis company Positive Technologies 2016. URL: <http://www.ptsecurity.ru/upload/ptru/analytics/Positive-Research-2016-rus.pdf> (9/29/2016 treatment date).
6. Report McAfee Labs threats for February 2015 [Electronic resource] // Company McAfee Labs. URL: <http://www.mcafee.com/ru/resources/reports/rp-quarterly-threat-q4-2014.pdf?cid=BHP035> (reference date 10/03/2016).
7. Callegari C., Vaton S., Pagano M. A. New statistical approach to network anomaly detection .Proc. of Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS). No. 8 (2008); P.441-447.
8. Landoll, D.J. The security risk assessment handbook (Second Edition). Boca Raton, BC: CRC Press, 2011.474 p.
9. Rahman, M., & Al-Shaer, E.A. Formal Framework for Network Security Design Synthesis. Proceedings of the 2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems (2013): P. 560-570.
10. Whitman, M.E., & Mattord, H.J. Management of Information Security (Fourth Edition). Cengage Learning, 2014. 566 p.

Оладько Владлена Сергеевна, кандидат технических наук, преподаватель

Бабенко Алексей Александрович, доцент, кандидат педагогических наук, доцент кафедры Информационной безопасности

Алексина Анастасия Александровна, студент

Oladko Vladlena Sergeevna, Lecture, Candidate of Engineering Sciences

Babenko Aleksey Alexandrovich, PhD in Pedagogics,
Associate Professor, Department of Information Security

Aleksina Anastasiya Aleksandrovna, student

УДК 004.2

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-28-39

Карви Д.К.¹
Салах Х.А.²
Брусенцев А.Г.¹

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ В РЕКЕ ТИГР

¹⁾ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, 46, ГК 209,
г. Белгород 308012, Россия

²⁾ Срединный технический университет, г. Сувайра, Ирак
e-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, husseinalali6@gmail.com, brusentsev@mail.ru

Аннотация

В данной работе представлена разработка системы поддержки принятия решений (WATER-DSS) для оценки уровня загрязнения воды в реке Тигр. Данная СППР (Decision Support System, DSS) предлагает ряд стратегий для определения качества воды и мер по очистке воды для защиты здоровья населения, путем создания системы поддержки принятия решений для обеспечения специалистов на станциях водоснабжения информацией по качеству воды. СППР предназначена для использования специалистами в сфере водного хозяйства, при работе с различными причинами загрязнения воды в районе города Багдад. Система оценивает качество воды и уровень загрязнения воды, используя индекс качества воды (WQI). Она способна определять тип и источник загрязнения воды и предлагать меры по ее очистке для того, чтобы сделать воду пригодной для использования людьми. Система использует набор из 24 параметров загрязнения воды, специфичных для каждого типа загрязнения, с целью принятия эффективных мер по устранению последствий загрязнений. В качестве рабочего примера была выбрана вода в реке Тигр. Работа СППР основана на математической модели. Результаты оценки, производимой данной СППР, могут стать важным элементом принятия решений в случае экологических кризисов и поиска наиболее оптимальных методов по очистке воды.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений; дерево решений; загрязнение воды; причины загрязнения воды; очистка воды.

UDC 004.2

Karwi J.Q.¹
Salah.H.A.²
Brusentsev A.G.¹

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE EVALUATION OF WATER POLLUTION IN TIGRIS RIVER

¹⁾ Belgorod State Technological University named after V.G. Shoukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

²⁾ Middle Technical University, Suwaira, Iraq
e-mail: jalalalqaisy1@gmail.com, husseinalali6@gmail.com, brusentsev@mail.ru

Abstract

This article presents the development of a decision support system for water pollution in Tigris River (WATER-DSS). This DSS presents several strategies to manage water evaluation and treatment in order to protect human health by building a decision support system to help the authority of water supply stations to find information about water management. This DSS is designed to help address and support multiple water pollution causes and multiple decision makers, in several places in Baghdad. The evaluation of the DSS discusses the effect of water quality index management on the water pollution. The system detects the pollution causes and type and suggests a decision for cleaning the water so that it can be used by human. The application uses a set of (24) water-pollution parameters, specific to the pollution causes, in order to deal with the water pollution accidents and take emergency measures effectively. Tigris River is selected as the case study in this paper. The frame of the water pollution DSS is based on a mathematical model. The results support the primary decision in emergency cases and offer a suggestion to apply a suitable method for treatment the polluted water.

Keywords: decision support system; decision tree; water pollution; water pollution causes; water pollution treatment.

Введение

Под загрязнением воды понимают изменение физических, химических и биологических свойств водных ресурсов, которое оказывает негативное влияние на живые организмы и делает воду непригодной для использования. Наиболее остро данная проблема стоит в развивающихся странах, где промышленные выбросы,

неудовлетворительное санитарное состояние и ненадлежащая утилизация отходов приводят к загрязнению водных ресурсов и атмосферы, что оказывает вредное воздействие на здоровье человека [1].

Загрязнение окружающей среды (нефтяные разливы, промышленные выбросы и отходы) – один из главных источников заболеваний. Оно представляет угрозу для жизни и здоровья людей, так как в результате динамичного развития современных технологий образуется большое количество токсинов, которые загрязняют каждый квадратный сантиметр почвы. В новом докладе [2] агентства по охране окружающей среды сообщается, что в будущем уровень загрязнения окружающей среды и ущерб для живой природы будет только возрастать, в результате все более масштабного воздействия человека на природную среду. Также в докладе указано, что достигнутое за последнее десятилетие сокращение загрязнения окружающей среды будет полностью нивелировано всё возрастающими масштабами строительства дорог, ростом количества наземного, морского и воздушного транспорта. Попытки снизить количество производимых отходов также не принесли результата, и количество токсичных отходов продолжает расти. Всё это представляет угрозу для животных и рыбы, разрушая их естественную среду обитания. Наряду с разрушением природных экосистем, загрязнение вод становится одним из рисков для здоровья человека.

Загрязнение воды подразделяется на две категории: природное, которое заключается в изменении ее температуры, солености или содержания взвешенных веществ, и химическое, которое происходит в результате сброса сточных вод, разливов нефти, применения сельскохозяйственных химикатов, таких как пестициды, инсектициды и удобрения. Загрязнение воды может принимать различные формы и приводить к различным нежелательным последствиям.

Загрязнения могут затрагивать как воду в реках, озерах и океанах, так и дождевую воду, почвенные воды и воду из природных источников, делая ее непригодной для потребления людьми и животными, полива растений и обитания водных организмов [2].

Целью данной работы является представление разработки новой системы принятия решений для контроля качества воды в реке Тигр в районе города Багдад. СППР способна определять тип загрязнения и генерировать решение по поводу оптимальной стратегии обработки и очистки воды с целью сделать её пригодной для потребления. Насчитывается 8 основных типов загрязнения воды, и для каждого из них существуют определенные технологии очистки воды от загрязняющих веществ. Структура работы построена следующим образом. Вначале представлена концепция СППР для контроля качества воды и описаны основные причины загрязнения вод.

1. Система поддержки принятия решений для оценки уровня загрязнения воды в реке Тигр

Багдад, крупнейший город в Ираке, расположен на берегах реки Тигр (рис. 1). Большая часть населения Ирака проживает в этом регионе. Вода из реки Тигр используется для орошения и для снабжения населения питьевой водой, будучи единственным источником питьевой воды в районе города Багдад. Потребность в питьевой воде в городе Багдад постоянно возрастает в связи с быстрым ростом населения и динамичным развитием промышленности. Сельское хозяйство также весьма развито на обоих берегах реки. Таким образом, крайне важным является постоянный контроль качества воды, применяемой для различных целей. Для решения этих проблем, местные разработчики, менеджеры и другие специалисты заинтересованы в создании рациональных стратегий развития, которые позволят совместить индустриальный прогресс с контролем качества воды, устранением проблемы загрязнения воды и защитой здоровья населения. Для достижения этих целей необходимо обрабатывать огромное количество информации и анализировать различные альтернативы стратегий развития. В настоящем исследовании рассматриваются проблемы, с которыми сталкиваются местные управляющие органы и специалисты в связи с вопросами водопользования, и методы их решения при помощи системы поддержки принятия решений (WATER-DSS), предназначенной для станций водопользования и способной определять различные экологические критерии и оценивать их приоритет [3]. На рис. 1 показано расположение станций, рассматриваемых в данной статье. Эти станции охватывают также большинство водоснабжающих подстанций в городе Багдад. После выбора конкретной станции, открывается новое окно для введения данных по качеству воды и степени загрязнения воды. Таким образом, можно определить и принять меры для избегания загрязнения воды и устранения источников загрязнения воды с целью защиты здоровья населения.

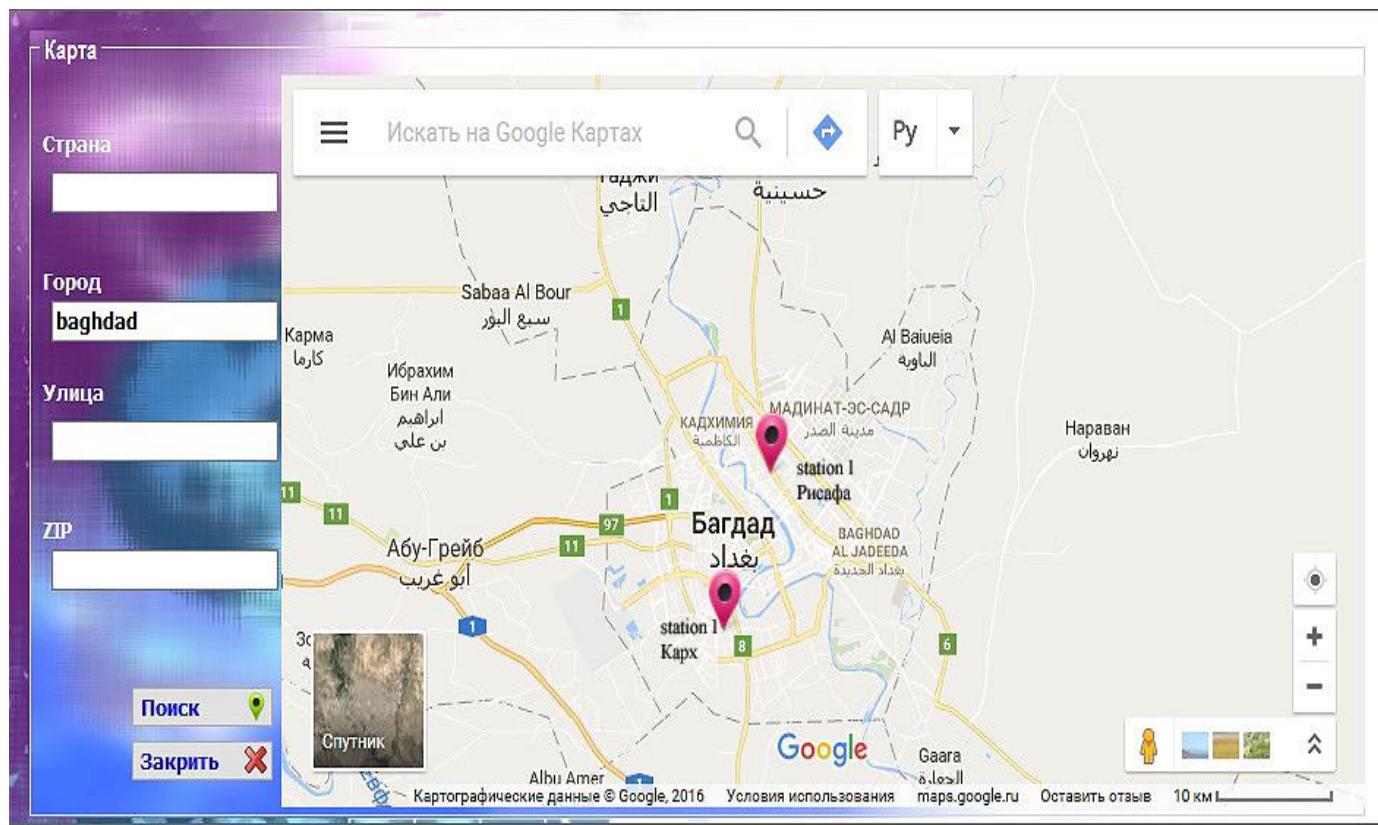


Рис. 1. Расположение станций водоснабжения в районе реки Тигр (Багдад)

Fig. 1. Water Stations locations on the Tigris River

2. Моделирование решений (Decision Modeling)

Цель данной модели – разработка DSS для контроля качества воды (WATER-DSS) на основании четырех основополагающих компонентов (рис. 2) база данных, модель управления водными ресурсами, основанная на математических моделях для оценки качества воды, логический координационный блок, ответственный за связь с моделями контроля за загрязнением воды, и пользовательский интерфейс, способный определять требуемые параметры и отображать полученные результаты посредством настраиваемых таблиц и графиков. Различные сценарии описывают различные стратегии или конкретные мероприятия по устранению загрязнений воды; результатом является инструмент поддержки принятия решений при определении причин загрязнения и оптимальных технологий очистки загрязненной воды.

3. Виды загрязнения воды и их последствия

1) Возбудители инфекций (Infectious Agents)

Наиболее опасными для здоровья человека загрязняющими агентами являются патогенные организмы. Главным их источником являются необработанные или недостаточно обработанные отходы жизнедеятельности.

2) Сточные воды с высоким БПК (Oxygen-Demanding Wastes)

Биохимическая потребность в кислороде (BOD) – это стандартный анализ количества растворенного кислорода, поглощаемого водными микроорганизмами в течение пяти суток. Количество растворенного в воде кислорода является индикатором качества воды и типов организмов, которые могут в ней существовать. При анализе растворенного кислорода (DO) проводятся прямые замеры количества кислорода при помощи кислородного электрода.

3) Неорганические загрязняющие вещества (Inorganic Pollutants)

Многие из металлов, такие как ртуть, свинец, кадмий, никель высоко токсичны. Тяжелые металлы попадают в окружающую среду в результате деятельности человека, а также накапливаются в результате гидрологических и биологических процессов. Шахтный дренаж и выщелачивание отходов горного производства являются основными источниками загрязнения воды металлами.

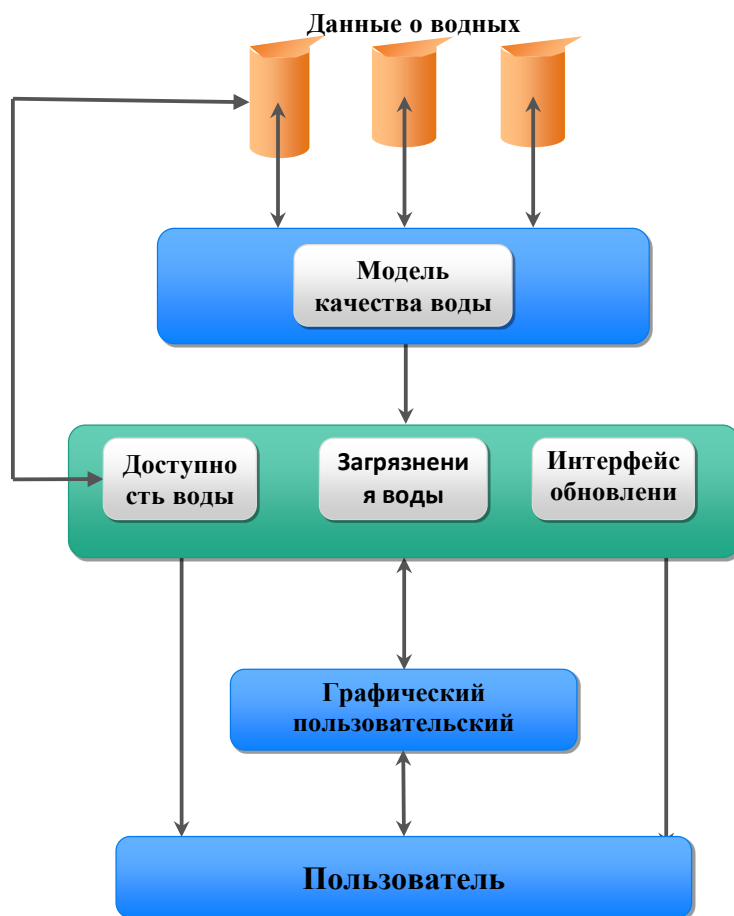


Рис. 2. Архитектура приложения для контроля качества воды
Fig. 2. The water pollution application architecture

4) Неметаллические соли (Nonmetallic salts)

Пустынные почвы часто содержат высокие концентрации растворимых солей, в том числе ядовитых солей селена и мышьяка. Соли, которые нетоксичны в малых концентрациях, например, хлорид натрия, могут накапливаться в результате орошения полей, их концентрация повышается по мере испарения воды и достигает уровня, токсичного для растений и животных.

5) Кислоты и основания (Acids and bases)

Кислоты попадают в окружающую среду в ходе производственных процессов (напр. выделка кожи, металлургия, текстильная промышленность). Сжигание угля и нефти также приводит к формированию серных и азотных кислот в атмосфере, которые разносятся на большие расстояния, нанося вред окружающей среде.

6) Тепловое загрязнение (Thermal pollution)

Под данным видом загрязнения подразумевается ухудшение качества воды в результате изменения температуры природных водоемов. Отклонение температуры воды выше или ниже нормального уровня может негативно повлиять на качество воды, а также на водные организмы. Тепловое загрязнение водоемов вызывается сбросом нагретой воды непосредственно в реки и озера, что негативно влияет на растительность. Кроме того, наиболее дешевым способом охлаждения различных промышленных установок является подведение воды из океана, реки, озера или водонапорного бассейна; вода проходит через теплообменник, забирая избыточное тепло, и снова сбрасывается в природные водоемы.

7) Осадок (Sediment)

Реки всегда несли в океан донные осадочные отложения, но интенсивность эрозии во многих регионах значительно возросла в результате деятельности человека. Эрозию вызывают вырубка лесов, использование земель под пастбища и расширение городских территорий, что в свою очередь приводит к избыточному образованию осадка в реках. Осадочные отложения могут приносить и пользу. Ил, приносимый рекой, служит удобрением для полей, расположенных на затопляемых поймах.

8) Органические химикаты (Organic Chemicals)

Многие вещества, используемые в химической промышленности для производства пестицидов, пластика, медицинских препаратов, пигментов и других продуктов, используемых в быту, высоко токсичны. Двумя основными источниками загрязнения воды токсичными органическими химикатами являются ненадлежащая утилизация промышленных и бытовых отходов и сточные воды, содержащие пестициды [4].

Таблица 1

Основные виды загрязняющих веществ [4]

Table 1

Main types of water pollutants

№	Вид	Примеры	Источники
1.	Возбудители инфекций	Бактерии, вирусы, паразиты	Отходы жизнедеятельности человека и животных
2.	Органические химикаты	Пестициды, пластик, детергенты, нефть, бензин	Применение органических химикатов в быту, промышленности и сельском хозяйстве
3.	Неорганические химикаты	Кислоты, едкие щелочи, соли, металлы	Промышленные сточные воды, бытовые чистящие средства, поверхностные стоки.
4.	Радиоактивные вещества	Уран, торий, цезий, йод, радон	Горно-обогатительные комбинаты, электростанции, военная промышленность, природные источники
5.	Осадок	Грязь, ил	Эрозия почв
6.	Биогенные элементы (питательные вещества для растений)	Нитраты, фосфаты, аммоний	Сельскохозяйственные удобрения и удобрения для городских насаждений, бытовые стоки, животный навоз
7.	Сточные воды с высоким БПК	Животный навоз и растительные остатки	Бытовые стоки, сельскохозяйственные сточные воды, целлюлозно-бумажные комбинаты, пищевая промышленность
8.	Тепловое загрязнение	Тепло	Электростанции, промышленные системы охлаждения

4. Стандартные методы обработки воды (water treatment)

1) Оксидизация или подготовка (Oxidation or facilitation)

Когда в воде содержится слишком высокая концентрация органических, химических или минеральных веществ, например, железа, марганца или кальция, первым видом обработки обычно является оксидизация. Для этого в воду добавляют определенное количество хлора, озона или гашеной извести, для дальнейшего отмучивания растворенных в воде веществ.

2) Очистка (Clearance)

Используются крупноячеистые сита для того, чтобы задержать взвешенные твердые вещества перед сливом воды в бассейны-отстойники.

3) Отстаивание (Sedimentation)

В процессе отстаивания используется сила тяжести, под действием которой взвешенные частицы из потока воды осаждаются на дно. Поток воды проходит несколько последовательно расположенных резервуаров разной формы, в результате чего происходит осаждение взвешенных веществ.

4) Фильтрация (Percolation)

Фильтрация производится для отделения осадка и оставшихся взвешенных веществ. Вода при этом фильтруется через несколько слоев песка.

5) Флокуляция (Flocculation)

Флокуляцией называется метод добавления в воду определенного количества некоторых веществ, например, сульфата алюминия, хлорида железа, для осаждения водорослей и бактерий, что способствует более эффективному отделению осадка в резервуарах. Также для адсорбции многих видов веществ применяется активированный уголь.

6) Микрофильтрация (Microfiltration)

В данном методе используются мембраны из микроволокон, которые устанавливаются внутри

стальной трубы. В каждом из волокон имеется множество микроскопических отверстий. Вода прокачивается под давлением сквозь мембрану, и мембрана задерживает частицы растворенных веществ размером крупнее микроотверстий, а также бактерии и вирусы. Мембраны регулярно очищаются.

7) Опреснение морской воды (Seawater desalination)

В некоторых странах традиционных источников воды недостаточно для снабжения населения питьевой водой; по этой причине рассматриваются альтернативные способы добычи питьевой воды, из которых перспективным является опреснение морской воды и слабоминерализованных грунтовых вод.

8) Биовосстановление (Bioremediation)

Определенные виды бактерий уже много лет используются для биологической очистки сточных вод. В некоторых странах этот метод используется также для очистки питьевой воды. Данная технология весьма эффективна для очищения воды от органических, минеральных и химических веществ.

9) Обеззараживание или дезинфекция (Sterilization or disinfection)

Данный метод используется на заключительных этапах обработки воды, и предназначен для уничтожения болезнетворных бактерий и вирусов. Обеззараживание производится путем применения химических дезинфицирующих веществ, таких как хлор или озон, а также при помощи нагревания. Процесс дезинфекции производится на протяжении всей сети каналов, по которым проходит вода, чтобы бактерии или вирусы не оставались в каком-либо из резервуаров или труб.

В Таб.1 приведена информация об условиях качества воды и уровнях загрязнения, обрабатываемая системой для распространения данной информации среди специалистов на станциях водоснабжения и предоставления этой информации пользователю. Информационная система полностью компьютеризирована, и вся информация и данные хранятся в системе WATER-DSS и могут выбираться пользователем при необходимости. На практике, большинство информационных систем представляют собой сочетания данных функций, предоставляемых достаточно мощным и недорогим программным обеспечением. Основные типы данных, которые требуется обрабатывать при работе с загрязнениями воды в районе города Багдад, показаны в табл. 2.

Таблица 2

Основные категории видов и источников загрязнений воды в реке Тигр и методы устранения загрязнений

Table 2

The main categories of causes and treatment of water pollutants in the Tigris River

№	Виды загрязнений	Значение	Метод обработки
1	Возбудители инфекций		
	1. Биохимическая потребность в кислороде за 5 сут. (BOD5) при температуре 20 °C	>10	1. Мембранная фильтрация 2. Обеззараживание или дезинфекция
	2. Химическое потребление кислорода (COD)	>60	
	3. Мутность	В пределах 5	
2	Органические химикаты		
	1. Общее содержание нефтепродуктов (н-гексановых материалов)	>10	1. Биовосстановление 2. Карбонизация или восстановление
	2. Бензол	>0.005	
	3. Толуол	>0.002	
3	Неорганические химикаты		
	1. Водородный показатель (pH)	6 < pH < 9	1. Опреснение морской воды 2. Оксидизация или подготовка
	2. Растворенное железо (Fe)	>1.0	
	3. Общее содержание мышьяка (As)	>0.01	
	4. Общее содержание ртути (Hg)	>0.005	
	5. Общее содержание цианидов (CN ⁻)	>0.01	
	6. Сульфаты (SO ₄)	>200	
	7. Общее содержание остаточного хлора (Cl ₂)	>0.2	
	8. Общее содержание фторидов (F ⁻)	1.5	
4	Радиоактивные материалы		
	Радиоактивность	1,0	

5	Осадок		
	1. Общее количество взвешенных твердых веществ (TSS)	>15	1. Отстаивание
	2. Растворенный шестивалентный хром (Cr6+)	>0.05	2. Фильтрация
6	Биогенные элементы (питательные вещества для растений)		
	1. Аммиак, соединения азота (NH ₃ -N)	>0.01	Флокуляция
	2. Общее содержание фосфора (P)	>0.1	
	3. Соединения фенола (фенол)	>0.1	
7	Сточные воды с высоким БПК		
	1. Содержание растворённого кислорода (DO)	<4	Мембранная фильтрация
	2. Бактерии группы кишечной палочки	>100	
	3 Биохимическая потребность в кислороде (BOD5 при температуре 20 C)	>10	
8	Тепловое загрязнение	Максимальное отклонение в пределах 30 C от нормальной	Подведение холодной воды из реки

В табл. 2 показаны основные категории источников загрязнения воды, уровни загрязнения и методы устранения загрязнений для реки Тигр в городе Багдад. Насчитывается 8 основных типов загрязнений, каждый из которых обусловлен определенными причинами, и, в зависимости от уровня этого загрязнения, оказывает влияние на качество воды. Для каждого из видов загрязнений приведены технологии очистки [5].

5. Алгоритм локального поиска

```

1: N: = количество повторений
   параметров загрязнения воды
2: S: = 0
3: A: = фактическая величина
   загрязнения
4: For i: = 1 to N do
5:   C: = начальная величина
   загрязнения;
6: While A соответствует источнику
   данного вида загрязнения,
   выполнить
7: C: = один из видов загрязнения;
8: end while
9: if C выше чем S, to
10: S: = C;
11: End if
12: End for
13: Return S;

```

Рис. 3. Алгоритм вычисления уровня загрязнения системой поддержки принятия решений
Fig. 3. Algorithm for calculating water pollution of water decision support system

6. Практические результаты

Общий вид рабочего процесса модели по анализу загрязнения для обеих станций показан на рис. 4 и 5. Нормативные значения параметров загрязнения изначально хранятся в таблице DBMS (MySQL server).

вычислительные загрязнения воды

Текущего пользователя
Имя пользователя: jalal
Тип пользователя: admin
Фамилия: karwi
Станция: 1
Имя: jalal
Город: baghdad

ID	Фамилия	Имя	имя по...	Тип	Город	Станция	(БПК5) ...	(ХПК) X...	Мутность	извлек...	Бензол	Толуол	(pH) Во...	(Fe) Об...	(As) Об...	(Hg) О...	(в виде...	Сульфат...
1	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	9	58	4	9	0,004	0,001	5	0,9	0,001	0,004	0,001	180
2	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	15	50	4	8	0,003	0,001	4	0,5	0,005	0,003	0,005	150
3	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	11	50	4	8	0,003	0,001	4	0,5	0,005	0,003	0,005	150
4	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0,003	0,001	4	0,5	0,005	0,003	0,005	150
5	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0,003	0,001	7	0,5	0,005	0,003	0,005	150
6	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0,003	0,001	7	0,5	0,005	0,003	0,005	150
7	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0,003	0,001	7	0,5	0,005	0,003	0,005	150

Статус: Общее количество образцов: 7

идентификационный номер

1- Возбудители инфекций

1. Биологическое потребление кислорода 5 сут. (БПК5 при 20°C)

2. Химическое потребление кислорода (ХПК)

3. Мутность

4- Радиоактивные вещества

1. Радиоактивное излучение

6- Удобрения

1. Аммиачный азот (в виде NH₃-N)

2. Общее содержание фосфора (в виде P)

3. Фенольные соединения (в виде фенола)

2- Органические вещества

1. Общее содержание нефтесмазочных материалов (извлекаемых n-гексаном)

2. Бензол

3. Толуол

5- Образование осадка

1. Общее содержание взвешенных веществ (TSS)

2. Шестивалентный хром растворенный (Cr6+)

7- Стоки с высоким БПК

1. Содержание растворенного кислорода (DO)

2. Бактерии группы кишечной палочки

3. Биологическое потребление кислорода (БПК5 при 20°C)

3- Неорганические вещества

1. Водородный показатель (pH)

2. Общее содержание железа (Fe)

3. Общее содержание мышьяка (As)

4. Общее содержание ртути (Hg)

5. Общее содержание цианидов (в виде CN⁻)

6. Сульфаты (в виде SO₄)

7. Общий остаточный хлор (в виде Cl₂)

8. Общее содержание фторидов (F⁻)

8- Тепловое загрязнение

1. Тепловое загрязнение

Компетентный человек

Имя пользователя: Фамилия: Имя:

Тип пользователя: Станция: Город:

Дата испытания:

ТОЛЬКО АДМИНЫ

Результаты

Отчеты Редактировать Удалить

Отправить по электронной почте

Добавить Назад

Текущее время: 27.02.2017 0:22:59

Рис. 4. Главное окно вычисления уровня загрязнения системой (WATER-DSS)

Fig. 4. Main window for calculating water pollution of water decision support system

введите параметры

1- Возбудители инфекций

1. Биологическое потребление кислорода 5 сут. (БПК5 при 20°C)

2. Химическое потребление кислорода (ХПК)

3. Мутность

3- Неорганические вещества

1. Водородный показатель (pH)

2. Общее содержание железа (Fe)

3. Общее содержание мышьяка (As)

4. Общее содержание ртути (Hg)

5. Общее содержание цианидов (в виде CN⁻)

6. Сульфаты (в виде SO₄)

7. Общий остаточный хлор (в виде Cl₂)

8. Общее содержание фторидов (F⁻)

7- Стоки с высоким БПК

1. Содержание растворенного кислорода (DO)

2. Бактерии группы кишечной палочки

3. Биологическое потребление кислорода (БПК5 при 20°C)

2- Органические вещества

1. Общее содержание нефтесмазочных материалов (извлекаемых n-гексаном)

2. Бензол

3. Толуол

4- Радиоактивные вещества

1. Радиоактивное излучение

5- Образование осадка

1. Общее содержание взвешенных веществ (TSS)

2. Шестивалентный хром растворенный (Cr6+)

6- Удобрения

1. Аммиачный азот (в виде NH₃-N)

2. Общее содержание фосфора (в виде P)

3. Фенольные соединения (в виде фенола)

8- Тепловое загрязнение

1. Тепловое загрязнение

Добавить Закрыть

Рис. 5. Окно ввода новых данных для вычисления параметров загрязнения воды

Fig. 5. Interface to insert a new data for calculating the water pollution parameters

Существует 6 параметра, определяющих загрязнение воды, и для каждого из них установлено нормативное значение (см. табл. 2). На основании этих параметров мы можем определить тип загрязнения, а также соответствующий метод очистки, то есть принять решение по поводу оптимального метода обработки воды для конкретного загрязнения. Приложение автоматически отправляет электронное сообщение специалисту/группе специалистов, содержащее всю информацию о конкретном случае загрязнения. Оно включает в себя информацию о причине загрязнения, источнике, угрозах, которые оно представляет, и рекомендуемых методах его устранения. Вся информация сохраняется в метабазе данных.

На рис. 6 показан пример результата анализа программой данных из табл. 2. Система определяет тип загрязнения воды. Для этого сначала вводится значение параметра, система выполняет интеллектуальный анализ данных, и в итоге предлагает решение для указанного типа загрязнения, методы очистки, некоторые примеры и источники данного загрязнения (рис. 7). Наконец, программа отправляет электронное сообщение специалистам на станции водоснабжения, в котором содержится вся информация по данному анализу.

Вычислительные загрязнения воды

Текущего пользователя
Имя пользователя: jalal Фамилия: karwi Имя: jalal
Тип пользователя: admin Станция: 1 Город: baghdad

ID	Фамилия	Имя	Имя по...	Тип	Город	Станция	(БПК5) ...	(ХПК) X...	Мутность	(извлек...	Бензол	Толуол	(pH) Во...	(Fe) Об...	(As) Об...	(Hg) О...	(в виде...	Сульф...
1	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	9	58	4	9	0.004	0.001	5	0.9	0.001	0.004	0.001	180
2	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	15	50	4	8	0.003	0.001	4	0.5	0.005	0.003	0.005	150
3	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	11	50	4	8	0.003	0.001	4	0.5	0.005	0.003	0.005	150
4	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0.003	0.001	4	0.5	0.005	0.003	0.005	150
5	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0.003	0.001	7	0.5	0.005	0.003	0.005	150
6	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0.003	0.001	7	0.5	0.005	0.003	0.005	150
7	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	1	9	50	4	9	0.002	0.001	7	0.5	0.005	0.003	0.005	150

идентификационный номер 5 Статус: Общее количество образцов 7

1- Возбудители инфекции

1. Биологическое потребление кислорода 5 сут. (БПК5 при 20°C) 8

2. Химическое потребление кислорода (ХПК) 50

3. Мутность 4

2- Органические вещества

1. Общее содержание нефтесмазочных материалов (извлекаемых n-гексаном) 8

2. Бензол 0.003

3. Толуол 0.001

3- Неорганические вещества

1. Водородный показатель (pH) 7

2. Общее содержание железа (Fe) 0.5

3. Общее содержание мышьяка (As) 0.005

4. Общее содержание ртути (Hg) 0.003

5. Общее содержание цианидов (в виде CN-) 0.005

6. Сульфаты (в виде SO4) 150

7. Общий остаточный хлор (в виде Cl2) 0.1

8. Общее содержание фторидов (F-) 1

4- Радиоактивные вещества

1. Радиоактивное излучение 0.5

5- Образование осадков

1. Общее содержание взвешенных веществ (TSS) 10

2. Шестивалентный хром растворенный (Cr6+) 0.03

6- Удобрения

1. Аммиачный азот (в виде NH3-N) 0.005

2. Общее содержание фосфора (в виде P) 0.04

3. Фенольные соединения (в виде фенола) 0.06

7- Стоки с вывозом БПК

1. Содержание растворенного кислорода (DO) 3

2. Бактерии группы кишечной палочки 80

3. Биологическое потребление кислорода (БПК5 при 20°C) 7

8- Тепловое загрязнение

1. Тепловое загрязнение 20

Компетентный человек
Имя пользователя: jalal Фамилия: karwi Имя: jalal
Тип пользователя: admin Станция: resafaa Город: baghdad
Дата испытания: 14.07.2016 19:07:37

Есть загрязнение в воде Результаты Отправить по электронной почте

ТОЛЬКО АДМИНЫ

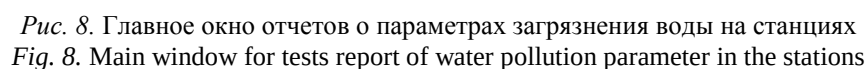
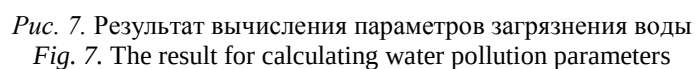
Отчеты Редактировать Удалить Добавить Назад

Текущее время: 22.02.2017 17:17:21

Рис. 6. Главный пользовательский интерфейс вычисления уровня загрязнения в системе WATER-DSS
Fig. 6. Main window for calculating water pollution of WATER-DSS for user

На рис. 8 показано окно, демонстрирующее результаты всех анализов воды на всех станциях; отправитель может выбрать нужный и указать имя получателя сообщения, которому будут отосланы данные о загрязнении.

На рис. 9 показан снимок экрана с результатами анализов загрязнений, проведенных программой с использованием информации из табл. 2. На рисунке указан набор опций для печати (размер бумаги, качество изображений, цвет и фон). Кроме того, программа отправляет по электронной почте вложенный информационный файл с вариантами принятия решений для данного случая загрязнения. Также система предусматривает возможность удаления информации о каждом из проведенных анализов (рис. 10).



printform2

1 of 1 100% Find | Next

Экологическая система поддержки принятия решений (СППР) для станций подготовки питьевой воды
Введение

Отчет о загрязнении воды

family	name	type	user name	city	station	bod5	cod	turbidity	toag
karwi	jalal	admin	jalal	baghdad	resafaa	9	58	4	9
karwi	jalal	admin	jalal	baghdad	resafaa	15	50	4	8
karwi	jalal	admin	jalal	baghdad	resafaa	11	50	4	8
karwi	jalal	admin	jalal	baghdad	resafaa	8	50	4	8
karwi	jalal	admin	jalal	baghdad	resafaa	8	50	4	8
karwi	jalal	admin	jalal	baghdad	resafaa	8	50	4	8

Рис. 9. Снимок экрана с отчетами вычислений параметров загрязнения воды
Fig. 9. Print screen for the input data report for calculating water pollution parameters

вычислительные загрязнения воды

Текущего пользователя
Имя пользователя: jalal Фамилия: karwi Имя: jalal
Тип пользователя: admin Станция: 1 Город: baghdad

ID	Фамилия	Имя	имя по...	Тип	Город	Станция	(БПК5) ...	(ХПК) X...	Мутность	(извлек...	Бензол	Толуол	(pH) Во...	(Fe) Об...	(As) Об...	(Hg) О...	(в виде...	Сульф...
2	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	15	50	4	8	0.003	0.001	4	0.5	0.005	0.003	0.005	150
3	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	11	50	4	8	0.003	0.001	4	0.5	0.005	0.003	0.005	150
4	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0.003	0.001	4	0.5	0.005	0.003	0.005	150
5	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0.003	0.001	7	0.5	0.005	0.003	0.005	150
6	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	resafaa	8	50	4	8	0.003	0.001	7	0.5	0.005	0.003	0.005	150
7	karwi	jalal	jalal	admin	baghdad	1	8	50	4	8	0.003	0.001	7	0.5	0.005	0.003	0.005	150

идентификационный номер 7 Статус: Общее количество образцов 7

1- Возбудители инфекции
1. Биологическое потребление кислорода 5 сут. (БПК5 при 20°C) 8
2. Химическое потребление кислорода (ХПК) 50
3. Мутность 4

4- Радиоактивные вещества
1. Радиоактивное излучение 0.5

6- Удобрения
1. Аммиачный азот (в виде NH3-N) 0.005
2. Общее содержание фосфора (в виде P) 0.04
3. Фенольные соединения (в виде фенола) 0.06

7- Стоки с высоким pH
1. Содержание растворенного кислорода (DO) 5
2. Бактерии группы кишечной палочки 80
3. Биологическое потребление кислорода (БПК5 при 20°C) 7

8- Тепловое загрязнение
1. Тепловое загрязнение 20

Органические вещества
родный показатель (pH) 7
щее содержание железа (Fe) 0.5
щее содержание мышьяка (As) 0.005
щее содержание ртути (Hg) 0.003
щее содержание идов (в виде CN-) 0.005

б. Сульфаты (в виде SO4) 150
7.Общий остаточный хлор (в виде Cl2) 0.1
8. Общее содержание фторидов (F-) 1

Компетентный человек
Имя пользователя: jalal Фамилия: karwi Имя: jalal
Тип пользователя: admin Станция: 1 Город: baghdad
Дата испытания: 18.11.2016 22:15:51

Нет загрязнения в воде Результаты Отправить по электронной почте

ТОЛЬКО АДМИНЫ Отчеты Редактировать Удалить Добавить Назад

Текущее время: 22.02.2017 17:26:39

Рис. 10. Окно удаления результатов анализа загрязнения воды
Fig. 10. Interface to delete the test for calculating the water pollution

Список литературы

1. У. Симон, Р. Брюгеманн, С. Пуденц. «Аспекты поддержки принятия решений в управлении водными ресурсами на примерах Берлина и Потсдама (Германия). Пространственно-дифференцированная оценка», Исследование вод, 38 7, 1809-1816.(2004).
2. Проект стратегии водного хозяйства, разработка стратегий контроля и управления водными ресурсами и водопотребления в засушливых регионах. Научно-исследовательская работа, EVK1-CT-2001-00098, <http://environ.chemeng.ntua.gr/wsm/> (2002-05).
3. Карви Д., Брусенцев А.Г. Разработка экологической системы поддержки принятия решений для оценки качества воды // Научный результат. Информационные технологии. Том 1, №4. 2016. С. 36-43.
4. Мойр Дж.В.Б., (2011), Обмен азота в бактериях: Молекулярный анализ. Caister Academic Press. ISBN 978-1-904455-86-8.
5. Салах Х., Мариана Мокану, Адина Флореа, (2014a), К разработке комплексной системы поддержки принятия решений для оценки уровня загрязнения в бассейне реки Тигр (DSSWAPIT), Сборник докладов 10-й Международной конференции по интеллектуальной компьютерной связи и обработке информации, ICCP2014, Клуж-Напока, Румыния, С. 391-398.

References

1. U. Simon, R. Brügemann, S. Pudenz. "Aspects of decision support in water management-example Berlin and Potsdam (Germany) I-spatially differentiated evaluation, Water Research, 38 7, 1809-1816.(2004).
2. The WaterStrategyMan Project, Developing Strategies for Regulating and Managing Water Resources and Demand in Water Deficient Regions. EU DGResearch, EVK1-CT-2001-00098, <http://environ.chemeng.ntua.gr/wsm/> (2002-05).
3. Karwi J.Q., Brusentsev A.G., Development of an environmental decision support system to calculate water quality // Research Result. Information Technology. Volume 1, № 4. 2016 pp. 36-43.
4. Moir JWB., (2011), Nitrogen Cycling in Bacteria: Molecular Analysis. Caister Academic Press. ISBN 978-1-904455-86-8.
5. Salah H., Mariana Mocanu, Adina Florea, (2014a), Towards an Integrated Decision Support System for the Evaluation of Water Pollution in Tigris Basin (DSSWAPIT), Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Intelligent computer communication and Processing, ICCP2014, Cluj-Napoca, Romania, pp. 391-398.

Карви Джалал, магистрант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Салах Хусейн, старший преподаватель кафедры компьютерных систем, технический институт

Брусенцев Александр Григорьевич, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем, доктор физ.-мат. наук, профессор

Carvey Jalal, Master Degree Student, Department of Software Computer Technology and Automated Systems

Salah Hussein, Lecturer, Department of Computer Systems, Technical Institute

Brusentsev Alexander Grigoryevich, Professor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Software Computer Technology and Automated Systems

УДК 004.62

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-40-47

Путивцева Н.П.
Пусная О.П.
Игрунова С.В.
Зайцева Т.В.
Нестерова Е.В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85,
г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: putivzeva@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru, igrunova@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, nesterova@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе определены характеристики методов многокритериального выбора при нечетких исходных данных, поскольку задачи принятия решений возникают как в научной, так и в повседневной деятельности. Одна и та же задача по выбору места для строительства аэропорта решена в теории нечетких множеств, методом ELECTRE, методом анализа иерархий и методом учета информационных параметров для формализуемой оценки. Приведены сравнительные характеристики и выделены достоинства каждого из методов. На основании проведенного анализа доказано, что для получения более обоснованных результатов сравнения предпочтительней использовать МАИ либо формализованную оценку. Но если необходимо получить не только ранжирование альтернатив по предпочтительности, но и количественные оценки этих предпочтений, то наиболее целесообразно использовать именно метод анализа иерархий.

Ключевые слова: принятие решений; многокритериальный выбор; теория нечетких множеств; ELECTRE; метод анализа иерархий.

UDC 004.62

Putivtseva N.P.
Pusnaya O.P.
Igrunova S.V.
Zaitseva T.V.
Nesterova E.V.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE MULTI-CRITERIA METHODS

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: putivzeva@bsu.edu.ru, pusnaya@bsu.edu.ru, igrunova@bsu.edu.ru, zaitseva@bsu.edu.ru, nesterova@bsu.edu.ru

Abstract

The paper defines the characteristics of methods of multi-criteria selection in fuzzy initial data because the decision-making problems appear both in scientific, and in daily activities. The same task of choosing a location for the construction of the airport is solved with the use of the theory of fuzzy sets, the ELECTRE method, the analytical hierarchical procedure and method of accounting of information parameters for formalized assessment and obtained results differ. Comparative characteristics and featured of each of the method were described. On the basis of carried analysis it was proved that for a reasonable comparison of the results it is preferable to use the formal assessment or the AHP. But if you need to get not only the ranking of the alternatives according to their preference, but the quantitative assessment of these preferences, it is more advisable to use the analytical hierarchical procedure.

Keywords: decision making; multi-criteria selection; theory of fuzzy sets; ELECTRE; Analytical Hierarchical Procedure.

ВВЕДЕНИЕ

Задачи принятия решений, в частности, многокритериального выбора возникают как в повседневной жизни, так и при проведении каких-либо исследований либо отборе каких-то объектов, процессов и/или их параметров довольно часто.

Методы многокритериального выбора при нечетких исходных данных отличаются следующими характеристиками [3]:

- тип представления нечетких исходных данных (критериальных оценок альтернатив, коэффициентов важности критериев и экспертов), т.е. вид представления знаний;
- возможность применения различных шкал для оценки;
- возможность учета разной значимости критериев;
- возможность проведения коллективной экспертизы;
- возможность учета различий (важности) экспертов;
- ограничения по количеству критериев оценки и экспертов;
- точность полученных оценок;
- трудоемкость и др.

Существует ряд методов многокритериального оценивания, отличающихся методиками проведения сравнения и оценки, а также рядом допущений в каждом методе. Каждый из них имеет свои достоинства и недостатки. В рамках данной статьи рассмотрено 4 подхода, решающие одну и ту же задачу выбора:

- Теория нечетких множеств
- ELECTRE
- Метод анализа иерархий
- Метод учета информационных параметров для формализуемой оценки

Достоинством метода построения нечеткой функции предпочтения, описанного в [7], является возможность использовать лингвистические переменные для оценки альтернатив по критериям, учитывать взаимное влияние различных факторов. Для того чтобы оценить и проранжировать альтернативы рассчитываются значения функций предпочтения для каждой альтернативы с учетом значимости критериев. При использовании такой многокритериальной функции предпочтения ЛПР должен обладать необходимым опытом и знаниями, уметь проводить критериальный анализ ситуации, строить базовые шкалы, выбирать критерии и оценивать их важность и строить функцию предпочтения.

В методах парных сравнений итоговое упорядочение альтернатив строится на основе сравнения всех пар альтернатив. В классическом варианте метода парных сравнений, к которому относится метод анализа иерархий (МАИ) Т. Саати, анализ проблемы основан на моделировании знаний в форме оценок важности одной альтернативы по отношению к другой, выражаемых четкими числами [6]. В распоряжение ЛПР дается шкала словесных определений уровня сравнительной важности, каждому уровню важности ставится в соответствие число (от 1 до 9). В матрицах парных сравнений полученные числа используются для определения весов (коэффициентов важности) сравниваемых объектов (критериев, целей, альтернатив) [5]. На заключительном этапе МАИ полезность альтернативы определяется путем синтеза относящихся к ней весов целей и критериев с использованием либо аддитивной, либо мультипликативной формулы.

Достоинством МАИ является представление исследуемой проблемы в виде хорошо структурированной иерархии цели, критериев и подчиненных им альтернатив. Среди недостатков метода выделяют тот факт, что введение новой альтернативы может, в общем случае, привести к изменению отношений предпочтения между двумя другими альтернативами. МАИ весьма чувствителен к человеческим ошибкам в измерениях, не исключает появление циклов на множестве сравниваемых альтернатив. К тому же если эксперт считает некоторые из альтернатив несравнимыми, то упорядочение будет частичным.

В группе методов ELECTRE упорядочение многокритериальных альтернатив осуществляется их попарным сравнением с использованием специальных индексов согласия (конкорданса) и несогласия (дискорданса), рассчитываемых на основе предпочтений ЛПР. Речь идет о согласии или несогласии с гипотезой, что одна альтернатива превосходит другую. От ЛПР требуется определение критериальных значений альтернатив и назначение весов критериев. В результате две альтернативы могут находиться в одном из трех отношений: превосходства, безразличия, несравнимости.

Задавая разные значения уровней коэффициентов согласия и несогласия, эксперты исследуют имеющееся множество альтернатив. В общем случае целью анализа, проводимого с помощью методов ELECTRE, является выделение ядра, состоящего из сложных для сравнения альтернатив. Недостаток данного подхода – произвол в выборе уровней согласия и несогласия и отсутствие количественных значений весомостей критериев, вследствие чего может быть получено несколько альтернативных решений при разных заданных уровнях, в том числе могут быть получены противоречивые результаты.

Существуют различные модификации метода ELECTRE, которые дают возможность учесть неточности в данных и измерениях, совершаемых экспертами. Однако, как и в случае с четкими данными, эти методы требуют от ЛПР задавать пороговые значения для определения отношений эквивалентности, предпочтения и значительного предпочтения. Подход методов ELECTRE не гарантирует выполнения двух важных требований: полноты сравнений и транзитивности.

Методы ELECTRE направлены на решение задач с уже заданными многокритериальными альтернативами. В отличие от метода АНР (МАИ) в методах ELECTRE не определяется количественно показатель качества каждой из альтернатив, а устанавливается лишь условие превосходства одной альтернативы над другой.

Метод учета информационных параметров для формализуемой оценки позволяет повысить степень объективности проводимой оценки [1]. С этой целью выделяется ряд характеризующих информационных параметров, которые влияют на повышение эффективности их использования. Последнюю предлагается представлять в виде обобщенной функции (Θ) в зависимости от количественных значений оценок выбранных для анализа параметров:

$$\Theta = f(P_i), \quad (1)$$

Каждый параметр экспертными методами разбивается на ряд градаций, которые определяют на качественном уровне его степень влияния на вычисляемую эффективность, т.е. устанавливают для каждого параметра шкалу градаций. Это позволяет провести формализацию процедуры оценки, в том числе определить критериальные значения обобщенной функции оценки. Для того, чтобы учесть степень влияния каждого значимого параметра по отношению к остальным необходимо ввести коэффициенты весомости, повышающие количественную оценку признака и определяемые экспертным путем по известным методикам проведения экспертизы [2].

Обобщенную функцию оценки эффективности целесообразно выразить в нормированном виде величиной, находящейся в диапазоне:

$$0 \% \leq \Theta \leq +100 \% \quad (2)$$

Используя в качестве критериального параметра количественную оценку Θ , можно установить четкие критериальные значения для вывода о выборе варианта из предложенных.

Данная методика предусматривает определение меры оценки каждого информационного параметра, на основе которых можно количественно оценивать степень их влияния на конечный результат. При этом предполагается ранжирование параметров, вычисление соответствующих рангов, нормирование последних и расчет количественных значений оценок соответствующих параметров.

Методика включает ряд следующих этапов. На первом этапе выделяются отдельные параметры, влияющие на выбор оптимального варианта. На втором этапе для выделенного информационного параметра устанавливается градационная шкала, каждый уровень которой отражает степень влияния этого параметра на общий вывод. На третьем этапе определяются количественные значения каждого уровня шкалы градационного разбиения отдельных информационных параметров. На четвертом, заключительном, этапе на основании выбранных для анализа информационных параметров и полученных значений градаций составляется лист экспертной оценки.

Рассмотрим задачу по выбору места для строительства аэропорта. [8]

Постановка задачи.

Возникла необходимость в построении еще одного аэропорта около города М. Правительство этой страны назначило комиссию по выбору места для аэропорта, которая приступила к работе. Были обследованы различные площадки около города, где постройка аэропорта нужного размера представлялась возможной. После многочисленных дискуссий комиссия определила три основных критерия для оценки вариантов расположения аэропорта.

1. *Стоимость постройки.* Желательно построить аэропорт с заданной пропускной способностью за наименьшую возможную цену.

2. *Расстояние от города.* Желательно, чтобы поездка пассажиров от аэропорта в город и обратно занимала наименьшее время.

3. *Минимальное шумовое воздействие.* Количество людей, подвергающихся нежелательным шумовым воздействиям, должно быть, по возможности, минимальным.

Рассмотрим альтернативные варианты расположения аэропорта:

А (\$180млн., 70 мин, 10 тыс.);

В (\$170млн., 40 мин, 15 тыс.);

С (\$160млн., 55 мин, 20 тыс.);

Д (\$150млн., 50 мин, 25 тыс.);

Решение задачи с помощью метода ELECTRE

Веса критериев $\omega_1 = 3, \omega_2 = 2, \omega_3 = 1; \sum_i \omega_i = 6$

Длины шкал $L_1 = 100, L_2 = 50, L_3 = 45$

Составляем матрицы и несогласия

индексы согласия

A,B: Γ^+ : -, -, + (вес=1)

Γ^- : -, -, -

C(A,B)=1/6

B,F: Γ^+ : + (вес=3), + (вес=2), -

Γ^- : -, -, -

C(B,A)= (3+2)/6=5/6

И т.д.

Таблица 1

Индексы согласия и несогласия

Table 1

Indices of agreement and disagreement

Индексы согласия					Индексы несогласия				
	A	B	C	D		A	B	C	D
A	*	1/6	1/6	1/6	A	*	0,6	0,3	0,4
B	5/6	*	3/6	3/6	B	0,11	*	0,1	0,2
C	5/6	3/6	*	1/6	C	0,22	0,3	*	0,1
D	5/6	3/6	5/6	*	D	0,33	0,22	0,11	*

индексы несогласия

$$d_{AB} = \max_{i \in I^-} \frac{l_B^i - l_A^i}{L_i}$$

A, B: A доминирует над B по 1-му и 2-му критерию

$$d_{AB} = \max \{ (180-170)/100; (70-40)/50 \} = 0,6$$

A, C: A доминирует над C по 1-му и 2-му критерию

$$d_{AC} = \max \{ (180-160)/100; (70-55)/50 \} = 0,3$$

и т.д.

В методе ELECTRE I бинарное отношение превосходства задается уровнями согласия и несогласия. Если $C_1 > C_i$ и $d_1 < d_i$, где C_i, d_i – заданные уровни согласия и несогласия, то альтернатива A объявляется лучшей по сравнению с альтернативой B. Если же при этих уровнях сравнить альтернативы не удалось, то они объявляются *несравнимыми*.

Зададим первые уровни согласия и несогласия: $c_i > 5/6$ и $d_i < 0,11$. Отношения между альтернативами представлены на рисунке.



Рис. Отношения между альтернативами
Fig. Relationship between alternatives

В первое ядро входят альтернативы В и С, исключаются альтернативы А и D, что устанавливается с помощью таблиц индексов согласия и несогласия. Альтернативы В и С, входящие в ядро, несравнимы при введенных уровнях c_i и d_i (согласия и несогласия). Их оценки противоречивы: альтернатива С превосходит альтернативу В по первому критерию, но существенно уступает по двум другим критериям. Изменим уровни согласия и несогласия: $c_2 > 0,5$; $d_2 < 0,2$. При данных уровнях альтернатива В оказывается наилучшей из четырех альтернатив.

Рассмотрим, как осуществляется выбор наилучшей альтернативы с использованием Метода анализа иерархий (МАИ) [4].

Заполним матрицы парных сравнений, сравнивая сначала попарно критерии по их значимости в выборе площадки для аэропорта, а потом площадки попарно по степени предпочтительности относительно каждого из сформулированных критериев.

Таблица 2

Сравнение критериев по значимости в выборе площадки

Table 2

Comparison of criteria for significance in the choice of site

Строительство	Стоимость	Время в пути	Количество людей	Вектор взвешенных весов критериев
стоимость	1	5	3	0,650648
Время в пути	1/5	1	3	0,222518
Количество людей	1/3	1/3	1	0,126834

Таблица 3

Сравнение площадок по степени предпочтительности относительно стоимости

Table 3

Comparison sites on preference degree relative value

Стоимость	A	B	C	D	Вектор взвешенных весов альтернатив
A	1	1/2	1/3	1/4	0,095295
B	2	1	1/2	1/3	0,160267
C	3	2	1	1/2	0,27759
D	4	3	2	1	0,466849

Таблица 4

Сравнение площадок по степени предпочтительности относительно времени в пути

Table 4

Comparing areas under the degree of preference of travel time with respect to

Время в пути	A	B	C	D	Вектор взвешенных весов альтернатив
A	1	1/6	1/5	1/4	0,056137
B	6	1	4	3	0,541228
C	5	1/4	1	1/2	0,165203
D	4	1/3	2	1	0,237432

Таблица 5

Сравнение площадок по степени предпочтительности относительно количества человек

Table 5

Comparison sites on the degree of preference with respect to the number of persons

Количество людей	A	B	C	D	Вектор взвешенных весов альтернатив
A	1	3	5	7	0,563813
B	1/3	1	3	5	0,263378
C	1/5	1/3	1	3	0,117786
D	1/7	1/5	1/3	1	0,055022

Таблица 6

Вектор глобальных приоритетов

Table 6

Vector global priorities

Альтернатива	A	B	C	D
Приоритет	0,146006	0,258116	0,232313	0,363566

Таким образом, наиболее предпочтительной является альтернатива D.

Рассмотрим применение теории нечетких множеств к решению данной задачи.

Пусть x_1 – стоимость, x_2 – время в пути, x_3 – количество людей – критерии для выбора лучшей альтернативы.

Запишем нечеткие множества. Весомости критериев уже ранее были найдены в методе Саати и составляют соответственно 0,65; 0,22 и 0,13.

Минимальная (стоимость) $x_1 = \{0,6/u_1, 0,7/u_2, 0,8/u_3, 0,9/u_4\}$

Минимальное (время в пути) $x_2 = \{0,4/u_1, 0,9/u_2, 0,6/u_3, 0,5/u_4\}$

Минимальное (количество людей) $x_3 = \{0,9/u_1, 0,8/u_2, 0,7/u_3, 0,6/u_4\}$

Лучшая альтернатива определяется следующим образом

$\mu = \max \{ \min \{0,6^{0,65}; 0,4^{0,22}; 0,9^{0,13}\};$

$\min \{0,7^{0,65}; 0,9^{0,22}; 0,8^{0,13}\};$

$\min \{0,8^{0,65}; 0,6^{0,22}; 0,7^{0,13}\};$

$\min \{0,9^{0,65}; 0,5^{0,22}; 0,6^{0,13}\} \}$

$\mu = \max \{ \min \{0,72; 0,82; 0,99\}; \min \{0,79; 0,98; 0,97\}; \min \{0,86; 0,89; 0,95\}; \min \{0,93; 0,86; 0,94\} \}$

$\mu = \max \{0,72; 0,79, 0,86, 0,86\}$

$\mu(a) = \{0,72/u_1; 0,79/u_2, 0,86/u_3, 0,86/u_4\}$

Таким образом, наилучшие альтернативы 3 и 4, наихудшая 1.

Рассмотрим применение метода учета информационных параметров для формализуемой оценки.

На первом этапе определяется набор отдельных информационных параметров, которые принимаются для последующей их оценки в процессе общей комплексной оценки предложенных вариантов. В качестве информационных параметров приняты для оценки следующие: стоимость постройки, расстояние от города, минимальное шумовое воздействие.

На втором этапе для каждого параметра устанавливаются градационные шкалы, позволяющие оценить степень влияния каждого на эффективность выбора:

- стоимость постройки – 4 градации (\$180млн., \$170млн., \$160млн., \$150млн.)
- расстояние от города – 4 градации (70 мин, 55 мин, 50 мин, 40 мин)
- минимальное шумовое воздействие – 4 градации (25 тыс., 20 тыс., 15 тыс., 10 тыс.)

На третьем этапе определяются количественные значения каждого уровня шкалы градационного разбиения отдельных параметров качества с учетом назначенных коэффициентов их весомости. Для каждого параметра экспертным путем установлены следующие коэффициенты весомости:

- стоимость постройки – $k_1=3$
- расстояние от города – $k_2=2$
- минимальное шумовое воздействие – $k_3=1$

Коэффициент нормирования параметров – $N = 100 / 6 \approx 16$

Ранги для каждого параметра

- стоимость постройки – $r_1=50$
- расстояние от города – $r_2=33$
- минимальное шумовое воздействие – $r_3=17$

На четвертом этапе на базе полученных данных формируется лист экспертной оценки эффективности использования ИР, который представлен в таблице 7.

Вычисленные эффективности для возможных вариантов

A (\$180млн., 70 мин, 10 тыс.) – 17;

B (\$170млн., 40 мин, 15 тыс.) – 61;

C (\$160млн., 55 мин, 20 тыс.) – 49;

D (\$150млн., 50 мин, 25 тыс.) – 72.

Лучший вариант – D.

Таблица 7

Лист экспертной оценки

Table 7

Expert evaluation sheet

Признак	стоимость постройки				Оценка, %
Градация	180	170	160	150	
Значение	0	16	32	50	
Признак	расстояние от города				Оценка, %
Градация	70	55	50	40	
Значение	0	11	22	33	
Признак	минимальное шумовое воздействие				Оценка, %
Градация	25	20	15	10	
Значение	0	6	12	17	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сравнивая результаты, полученные с использованием разных многокритериальных методов, можно сделать следующие выводы. Метод анализа иерархий обычно дает результаты, хорошо согласующиеся с интуитивными представлениями экспертов при рациональном подходе к принятию решений. Несовпадение результатов, полученных разными методами, объясняется разными способами представления экспертной информации и различием подходов к принятию решений. Например, в МАИ и в формализованном методе заложен рационально-взвешенный подход, основанный на попарных сравнениях объектов и нормированных весовых коэффициентах. Максимальная свертка является реализацией пессимистического подхода, когда лучшей является альтернатива, имеющая минимальные недостатки по всем критериям.

Положительным моментом использования многокритериальных методов на нечетких моделях и формализованного метода в отличие от МАИ является тот факт, что при добавлении новых альтернатив не изменяется порядок ранее ранжированных наборов.

Таким образом, для получения более обоснованных результатов сравнения предпочтительней использовать МАИ либо формализованную оценку. Но если необходимо получить не только ранжирование альтернатив по предпочтительности, но и количественные оценки этих предпочтений, то наиболее целесообразно использовать именно метод анализа иерархий.

Список литературы

1. Блюмин С. Л., Шмырин А. М., Шмырина О.А. Представление нелинейных нечетко-окрестностных систем. // Проблемы управления. 2005. №2. 37-40.
2. Блюмин С.Л., Шмырин А. М. Применение нечетких мер и интегралов к описанию нечетких динамических систем // Проблемы управления. 2005. №3. С. 20-22.
3. Кузьменко О.Л. Многокритериальный выбор и принятие решений на основе экспертных знаний и нечеткого распознавания ситуаций: Дис. к-та технических наук. Таганрог, 2008, 175 с.
4. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах. М.: Логос, 2000, 296 с.
5. О разработке пакета компьютерной поддержки принятия решений для выбора корреляционно-регрессионных моделей анализа и прогнозирования эмпирических данных. / Путивцева Н.П., Зайцева Т.В., Игрунова С.В., Нестерова Е.В., Пусная О.П. // Научные ведомости БелГУ Серия Экономика. Информатика. Белгород: Изд-во БелГУ. 2015. №197(216). Выпуск 36/1. С. 126-131.
6. Саати. Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе. Москва. Радио и связь, 1993.
7. Ухоботов В. И. Избранные главы теории нечетких множеств. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та. 2011. 245 с.
8. Шамышева О.Н. Теория принятия решений. Владимир: Владим. Гос. Унив-т. 2005. 27 с.

References

1. Bljumin S.L., Shmyrin A.M., Shmyrina O.A. Presentation of non-linear fuzzy-neighborhood systems. // Management Issues. 2005. №2. 37-40.
2. Bljumin S.L., Shmyrin A. M. Application of fuzzy measures and integrals to the description of fuzzy dynamic systems // Management Issues. 2005. №3. P. 20-22.
3. Kuz'menko O.L. Multi-criteria selection and decision-making based on expert knowledge and fuzzy recognition of situations: the Dissertation of the candidate of technical sciences. Taganrog, 2008, 175 p.

4. Larichev O. I. Theory and methods of decision-making, as well as the chronicle of events in a magical land. Moscow: Logos, 2000, 296 p.
5. On the development computer support package decision to select the correlation-regression model analysis and prediction of empirical data / Putivceva N.P., Zajceva T.V., Igrunova S.V., Nesterova E.V., Pusnaja O.P. // Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies: Izd-vo BelGU. 2015. #197(216). Vypusk 36/1 P.126-131.
6. Saati. T. Making decisions. The method of analysis of hierarchies R. G. Vachnadze. Moscow: Radio i svjaz', 1993.
7. Uhobotov V. I. Selected chapters of fuzzy set theory. Chelyabinsk: Izd-vo Cheljab. gos. un-ta. 2011. 245 p.
8. Shamysheva O.N. Decision theory. Vladimir: Vladim. Gos. Univ-t. 2005. 27 p.

Путивцева Наталья Павловна, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат технических наук

Пусная Ольга Петровна, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Игрунова Светлана Васильевна, доцент кафедры информационных систем, кандидат социологических наук

Зайцева Татьяна Валентиновна, доцент кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат технических наук, доцент

Нестерова Елена Викторовна, старший преподаватель кафедры информационных систем

Putivtseva Natalia Pavlovna, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Technologies, PhD in Technical Sciences

Pusnaya Olga Petrovna, Senior Lecturer, Department of Applied Informatics and Information Technologies

Igrunova Svetlana Vasilievna, Associate Professor, Department of Information Systems, PhD in Sociology

Zaitseva Tatyana Valentinovna, Associate Professor, Department of Applied Informatics and Information Technologies, PhD in Technical Sciences

Nesterova Elena Victorovna, Senior Lecturer, Department of Information Systems

УДК 519.876.5

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-48-54

**Жихарев А.Г.
Шарапов Д.П.****СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ
"МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ
ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ"**

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85,
г. Белгород, 308015, Россия
e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 947442@bsu.edu.ru

Аннотация

В данной статье рассматривается имитационная системно-объектная модель деятельности по оказанию услуг в Государственном автономном учреждении Белгородской области "Многофункциональный центр предоставления государственных и муниципальных услуг".

Ключевые слова: Оказание услуг, система, модель, моделирование.

UDC 519.876.5

**Zhikharev A.G.
Sharapov D.P.****SYSTEM-OBJECT IMITATIVE MODELING OF THE MASS SERVICE
SYSTEM BY THE EXAMPLE "MULTIFUNCTIONAL CENTER
OF PROVIDING STATE AND MUNICIPAL SERVICES"**

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: zhikharev@bsu.edu.ru, 947442@bsu.edu.ru

Abstract

In this article, an imitation system-object model of the provision of services in the State Autonomous Institution of the Belgorod Region "Multifunctional Center for the Provision of State and Municipal Services" is considered.

Keywords: Rendering services, system, model, modeling.

Рассмотрим применение программного инструментария имитационного моделирования процессов и систем «UFO-modeler» [1] для того, чтобы смоделировать деятельность организации по оказанию услуг и выявить при каком количестве клиентов, очередь будет критичной, а также ответить на вопрос: рационально ли функционирует система массового обслуживания.

В качестве объекта имитационного моделирования выступает Государственное автономное учреждение Белгородской области "Многофункциональный центр предоставления государственных и муниципальных услуг" (МФЦ). Для создания модели был произведён сбор данных о количестве обратившихся клиентов, которым были оказаны услуги в конкретном окне и среднее время оказания услуг. Сбор данных был произведен с 01.10.2016 по 31.10.2016. Работа учреждения осуществлялась с понедельника по субботу. Окна, где предоставляются услуги, были сгруппированы по участникам (территориальные органы федеральных органов исполнительной власти, исполнительные органы государственной власти Белгородской области, органы местного самоуправления, городские и районные организации). Количество участников составляет 22, всего доступных окон предоставляющие услуги составляет – 56 из них 44 осуществляли оказание услуг.

Используя исходный набор данных, можно корректно построить модель деятельности учреждения, но для этого требуется произвести вычисления следующих значений: нахождение суммы, среднего значения, диапазона отклонения, процентного распределения заявок и времени оказания услуг, которые сгруппированы по дням недели, значения времени и заявок на один день.

Для нахождения данных относящихся ко времени и заявкам, вычисления выполняются аналогичным образом.

Таблица 1

Фрагмент собранных данных за 1 день

Table 1

Fragment of collected data for 1 day

№ п/п	Участник МФЦ	Номер окна	Количество оказанных услуг	Среднее время ожидания услуги, мин.	Среднее время оказания услуги, мин.
1	Отдел приема и выдачи документов МФЦ	Окно 1	0	0	0
2	Управление социальной защиты населения администрации г. Белгорода, МБУ "Центр социальных выплат"	Окно 2	24	0.23	январь.32
3		Окно 3	39	0.40	февраль.40
4	Департамент строительства и архитектуры администрации г. Белгорода	Окно 4	0	0	0
5	Управление социальной защиты населения администрации г. Белгорода, МБУ "Центр социальных выплат"	Окно 5	13	0.70	июль.68
6	УФПС Белгородской области, филиал ФГУП "Почта России"	Окно 6	0	0	0
7		Окно 7	0	0	0
8	Комитет строительства администрации Белгородского района	Окно 8	0	0	0
9	ГУП "Белоблтехинвентаризация"	Окно 9	6	июнь.43	декабрь.77

Для нахождения среднего количества заявок или времени оказания услуг из сгруппированных данных, требуется выполнить расчеты по следующей формуле: $S_{ср.} = S_{общ.}/n$, где $S_{ср.}$ – среднее количество заявок или время оказания услуги в рассматриваемой группе; $S_{общ.}$ – суммарное количество заявок или время оказания услуги по конкретным дням недели; n – количество в рассматриваемой группе.

Диапазон отклонения вычисляется в несколько этапов. Первый этап заключается в нахождении отклонений по каждому дню недели, в каждой группе по следующей формуле: $R_x = (S_{ср.} - S_x) / 100$, где x – номер дня недели в конкретной группе; R_x – значение в x день; $S_{ср.}$ – среднее количество в рассматриваемой группе; S_x – суммарное значение в x день. Вторым этапом является нахождение по модулю минимального и максимального значения из найденных отклонений в конкретной группе. Полученные два значения и будут являться диапазоном отклонения. Этот диапазон позволит при моделировании получать новое значение, когда наступит новый день.

Следующими вычислениями будут нахождение процентного распределения. Для этого находится среднее значение для каждого окна в каждой группе данных. Среднее значение по каждому окну вычисляется по формуле: $S_{окно} = S_y/n$, где S_y – сумма значений по каждому окну; n – количество дней рассматриваемой группы. Затем вычисляется процентное распределение по следующей формуле: $P_x = (S_{окно} * 100) / S_x$, где P_x – процентное распределение по конкретному окну; $S_{окно}$ – среднее значение в конкретном окне; S_x – сумма средних значений по каждому окну за конкретные дни недели; Итоговыми вычислениями является применение процентного распределения и вычисленное значение с отклонением по следующей формуле: $N_{окно} = ((S_{ср.} + \text{rand}) * P_x) / 100$, где rand – случайное число, лежащее в диапазоне отклонения.

Рассмотрим вычисление всех требуемых значений используя группировку данных по понедельникам, найдем сумму всех заявок и поделим на 5, чтобы найти среднее значение заявок по всем понедельникам. Сумма всех заявок за все понедельники – 4276. Среднее количество – $S_{ср.} = 4276/5 = 855,2$.

Найдя среднее количество заявок за понедельники, необходимо вычислить диапазон, который в дальнейшем будет изменять среднее значение заявок по понедельникам. Диапазон отклонения – $R_1 = (855,2 - 608) / 100$, $R_1 = 2,472$. Выполнение подсчета остальных значений производится аналогичным образом, по окончании подсчета всех значений определяем по модулю максимум и минимум из вычисленных значений. Максимум – 3,518, минимум – 0,368.

Следующими вычислениями является нахождение среднего значения по каждому окну за 5 дней – $S_{окно2} = 193,2$, $S_{окно3} = 121,2$ и т.д. (табл. 3).

Следующими действиями (табл. 4) будут подсчет процентного распределения «Окно 2» $P_2 = (193,2 * 100) / 1100,033$. $P_2 = 17,5631$. После рассчитывается количество заявок на понедельники с учетом отклонения – $855,2 - 2,4 = 852,6 = 853$. Далее находится количество заявок на 1 день недели – $N_2 = (853 * 17,5631) / 100 = 30$ заявок. Нахождение для других окон находится аналогично.

Таблица 2

Фрагменты данных, после вычисления среднего количества заявок

Table 2

Fragments of data, after calculating the average number of applications

	Понедельники				
Окно 2	132	168	285	248	133
Окно 3	69	53	291	117	76
Окно 5	43	45	183	59	60
Окно 6	42	38	72	85	55
Окно 7	44	60	40	59	21
...					
Окно 50	69	32	36	63	55
Окно 53	0	0	0	0	0
Окно 55	6	4	7	5	8
Окно 56	36	41	44	25	43
Сумма x день	608	661	1207	892	908
Сумма всех заявок			4276		
Среднее количество			855.2		

Таблица 3

Фрагменты данных после вычисления диапазона распределения заявок

Table 3

Data fragments after calculating the range of allocation of applications

	Понедельник					Среднее знач.
Окно 2	132	168	285	248	133	193.2
Окно 3	69	53	291	117	76	121.2
Окно 5	43	45	183	59	60	78
...						
Окно 53	0	0	0	0	0	0
Окно 55	6	4	7	5	8	6
Окно 56	36	41	44	25	43	37.8
Сумма заявок	608	661	1207	892	908	1100.033
Сумма всех заявок		4276				
Среднее всех заявок		855.2				
Диапазоны	2.472	1.942	-3.52	-0.37	-0.53	
Модуль	2.472	1.942	3.518	0.368	0.528	
Мин	0.368					
Макс	3.518					

Таблица 4

Фрагмент данных при подсчете процентного распределения заявок

Table 4

A fragment of the data in the calculation of the percentage distribution of applications

Процентное распределение по понедельникам				
	%	Кол-во заявок за 5 дней		Кол-во заявок за 1 день
Окно 2	17.5631	149.81328	150	30
Окно 3	11.01785	93.982243	94	18.8
Окно 5	7.090694	60.483622	60	12
...				
Окно 53	0	0	0	0
Окно 55	0.545438	4.6525863	5	1
Окно 56	3.43626	29.311294	29	5.8
Сумма	100	853	853	170.7

Теперь необходимо произвести вычисления касающихся времени оказания услуг. Сумма времени за все понедельники – 911,8. Среднее количество – $S_{cp} = 911,8/5 = 182,4$.

Таблица 5

Фрагменты данных, после вычисления среднего количества времени

Table 5

Fragments of data, after calculating the average amount of time

	Понедельники				
Окно 2	2.03	1.55	2.17	1.37	1.92
Окно 3	2.72	4.93	1.72	2.53	2.58
Окно 5	6.83	6.72	3.3	5.77	4.48
Окно 6	8.4	26.38	6.82	4.43	13.6
Окно 7	3.07	2.8	5.45	2.68	2.45
...					
Окно 50	6.47	9.17	7.15	5.4	6
Окно 53	0	0	0	0	0
Окно 55	5.48	6.78	9.03	10.45	10.1
Окно 56	5.2	4.23	4.55	5.33	4.52
Сумма x день	89.33	115.49	93.69	101.82	511.49
Сумма всех заявок			911.82		
Среднее количество			182.36		

Следующими действиями необходимо вычислить диапазон, который в дальнейшем будет изменять среднее значение времени по понедельникам. Диапазон отклонения – $R_1 = (182,4 - 89,33)/100$, $R_1 = 0,93034$. Выполнение подсчета остальных значений R_x производится аналогичным образом. Так же, как и при вычислении диапазона отклонения заявок, находится и отклонение времени. Максимум – 0,329126, минимум – 0,066874.

Теперь необходимо подсчитать среднее значение суммы времени на каждое окно по всем понедельникам – $S_{окно2} = 1,808$, $S_{окно3} = 2,896$ и т.д.

Таблица 6

Фрагменты данных после вычисления диапазона распределения времени

Table 6

Data fragments after calculating the time distribution range

	Понедельник					Среднее знач.
Окно 2	2.03	1.55	2.17	1.37	1.92	1.808
Окно 3	2.72	4.93	1.72	2.53	2.58	2.896
Окно 5	6.83	6.72	3.3	5.77	4.48	5.42
...						
Окно 53	0	0	0	0	0	0
Окно 55	5.48	6.78	9.03	10.45	10.1	8.368
Окно 56	5.2	4.23	4.55	5.33	4.52	4.766
Сумма времени	89.33	115.5	93.69	101.8	511.5	506.1
Сумма всего времени		911.8				
Среднее значение времени		182.4				
Диапазоны	0.93	0.669	0.887	0.805	-3.29	
Модуль	0.93	0.669	0.887	0.805	3.291	
Мин	0.067					
Макс	0.329					

Процентное распределение для «Окно 2» $P_2 = (1,808 * 100) / 506,1$. $P_2 = 0,357$. Далее рассчитывается время на понедельники с учетом отклонения – $182,4 + 0,09 = 182,49 = 183$. Далее находится время обслуживания на 1 день недели – $N_2 = (183 * 0,357) / 100 = 0,653814$. Нахождение для других окон находится аналогично.

Таблица 7
Фрагмент данных при подсчете процентного распределения времени
Table 7

Fragment of data in calculating the percentage distribution of time

Процентное распределение по понедельникам		
	%	Время обслуживания
Окно 2	0.357	0,653814
Окно 3	0.572	1.0415365
Окно 5	1.071	1.9492846
Окно 6	2.357	4.2891453
Окно 7	0.65	1.1832373
Окно 8	1.212	2.2053529
...		
Окно 47	1.341	2.4402022
Окно 48	0	0
Окно 49	2.187	3.9794896
Окно 50	1.351	2.4592634
Окно 53	0	0
Окно 55	1.654	3.0095227
Окно 56	0.942	1.7140757
Сумма	100	183

Рассмотрим модель деятельности государственного учреждения в оказании услуг с применением методологии «Узел – Функция-Объект» [2], которая смоделирована и представлена на рисунках 1– 4.

На рисунке 8 изображена связь между населением г. Белгорода и государственным учреждением, для моделирования поступления заявок, был создан узел «День недели» имеющий возможность управления днем недели путем использования таймера дня (время работы учреждения). Когда таймер запускается, происходит определение номера дня недели. Затем этот номер передается в следующий узел «Население г. Белгород», позволяющий в зависимости от полученного номера вычислить количество заявок с применением отклонения. Далее это количество вместе с номером дня недели передается в узел «МФЦ» в котором происходит моделирование взаимодействия клиента и учреждения. Подробное описание этого узла представлена ниже. Результатом взаимодействия являются переданные обработанные заявки в узел «Обслуженные клиенты» для их подсчета.

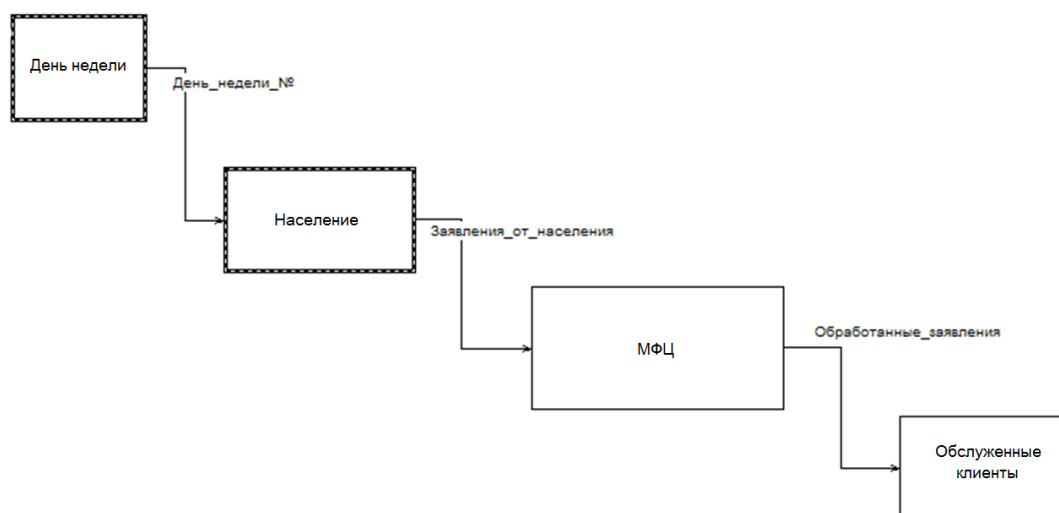


Рис. 1. Контекстная модель
Fig. 1. Context model

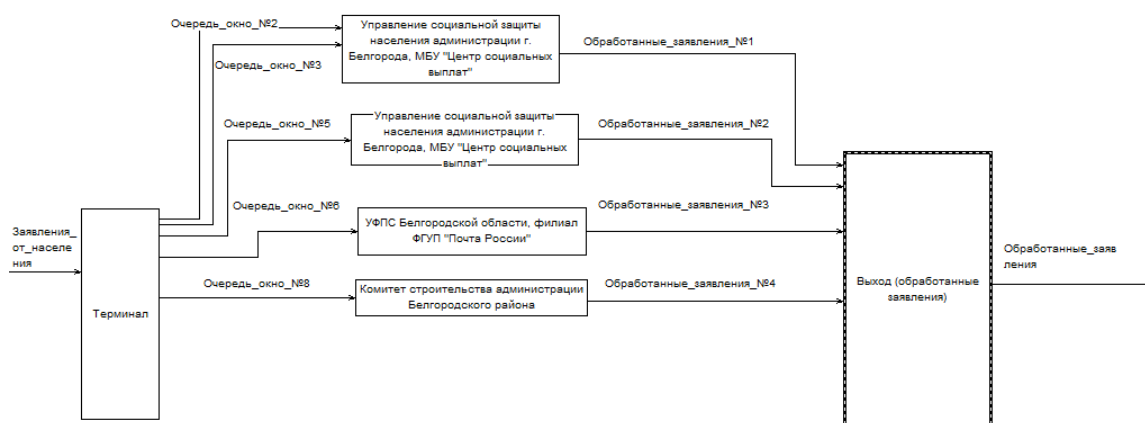


Рис. 2. Фрагмент декомпозиции узла «МФЦ».

Fig. 2. Fragment of the decomposition of the node «MFC»



Рис. 3. Фрагмент декомпозиции узла «Терминал»

Fig. 3. Fragment of decomposition of the node «Terminal»

Поступающие данные в узел «МФЦ» обрабатываются в узле декомпозиции «Терминал», который моделирует ситуацию, когда клиент берет талон и направляется в нужное окно. Результатом моделирования является увеличение значения заявок в связи между «Терминал» и требуемым окном. Подробное описание декомпозиции узла «Терминал» представлено далее. Каждое окно сгруппировано по узлам (названия узлов соответствуют названиям участников) декомпозиция которых представлена далее. Результатом группы узлов являются значения обработанных заявок, являющиеся в свою очередь входными значениями для суммирования в узле «Выход (обработанные заявления)».

Декомпозиция узла «Терминал» представляет собой узел «Распределение» получающий номер дня недели, количество заявок. Затем после получения данных, происходит выбор окна путем генерирования случайного числа. Если на исходящей связи узла «Распределение» и входящей связи выбранного узла (окна) стоит специальный флаг, то происходит увеличение количества заявок в этой связи, передача номера дня недели, количество заявок и уменьшение на входящей связи узла «Распределение». Иначе если специальный флаг не стоит, то увеличение заявок не производится и выполняется повторная генерация случайного числа.

Как только были переданные данные выбранному узлу, этот узел выполняет вычисление заявок в соответствии с процентным распределением и с учетом отклонения по конкретному окну. Затем из вычисленного значения вычитаются по мере поступления заявки и передаются далее на обработку. Когда вычисленное значение будет равно 0, специальный флаг снимается и прекращается поступление заявок от узла «Распределение» на этот узел.

Декомпозиция группы узлов отражающих группы участников содержит несколько или один узел, в котором поступившие заявки задерживаются на определенное время. Время задержек зависит от вычисленных ранее значений. Далее заявки передаются в узел сбора заявок «Сумма1», который отправляет для сбора с другими обработанными заявками из других групп.

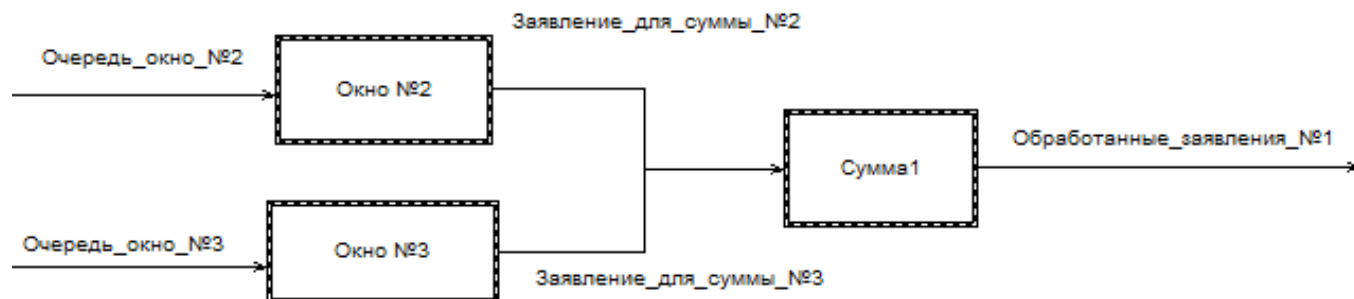


Рис. 4. Фрагмент декомпозиции узла «Управление социальной защиты населения администрации г. Белгорода, МБУ «Центр социальных выплат»

Fig. 4. Fragment of the decomposition of the node "Administration of Social Protection of Population of the Administration of Belgorod, MBU «Center for Social Payments»

Проведенные эксперименты с применением разработанной модели, показали, что модель является адекватной и позволяет моделировать различные варианты интенсивности поступающих заявок, вычислять среднее время обработки заявок и т.п.

Список литературы

1. Жихарев А.Г., Маторин С.И., Корчагина К.В. Имитационное моделирование с применением системного подхода и исчисления объектов // Объектные системы – 2016: материалы XII Международной научно-практической конференции (Ростов-на-Дону, 10-12 мая 2016 г.) / Под общ. ред. П.П. Олейника. – Ростов-на-Дону: ШИ (ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова, 2016. С. 28-33.
2. Matorin S.I., Zhikharev A.G., Zimovets O.A. The elements of general theory of the systems in terms of system-object approach of «Unit-Function-Object» // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. – Vol. 10, No. 24. – P. 44831-44837.

References

1. Zhikharev A.G., Matorin S.I., Korchagina K.V. Simulation modeling with the use of the system approach and the calculation of objects // Object systems – 2016: materials XII International Scientific and Practical Conference (Rostov-on-Don, May 10-12, 2016) / Under total. Ed. P.P. Oleinik. – Rostov-on-Don: ShI (f) YURPU (NPI) them. M.I. Platov, 2016, pp. 28-33.
2. S.I. Matorin, A.G. Zhikharev, O.A. Zimovets The elements of general theory of the systems in terms of system-object approach of «Unit-Function-Object» // International Journal of Applied Engineering Research – 2015. – Vol. 10, No. 24. – P. 44831-44837.

Жихарев Александр Геннадиевич, доцент кафедры информационных систем, кандидат технических наук
Шарапов Дмитрий Павлович, студент кафедры информационных систем

Zhikharev Aleksander Gennadievich, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Systems

Sharapov Dmitry Pavlovich, Student, Department of Information Systems

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ INFORMATION TECHNOLOGIES AND TELECOMMUNICATION

УДК 621.396.01

DOI:10.18413/2518-1092-2017-2-1-55-63

Жиляков Е.Г.
Черноморец А.А.
Болгова Е.В.

О СУБИНТЕРВАЛЬНЫХ МАТРИЦАХ
НА ОСНОВЕ УНИТАРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы д.85,
г. Белгород, 308015, Россия
e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru, chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе предложены соотношения, определяющие вид подобласти пространственных частот при выбранном унитарном преобразовании, введены понятия частей и долей энергии изображения в заданной подобласти пространственных частот при выбранной системе ортогональных базисных функций. В работе описаны системы ортогональных базисных функций для различных унитарных преобразований, предложены процедуры вычисления на основе отдельных унитарных преобразований субинтервальных матриц, позволяющих осуществлять анализ свойств изображений в различных подобластях пространственных частот.

Ключевые слова: подобласть пространственных частот доли энергии, субинтервальная матрица, субполосная матрица, унитарные преобразования.

UDC 621.396.01

Zhilyakov E.G.
Chernomorets A.A.
Bolgova E.V.

ABOUT SUBINTERVAL MATRICES BASED
ON UNITARY TRANSFORMATIONS

Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia
e-mail: zhilyakov@bsu.edu.ru, chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova_e@bsu.edu.ru

Abstract

In this paper we propose a ratio that help determine sub-areas of spatial frequencies at a selected unitary transformation, we introduce the concepts of parts and a shares of image energy in a given subarea of spatial frequencies for the chosen system of orthogonal basis functions. In the paper we describe a system of orthogonal basis functions for different unitary transformations, we propose on the basis of a separate unitary transformation calculation procedure of subinterval matrices, allowing to analyze the image properties in different subareas of spatial frequencies.

Keywords: subdomain of spatial frequencies, shares of energy, subinterval matrix, subband matrix, unitary transformations.

В настоящее время при анализе изображений широко применяют различные ортогональные системы базисных функций [1, 2, 3]: тригонометрические функции $\exp(-jnu)$, $\sin(nu)$, $\cos(nu)$, функции Хартли $\text{cas}(nu)$, функции Уолша-Адамара-Пэли $\text{wal}(n,u)$, $\text{had}(n,u)$, $\text{pal}(n,u)$, функции Хаара $\text{har}(nu)$ и др., где значение n определяется размерностью анализируемого изображения, величина u является пространственной частотой.

Указанные системы базисных функций определяют соответствующие унитарные преобразования изображений [6].

Анализ в области пространственных частот позволяет исследовать различные свойства изображений $\Phi = (f_{ik})$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$, на основе анализа частотных характеристик [4] (спектр) $F(u, v)$, $(u, v) \in D_2$, унитарного преобразования W в выбранном базисе на основе ортогональной системы базисных функций $\{w_i(u)\}$, $\{w_k(v)\}$, $i = 1, 2, \dots, N_1$, $k = 1, 2, \dots, N_2$:

$$F(u, v) = \sum_{i=1}^{N_1} \sum_{k=1}^{N_2} f_{ik} w_i(u) w_k(v), \quad (u, v) \in D_2, \quad (1)$$

где D_2 – область пространственных частот, различная для конкретного унитарного преобразования.

Обратное преобразование позволяет получить значения элементов анализируемого изображения Φ в виде:

$$f_{ik} = \frac{1}{ab} \iint_{(u,v) \in D_2} F(u, v) w_i^*(u) w_k^*(v) du dv, \quad (2)$$

где $w_i^*(u)$, $w_k^*(v)$ – комплексно-сопряженные функции; значения a, b зависят от выбранного унитарного преобразования.

Для унитарных преобразований справедлива теорема Парсеваля [4, 7], которая устанавливает связь между энергией изображения и его спектром,

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik}^2 = \frac{1}{ab} \iint_{(u,v) \in D_2} |F(u, v)|^2 du dv. \quad (3)$$

В контексте субполосного анализа равенство Парсеваля (3) [4, 5, 7] целесообразно представить в виде

$$\|\Phi\|^2 = \sum_{r_1=1}^{R_1} \sum_{r_2=1}^{R_2} E_{r_1 r_2}(\Phi), \quad (4)$$

где

$$E_{r_1 r_2}(\Phi) = \frac{1}{ab} \iint_{(u,v) \in V_{r_1 r_2}} |F(u, v)|^2 du dv, \quad (5)$$

$$r_1 = 1, 2, \dots, R_1, \quad r_2 = 1, 2, \dots, R_2,$$

где $V_{r_1 r_2}$ – подобласти пространственных частот (ППЧ), которые получены на основании разбиения области пространственных частот D_2 на непересекающиеся подобласти (в общем случае, выбор разбиения области пространственных частот зависит от применяемой системы базисных функций) [4, 7],

$$D_2 = \bigcup_{r_1=1}^{R_1} \bigcup_{r_2=1}^{R_2} V_{r_1 r_2}, \quad (6)$$

$$V_{r_1 r_2} = D_{r_1} \cap G_{r_2}, \quad (7)$$

где D_{r_1} и G_{r_2} – некоторые субполосы в области D_2 (зависят от выбранного преобразования).

Представляется естественным интегралы вида (5) называть частями энергии [4, 7] (евклидовой нормой) изображения в заданном базисе функций, попадающей в соответствующие ППЧ.

В свою очередь отношения

$$P_{r_1 r_2}(\Phi) = E_{r_1 r_2}(\Phi) / \|\Phi\|^2, \quad (8)$$

$$r_1 = 1, 2, \dots, R_1, \quad r_2 = 1, 2, \dots, R_2,$$

представляют собой доли энергии, которые позволяют судить о ее сосредоточенности в выбранных ППЧ $V_{r_1 r_2}$, $r_1 = 1, 2, \dots, R_1$, $r_2 = 1, 2, \dots, R_2$.

Можно доказать следующее утверждение. Значения частей энергий изображения вида (5), соответствующие подобласти пространственных частот $V_{r_1 r_2}$ вида (7) при заданной системе ортогональных базисных функций (при заданном унитарном преобразовании), определяются соотношением

$$E_{r_1 r_2}(\Phi) = \text{tr}(A_{r_1} \Phi B_{r_2} \Phi^T), \quad (9)$$

где «tr» означает след матрицы, «T» – операция транспонирования матрицы, матрицы $A_{r_1} = (a_{in}^{r_1})$, $i, n = 1, 2, \dots, N_1$, и $B_{r_2} = (b_{km}^{r_2})$, $k, m = 1, 2, \dots, N_2$, – субинтервальные матрицы, соответствующие подобласти $V_{r_1 r_2}$ при заданной системе ортогональных базисных функций, значения элементов которых определяются на основании следующих выражений:

$$a_{in}^{r_1} = \frac{1}{a} \int_{u \in D_{r_1}} w_i(u) w_n(u) du, \quad (10)$$

$$b_{km}^{r_2} = \frac{1}{b} \int_{v \in G_{r_2}} w_k(v) w_m(v) dv. \quad (11)$$

Справедливость этого утверждения доказывается непосредственной подстановкой в определение (5) представления (1).

Для унитарных преобразований, соответствующих симметрической матрице, интегралы в выражениях (10) и (11), в большинстве случаев, можно вычислить точно.

Учитывая соотношения (8) и (9), соотношение для вычисления доли энергии изображения, соответствующей ППЧ $V_{r_1 r_2}$, при заданной системе базисных функций имеет вид

$$P_{r_1 r_2}(\Phi) = \frac{\text{tr}(A_{r_1} \Phi B_{r_2} \Phi^T)}{\text{tr}(\Phi \Phi^T)}. \quad (12)$$

Рассмотрим наиболее распространенные унитарные преобразования, применяемые при обработке изображений.

Так, при преобразовании Фурье (FT) изображение представляется в виде ряда Фурье по следующим системам базисных комплексных функций:

$$w_i(u) = e^{-ju(i-1)}, \quad (13)$$

$$w_k(v) = e^{-jv(k-1)}, \quad (14)$$

где j – мнимая единица,

область определения пространственных частот задается следующим образом:

$$D_2 = \{(u, v) | -\pi \leq u, v < \pi\}, \quad (15)$$

параметры в соотношении (2) имеют следующими значениями:

$$a = b = \frac{1}{2\pi}. \quad (16)$$

При анализе изображений на основе преобразования Фурье подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}$ (7) является центрально-симметричной и определяющие ее субполосы D_{r_1} и G_{r_2} имеют следующий вид [4, 7]:

$$D_{r_1} = [-u_{r_1 2}, -u_{r_1 1}) \cup [u_{r_1 1}, u_{r_1 2}), \quad (17)$$

$$G_{r_2} = [-v_{r_2 2}, -v_{r_2 1}) \cup [v_{r_2 1}, v_{r_2 2}), \quad (18)$$

где

$$0 \leq u_{r_1 1} < u_{r_1 2} < \pi,$$

$$0 \leq v_{r_2 1} < v_{r_2 2} < \pi.$$

Схематично подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}$, применяемая при субполосном анализе изображений в базисе Фурье, представлена на рисунке 1.

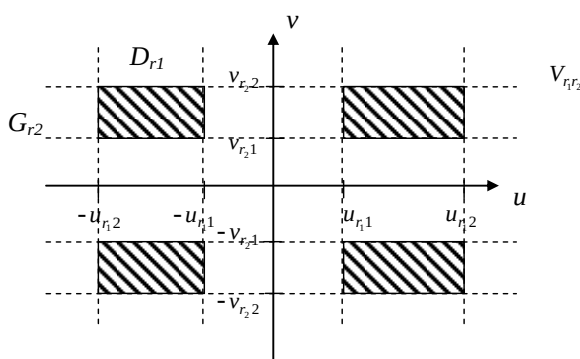


Рис. 1. Подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}$ при субполосном анализе изображений на основе преобразования Фурье

Fig. 1. Subdomain of spatial frequencies $V_{r_1 r_2}$ for the images subband analysis based on Fourier transform

Можно показать [4, 7], что элементы субполосной матрицы A_{r_1} , соответствующей субполосе D_{r_1} , определяются на основании следующих соотношений:

$$a_{in}^{r_1} = \frac{1}{2\pi} \int_{u \in D_{r_1}} e^{-ju(i-n)} e^{-ju(i-n)} du = \frac{1}{2\pi} \int_{u \in D_{r_1}} e^{-ju(i-n)} du = \begin{cases} \frac{\sin(u_{r_1 2}(i-n)) - \sin(u_{r_1 1}(i-n))}{\pi(i-n)}, & i \neq n, \\ \frac{u_{r_1 2} - u_{r_1 1}}{\pi}, & i = n, \end{cases} \quad (19)$$

Элементы субполосной матрицы B_{r_2} , соответствующей субполосе D_{r_2} , определяются аналогично.

Значения элементов некоторой субполосной матрицы можно представить в виде изображения на рисунке 2.



Рис. 2. Графическое представление значений элементов субполосной матрицы
Fig. 2. Graphical representation of the values of the subband matrix elements

При косинусном преобразовании (СТ) базисные функции имеют вид:

$$w_i^{CT}(u) = \cos(u(i - \frac{1}{2})), \quad (20)$$

$$w_k^{CT}(v) = \cos(v(k - \frac{1}{2})), \quad (21)$$

$$a = b = \sqrt{\frac{2}{\pi}}. \quad (22)$$

$$0 \leq u, v < \pi, \quad i = 1, 2, \dots, N_1, \quad k = 1, 2, \dots, N_2.$$

При анализе изображений на основе косинусного преобразования подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}$ (7) задается субполосами D_{r_1} и G_{r_2} , которые имеют следующий вид:

$$D_{r_1}^{CT} = [u_{r_1 1}, u_{r_1 2}), \quad (23)$$

$$G_{r_2}^{CT} = [v_{r_2 1}, v_{r_2 2}). \quad (24)$$

Подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}$ схематично изображена на рисунке 3.

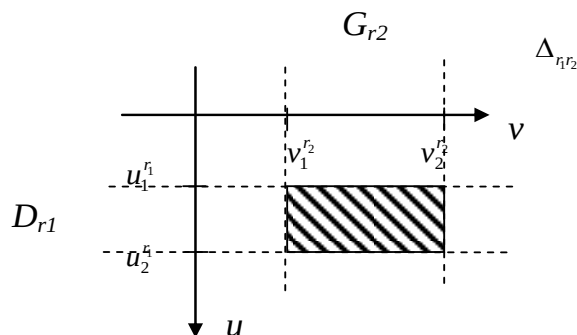


Рис. 3. Подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}$

при субполосном анализе изображений на основе косинусного преобразования

Fig. 3. Subdomain of spatial frequencies $V_{r_1 r_2}$ for the images subband analysis based on cosine transform

Авторами предложено при анализе изображений на основе унитарных преобразований, отличных от преобразования Фурье, использовать термин субинтервальные матрицы.

Элементы субинтервальной матрицы $A_{r_1} = (a_{in}^{r_1, CT}), i, n = 1, 2, \dots, N_1$, соответствующей субполосе $D_{r_1}^{CT}$, определяются на основании соотношения:

$$a_{in}^{r_1, CT} = a_{in}^{r_1} + h_{in}^{r_1}, \quad (25)$$

где $a_{in}^{r_1}$ – определено в (19),

$$h_{in}^{r_1} = \frac{\sin(u_{r_1 2}(i+n-1)) - \sin(u_{r_1 1}(i+n-1))}{\pi(i+n-1)}. \quad (26)$$

Элементы субинтервальной матрицы B_{r_2} , соответствующей субполосе $G_{r_2}^{CT}$, определяются аналогично.

Значения элементов некоторой субинтервальной матрицы косинусного преобразования можно представить в виде изображения на рисунке 4.

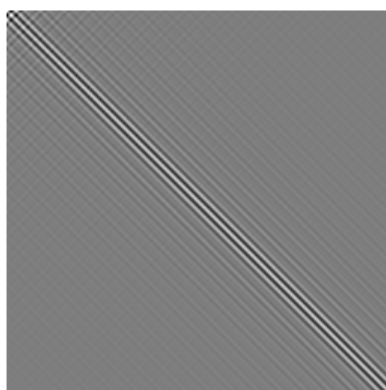


Рис. 4. Графическое представление значений элементов субинтервальной матрицы косинусного преобразования

Fig. 4. Graphical representation of the values of the subinterval matrix elements for the cosine transform

Преобразование Уолша (Уолша-Адамара, WH) основано на базисе функций Уолша, которые образуют полную систему ортонормированных прямоугольных функций (принимая значения -1 и +1).

Множество функций Уолша обычно рассматривают в вариантах, отличающихся последовательностью расположения функций в системе, а именно: упорядочение по Уолшу (по частности), упорядочение по Адамару (естественное), упорядочение по Пэли (диадическое).

При упорядочении по Адамару матрица дискретного преобразования Уолша-Адамара для системы из $N = 2^n$ функций Уолша может быть получена в результате последовательного построения n блочных матриц H_k , $k = 1, 2, \dots, n$, следующим образом:

$$H_k = \begin{pmatrix} H_{k-1} & H_{k-1} \\ H_{k-1} & -H_{k-1} \end{pmatrix}, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad H_0 = (1).$$

Так, при упорядочении по Адамару матрица преобразования Уолша-Адамара для системы из восьми функций Уолша имеет вид:

$$W_N = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{vmatrix}$$

Параметры в соотношении (2) для преобразований Уолша-Адамара задаются следующими значениями:

$$a = b = 1, \quad (27)$$

Область значений пространственных частот имеет вид:

$$D_2 = \{(u, v) | 0 \leq u, v < 1\}, \quad (28)$$

Первые восемь непрерывных функций Уолша приведены на рисунке 5.

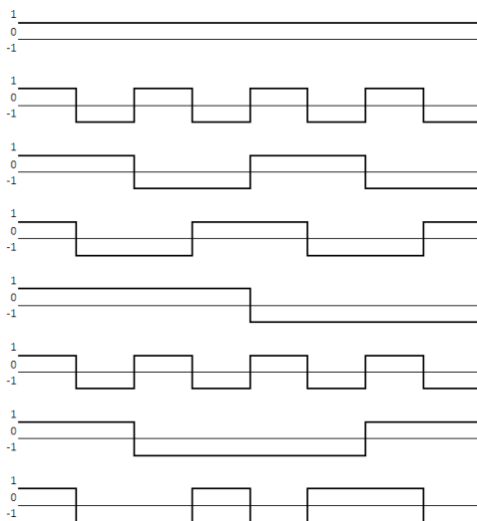


Рис. 5. Пример непрерывных функций Уолша
Fig. 5. Example of continuous Walsh functions

При применении преобразований Уолша-Адамара подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}^{WH}$ (7) задается пересечением субполос D_{r_1} и G_{r_2} ,

$$D_{r_1}^{WH} = [u_{r_1 1}, u_{r_1 2}], \quad (29)$$

$$G_{r_2}^{WH} = [v_{r_2 1}, v_{r_2 2}]. \quad (30)$$

$$0 \leq u_{r_1 1} < u_{r_1 2} < 1, \quad 0 \leq v_{r_2 1} < v_{r_2 2} < 1.$$

При применении преобразования Уолша-Адамара подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}^{WH}$ схематично изображена на рисунке 6.

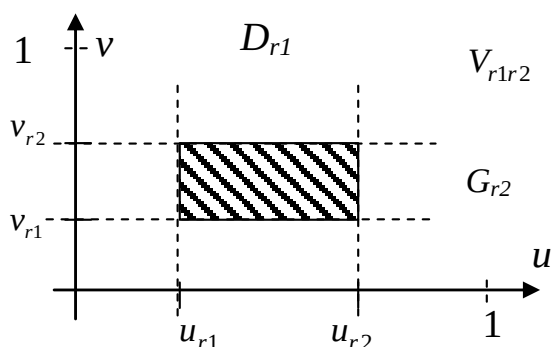


Рис. 6. Подобласть пространственных частот $V_{r_1 r_2}^{WH}$

при субполосном анализе изображений
на основе преобразования Уолша-Адамара

Fig. 6. Subdomain of spatial frequencies $V_{r_1 r_2}^{WH}$
in the images subband analysis based
on Walsh-Hadamard transform

При анализе изображений на основе преобразования Уолша-Адамара (базисные функции упорядочены по Адамару) значения элементов a_{in}^s субинтервальной матрицы A_{r_1} в выражении (10) для области D_{r_1} вида (29) определяется следующим образом (учтем симметричность матрицы преобразования Уолша-Адамара при упорядочении функций по Адамару, а также соотношения (27), (28)):

$$a_{in}^{r_1} = \int_{u \in D_{r_1}} w_{i-1}(u) w_{n-1}(u) du = \int_{u_{r_1 1}}^{u_{r_1 2}} w_{i-1}(u) w_{n-1}(u) du = \int_{u_{r_1 1}}^{u_{r_1 2}} w_{(i-1) \oplus (n-1)}(u) du \quad (31)$$

где $(i-1) \oplus (n-1)$ – результат сложения по модулю 2 номеров в двоичной системе чисел $(i-1)$ и $(n-1)$.

Учитывая тот факт, что функции Уолша являются кусочно-постоянными, то интеграл в правой части выражения (31) может быть записан в виде конечной суммы. Тогда,

$$a_{in}^{r_1} = \frac{1}{N_1} \sum_{n_0=u_{r_1 1}}^{u_{r_1 2}} w_{(i-1) \oplus (n-1)}(n_0), \quad (33)$$

$$i, n = 1, 2, \dots, N_1$$

Аналогично можно получить соотношение для вычисления значений элементов субинтервальной матрицы B_{r_2} при анализе изображений на основе преобразования Уолша-Адамара.

Преобразование Хаара основано на функциях Хаара $har_i(x)$, определенных на интервале $x \in [0, 1)$ и $i = 0, 1, \dots, N-1$, где $N = 2^n$.

Базисные функции Хаара задаются на основании следующих соотношений:

$$har_0(x) = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad x \in [0,1], \quad har_i(x) = h_{pq}(x) = \frac{1}{\sqrt{N}} \begin{cases} 2^{p/2}, & x \in [(q-1)/2^p, (q-1/2)/2^p), \\ -2^{p/2}, & x \in [(q-1/2)/2^p, q/2^p), \\ 0, & \text{для всех остальных } x \in [0,1], \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (34)$$

где p, q – целые положительные числа,

$$i = 2^p + q - 1, \quad 1 \leq q < 2^p.$$

Матрица преобразования Хаара, строки которой составлены из базисных функций Хаара, при $N=8$ имеет следующий вид:

$$W_N = \frac{1}{\sqrt{8}} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sqrt{2} & \sqrt{2} & -\sqrt{2} & -\sqrt{2} \\ 2 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & -2 \end{pmatrix}.$$

Первые восемь непрерывных функций Хаара приведены на рисунке 7.

При применении преобразования Хаара подобласть пространственных частот V_{sr} совпадает с ППЧ, применяемом при преобразовании Уолша-Адамара.

При анализе изображений на основе преобразования Хаара значения элементов $a_{in}^{r_1}$ субполосной матрицы A_{r_1} в выражении (10) для области D_{r_1} вида (29) определяется следующим образом:

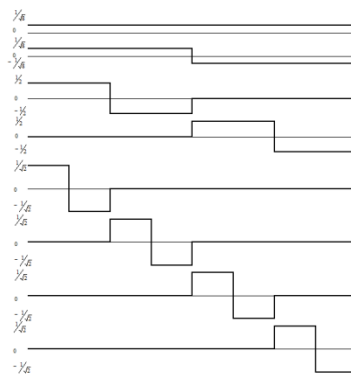


Рис. 7. Пример непрерывных функций Хаара

Fig. 7. Example of continuous Haar functions

$$a_{in}^{r_1} = \int_{u \in D_{r_1}} har_{i-1}(u) har_{n-1}(u) du = \sum_{u=u_{r_1 1}}^{u_{r_2 2}} har_{i-1}(u) har_{n-1}(u), \quad (35)$$

Аналогичным образом можно указать значения элементов субинтервальных матриц для других унитарных преобразований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-01570-а.

Список литературы

1. Ахмед Н., Рао К., 1980. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М., Связь, 248.
2. Ярославский Л.П., 1979. Введение в цифровую обработку изображений. М., Сов. радио, 312.

3. Прэтт У., 1982. Цифровая обработка изображений. М., Мир, 312.
4. Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., 2010. О частотном анализе изображений. Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. 1: 94-103.
5. Черноморец А.А., Волчков В.П., 2012. О свойствах квазисубполосных и G-субполосных матриц. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 1(120): 126-134.
6. Черноморец А.А., Болгова Е.В., 2015. Об анализе данных на основе косинусного преобразования. Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика. 1(198): 68-73.
7. Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., 2013. Об оптимальном выделении субполосных компонент изображений. Информационные системы и технологии. 1(75): 5-11.

References

1. Ahmed N., Rao K., 1980. The orthogonal transform in digital signal processing. Moscow, Svyaz', 248. (Jaroslavskij L.P., 1979. Introduction to digital image processing. Moscow, Sov. Radio, 312.
2. Pratt W., 1982. Digital image processing. Moscow, Mir, 312.
3. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., 2010. About the frequency image analysis. Problems of Radio Electronics. 1: 94-103.
4. Chernomorets A.A., Volchikov V.P., 2012. About properties of quasisubband and G-subband matrices. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies. 1(120): 126-134.
5. Chernomorets A.A., Bolgova E.V., 2015. On the analysis of data based on the cosine transformation. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics Information technologies. 1(198): 68-73.
6. Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., 2013. Optimal separation of image subband components. Information systems and technologies. 1(75): 5-11.

Жиляков Евгений Георгиевич, зав. кафедрой информационно-телекоммуникационных систем и технологий, доктор технических наук, профессор

Черноморец Андрей Алексеевич, профессор кафедры прикладной информатики и информационных технологий, кандидат технических наук

Болгова Евгения Витальевна, аспирант кафедры прикладной информатики и информационных технологий

Zhilyakov Evgeniy Georgievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies

Chernomorets Andrey Alekseevich, PhD in Technical Sciences, Department of Applied Informatics and Information Technologies

Bolgova Evgeniya Vitalievna, Postgraduate Student, Department of Applied Informatics and Information Technologies