

Том **74**
Выпуск **2**



ISSN 2079-0279

2024

ТРУДЫ

**ИНСТИТУТА СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

<http://www.ISA.ru>

Динамические системы

Компьютерный анализ текстов

Методы и модели системного анализа

Управление рисками и безопасностью

Системный анализ в медицине и биологии



Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН)

<http://www.isa.ru/proceedings/>

Журнал основан в 2002 году
Журнал выходит ежеквартально

Учредитель

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН)
119333, г. Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, тел.: 8 (499) 135-62-60, e-mail: frccsc@frccsc.ru, <http://www.frccsc.ru/>

Главный редактор

Попков Ю.С., академик РАН,
119312, г. Москва, проспект 60-летия Октября, д. 9
тел. 8 (499) 135-42-22, e-mail: popkov@isa.ru

Редакционный совет

Попков Юрий Соломонович, академик РАН
(председатель Редакционного совета), г. Москва, Россия
Виссен Леонард (Leonardus J.G. van Wissen), проф., г. Амстердам, Нидерланды
Константинов Игорь Сергеевич, д.т.н., г. Белгород, Россия
Соловьев Александр Владимирович, д.т.н.,
(заместитель главного редактора) г. Москва, Россия
Шмульян Борис Лейбович, проф., г. Тель-Авив, Израиль
Щербов Сергей Яковлевич, проф., г. Вена, Австрия

Редакционная коллегия

Алескеров Фуад Тагиевич, д.т.н., г. Москва, Россия
Ашимов Абдыкаппар Ашимович, д.т.н., г. Алматы, Казахстан
Белов Сергей Павлович, д.т.н., г. Белгород, Россия
Булычев Александр Викторович, к.т.н. (ответственный секретарь), г. Москва, Россия
Бурков Владимир Николаевич, д.т.н., г. Москва, Россия
Войтишек Антон Вацлавович, д. ф.-м.н.,
г. Новосибирск, Россия
Геловани Виктор Арчилович, академик РАН,
г. Москва, Россия
Ильин Александр Владимирович, чл.-корр. РАН,
г. Москва, Россия

Крутько Вячеслав Николаевич, д.т.н., г. Москва, Россия
Лексин Владимир Николаевич, д.э.н., г. Москва, Россия
Лившиц Вениамин Наумович, д.э.н., г. Москва, Россия
Магницкий Николай Александрович, д.ф.-м.н., г. Москва, Россия
Мижидон Арсалан Дугарович, д.т.н., г. Улан-Удэ, Россия
Орлова Елена Роальдовна, д.э.н., г. Москва, Россия
Петровский Алексей Борисович, д.т.н., г. Москва, Россия
Смирнов Александр Викторович, д.т.н., г. Санкт-Петербург, Россия
Тищенко Виктор Иванович, к.филос.н., г. Москва, Россия
Швецов Александр Николаевич, д.э.н., г. Москва, Россия

Редакция

Шиббаева Л.С. (заведующая редакцией)

Адрес редакции

117312, г. Москва, проспект 60-летия Октября, д. 9,
E-mail: tisa@isa.ru, тел. 8 (499) 135-24-33, 8 (926) 490-87-87

Научный журнал «Труды Института системного анализа Российской академии наук (ИСА РАН)» публикует материалы по широкому кругу фундаментальных проблем развития методологии системного анализа и ее приложений к решению разнообразных задач в сфере науки и практики. Журнал предназначен для научных сотрудников, инженеров и исследователей, работающих в рамках этой проблематики, а также для политиков, сотрудников государственных и муниципальных органов, специалистов предприятий и представителей общественных организаций. Правила подготовки статей для публикации в журнале, а также правила их рецензирования приведены на сайте журнала.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-65718 от 20 мая 2016 г.
Подписной индекс журнала – 36089 в электронном каталоге ГК «УРАЛ-ПРЕСС» (<http://ural-press.ru/>).
Журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

© Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»

Содержание

Динамические системы	3
Численное решение краевой задачи для уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто (<i>А.Г. Омарова</i>)	3
О хаотической динамике в одном варианте диффузных систем хищник-жертва (<i>Н.М. Евстигнеев, Т.В. Карамышева</i>)	11
О скрытых аттракторах нелинейных систем дифференциальных уравнений с бесконечным числом особых точек (<i>Н.А. Магницкий</i>)	19
Компьютерный анализ текстов	25
Применение вычислительных методов корпусного анализа к исследованию текстов литературных произведений (<i>Н.Л. Аванесян, О.В. Губина, А.М. Чеповский</i>)	25
Методы и модели системного анализа	33
Вопросы системного анализа средств пассивного дистанционного зондирования атмосферных газов (<i>Х.Г. Асадов, Н.Ш. Абилова</i>)	33
Управление рисками и безопасностью	40
Оптовый продовольственный рынок как общественно значимый инвестиционный проект (<i>И.А. Миронова, Т.И. Тищенко, М.П. Фролова</i>)	40
Концептуальные основы цивилизационной безопасности России: социально-политический аспект (<i>Ю.В. Пазюк, В.П. Ефимова, С.Н. Осипов</i>)	49
Принципы разработки прикладных мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур (<i>А.В. Маслобоев</i>)	62
Системный анализ в медицине и биологии	82
Продолжительность жизни как индикатор качества управления государством (<i>В.Н. Крутько</i>)	82
Анализ кадровой обеспеченности в отраслях промышленности на примере Оренбургской области (<i>Е.Н. Кошкина</i>)	87
Отдельные вопросы внедрения цифрового профиля гражданина (<i>Е.Р. Орлова, Э.В. Голоманчук</i>)	96

PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE FOR SYSTEMS ANALYSIS OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

IN THIS ISSUE

Dynamical Systems	3
Numerical solution of the boundary value problem for the heat equation with a fractional Caputo derivative (<i>A.G. Omarova</i>)	3
On the Chaotic Dynamics in One Variant of the Diffusive Predator-Prey Systems (<i>N.M. Evstigneev, T.V. Karamysheva</i>).....	11
On hidden attractors of nonlinear systems of differential equations with an infinite number of singular points (<i>N.A. Magnitskii</i>)	19
Text Mining	25
Corpus analysis methods for study of texts of prose literary works by various authors (<i>N.L. Avanesyan, O.V. Gubina, A.M. Chepovskiy</i>).....	25
Methods and Models of Systems Analysis	33
Issues of system analysis of passive remote sensing of atmospheric gases (<i>H.H. Asadov, N.S. Abilova</i>)	33
Risk-Management and Security	40
Wholesale food market as a socially significant investment project (<i>I.A. Mironova, T.I. Tischenko, M.P. Frolova</i>)	40
Conceptual foundations of Russia's civilizational security: socio-political aspect (<i>Yu.V. Pazyuk, V. P. Efimova, S.N. Osipov</i>)	49
Principles of applied multi-agent system engineering for resilience management of critical infrastructures (<i>A.V. Masloboev</i>).....	62
Systems Analysis in Medicine and Biology	82
Life expectancy as an indicator of the quality of government (<i>V.N. Krut'ko</i>).....	82
Analysis of Staffing in Production Industries on Example of Orenburg Region Annotation (<i>E.N. Koshkina</i>)	87
Individual issues of implementing a digital citizen profile (<i>E.R. Orlova, A.V. Golomanchuk</i>).....	96

Динамические системы

Численное решение краевой задачи для уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто

А.Г. ОМАРОВА

Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия

Аннотация. Исследуется нелокальная краевая задача для уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто с переменными коэффициентами. Методом энергетических неравенств получена априорная оценка в дифференциальной форме. Построена разностная схема, аппроксимирующая краевую задачу с первым порядком. Получен аналог априорной оценки в разностной форме. Из полученных априорных оценок следует единственность и устойчивость решения по начальным данным и правой части. Доказана сходимость разностной схемы к решению исходной задачи.

Ключевые слова: дробная производная Капуто, краевая задача, априорная оценка, разностная схема, метод энергетических неравенств, численные методы.

DOI: 10.14357/20790279240201 **EDN:** CAZNDM

Введение

Дифференциальные уравнения дробного порядка находят большое количество применений в современных исследованиях механики, теоретической физики и прикладной математики. Являются мощным инструментом для описания систем, которые обладают памятью и нелокальностью, процессов, протекающих во фрактальных средах, задач тепло – и массопереноса и во многих других областях науки. Этим и объясняется столь повышенный интерес к дифференциальным уравнениям дробного порядка [1–4].

Многие процессы в сложных системах обладают нелокальностью и характеризуются долгосрочной памятью. Дифференциальные уравнения с нелокальными краевыми условиями позволяют описывать некоторые из этих характеристик.

Нелокальными краевыми задачами принято называть такие, в которых вместо задания решения или его производных на фиксированной части границы задается их связь со значениями

тех же функций на иных внутренних или граничных многообразиях [5, с. 135]. Работы А.М. Нахушева положили начало исследованию краевых задач с операторами дробного порядка в краевых условиях.

В работе [6] исследована первая краевая задача для нелинейного уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто по времени. Построена разностная схема, устойчивость разностной схемы доказана методом гармоник Фурье. Краевым задачам, содержащим дробные производные с нелокальными условиями, посвящены работы [7–9]. В них методом энергетических неравенств получены априорные оценки в дифференциальной и разностной трактовке. Априорные оценки в дифференциальной форме получены в работах [10,11], используя метод энергетических неравенств. Из полученных оценок следует единственность и непрерывная зависимость решения поставленных задач от начальных данных. Разностные методы решения краевых задач и апри-

орные оценки в разностной форме получены в работах [12,13]. В них построены разностные схемы для рассматриваемых задач, исследована устойчивость разностной схемы с помощью метода энергетических неравенств, из которой следует сходимость разностных схем.

Данная работа посвящена исследованию уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто по пространственной переменной и с нелокальными краевыми условиями, в которых также содержится дробный оператор. На основе метода энергетических неравенств получены априорные оценки в дифференциальной и в разностной форме, из которых и следует единственность и устойчивость решения по правой части и начальным данным, а также сходимость решения разностной задачи к решению исходной дифференциальной задачи.

1. Постановка задачи

В области $D = \{(x,t) : 0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T\}$ рассмотрим начально краевую задачу:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \partial_{0,x}^\alpha (k(x,t)\partial_{0,x}^\alpha u(x,t)) + r(x,t)\frac{\partial u}{\partial x} - q(x,t)u(x,t) + f(x,t),$$

$$0 < x < l, 0 < t \leq T; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} k(0,t)\partial_{0,x}^\alpha u(0,t) &= \beta_1(t)u(0,t) - \mu_1(t); \\ -k(l,t)\partial_{0,x}^\alpha u(l,t) &= \beta_2(t)u(l,t) - \mu_2(t); \\ u(x,0) &= u_0(x), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\partial_{0,x}^\alpha u(x,t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^x \frac{u'(h,t)}{(x-h)^\alpha} dh$ – дробная производная Капуто порядка α , $0 < \alpha < 1$.

Будем предполагать, что решение $u(x,t) \in C^{1,1}(D)$ задачи (1)-(2) существует, где $C^{m,n}(D)$ – класс функций, непрерывных вместе со своими частными производными порядка m по x порядка и порядка n по t на D . Также для коэффициентов уравнения (1) выполняются условия:

$$\begin{aligned} k(x,t), r(x,t) &\in C^{1,0}(D), q(x,t), f(x,t) \in C(D), \\ c_0 &\leq k(x,t), r(x,t) \leq c_1; \\ |k(x,t)_x|, |q(x,t)|, |r(x,t)|, |r_x(x,t)|, |\beta_1|, |\beta_2| &\leq c_2, \end{aligned}$$

$$\text{где } c_0, c_1, c_2 > 0, \quad c_2 > c_1. \quad (3)$$

2. Априорная оценка

Лемма 1. Для любой абсолютно непрерывной на $[0,T]$ функции $v(t)$ справедливо неравенство [11]:

$$v(t)\partial_{0,x}^\alpha v(t) \geq \frac{1}{2}\partial_{0,x}^\alpha v^2(t), \quad 0 < \alpha < 1.$$

Для того, чтобы получить априорную оценку для решения задачи (1)-(2) умножим скалярно уравнение (1) на $v(x,t) = k(x,t)\partial_{0,x}^\alpha u(x,t)$:

$$(u, v) = (\partial_{0,x}^\alpha v, v) + (ru_x, v) - (qu(x,t), v) + (f, v), \quad (4)$$

где $(a, b) = \int_0^l ab dx$, $\|a\|_0^2 = (a, a)$.

Будем использовать константы $M_i > 0$, $i = 0.1.2, \dots$, которые зависят только от входных данных исследуемой задачи.

Преобразуем слагаемые, входящие в тождество (4), используя ε неравенство Коши-Буняковского, формулу суммирования по частям и Лемму 1:

$$(u_t, v) = \int_0^l u_t v dx \leq \frac{1}{2}\|u_t\|_0^2 + \frac{1}{2}\|v\|_0^2, \quad (5)$$

$$(v, \partial_{0,x}^\alpha v) = \int_0^l v \partial_{0,x}^\alpha v dx \geq \frac{1}{2}\partial_{0,x}^\alpha \|v\|_0^2, \quad (6)$$

$$(ru_x, v) = \int_0^l u_x r v dx \leq c_1 \int_0^l u_x v dx = c_1(uv|_0^l - \int_0^l v' u dx), \quad (7)$$

$$-(qu, v) \leq -\int_0^l quv dx \leq \frac{c_2}{2}\|u\|_0^2 + \frac{c_2}{2}\|v\|_0^2, \quad (8)$$

$$(f, v) = \int_0^l f v dx \leq \frac{1}{2}\|f\|_0^2 + \frac{1}{2}\|v\|_0^2. \quad (9)$$

С учетом проведенных преобразований (5)-(9) приходим к неравенству:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\|u_t\|_0^2 + c_1 \int_0^l v' u dx &\leq \frac{1}{2}\partial_{0,x}^\alpha \|v\|_0^2 + \\ + c_1 uv|_0^l + \frac{c_2}{2}\|u\|_0^2 + \frac{c_2}{2}\|v\|_0^2 + \frac{1}{2}\|f\|_0^2. \end{aligned} \quad (10)$$

Проведем оценку второго слагаемого правой части (10), используя неравенства:

$$\mu_1(t)u(0,t) \leq \frac{1}{2}u^2(0,t) + \frac{1}{2}\mu_1^2(t),$$

$$\mu_2(t)u(l,t) \leq \frac{1}{2}u^2(l,t) + \frac{1}{2}\mu_2^2(t).$$

Также имеет место оценка [15]

$$u^2(l,t) \leq \varepsilon \|u_x\|_0^2 + c(\varepsilon) \|u\|_0^2,$$

где $c(\varepsilon) = \frac{1}{l} + \frac{1}{\varepsilon}$, $\varepsilon > 0$, а также:

$$\begin{aligned} uv|_0^l &= u(x,t)k(x,t)\partial_{0x}^\alpha u(x,t)|_0^l = \\ &= u(l,t)k(l,t)\partial_{0x}^\alpha u(l,t) - u(0,t)k(0,t)\partial_{0x}^\alpha u(0,t) = \\ &\quad - \beta_2(t)u^2(l,t) + \mu_2(t)u(l,t) - \\ &\quad - \beta_1(t)u^2(0,t) + \mu_1(t)u(0,t) \leq \\ &\leq M_0(u^2(l,t) + u^2(0,t)) + \frac{1}{2}(\mu_1^2(t) + \mu_2^2(t)) \leq \\ &\leq \varepsilon \|u_x\|_0^2 + M_1^\varepsilon \|u\|_0^2 + \frac{1}{2}(\mu_1^2(t) + \mu_2^2(t)). \end{aligned}$$

Тогда имеем:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \|u_t\|_0^2 + c_1 \int_0^l v' u dx &\leq \\ &\leq \frac{1}{2} \partial_{0x}^\alpha \|v\|_0^2 + c_1 \varepsilon \|u_x\|_0^2 + M_2^\varepsilon \|u\|_0^2 + \frac{c_2}{2} \|u\|_0^2 + \\ &+ \frac{c_2}{2} \|v\|_0^2 + \frac{c_1}{2} (\mu_1^2(t) + \mu_2^2(t) + \frac{1}{2} \|f\|_0^2). \end{aligned} \quad (11)$$

Проведем оценку последнего слагаемого левой части (11):

$$\int_0^l uv' dx \leq \frac{1}{2} \|u\|_0^2 + \frac{1}{2} \|v'\|_0^2. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (11) и выбирая $\varepsilon = \frac{c_2}{2c_1}$, получим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \|u_t\|_0^2 + \frac{c_1}{2} \|v\|_0^2 &\leq \frac{1}{2} \partial_{0x}^\alpha \|v\|_0^2 + \frac{c_2}{2} \|v\|_0^2 + \frac{c_2}{2} \|u_x\|_0^2 + \\ &+ M_3 \|u\|_0^2 + \frac{c_1}{2} (\mu_1^2(t) + \mu_2^2(t) + \frac{1}{2} \|f\|_0^2). \end{aligned}$$

Из тождества (4) с учетом проведенных выше преобразований (5)-(12) и подставляя вместо $v(x,t)$ значение $k(x,t)\partial_{0x}^\alpha u(x,t)$, приходим к неравенству:

$$\begin{aligned} \|u_t\|_0^2 + \|k(x,t)_x \partial_{0x}^\alpha u(x,t)\|_x^2 &\leq \\ &\leq \partial_{0x}^\alpha \|k(x,t)\partial_{0x}^\alpha u(x,t)\|_0^2 + M_3 (\|k(x,t)\partial_{0x}^\alpha u(x,t)\|_0^2 + \|u_x\|_0^2 + \|u\|_0^2) + \\ &+ M_2 (\mu_1^2(t) + \mu_2^2(t) + \|f\|_0^2). \end{aligned} \quad (13)$$

Проинтегрируем (13) по τ от 0 до t

$$\begin{aligned} \int_0^t \|u_\tau\| d\tau + \int_0^t \|k_x \partial_{0x}^\alpha u_x\|_0^2 d\tau &\leq \\ &\leq \int_0^t \partial_{0x}^\alpha \|k \partial_{0x}^\alpha u\|_0^2 d\tau + M_3 \int_0^t (\|k \partial_{0x}^\alpha u\|_0^2 + \|u_x\|_0^2 + \|u\|_0^2) d\tau + \\ &+ M_2 \int_0^t (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|f\|_0^2) d\tau, \end{aligned}$$

с учетом оценки

$$\begin{aligned} \int_0^t \partial_{0x}^\alpha \|K(x,\tau)\partial_{0x}^\alpha u(x,\tau)\|_0^2 d\tau &= \int_0^t \frac{d\tau}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^x \frac{\left(\|K(x,\tau)\partial_{0x}^\alpha u(h,\tau)\|_0^2\right)'}{(x-h)^\alpha} dh \leq \\ &\leq \int_0^t \frac{c_1^2 \left(\|\partial_{0x}^\alpha u(h,\tau)\|_0^2\right)'}{\Gamma(1-\alpha)} d\tau \int_h^l \frac{1}{(x-h)^\alpha} dh = \end{aligned}$$

$$= \frac{c_1^2 (t-x)^{1-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)} (\|\partial_{0x}^\alpha u(h,\tau)\|_0^2 + \|\partial_{0x}^\alpha u(h,0)\|_0^2)$$

получим неравенство:

$$\begin{aligned} \|u\|_0^2 + \int_0^t \|\partial_{0x}^\alpha u_x\|_0^2 d\tau &\leq \\ &\leq M_5 (\|\partial_{0x}^\alpha u\|_0^2 + \|\partial_{0x}^\alpha u(x,0)\|_0^2) + M_3 \int_0^t (\|\partial_{0x}^\alpha u\|_0^2 + \|u\|_{C(0,t)}^2) d\tau + \\ &+ M_2 \int_0^t (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|f\|_0^2) d\tau, \end{aligned} \quad (14)$$

где $\|u\|_{C(0,t)}^2 = \|u_x\|_0^2 + \|u\|_0^2$.

На основании леммы 1.1 [15, с.152] из (14) получим:

$$\begin{aligned} \|u\|_0^2 + \int_0^t \|\partial_{0x}^\alpha u_x\|_0^2 d\tau &\leq \\ &\leq M \int_0^t (\|\partial_{0x}^\alpha u\|_0^2 + \|u\|_{C(0,t)}^2 + \mu_1^2 + \mu_2^2 + \|f\|_0^2) d\tau + \|u_0\|_0^2, \end{aligned} \quad (15)$$

где M – константа, которая зависит только от входных данных.

Таким образом, имеет место следующая теорема.

Теорема 1. Если выполняются условия (3), то для решения задачи (1), (2) справедлива априорная оценка (15), из которой следует единственность и непрерывная зависимость решения задачи (1), (2) от входных данных.

3. Разностная схема, аппроксимирующая краевую задачу

В области $D = \{(x,t) : 0 \leq x \leq l, 0 \leq t \leq T\}$ введем по переменной x и t равномерную сетку с шагом h по x и τ по t :

$$\begin{aligned} \omega_{h\tau} &= \omega_h \times \omega_\tau \{ (x_m, t_n), x_m \in \omega_h, t_n \in \omega_\tau \}, \\ \omega_h &= \{ x_m = mh, m = 0, 1, 2, \dots, M, Mh = L \}, \\ \omega_\tau &= \{ t_n = n\tau, n = 0, 1, 2, \dots, N, N\tau = T \}. \end{aligned}$$

Точное решение задачи (1), (2) обозначим через $u_m^n = u(x_m, t_n)$ а приближенное решение – через $y_m^n = y(x_m, t_n)$. Тогда для дробной производной $\partial_{0x}^\alpha (K(x,t)\partial_{0x}^\alpha u(x,t))$ в точках $x = x_m, t = t_n$ имеет место разностная аппроксимация [16]:

$$\begin{aligned} \partial_{0x}^\alpha (k(x_n, t_n) \partial_{0x}^\alpha u(x_n, t_n)) &= \\ &= \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{i=0}^m C_{m,i} \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)h} \left[K(x_{i+1}, t_n) \sum_{j=0}^{i+1} C_{i+1,j} \Delta u(x_j, t_n) - K(x_i, t_n) \sum_{j=0}^i C_{i,j} \Delta u(x_j, t_n) \right] + O(h), \end{aligned}$$

где

$$C_{m,k} = x_{m-k+1}^{1-\alpha} - x_{m-k}^{1-\alpha},$$

$$C_{k,i} = x_{k-i+1}^{1-\alpha} - x_{k-i}^{1-\alpha}, C_{k+1,i} = x_{k-i+2}^{1-\alpha} - x_{k-i+1}^{1-\alpha}.$$

На равномерной сетке $\omega_{h\tau}$ дифференциальной задаче (1), (2) поставим в соответствие разностную схему порядка аппроксимации $O(h + \tau)$:

$$y_t = \Delta_{0x_k}^\alpha U + Ry_x - Qy + \varphi \quad (16)$$

$$\begin{cases} U_0 = \beta_1 y_0 - \mu_1; \\ -U_N = \beta_2 y_N - \mu_2; \\ y(x,0) = y_0(x_m), \end{cases} \quad (17)$$

где

$$\Delta_{0x_k}^\alpha U = \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m (x_{m-k+1}^{1-\alpha} - x_{m-k}^{1-\alpha}) \Delta U_k,$$

$$\Delta U_k = U_{k+1} - U_k, \quad U_k = k(x_k, t_n) \Delta_{0x_k}^\alpha y,$$

$$\Delta_{0x_i}^\alpha y = \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m (x_{m-k+1}^{1-\alpha} - x_{m-k}^{1-\alpha}) \Delta y_k,$$

$$y_t = \frac{y_m^{n+1} - y_m^n}{\tau}, \quad y_x = \frac{y_{m+1}^n - y_m^n}{h}, \quad y = y_m^n,$$

$$y_m^{n+1} = \hat{y}, \quad \varphi = f(x_m, t_n), \quad R = r(x_m, t_n), \quad Q = q(x_m, t_n),$$

$$\beta_i = \beta(t_n), \quad \mu_i = \mu(t_n), \quad i = 1, 2.$$

4. Устойчивость и сходимость разностной схемы

Исследование на устойчивость разностной схемы (16), (17) будем проводить методом энергетических неравенств [17, с. 341]. Введем скалярное произведение и норму для сеточных функций в виде:

$$(u, v) = \sum_{i=1}^{N-1} u_i v_i h, \quad (u, v] = \sum_{i=1}^N u_i v_i h,$$

$$(u, u) = \sum_{i=1}^{N-1} u_i^2 h = \|u\|_0^2,$$

$$(u, u] = \sum_{i=1}^N u_i^2 h = \|u\|_0^2.$$

Лемма 2. Для любой функции $y(x, t)$ определенной на сетке $\omega_{h\tau}$, справедливо неравенство [18]:

$$y^k \Delta_{0x_k}^\alpha y \geq \frac{1}{2} \Delta_{0x_k}^\alpha (y^2).$$

Умножим выражение (16) скалярно на

$$U_k = k(x_k, t_n) \Delta_{0x_k}^\alpha y: \quad (y_i, U_k) = (\Delta_{0x_k}^\alpha U, U_k) + (Ry_x, U_k) - (Qy, U_k) + (\varphi, U_k). \quad (18)$$

Преобразуем слагаемые равенства (18) с учетом Леммы 2, неравенства Коши-Буняковского и разностной формулы интегрирования по частям:

$$(y_i, U_k) \leq \frac{1}{2} \|y_i\|_0^2 + \frac{1}{2} \|U_k\|_0^2, \quad (19)$$

$$(\Delta_{0x_k}^\alpha U, U_k) \geq \frac{1}{2} \Delta_{0x_k}^\alpha \|U\|_0^2, \quad (20)$$

$$(Ry_x, U_k) \leq c_1 (U_N y_N - U_0 y_1 - (U_{k\bar{x}}, y)), \quad (21)$$

$$-(Qy, U_k) \leq \frac{c_2}{2} \|y\|_0^2 + \frac{c_2}{2} \|U_k\|_0^2, \quad (22)$$

$$(\varphi, U_k) \leq \frac{1}{2} \|\varphi\|_0^2 + \frac{1}{2} \|U_k\|_0^2. \quad (23)$$

С учетом проведенных выше преобразований (19)–(23) приходим к неравенству:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \|y_i\|_0^2 + c_1 (U_{k\bar{x}}, y] &\leq \frac{1}{2} \Delta_{0x_k}^\alpha \|U\|_0^2 + c_1 (U_N y_N - U_0 y_1) + \\ &+ \frac{c_2}{2} \|y\|_0^2 + \frac{c_2}{2} \|U_k\|_0^2 + \frac{1}{2} \|\varphi\|_0^2. \end{aligned} \quad (24)$$

Справедлива следующая лемма.

Лемма 3. Для любой функции $y(x)$, заданной на сетке ω_h , справедливо неравенство [19]:

$$\max_{1 \leq m \leq M} y_m^2 \leq \varepsilon \|y_{\bar{x}}\|_0^2 + \left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{1}{l}\right) \|y\|_0^2,$$

где ε – произвольная положительная постоянная, l – длина интервала, на котором введена сетка ω_h .

Второе слагаемое в правой части (24) оценим, используя Лемму 3, а также воспользуемся разложением функции $y_1 = y_0 + h$ в ряд Тейлора по степеням h :

$$y_1 = y_0 + h \approx y_0 + hy'_\zeta,$$

где ζ – некоторая точка, расположенная в интервале $(0, 0 + h)$:

$$\begin{aligned} (U_N y_N - U_0 (y_0 + hy'_\zeta)) &= -\beta_2 y_N^2 + \mu_2 y_N - \\ &- \beta_1 y_0^2 + \mu_1 y_0 - hy'_\zeta (\beta_1 y_0 + \mu_1) \leq \\ &\leq \varepsilon \|y_{\bar{x}}\|_0^2 + M_1^\varepsilon \|y\|_0^2 + \frac{\mu_1^2}{2} + \frac{\mu_2^2}{2} - hy'_\zeta (\beta_1 y_0 + \mu_1) \leq \\ &\leq \varepsilon \|y_{\bar{x}}\|_0^2 + M_1^\varepsilon \|y\|_0^2 + \frac{1}{2} (\mu_1^2 + \mu_2^2). \end{aligned}$$

Подставляя полученное значение в (24), имеем

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \|y_i\|_0^2 + c_1 (U_{k\bar{x}}, y] &\leq \\ &\leq \frac{1}{2} \Delta_{0x_k}^\alpha \|U\|_0^2 + c_1 \varepsilon \|y_{\bar{x}}\|_0^2 + M_2^\varepsilon \|y\|_0^2 + \\ &+ \frac{c_1}{2} (\mu_1^2 + \mu_2^2) + \frac{c_2}{2} \|y\|_0^2 + \frac{c_2}{2} \|U_k\|_0^2 + \frac{1}{2} \|\varphi\|_0^2. \end{aligned} \quad (25)$$

Перейдем к оценке второго слагаемого левой части неравенства (25):

$$(U_{k\bar{x}}, y] = \left(\frac{U_k - U_{k-1}}{h}, y\right] = \frac{c_1}{h} (\Delta_{0x_k}^\alpha y_k, y] - \frac{c_1}{h} (\Delta_{0x_k}^\alpha y_{k-1}, y].$$

Применяя Лемму 2 имеем: $(U_{k\bar{x}}, y] \geq \frac{c_1}{2} \Delta_{0x_k}^\alpha \|y_{\bar{x}}\|_0^2$.

Подставляя полученные значения в (25) и выбирая $\varepsilon = \frac{C_2}{2c_1}$, приходим к неравенству:

$$\|y_t\|_0^2 + \Delta_{0x}^\alpha \|y_{\bar{x}}\|_0^2 \leq \Delta_{0x}^\alpha \|U\|_0^2 + \frac{C_2}{2} \|U_k\|_0^2 + \frac{C_2}{2} \|y_{\bar{x}}\|_0^2 + M_4 \|y\|_0^2 + M_3 (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|\varphi\|_0^2). \quad (26)$$

Преобразуем, второе слагаемое в левой части неравенства (26):

$$\begin{aligned} \|U_k\|_0^2 &= \|k(x,t)\Delta_{0x}^\alpha y\|_0^2 \leq c_1 \sum_{s=1}^{N-1} (\Delta_{0x}^\alpha y_s)^2 h = \\ &= \frac{c_1}{(\Gamma(2-\alpha)h)^2} \sum_{s=1}^{N-1} \left(\sum_{i=0}^k (x_{k-i+1}^{1-\alpha} - x_{k-i}^{1-\alpha})(y_{i+1}^s - y_i^s) \right)^2 h = \\ &= \frac{c_1}{(\Gamma(2-\alpha)h)^2} \sum_{i=0}^k (x_{k-i+1}^{1-\alpha} - x_{k-i}^{1-\alpha}) \sum_{i=0}^k (x_{k-i+1}^{1-\alpha} - x_{k-i}^{1-\alpha}) \sum_{s=1}^{N-1} (y_{i+1}^s - y_i^s)^2 h = \\ &= \frac{c_1}{\Gamma(2-\alpha)} \sum_{i=0}^k (x_{k-i+1}^{1-\alpha} - x_{k-i}^{1-\alpha}) \Delta_{0x}^\alpha \|y\|_0^2 \leq \frac{l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)} \Delta_{0x}^\alpha \|y\|_0^2. \end{aligned}$$

После подстановки полученной оценки, неравенство (26) примет вид:

$$\begin{aligned} \|y_t\|_0^2 + \Delta_{0x}^\alpha \|y_{\bar{x}}\|_0^2 &\leq \Delta_{0x}^\alpha \|U\|_0^2 + \\ &+ M_5 (\Delta_{0x}^\alpha \|y\|_0^2 + \|y\|_{C(0,I)}^2) + M_3 (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|\varphi\|_0^2), \\ \text{где } \|y\|_{C(0,I)}^2 &= \|y_{\bar{x}}\|_0^2 + \|y\|_0^2. \end{aligned} \quad (27)$$

Просуммируем (27) по s от 0 до j ;

$$\begin{aligned} \sum_{s=0}^j \|y_t^s\|_0^2 + \sum_{s=0}^j \Delta_{0x}^\alpha \|y_{\bar{x}}^s\|_0^2 &\leq \\ \leq \sum_{s=0}^j \Delta_{0x}^\alpha \|U^s\|_0^2 + M_5 \sum_{s=0}^j (\Delta_{0x}^\alpha \|y\|_0^2 + \|y\|_{C(0,I)}^2) &+ \\ + M_3 \sum_{s=0}^j (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|\varphi\|_0^2). \end{aligned} \quad (28)$$

Оценим первое слагаемое правой части неравенства (28):

$$\begin{aligned} \sum_{s=0}^j \Delta_{0x}^\alpha \|U^s\|_0^2 &= \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{s=0}^j \sum_{k=0}^m (x_{m-k+1}^{1-\alpha} - x_{m-k}^{1-\alpha}) \|\Delta U_k^s\|_0^2 = \\ &= \frac{1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{s=0}^j (x_{m-s+1}^{1-\alpha} - x_{m-s}^{1-\alpha}) \sum_{k=0}^m \|\Delta U_k^s\|_0^2 \leq \\ &\leq \frac{l^{1-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \|\Delta U_k^s\|_0^2. \end{aligned}$$

Пользуясь известным неравенством $\|y_{k+1} - y_k\|_0^2 \leq 2\|y_{k+1}\|_0^2 + 2\|y_k\|_0^2$, имеем:

$$\begin{aligned} \frac{l^{1-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \|\Delta U_k^s\|_0^2 &\leq \\ \leq \frac{2l^{1-\alpha}}{\Gamma(2-\alpha)h} \left(\sum_{k=0}^m \|U_{k+1}^s\|_0^2 + \sum_{k=0}^m \|U_k^s\|_0^2 \right) &\leq \\ \leq \frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \left(\sum_{k=0}^m \|\Delta_{0x_{k+1}}^\alpha y^s\|_0^2 + \sum_{k=0}^m \|\Delta_{0x_k}^\alpha y^s\|_0^2 \right). \end{aligned} \quad (29)$$

Следовательно, после подстановки (29) в (28) получим:

$$\begin{aligned} \sum_{s=0}^j \|y_t^s\|_0^2 + \sum_{s=0}^j \Delta_{0x_k}^\alpha \|y_{\bar{x}}^s\|_0^2 &\leq \\ \leq \frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \left(\sum_{k=0}^m \|\Delta_{0x_{k+1}}^\alpha y^s\|_0^2 + \right. &+ \\ \left. + \sum_{k=0}^m \|\Delta_{0x_k}^\alpha y^s\|_0^2 \right) + M_5 \sum_{s=0}^j (\Delta_{0x_k}^\alpha \|y\|_0^2 + \|y\|_{C(0,I)}^2) &+ \\ + M_3 \sum_{s=0}^j (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|\varphi\|_0^2). \end{aligned} \quad (30)$$

Оценим теперь первые выражения правой части (30):

$$\begin{aligned} \frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \|\Delta_{0x_{k+1}}^\alpha y^s\|_0^2 &= \frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \left[\sum_{s=0}^{N-1} (\Delta_{0x_{k+1}}^\alpha y^s) \right]^2 h = \\ &= \frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \left[\sum_{i=0}^{k+1} (x_{k-i+2}^{1-\alpha} - x_{k-i+1}^{1-\alpha})(y_{i+1}^s - y_i^s) \right]^2 h \leq \\ \leq \frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \left[\sum_{i=0}^{k+1} (x_{k-i+2}^{1-\alpha} - x_{k-i+1}^{1-\alpha}) \sum_{i=0}^{k+1} (x_{k-i+2}^{1-\alpha} - x_{k-i+1}^{1-\alpha}) \sum_{s=0}^{N-1} (y_{i+1}^s - y_i^s)^2 \right] h &\leq \\ \leq 2l^{1-\alpha} c_1 \sum_{k=0}^m \sum_{i=0}^{k+1} (x_{k-i+2}^{1-\alpha} - x_{k-i+1}^{1-\alpha}) \Delta_{0x_{k+1}}^\alpha \|y^s\|_0^2 &= \\ = 2l^{1-\alpha} c_1 \sum_{i=0}^m \Delta_{0x_{i+1}}^\alpha \|y^s\|_0^2 \sum_{k=i+1}^m (x_{k-i+2}^{1-\alpha} - x_{k-i+1}^{1-\alpha}) &\leq 2l^{1-\alpha} c_1 x_{m+1}^{1-\alpha} \sum_{i=0}^m \Delta_{0x_{i+1}}^\alpha \|y^s\|_0^2. \end{aligned}$$

По аналогии для выражения

$$\frac{2l^{1-\alpha} c_1}{\Gamma(2-\alpha)h} \sum_{k=0}^m \|\Delta_{0x_k}^\alpha y^s\|_0^2 \leq 2l^{1-\alpha} c_1 x_m^{1-\alpha} \sum_{i=0}^m \Delta_{0x_k}^\alpha \|y^s\|_0^2,$$

тогда учитывая полученные оценки, после несложных преобразований из (30) имеем:

$$\begin{aligned} \|y_*^j\|_0^2 + \tau \sum_{s=1}^j \Delta_{0x_k}^\alpha \|y_{\bar{x}}^s\|_0^2 &\leq \\ \leq \tau M_6 \left(\sum_{i=0}^m \Delta_{0x_{i+1}}^\alpha \|y^s\|_0^2 + \sum_{i=0}^m \Delta_{0x_k}^\alpha \|y^s\|_0^2 \right) &+ \\ + \tau M_5 \left(\sum_{s=0}^j (\Delta_{0x_k}^\alpha \|y^s\|_0^2 + \Delta_{0x_k}^\alpha \|y^s\|_0^2 + \|y^s\|_{C(0,I)}^2) \right) &+ \\ + \tau M_3 \sum_{s=0}^j (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \|\varphi\|_0^2) + \|y^0\|_0^2, \end{aligned} \quad (31)$$

где $\|y_*\|_0^2 = \|\hat{y}\|_0^2 + \|y\|_0^2$.

Из (30) на основании леммы [20, с. 171] при

$\tau_0 = \frac{1}{2M_6}$ получим, что для всех $\tau \leq \tau_0$ имеет место

неравенство:

$$\|y_*^j\|_0^2 \leq \tau M \left(\sum_{s=0}^j (\Delta_{0x_k}^\alpha \|y^s\|_0^2 + \Delta_{0x_k}^\alpha \|y^s\|_0^2 + \|y^s\|_{C(0,I)}^2) + \mu_1^2 + \mu_2^2 + \|\varphi\|_0^2 \right) + \|y^0\|_0^2, \quad (32)$$

где M – константа, которая не зависит от τ и h .

Таким образом, имеет место следующая теорема.

Теорема 2. Пусть выполнены условия (3), тогда для решения разностной задачи (16), (17), при достаточно малом $\tau \leq \tau_0$, справедлива априорная оценка (32).

Из априорной оценки (32) следует единственность и устойчивость решения разностной задачи (16), (17) по начальным данным и правой части.

Рассмотрим погрешность разностной схемы (16), (17). Пусть $u(x,t)$ решение задачи (1), (2), а $y(x_n, t_m) = y_n^m$ решение разностной задачи (16), (17). Обозначим через $z_n^m = y_n^m - u_n^m$ погрешность аппроксимации. Подставим $y_n^m = z_n^m + u_n^m$ в (16), (17) получим для z_n^m задачу:

$$z_i = \Delta_{0,i}^\alpha U + Rz_x - Qz + \psi \tag{33}$$

$$\begin{cases} U_0 = \beta_1 z_0 - v_1; \\ -U_N = \beta_2 z_N - v_2; \\ z(x,0) = z_0(x_m), \end{cases} \tag{34}$$

где $\psi = O(\tau + h)$, $v_1 = O(\tau + h)$, $v_2 = O(\tau + h)$ – погрешности аппроксимации дифференциальной задачи (1), (2) разностной схемой (16), (17).

Применяя априорную оценку к решению задачи (33), (34), получим неравенство:

$$\|z^j\|_0^2 \leq M \left(\sum_{s=0}^j (\Delta_{0,s}^\alpha \|z^s\|_0^2 + \Delta_{0,s}^{\alpha_1} \|z^s\|_0^2 + \|z^s\|_{C(\sigma,j)}^2 + v_1^2 + v_2^2 + \|\psi^s\|_0^2) \right) + \|z^0\|_0^2, \tag{35}$$

где $\|z^s\|_0^2 = \|\hat{z}\|_0^2 + \|z\|_0^2$, M -констант, которая не зависит от τ и h .

Из априорной оценки (35) следует сходимость решения разностной задачи (16), (17) к решению дифференциальной задачи (1), (2). Существует такое τ_0 , что при $\tau \leq \tau_0$ справедлива оценка:

$$\|z^j\| = \|y^j - u^j\| \leq M(\tau + h).$$

Заключение

Исследована нелокальная краевая задача для уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто. Методом энергетических неравенств получена априорная оценка в дифференциальной форме, из которой следует единственность и непрерывная зависимость решения задачи от входных данных. Построена разностная схема, аппроксимирующая краевую задачу с первым порядком аппроксимации. Доказана устойчивость решения по начальным данным и правой части, используя метод энергетических неравенств. Также доказана сходимость разностной схемы к решению исходной задачи.

Литература

1. Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и Техника. 1987.688 с.
2. Нахушев А.М. Элементы дробного исчисления и их применение. Нальчик. 1989.430 с.
3. Podlubny I. Fractional differential equations. San Diego: Academic Press. 1999. 339 p.
4. Oldman K.B., Spanier J. The fractional calculus: theory and applications of differentiation and integration to arbitrary order. N.Y.:Academic Press. 1974. 234p.
5. Нахушев А.М. Уравнения математической биологии. М.: Высшая школа. 1995.304 с.
6. Бейбалаев В.Д., Ибатов Т.И., Омарова А.Г. Численное исследование нелинейного уравнения теплопроводности с производной дробного порядка //Вестник ДГУ.2021. Вып.2. С.47-53.
7. Беитоков М.Х. Краевые задачи для вырождающихся и невырождающихся дифференциальных уравнений дробного порядка с нелокальным линейным источником и разностные методы их численной реализации// Уфимский математический журнал.2019. Т.11. №2. С.36-55.
8. Беитоков М.Х, Худалов М.З. Третья краевая задача для нагруженного уравнения теплопроводности с дробной производной Капуто// Математика и математическое моделирование. 2020. №3. С. 52-64.
9. Беитокова З.В. Численный метод решения нелокальных краевых задач для многомерного уравнения параболического типа//Вычислительные методы и программирование. 2022. Т.23. №2. С. 153-171.
10. Шогенова Е.М. Априорные оценки решения краевых задач для уравнения конвекции-диффузии дробного порядка // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки.2018.№4(24).С. 54-60.
11. Алиханов А.А. Априорные оценки решений краевых задач для уравнений дробного порядка //Дифференциальные уравнения. 2010. Т.46. №5. С. 658–664
12. Алиханов А.А. Разностные методы решения краевых задач для волнового уравнения с дробной производной по времени // Вестн.Сам.гос.техн.ун-та.Сер.Физ.-мат.науки. 2008.№2(17).С.13-20.
13. Казакова Е.М. Разностная схема для уравнения конвекции-диффузии дробного порядка.//Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат.науки. 2021.Т.36.№3.С.146-154.
14. Алиханов А.А. Устойчивость и сходимость разностных схем для краевых задач уравнения

- диффузии дробного порядка. // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2016. Т. 56. №4. С. 572-586.
15. *Ладыженская О.А.* Краевые задачи математической физики. М.: Наука. 1973. 409 с.
 16. *Омарова А.Г.* Об устойчивости и сходимости разностной схемы, аппроксимирующей краевую задачу для одного дифференциального уравнения с дробной производной Капуто. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2022. №1. С. 23-27.
 17. *Самарский А.А., Гулин А.В.* Устойчивость разностных схем. М.: Наука. 1973. 415 с.
 18. *Alikhanov A.A.* Numerical methods of solutions of boundary value problems for the multi-term variable-distributed order diffusion equation // Applied Mathematics and Computation. 2015. No. 268, P. 12-22.
 19. *Андреев В.Б.* О сходимости разностных схем, аппроксимирующих вторую и третью краевые задачи для эллиптических уравнений // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1968. Т. 8. №6. 1218-1231.
 20. *Самарский А.А.* Теория разностных схем. М.: Наука. 1977. 656 с.

Омарова Асият Гамзатовна. Дагестанский государственный университет, г. Махачкала, Россия. Аспирант. Область научных интересов: вычислительная математика, дифференциальные уравнения с дробными производными. E-mail: asya89.89@mail.ru

Numerical solution of the boundary value problem for the heat equation with a fractional Caputo derivative

A.G. Omarova

Dagestan State University, Makhachkala, Russia

Abstract. In a rectangular domain, a nonlocal boundary value problem is studied for the heat equation with a fractional Caputo derivative with variable coefficients. An a priori estimate in differential form is obtained by the method of energy inequalities. A difference scheme is constructed that approximates the boundary value problem with the first order. An analog of the a priori estimate in difference form is obtained. The obtained a priori estimates imply the uniqueness and stability of the solution with respect to the initial data and the right-hand side. The convergence of the difference scheme to the solution of the original problem is proved.

Keywords: *fractional Caputo derivative, boundary value problem, a priori estimate, difference scheme, method of energy inequalities, numerical methods.*

DOI: 10.14357/20790279240201 **EDN:** CAZNDM

References

1. *Samko S.G., Kilbas A.A., and Marichev O.I.* Fractional Integrals and Derivatives, Theory and Application. Gordon and Breach: Yverdon; 1993. 976 p.
2. *Nakhushev A.M.* Elements of fractional calculus and their application. Nalchik: 1989. 430 p (In Russ)
3. *Podlubny I.* Fractional differential equations. San Diego: Academic Press; 1999. 339 p.
4. *Oldman K.B., Spanier J.* The fractional calculus: theory and applications of differentiation and integration to arbitrary order. N.Y.: Academic Press; 1974. 234p.
5. *Nakhushev A.M.* Equations of mathematical biology. Moscow: Vysshaya shkola; 1995. 304 p. (In Russ)
6. *Beybalaev V.D., Ibaov T.I., Omarova A.G.* Numerical study of the nonlinear heat equation with a fractional order derivative Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo universiteta. 2021;(2):47-53 (In Russ). DOI: 10.21779/2542-0321-2021-36-2-47-53
7. *Beshtokov M.H.* Boundary value problems for degenerate and non-degenerate differential cases with nonlocal linear kernel and difference methods for their numerical implementation. Ufimskiy matematicheskiy zhurnal. 2019;11(2): 36-55 (In Russ).
8. *Beshtokov M.H., Hudalov M.Z.* The third boundary value problem for a loaded heat equation with a fractional Caputo derivative. Matematika i

- matematicheskoye modelirovaniye. 2020;(3):52-64 (In Russ). doi.org/10.24108/mathm.0320.0000222
9. *Beshtokova Z.V.* Numerical method for solving non-local boundary value problems for a multidimensional parabolic equation. *Vychislitel'nyye metody i programmirovaniye*. 2022;23(2):153-171 (In Russ). Doi 10.26089/NumMet.v23r210.
 10. *Shogenova E.M.* A priori estimates for the solution of boundary value problems for the fractional order convection-diffusion equation. *Vestnik KRAUNTS. Fiz.-mat. Nauki*. 2018;24(4):54-60 (In Russ). Doi: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-54-60
 11. *Alikhanov A.A.* A priori estimates of solutions to boundary value problems for equations of fractional order. *Differentsial'nyye uravneniya*. 2010;46(5): 658-664 (In Russ).
 12. *Alikhanov A.A.* Difference methods for solving boundary value problems for a wave equation with a fractional time derivative. *Vestn.Sam.gos. tekhn.un-ta.Ser.Fiz-mat.nauki*. 2008;17(2): 13-20 (In Russ).
 13. *Kazakova E.M.* Difference scheme for fractional-order convection-diffusion equation. *Vestnik KRAUNTS. Fiz.-mat.nauki*. 2021;36(3):146-154 (In Russ).
 14. *Alikhanov A.A.* Stability and convergence of difference schemes for boundary value problems of the diffusion equation of fractional . *Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki*. 2016;56(4):572-586 (In Russ). Doi: 10.7868/S0044466916040049.
 15. *Ladyzhenskaya O.A.* Boundary Value Problems of Mathematical Physics. NewYork: Springer; 1985.409p.
 16. *Omarova A.G.* On the stability and convergence of a difference scheme approximating a boundary value problem for a single differential equation with a fractional Caputo derivative. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Yestestvennyye nauki*. 2022;(1):23-27 (In Russ). Doi: 10.18522/1026-2237-2022-1-23-27
 17. *Samarsky A.A., Gulin A.V.* Stability of Difference Schemes. Moscow: Nauka; 1973.415p. (In Russ)
 18. *Alikhanov A.A.* Numerical methods of solutions of boundary value problems for the multi-term variable-distributed order diffusion equation. *Applied Mathematics and Computation*. 2015;(268):12-22.
 19. *Andreev V.B.* On the Convergence of Difference Schemes Approximating the Second and Third Boundary Value Problems for Elliptic Equations. *Zh. Vychisl. Mat. Mat. Fiz.* 1968;8(6):1218–1231 (In Russ).
 20. *Samarsky A.A.* Theory of difference schemes Moscow: Nauka; 1977.656p (In Russ).

Omarova Asiyat Gamzatovna. Post-graduate Student, Department of Applied Mathematics, Faculty of Mathematics and Computer Science, Dagestan State University, Russia, 367025, Makhachkala, st. Magomed-Gadzhiev 43 “A”. Email address: asya89.89@mail.ru

О хаотической динамике в одном варианте диффузных систем хищник-жертва*

Н.М. Евстигнеев^I, Т.В. Карамышева^{I,II}

^I Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

^{II} Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия

Аннотация. Рассмотрено обобщение модели хищник-жертва типа Лотки-Вольтерры с учетом пространственной неоднородности. Модель отличается от известных диффузионных систем Лотки-Вольтерры более сложной нелинейностью, что соответствует более агрессивному взаимодействию между видами. Этот тип систем можно охарактеризовать как системы типа реакции-диффузии. Проанализировано базовое стационарное решение, его бифуркации и переход к хаосу посредством численного моделирования. Обнаружено, что серии бифуркаций приводят к известным каскадам бифуркаций предельных циклов, совпадающим с каскадами в теории Фейгенбаума-Шарковского-Магницкого.

Ключевые слова: модель хищник-жертва, уравнения реакции-диффузии, исследование бифуркаций, метод коллокации, псевдоспектральный метод.

DOI: 10.14357/20790279240202 **EDN:** EQKRPQY

Введение

Исходная задача является одной из первых моделей в математической биологии, которая была предложена и подробно проанализирована в классической работе [1]. В литературе предлагалось множество обобщений этих систем [2].

Один из важных классов таких обобщений включает уравнения типа реакции-диффузии, в которых нелинейность берется из исходной системы Лотки-Вольтерры для многих различных моделей [3]. Анализ решений вида бегущей волны для классической нелинейности и различных применимых наборов граничных условий обсуждался в [4]. В работе [5] рассматривается система:

$$u_t = d_1 \Delta u + (b + 1)u^2 - u^3 v - a^2,$$

$$v_t = d_2 \Delta v + u^3 v - bu^2.$$

Как обобщение диффузионных систем Лотки-Вольтерры с модифицированной нелинейностью. Было показано, что при $0 < b < 2$ в указанной системе динамика в окрестности ее термодинамической ветви – это динамика взаимодействия хищника (переменная $v = v - b/a$) и жертвы (переменная $z = u - a$). Анализ в [5] ограничивался только решениями вида бегущей

волны, где анализируется приведенная система из четырех ОДУ первого порядка. В этом исследовании мы обращаемся ко всей системе с граничными условиями Неймана-Дирихле.

Работа имеет следующую структуру. Сначала сформулирована задача и проведен базовый анализ всей системы. Далее следует описание применяемого спектрального численного метода. Представлены результаты численного моделирования.

1. Постановка задачи и анализ основного решения

1.1. Формулировка задачи

Мы рассматриваем следующую систему уравнений в пространственной области $x \in [-1, 1]$ для двух независимых переменных u и v , описывающих взаимодействие видов:

$$u_t = d_1 \Delta u + (b + 1)u^2 - u^3 v - a^2, \quad (1.1)$$

$$v_t = d_2 \Delta v + u^3 v - bu^2, \quad (1.2)$$

$$u(t, -1) = u_0, u(t, 1)_x = 0, \quad (1.3)$$

$$v(t, -1) = v_0, v(t, 1)_x = 0, \quad (1.4)$$

где $d_1 > 0$, $d_2 > 0$ – действительные коэффициенты диффузии (описывающие диффузию каждого вида); $a > 0$ и $b > 0$ – действительные коэффици-

* Авторы выражают благодарность Российскому научному фонду (РНФ) за поддержку работы, номер проекта 23-21-00095

енты, описывающие взаимодействие и естественное изменение численности видов.

Некоторые из этих коэффициентов можно зафиксировать, а некоторые можно использовать при анализе бифуркаций. Такие параметры называются параметрами бифуркации.

1.2. Анализ устойчивости базового решения

Система (1) имеет однородное основное базовое решение $(u, v) = (a, b/a)$ с краевыми условиями $(u_0, v_0) = (a, b/a)$, которое в специфической литературе по уравнениям типа реакции-диффузии называют термодинамической ветвью. Покажем, что краевая задача (1) на отрезке $[-l, l]$, для любого $l > 0$, имеет устойчивое периодическое решение, которое бифурцирует от стационарного базового решения (термодинамической ветви) при некотором значении параметров бифуркации. Данный факт сформулирован в виде следующего утверждения.

Теорема 1. *Краевая задача (1) на отрезке $[-l, l]$ имеет устойчивый цикл, бифурцирующий от основного базового решения (термодинамической ветви) при значении параметра бифуркации:*

$$d_2 = d_2^* = (4l/\pi)^2(2a - ab + a^3) - d_1. \quad (2)$$

Доказательство. Линеаризуем задачу (1) на термодинамической ветви, полагая $p = u - a$ и $q = v - b/a$. Получим линейную систему уравнений:

$$p_t = d_1 p_{xx} + a(2 - b)p - a^3 q, \quad (3.1)$$

$$q_t = d_2 q_{xx} + abp + a^3 q, \quad (3.2)$$

с краевыми условиями Дирихле $p(t, -1) = q(t, -1) = 0$ и Неймана $p_x(t, 1) = q_x(t, 1) = 0$.

Оператор в правой части системы (3), действующий в пространстве Соболева $H^2[-1, 1]$ с указанными выше граничными условиями, может быть представлен в виде $L = K + D\Delta$,

$$\text{где } K = \begin{pmatrix} a(2 - b) & -a^3 \\ ab & a^3 \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} d_1 & 0 \\ 0 & d_2 \end{pmatrix},$$

$$\Delta = (\cdot)_{xx} := \frac{\partial^2}{\partial x^2}.$$

Для области $[-l, l]$ и выбранных граничных условий оператор Δ имеет собственные значения:

$$\lambda_n = -\left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2$$

и собственные функции:

$$\Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{2l}} \sin\left(\left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)(x + l)\right), \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Мы можем показать, что собственные функции удовлетворяют граничным условиям. Действительно:

$$\Psi_n(-l) = \sqrt{\frac{2}{2l}} \sin\left(\left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)(l - l)\right) = 0,$$

$$\begin{aligned} \Psi'_n(l) &= \frac{\pi(2n + 1)}{4l} \cos\left(\frac{\pi(2n + 1)}{4l}(l + l)\right) \\ &= \frac{\pi(2n + 1)}{4l} \cos\left(n\pi + \frac{\pi}{2}\right) = 0. \end{aligned}$$

Разложим компоненты собственного вектора Ψ оператора L с собственным значением λ по системе собственных функций пространственного оператора. Поскольку $L\Psi = (K + D\Delta)\Psi = \lambda\Psi$, имеем:

$$\begin{aligned} \sum_{n=0,1,\dots} \left[K \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \end{pmatrix} + D \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \end{pmatrix} \left(-\left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2\right) \right] \sin\left(\left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)(x + l)\right) = \\ = \lambda \sum_{n=0,1,\dots} \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \end{pmatrix} \sin\left(\left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)(x + l)\right). \end{aligned}$$

Следовательно:

$$\left(K - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2 D \right) \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} a_n \\ b_n \end{pmatrix}, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Таким образом, собственные значения оператора L являются собственными значениями оператора:

$$G_n = K - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2 D,$$

которые, в свою очередь, удовлетворяют уравнениям:

$$\lambda^2 - \text{tr}G_n \lambda + \det G_n = 0,$$

где

$$\text{tr}G_n = a(2 - b) + a^3 - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2 (d_1 + d_2),$$

$$\det G_n = \left(a(2 - b) - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2 d_1 \right)$$

$$\left(a^3 - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l}\right)^2 d_2 \right) + a^4 b.$$

Чтобы бифуркация Хопфа произошла при некотором значении d_2 , необходимо иметь пару чисто мнимых собственных значений $\lambda = \pm i\omega, \omega > 0$. Это означает, что след матриц G_n исчезает, при этом определитель остается положительным. Далее, все остальные собственные значения оператора L должны иметь отрицательные действительные части. Другими словами, для некоторого $n = m$ необходимо, чтобы выполнялось следующее соотношение:

$$a(2 - b) + a^3 - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi m}{2l}\right)^2 (d_1 + d_2) = 0.$$

Если $m > 0$, тогда существует $n < m$ для которого выполняется неравенство:

$$\begin{aligned} \operatorname{tr} G_n &= (d_1 + d_2) \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi m}{2l} \right)^2 - \\ &- (d_1 + d_2) \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l} \right)^2 = \\ &= (m - n + m^2 - n^2) \frac{\pi^2}{4l^2} (d_1 + d_2) > 0. \end{aligned}$$

Тогда хотя бы одно собственное значение оператора L , соответствующее этому числу n , будет иметь положительную действительную часть. Следовательно, необходимо, чтобы $m = 0$ и

$$d_2^* = \left(\frac{4l}{\pi} \right)^2 (2a - ab + a^3) - d_1.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \det G_n &= \left(2a - ab - \left(\frac{\pi}{4l} + \frac{\pi n}{2l} \right)^2 d_1 \right) \\ &\left(ab - 2a + \left(\frac{\pi}{4l} \right)^2 d_1 \right) + a^4 b. \end{aligned}$$

Для $n = 0$ имеем:

$$\begin{aligned} \det G_0 &= - \left(\frac{\pi}{4l} \right)^4 d_1^2 + 2a(2 - b) \left(\frac{\pi}{4l} \right)^2 d_1 - \\ &- a^2(a^2 b + 4b - b^2 - 4). \end{aligned}$$

Следовательно, если коэффициент диффузии d_1 удовлетворяет:

$$(2a - ab - a^2 \sqrt{b}) \left(\frac{4l}{\pi} \right)^2 < d_1 < (2a - ab + a^2 \sqrt{b}) \left(\frac{4l}{\pi} \right)^2, \quad (4)$$

тогда $\det G_n > \det G_0 > 0$ для всех $n = 1, 2, \dots$

Таким образом, условия теоремы Андронова–Хопфа [6] о спектре оператора L выполняются для $d_2 = d_2^*$. Теорема доказана.

Замечание. При фиксированных параметрах численного исследования $a = 1.75, b = 0.7$ и $l = 1$, условие на коэффициент диффузии d_1 принимает вид $d_1 < (36.4 + 49\sqrt{0.7})/\pi^2 \approx 7.84$. При других значениях параметров указанные значения d_1 приведены ниже.

2. Численный метод и результаты

2.1. Численный метод

Задача (1) имеет пространственный линейный оператор Лапласа при смешанных граничных условиях. В этом случае для такого класса задач целесообразно применить спектральные методы высокого порядка точности [7]. Мы используем метод коллокаций Чебышева, следуя [8]. Дискретный оператор диффузии можно построить с помощью спектральной дифференциальной матрицы Чебышева. Рассмотрим отрезок $-1 \leq x \leq 1$.

Конструкция пространственного оператора выводится из дискретного решения задачи:

$$D_N u = f, \quad (5)$$

при рассматриваемых граничных условиях, где D_N – дискретный оператор производной (матрица дифференцирования), u – вектор решения (для которого функция f является производной, заданной в дискретных точках), а f – вектор правой части, представляющий собой производную от u в дискретных точках. Если такой дискретный оператор D_N найден, то производная второго порядка L_N аппроксимируется выражением $L_N = D_N \circ D_N = D_N^2$ в силу линейности.

Пусть $u(x)$ – решение (5). Интерполяционный полином Лагранжа используется в виде:

$$p(x) = \sum_{j=0}^N \phi_j(x) u(x_j), \quad (6)$$

для аппроксимации решения по некоторому множеству точек $\{x_j\}$ заданном отрезке. Базисный полином Лагранжа $\phi_j(x)$ определяется как:

$$\phi_j(x) = \prod_{k=0, k \neq j}^N \frac{x - x_k}{x_j - x_k} = \frac{S_N(x)}{S'_N(x_j)(x - x_j)}, \quad (7)$$

где $S_N(x)$ – общий полиномиальный множитель в каждой точке.

Применим полиномы Чебышева первого рода $T_n(x)$ для общего полиномиального множителя:

$$\begin{aligned} S_N(x) &= (1 - x^2) dT'_N(x)/dx = (1 - x^2) T'_N(x), T_n(x) \\ &= \cos(n\theta), \theta = \cos(x). \end{aligned}$$

Это дает нам

$$S_N(x) = N \sin(\theta) \sin(N\theta) = N \sin(\cos(x)) \sin(N \cos(x))$$

и тогда $S_N(x_j) = 0$ если $N\theta = \pi j$. Следовательно

$$\forall j \in Z: S_N \left(\cos \left(\frac{j\pi}{N} \right) \right) = 0.$$

Этот набор точек $\{x_j\}$ известен как набор точек Гаусса–Чебышева–Лобатто на рассматриваемом отрезке, определяемый как:

$$x_j = \cos(\theta_j) = \cos(j\pi/N), j = 0, 1, \dots, N. \quad (8)$$

Известно [9], что для такого набора точек на отрезке $[-1, 1]$ константа Лебега в (7) минимальна для функций из $C_M^n[-1, 1]$, т.е. множества n -раз дифференцируемых функций, n -ые производные которых ограничены по модулю положительной конечной константой M .

Суммируя все результаты, мы приходим к интерполяционному базисному полиному (7), определяемому как:

$$\phi_j(x) = \frac{(1-x^2)T'_N(x)}{d_j(x-x_j)}, j = 0, 1, \dots, N, \quad (9)$$

где $d_j = S'_N(x_j) = -c_j N^2 T_N(x_j)$,

$c_j = 1$ для $j = 1, \dots, N - 1$, $c_j = 2$ если $j = 0$ или N .

Теперь мы используем (9) в (6) и подставляем этот полином в (5). Полином обладает следующим свойством: он является единственным интерполяционным полиномом (в силу интерполяционной теоремы Лагранжа) степени не выше N и $p(x_j) = u(x_j)$ для $j = 0, 1, \dots, N$. Мы устанавливаем $f_j := f(x_j) = p'(x_j) = u'(x_j)$ в (5), где $p'(x) = u(x) \sum_{j=0}^N \phi_j'(x)$. Коэффициенты $u_j := u(x_j)$ являются постоянными величинами, не зависящими от x , поэтому получаем $D_N \in R^{(N+1) \times (N+1)}$, которая определяется как:

$$D_{N,jk} = \phi_k'(x) = \frac{1}{d_k} \left(\frac{d}{dx} \left(\frac{(1-x^2)T_N'(x)}{x-x_k} \right) \Big|_{x_j} \right), 0 \leq j, k \leq N. \quad (10)$$

Численные выражения для элементов данной матрицы легко получить из (10) с помощью символьных вычислений и их можно, для некоторых случаев, найти в [8]. После формирования матрицы дифференцирования Чебышева D_N оператор Лапласа находится как:

$$L_N = D_N^2. \quad (11)$$

Граничные условия не учитываются в (11), где мы решаем эту проблему, используя тау-метод [10]. Обратите внимание, что из (8) мы имеем $x_0 = \cos(0) = 1$ и $x_N = \cos(\pi) = -1$. Постановка граничного условия Неймана при $x = 1$ эквивалентна замене первой строки матрицы L_N (для которой $x_j = 1$, т.е. $j = 0$) на первую строку матрицы D_N и соответствующему значению в правой части системы до значения граничного условия, т.е. до θ . Установка граничного условия Дирихле при $x = -1$ эквивалентна замене последней строки матрицы L_N (для которой $x_j = -1$, т.е. $j = N$) на вектора-строку со всеми нулевыми элементами, кроме значения 1 в последней позиции. Соответствующее значение в правой части системы устанавливается равным значению граничного условия Дирихле.

Окончательный вид дискретного оператора Лапласа с учетом граничных условий $G_N \in R^{(N+1) \times (N+1)}$ имеет следующую структуру по строкам:

$$G_N := \begin{pmatrix} D_{N,0,:} \\ L_{N,1,:} \\ \dots \\ L_{N,N-1,:} \\ 0, 0, \dots, 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Другую форму оператора можно получить, подставив заданные граничные условия Дирихле u_0 и v_0 в систему (1), сделав задачу однородной с нулевыми условиями Неймана и Дирихле. В этом

случае последняя строка и последний столбец в (12) удаляются вместе с граничным значением в правой части. При этом нелинейная часть должна быть соответствующим образом модифицирована.

Известно, что системы типа реакции-диффузии можно разделить на жесткую линейную часть уравнения, связанную с диффузией, и мягкую локально-нелинейную часть уравнения. Интегрирование по времени таких систем с высокой точностью обычно выполняется с использованием явно-неявных методов Рунге-Кутты (IMEX-RK), где жесткая часть уравнения рассматривается неявно, а нелинейная – явно. В этом исследовании для численного интегрирования по времени мы применяем метод IMEX-4 из [11], в котором постоянные значения выбраны так, чтобы метод был L-устойчивым и жестко-точным. Неявная часть метода представляет из себя единично-диагональный неявный метод Рунге-Кутты. Таким образом можно заранее обратить матрицу G_N и применять ее на каждом шаге.

2.2. Результаты

Из выражения (4) можно заметить, что для многих наборов параметров базовое решение (термодинамическая ветвь) линейно неустойчиво. Известно, что наиболее интересные режимы возникают после бифуркации Хопфа.

Результаты анализа устойчивости (на основе Теоремы 1) могут быть представлены в виде многомерной гиперповерхностной диаграммы, которая идентифицирует области устойчивого и неустойчивого поведения системы. Примеры диаграмм устойчивости для различных значений параметров представлены на рис. 1.

Численно анализируем бифуркацию периодических решений и их устойчивость с помощью метода IMEX RK, описанного выше. Шаг интегрирования выбирался из условия минимума постоянной Лебега и лежал в диапазоне $[1 \cdot 10^{-3}, 1 \cdot 10^{-5}]$. Для анализа результатов построим проекции фазовых пространств в точках $u(x_{N/2})$, $v(x_{N/2})$. Фиксируем параметры $a = 1.75$, $b = 0.7$, $d_1 = 4$ и модифицируем параметр d_2 . Примеры диаграммы решения в пространстве $t \times x$ представлены на рис. 2. Выбранные области анализа параметров связаны с неустойчивостью части решений вблизи нейтральной прямой (см. отмеченную окрестность на рис. 1).

Наблюдаемые периодические решения сильно прижаты к исходному циклу, и чтобы отличить период необходимо увеличить окрестность кривой. Результаты представлены на рис. 3 и 4, которые указывают на наличие каскада Фейгенбаума наряду с

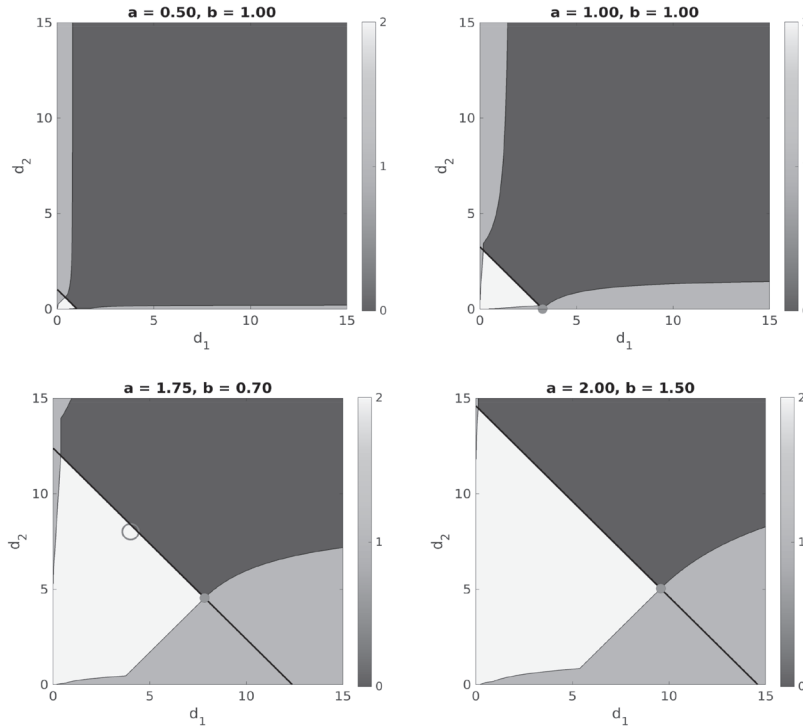


Рис. 1. Диаграммы устойчивости основного базового решения $(u,v) = (a,b/a)$ (термодинамической ветви) для различных значений параметров

периодическими предельными циклами из порядка Шарковского (периода 11, 7 и 3). Все предельные циклы, приведенные на Рис. 4, являются устойчивыми, что проверено путем анализа собственных значений матриц монодромии, которая строится как полный проход цикла периода 1 с временем, найденным по указанному количеству периодов.

На рис. 1 нулевые значения (темная заливка) указывают на линейную устойчивость базового решения; значения 1 (серая заливка) указывают на линейную неустойчивость базового решения с действительными неустойчивыми собственными значениями матрицы Якоби; значения 2 (светлая заливка) указывают на бифуркацию Хопфа основного решения. Кругом обозначена окрестность параметров, по которым выполнялся численный анализ периодических решений. Черная нейтральная прямая задается (2). Точка на нейтральной прямой, если она представлена, есть верхняя граница интервала (4),

$$\text{т.е. } d_1 = (2a - ab + a^2\sqrt{b}) \left(\frac{4}{\pi}\right)^2.$$

Результирующую бифуркационную схему [12] в фазовом пространстве можно закодировать следующим образом:

$$P_u \rightarrow C_1 \rightarrow C_2 \rightarrow \dots \rightarrow C_8 \rightarrow \dots \rightarrow C_{11} \rightarrow C_7 \rightarrow \dots \rightarrow C_3 \rightarrow C_{Ch},$$

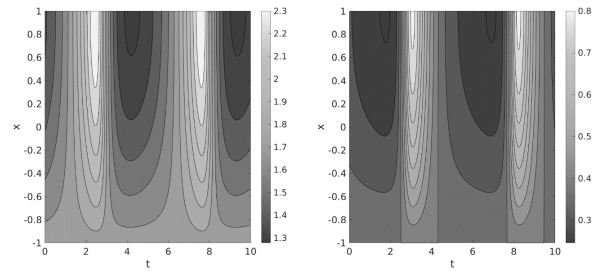


Рис. 2. Визуализация неоднородного решения в пространстве $t \times x$, $u(t,x)$ слева и $v(t,x)$ справа

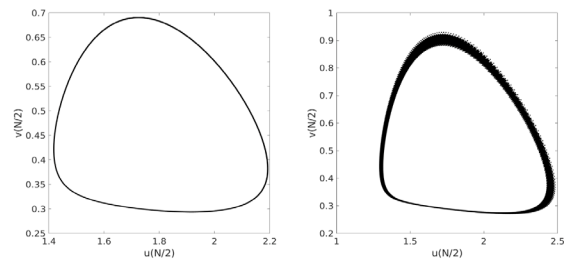


Рис. 3. Проекция периодических решений на плоскость устойчивого предельного цикла периода 3 слева при $d_2 = 7.976$ и хаотического аттрактора справа при $d_2 = 7.92$

где P_u – неустойчивая точка (термодинамическая ветвь); C_j – устойчивые периодические предельные циклы периодов j ; C_{Ch} – хаотический аттрактор.

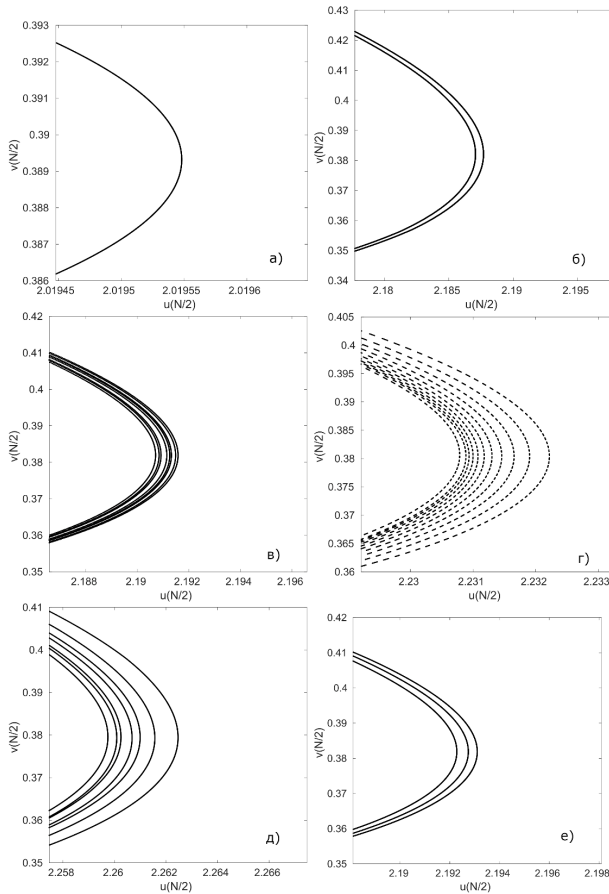


Рис.4. Приближение проекций устойчивых периодических решений из каскада Фейгенбаума-Шарковского для различных значений параметра d_2 : период 1 (а) при $d_2 = 8.06$, период 2 (б) при $d_2 = 7.976528$, период 8 (в) при $d_2 = 7.9765$, период 11 (г) при $d_2 = 7.97648$, период 7 (д) при $d_2 = 7.97644$, период 3 (е) при $d_2 = 7.9764$

Заключение

В статье мы рассмотрели модифицированную диффузионную модель типа Лотки-Вольтерры, предложенную в [5]. Мы проанализировали устойчивость базового однородного решения, разработали спектральный метод коллокации на основе полиномов Чебышева и использовали его для численного исследования хаотических режимов в указанной задаче. Было показано, что переход к хаосу осуществляется посредством последовательностей бифуркаций на периодических предельных циклах, предсказанных теорией Фейгенбаума – Шарковского – Магницкого. В будущем исследова-

нии мы намерены построить полную бифуркационную диаграмму стационарных и периодических решений этой задачи для различных комбинаций граничных условий.

Литература

1. *Volterra V.* Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. – Società anonima tipografica” Leonardo da Vinci”. V. 2. 1927.
2. *Hofbauer J., Sigmund K.* Evolutionary games and population dynamics. Cambridge university press. 1998.
3. *Murray J.D., Murray J.D.* Mathematical biology: II: spatial models and biomedical applications. – New York : springer. 2003. V. 18.
4. *Tang L., Chen S.* Traveling wave solutions for the diffusive Lotka–Volterra equations with boundary problems //Applied Mathematics and Computation. 2022. V. 413. P. 126599.
5. *Magnitskii N.A.* Universal bifurcation chaos theory and its new applications //Mathematics. 2023. V. 11. No. 11. P. 2536.
6. *Hassard B.D., Kazarinoff N.D., Wan Y.H.* Theory and applications of Hopf bifurcation. CUP Archive. 1981. V. 41.
7. *Gottlieb D., Orszag S.A.* Numerical analysis of spectral methods: theory and applications. Society for Industrial and Applied Mathematics. 1977.
8. *Trefethen L.N.* Spectral methods in MATLAB. Society for industrial and applied mathematics. 2000.
9. *Hoang N.* On node distributions for interpolation and spectral methods // Mathematics of computation. 2016. V. 85. No. 298. P. 667-692.
10. *Dang-Vu H., Delcarte C.* An accurate solution of the Poisson equation by the Chebyshev collocation method //Journal of Computational Physics. 1993. V. 104. No 1. P. 211-220.
11. *Koto T.* IMEX Runge–Kutta schemes for reaction–diffusion equations //Journal of Computational and Applied Mathematics. 2008. V. 215. No. 1. P. 182-195.
12. *Evstigneev N.M., Magnitskii N.A.* Numerical analysis of laminar–turbulent transition by methods of chaotic dynamics //Doklady Mathematics. Pleiades Publishing. 2020. V. 101. P. 110-114.

Евстигнеев Николай Михайлович. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Ведущий научный сотрудник. Кандидат технических наук. Область научных интересов: вычислительная математика, информационные технологии. E-mail: evstigneevnm@yandex.ru (ответственный за переписку).

Карамышева Таисия Владимировна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук, г. Москва, Россия. Главный специалист. Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Россия. Старший научный сотрудник. Кандидат физико-математических наук. Область научных интересов: вычислительная математика, информационные технологии. E-mail: taisia.karamysheva@gmail.com

On the Chaotic Dynamics in One Variant of the Diffusive Predator-Prey Systems*

N.M. Evstigneev¹, T.V. Karamysheva^{1,II}

¹ Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

^{II} Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

Abstract. In this paper we are considering the generalization of the predator-prey model of the Lotka-Volterra type to the diffusion. The model is different from previous known diffusive Lotka-Volterra systems by more complex non-linearity that corresponds to more aggressive interaction between species. This type of systems can be characterized as reaction-diffusion type of systems. In the present research we analyze the base stationary solution, its bifurcations and explore the transition to chaos by means of numerical investigation. It was detected that the series of bifurcation lead to the known cascades of bifurcations over limited cycles that coincide with the ones in Feigenbaum–Sharkovskii–Magnitskii theory. Finally, we summarize the current study and give the future work.

Keywords: predator prey model, reaction-diffusion equations, bifurcation analysis, collocation method, pseudospectral method

DOI: 10.14357/20790279240202 **EDN:** EQKPQY

References

1. Volterra V. *Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi.* – Società anonima tipografica” Leonardo da Vinci”. 1927. V. 2.
2. Hofbauer J., Sigmund K. *Evolutionary games and population dynamics.* Cambridge university press. 1998.
3. Murray J.D., Murray J.D. *Mathematical biology: II: spatial models and biomedical applications.* – New York : springer. 2003. V. 18. P. xxvi+ 811.
4. Tang L., Chen S. *Traveling wave solutions for the diffusive Lotka–Volterra equations with boundary problems //Applied Mathematics and Computation.* 2022. V. 413. P. 126599.
5. Magnitskii N.A. *Universal bifurcation chaos theory and its new applications //Mathematics.* 2023. V. 11. No. 11. P. 2536.
6. Hassard B.D., Kazarinoff N.D., Wan Y.H. *Theory and applications of Hopf bifurcation.* CUP Archive. 1981. V. 41.
7. Gottlieb D., Orszag S.A. *Numerical analysis of spectral methods: theory and applications.* Society for Industrial and Applied Mathematics. 1977.
8. Trefethen L.N. *Spectral methods in MATLAB.* Society for industrial and applied mathematics. 2000.
9. Hoang N. *On node distributions for interpolation and spectral methods // Mathematics of computation.* 2016. V. 85. No. 298. P. 667-692.

* The authors appreciate the support of the work by Russian Science Foundation (RSF), project number 23-21-00095.

10. *Dang-Vu H., Delcarte C.* An accurate solution of the Poisson equation by the Chebyshev collocation method //Journal of Computational Physics. 1993. V. 104. No. 1. P. 211-220.
11. *Koto T.* IMEX Runge–Kutta schemes for reaction–diffusion equations //Journal of Computational and Applied Mathematics. 2008. V. 215. No. 1. P. 182-195.
12. *Evstigneev N.M., Magnitskii N.A.* Numerical analysis of laminar–turbulent transition by methods of chaotic dynamics //Doklady Mathematics. Pleiades Publishing. 2020. V. 101. P. 110-114.

Evstigneev N.M., PhD, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, lead staff scientist. Scientific interests: computational and applied mathematics, computer sciences. E-mail: evstigneevnm@yandex.ru corresponding author.

Karamysheva T.V., PhD, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, chief staff engineer (0.5 rate) and Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia, senior staff scientist. Scientific interests: computational and applied mathematics, computer sciences. E-mail: taisia.karamysheva@gmail.com

О скрытых аттракторах нелинейных систем дифференциальных уравнений с бесконечным числом особых точек*

Н.А. Магницкий

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук», Москва, Россия

Аннотация. В работе проведен аналитический и численный анализ бифуркаций циклов двух систем уравнений, содержащих по утверждениям авторов, как бесконечное число неустойчивых особых точек, так и «скрытые» хаотические аттракторы. Показано, что переход к хаосу в системах происходит, как и в любых других нелинейных хаотических системах дифференциальных уравнений, в соответствии с универсальным бифуркационным сценарием Фейгенбаума-Шарковского-Магницкого. При этом вследствие отсутствия гомоклинических и гетероклинических сепаратрисных контуров, в системах реализуются неполные ФШМ-каскады бифуркаций, заканчивающиеся полным субгармоническим каскадом и неполным гомоклиническим каскадом бифуркаций. Доказано, что в обеих системах, так называемые «скрытые» аттракторы, являются, на самом деле, сложными сингулярными аттракторами систем в смысле теории ФШМ.

Ключевые слова: диссипативные системы, бифуркации, динамический хаос, скрытый аттрактор, теория ФШМ.

DOI: 10.14357/20790279240203 **EDN:** FCNENC

Введение

Настоящая статья продолжает серию работ автора по анализу структуры особого вида нерегулярных аттракторов автономных нелинейных систем дифференциальных уравнений – так называемых «скрытых» аттракторов. В современной литературе по нелинейной и хаотической динамике скрытым аттрактором называется нерегулярный (хаотический) аттрактор нелинейной системы дифференциальных уравнений в том случае, если вместе с ним система имеет устойчивые особые точки (см. [1-3]), либо система вообще не имеет особых точек (см. [4-6]), либо имеет бесконечное число особых точек (см. [7-9]). Во всех перечисленных случаях хаотический аттрактор существует вне окрестности неустойчивой особой точки. Заметим, что существование хаотического нерегулярного аттрактора в окрестности неустойчивой особой точки означает его рождение из особой точки каскадом бифуркаций, первой из которых является бифуркация Андронова-Хопфа рождения устойчивого цикла.

Авторы термина «скрытый аттрактор» характеризуют его вычислением одного или нескольких положительных показателей Ляпунова, вычислением размерности Каплана-Йорке или доказательством существования подковы Смейла. Однако, как неоднократно показано в работах автора и продемонстрировано на многочисленных примерах [10-13], положительность численного показателя Ляпунова является всего лишь ошибкой вычислений, и даже бесконечное число подков Смейла не в состоянии описать всю сложность структуры нерегулярного аттрактора в окрестности гомоклинического или гетероклинического сепаратрисного контура.

В работах автора показано, что системы с устойчивой особой точкой [13] также как и системы без особых точек [14] имеют единый универсальный бифуркационный сценарий Фейгенбаума-Шарковского-Магницкого перехода к хаосу, характерный для всех без исключения систем нелинейных дифференциальных уравнений: автономных и неавтономных, диссипативных и консервативных, обыкновенных, с частными производными и с запаздывающим аргументом. Сценарий ФШМ начинается

* Работа поддержана Российским Научным Фондом (грант 23-21-00095).

каскадом бифуркаций Фейгенбаума удвоения периода цикла или тора и продолжается субгармоническим каскадом бифуркаций Шарковского и гомоклиническим (или гетероклиническим) каскадом бифуркаций Магницкого. Особенность «скрытого» аттрактора заключается лишь в том, что начальный цикл каскада Фейгенбаума рождается не из особой точки в результате бифуркации Андронова-Хопфа, а в результате седло-узловой бифуркации, то есть наличие в системе каскада бифуркаций ФШМ может быть не связано с наличием или отсутствием в системе особых точек. Все рождающиеся в ходе реализации такого сценария нерегулярные аттракторы являются исключительно сингулярными аттракторами, то есть непериодическими ограниченными почти устойчивыми траекториями в конечномерном или бесконечномерном фазовом пространстве, являющимися пределами каскадов бифуркаций удвоения периода каких-либо циклов (торов), и в любой окрестности которых содержится бесконечное число неустойчивых периодических траекторий.

Целью настоящей статьи является показать, что «скрытые» аттракторы систем с бесконечным числом особых точек, рассмотренные в работах [7,8], также являются обычными сложными сингулярными аттракторами, порожденными каскадами бифуркаций по сценарию ФШМ.

1. Система с хаотическим аттрактором и линией особых точек

В работе [7] рассмотрены девять трехмерных нелинейных систем обыкновенных дифференциальных уравнений, имеющих наряду с нерегулярным (хаотическим) аттрактором линию (координатную ось) неустойчивых особых точек. Одна из таких систем имеет вид:

$$\dot{x} = z, \quad \dot{y} = -x - yz, \quad \dot{z} = -ax^2 - xy + bxz, \quad (1)$$

Авторы работы [7] утверждают, что при $a = 3$, $b = 1$ в системе (1) существует «скрытый» хаотиче-

ский аттрактор, изображенный на рис. 2,в, так как вместе с аттрактором система имеет координатную ось y ($x = 0, z = 0$) неустойчивых особых точек. При этом «хаотичность» аттрактора характеризуется авторами работы [7] найденным численно положительным показателем Ляпунова, равным 0.0521, что, как указано выше, является не характеристикой аттрактора, а характеристикой области его существования вместе со всеми неустойчивыми циклами, лежащими в его окрестности.

1.1. Аналитическое исследование

То, что система (1) должна иметь какой-либо аттрактор в области $z > bx$ следует из ее диссипативности в этой области, так как для дивергенции ее правой части $F(x,y,z)$ имеет место:

$$\text{div}F = \left(\frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z} \right) = -z + bx < 0.$$

Характеристическое уравнение для вычисления собственных значений матрицы линеаризации в особой точке $(0, y_*, 0)$ имеет вид: $\lambda(\lambda^2 + y_*) = 0$. Поэтому при любых a и b все особые точки при любом y_* не являются асимптотически устойчивыми по Ляпунову и, следовательно, не являются аттракторами. А точки с $y_* < 0$ имеют к тому же седловое двумерное многообразие. Следовательно, чтобы траектория сходилась к некоторому нерегулярному аттрактору желательно использовать начальное условие с $y_0 > 0$. Покажем численно, что найденный в системе (1) при $a = 3, b = 1$ «скрытый» аттрактор является сложным сингулярным аттрактором ФШМ-каскада бифуркаций по параметру b некоторого изначально устойчивого предельного цикла системы (1), рожденного в результате седло-узловой бифуркации, аналитическое исследование которой является весьма сложной задачей и в настоящей работе не рассматривается.

1.2. Численный анализ

Исследование динамики решений системы (1) проведем численными методами при $a = 3$ и при уменьшении значений бифуркационного параметра $b < 1.51$ Интегрирование системы (1) ме-

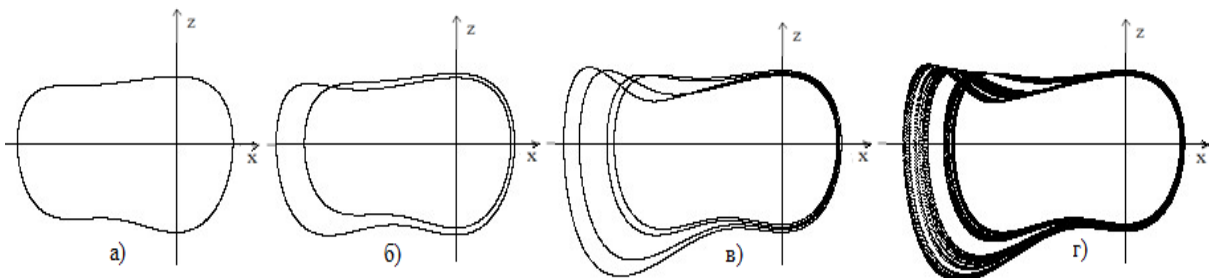


Рис.1. Проекция на плоскость (x,z) устойчивых циклов периодов один, два, четыре системы (1) при $b = 1.4$ (а), $b = 1.33$ (б), $b = 1.11$ (в) и аттрактора Фейгенбаума при $b = 1.079$ (г)

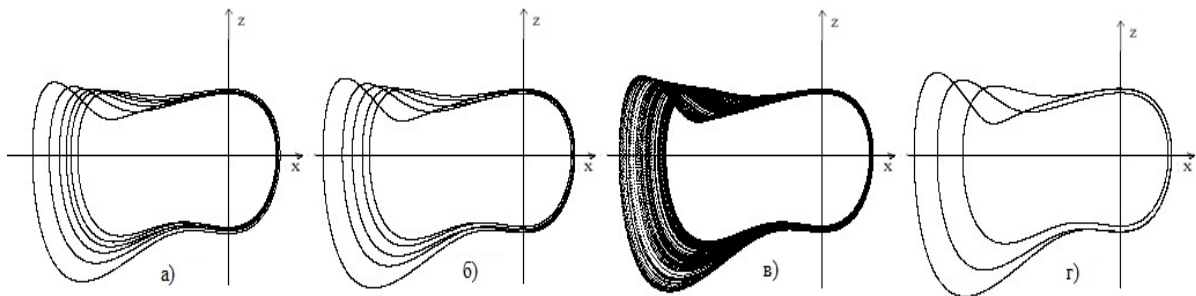


Рис.2. Проекция на плоскость (x, z) устойчивых циклов периодов шесть, пять, три системы (1) при $b = 1.062$ (а), $b = 1.022$ (б), $b = 0.975$ (г) и сингулярного аттрактора при $b = 1$ (в)

тодом Рунге-Кутты четвертого порядка с шагом $h = 0.01$ показывает, что при $b \approx 1.503$ в системе рождается устойчивый предельный цикл в результате седло-узловой бифуркации. На рис. 1,а показана проекция этого цикла на плоскость (x, z) при значении бифуркационного параметра $b = 1.4$. При уменьшении значений параметра b родившийся предельный цикл претерпевает каскад бифуркаций в полном соответствии с теорией ФШМ. Так, устойчивый цикл периода два наблюдается при $b = 1.33$, периода четыре – при $b = 1.11$, периода восемь – при $b = 1.088$, первый простейший сингулярный аттрактор Фейгенбаума – при $b = 1.079$.

Дальнейшее усложнение динамики решений системы (1) при уменьшении значений бифуркационного параметра b происходит, как и во многих других нелинейных системах дифференциальных уравнений, через субгармонический каскад бифуркаций Шарковского. Так, устойчивый цикл периода шесть наблюдается при $b = 1.062$, периода пять – при $b = 1.022$, периода три – при $b = 0.975$. Следовательно, найденный авторами работы [7] в системе (1) при $b = 1$ «скрытый» аттрактор, является на самом деле одним из сложных сингулярных аттракторов универсального бифуркационного сценария ФШМ, расположенным между циклами периода пять и периода три, завершающего субгармонический каскад бифуркаций Шарковского.

Таким образом, так называемый «скрытый» аттрактор, найденный в системе (1) при $a = 3, b = 1$, не является каким-то особенным видом нерегулярных аттракторов, но точно так же, как и в любых других трехмерных и многомерных нелинейных диссипативных системах дифференциальных уравнений, он является одним из бесконечного числа сингулярных аттракторов системы, существующих в ней в соответствии с универсальным бифуркационным сценарием ФШМ.

Интерес также представляет динамика системы (1) при значениях параметра $b < 0.975$. Так, при значении $b = 0.906$ в системе (1) существует устойчивый цикл периода четыре, который начинает бифурцировать в соответствии со сценарием ФШМ как при увеличении, так и при уменьшении значений параметра b . Так, например, устойчивые циклы периода пять существуют в системе (1) при $b = 0.936$ и при $b = 0.882$. Последний цикл принадлежит субгармоническому каскаду бифуркаций при росте значений параметра b , начинающемуся циклом периода один при $b = 0.85$. Этому же каскаду бифуркаций принадлежит устойчивый цикл периода шесть, существующий в системе (1) при $b = 0.869$. А уменьшение значений параметра $b < 0.85$ порождает новый субгармонический каскад бифуркаций.

2. Система с хаотическим аттрактором и замкнутой кривой особых точек

В работе [8] рассмотрена трехмерная нелинейная система обыкновенных дифференциальных уравнений, имеющая наряду с нерегулярным (хаотическим) аттрактором замкнутую кривую неустойчивых особых точек. Система имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= z, \quad \dot{y} = -z(ay + by^2 + xz), \\ \dot{z} &= x^4 - 0.1x^2y^2 + y^2 - 0.5. \end{aligned} \quad (2)$$

Следуя работе [8], в системе (2) при $a = 3, b = 4$ существует «скрытый» хаотический аттрактор, изображенный на рис. 4,г, так как вместе с аттрактором система имеет замкнутую кривую неустойчивых особых точек, лежащую в плоскости (x, y) :

$$S = \{(x, y, z) \in R^3, z = 0, x^4 - 0.1x^2y^2 + y^2 - 0.5 = 0\}.$$

При этом, как и в случае с системой (1), «хаотичность» аттрактора характеризуется авторами работы [8] найденным численно положительным пока-

затем Ляпунова, что, как указано выше, является характеристикой не аттрактора, а области его существования вместе со всеми неустойчивыми циклами, лежащими в его окрестности.

2.1. Аналитическое исследование

То, что система (2) должна иметь какой-либо аттрактор при любых a и b следует из ее диссипативности в области трехмерного пространства, в которой дивергенция ее правой части $F(x,y,z)$ отрицательна:

$$\operatorname{div}F = \left(\frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z}\right) = -z(a + 2by) < 0.$$

Характеристическое уравнение для вычисления собственных значений матрицы линеаризации в особой точке $(x_*, y_*, 0)$, $(x_*, y_*) \in S$ имеет вид: $\lambda(\lambda^2 - 4x_*^3 + 0.2x_*y_*^2) = 0$. Поэтому при любых a и b все особые точки при любых $(x_*, y_*) \in S$ не являются асимптотически устойчивыми по Ляпунову и, следовательно, не являются аттракторами. А точки с $4x_*^3 - 0.2x_*y_*^2 > 0$ имеют к тому же седловое двумерное многообразие. Покажем численно, что найденный в системе (2) при $a = 3$, $b = 4$ «скрытый» аттрактор является сложным сингулярным аттрактором ФШМ-каскада бифуркаций по параметру b некоторого изначально устойчивого предельного цикла, существующего в системе (2) при $a = 3$, $b = 7$.

2.2. Численный анализ

Исследование динамики решений системы (2) проведем численными методами при $a = 3$ и

при уменьшении значений бифуркационного параметра $b = 7$. Интегрирование системы (2) методом Рунге-Кутты четвертого порядка с шагом $h = 0.01$ показывает, что при $b = 7$ в системе (2) существует устойчивый предельный цикл, проекция которого на плоскость (x,z) показана на рис. 3,а. При уменьшении значений параметра b исходный предельный цикл претерпевает каскад бифуркаций в полном соответствии с теорией ФШМ. Так, устойчивый цикл периода два наблюдается при $b = 5.5$, периода четыре – при $b = 5.2$, периода восемь – при $b = 5.13$, первый простейший сингулярный аттрактор Фейгенбаума – при $b = 5.1$.

Дальнейшее усложнение динамики решений системы (2) при уменьшении значений бифуркационного параметра b происходит, как и во многих других нелинейных системах дифференциальных уравнений, через субгармонический каскад бифуркаций Шарковского. Так, устойчивый цикл периода шесть наблюдается в системе при $b = 5.03$, периода пять – при $b = 4.9$, периода три – при $b = 4.85$. Цикл периода три завершает субгармонический каскад бифуркаций. Однако в системе (2) удалось также обнаружить первые устойчивые циклы гомоклинического каскада бифуркаций (циклы периодов четыре и пять), являющегося продолжением субгармонического каскада бифуркаций Шарковского. Проекция устойчивого гомоклинического цикла периода пять, существующего в системе (2) при $b = 4.517$ представлена на рис. 4,в.

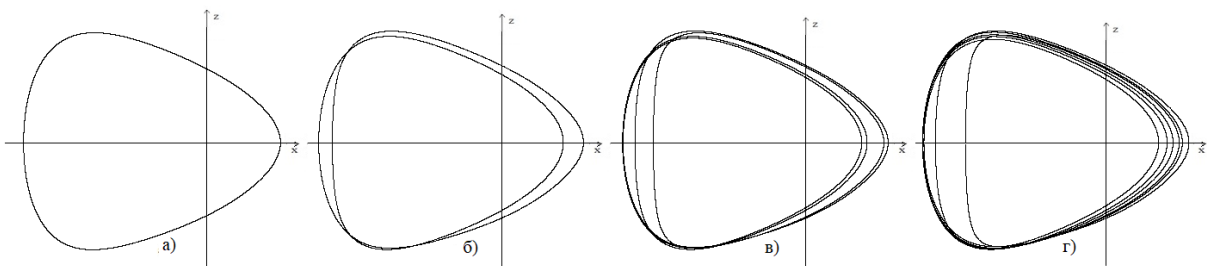


Рис.3. Проекция на плоскость (x,z) устойчивых циклов периодов один, два, четыре и шесть системы (2) при $b = 6$ (а), $b = 5.5$ (б), $b = 5.2$ (в) и $b = 5.03$ (г)

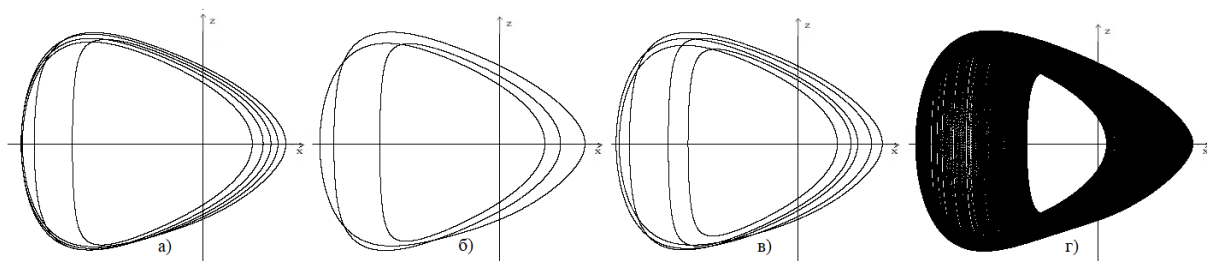


Рис.4. Проекция на плоскость (x,z) устойчивых циклов периодов пять, три субгармонического каскада, периода пять гомоклинического каскада и сложного сингулярного аттрактора системы (2) при $b = 4.9$ (а), $b = 4.85$ (б), $b = 4.517$ (в) и $b = 4$ (г)

Следовательно, «скрытый» аттрактор системы (2), существующий в ней при $a = 3$, $b = 4$ и представленный на рис.4,г, является на самом деле одним из сложных сингулярных аттракторов универсального бифуркационного сценария ФШМ, расположенным между циклами периодов пять и шесть гомоклинического каскада бифуркаций.

Заключение

В работе проведено численное исследование природы «скрытых» аттракторов нелинейных автономных систем дифференциальных уравнений на примере двух систем с бесконечным числом неустойчивых особых точек. Показано, что переход к аттракторам в обеих нелинейных системах дифференциальных уравнений происходит, как и в любых других нелинейных хаотических системах дифференциальных уравнений, в соответствии с универсальным бифуркационным сценарием Фейгенбаума-Шарковского-Магницкого. При этом вследствие отсутствия гомоклинических и гетероклинических сепаратрисных контуров, в системах реализуются неполные ФШМ-каскады бифуркаций, являющиеся в одном случае полным субгармоническим каскадом бифуркаций Шарковского, а в другом – неполным гомоклиническим каскадом бифуркаций. Все нерегулярные хаотические аттракторы обеих систем являются сингулярными аттракторами в смысле теории ФШМ. Старший характеристический показатель Ляпунова на любом сингулярном аттракторе любой системы является нулевым, а его найденные численно авторами обеих предложенных систем положительные значения являются лишь результатом ошибок вычислений и характеризуют не сам сингулярный аттрактор, а область его существования вместе со всеми неустойчивыми циклами, лежащими в его окрестности.

Литература

1. Wang X., Chen G.R. A chaotic system with only one stable equilibrium // Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 2012. No. 17. P. 1264-1272.
2. Huan S., Li Q., Yang X.-S. Horseshoes in a chaotic system with only one stable equilibrium // Int. J. Bifurc. Chaos. 2013. Vol. 23. No. 1. 1350002.
3. Wei Z., Zhang W. Hidden hyperchaotic attractors in a modified lorenz-stenflo system with only one stable equilibrium // Int. J. Bifurc. Chaos. 2014. V. 24, No. 10. 1450127.
4. Pham V. T., Volos Ch. K., Jafari S. and Kapitaniak T. Coexistence of hidden chaotic attractors in a novel no-equilibrium system // Nonlinear Dynamics 2017. Vol. 87. No.3. P. 2001–2010.
5. Zuo Z. L. and Li C. Multiple attractors and dynamic analysis of a no-equilibrium chaotic system // Optik. 2016. Vol. 127. No. 19. P. 7952–7957.
6. Sambas I. A., Mamat M., Vaidyanathan S., Mohamed M. A. and MadaSanjaya W. S. A New 4-D Chaotic System with Hidden Attractor and its Circuit Implementation // Int. J. Eng. & Tech. 2018. Vol. 7. No.3. P. 1245-1250
7. Jafari S., Sprott J.C. Simple chaotic flows with a line equilibrium // Chaos, Solitons & Fractals. 2013. 57. P. 79–84.
8. Mohamed M.A., Bonny T., Sambas A. et al. A Speech Cryptosystem Using the New Chaotic System with a Capsule-Shaped Equilibrium Curve // Computers, Materials & Continua. 2023. Vol. 75. 3. P. 5987-6006
9. Sambas I. A., Vaidyanathan S., Sen Zhang S. et al. A New Double-Wing Chaotic System with Coexisting Attractors and Line Equilibrium: Bifurcation Analysis and Electronic Circuit Simulation // IEEE Access. 2017. 7. 115454 – 115462. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2933456
10. Magnitskii N.A. Universal Bifurcation Chaos Theory and Its New Applications // Mathematics, 2023. 11 (11). 2536. <https://doi.org/10.3390/math11112536>
11. Магницкий Н.А. Теория динамического хаоса. М.: Ленанд, 2011. 320 с.
12. Magnitskii N.A. Universality of Transition to Chaos in All Kinds of Nonlinear Differential Equations. Chapter in Nonlinearity, Bifurcation and Chaos – Theory and Applications. Rijeca: InTech. 2012. P. 133-174.
13. Magnitskii N.A. Bifurcation Theory of Dynamical Chaos. Chapter in Chaos Theory. Rijeka: InTech. 2018. P.197-215
14. Magnitskii N.A. On the nature of hidden attractors in nonlinear autonomous systems of differential equations // Proceedings of ISA RAS. 2023. 73. 3. P.16-20. DOI: 10.14357/20790279230302

Магницкий Николай Александрович. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия. Главный научный сотрудник. Доктор физико-математических наук, профессор. Область научных интересов: нелинейные дифференциальные уравнения, хаотическая динамика, математическая физика, нейронные сети, интегральные уравнения, математическое моделирование. E-mail: nikmagn@gmail.com

On hidden attractors of nonlinear systems of differential equations with an infinite number of singular points

N.A. Magnitskii

Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of
Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The work carries out an analytical and numerical analysis of the bifurcations of cycles of two systems of equations, which, according to the authors of the systems, contain both an infinite number of unstable singular points and “hidden” chaotic attractors. It is shown that the transition to chaos in systems occurs, as in any other nonlinear chaotic systems of differential equations, in accordance with the universal bifurcation scenario of Feigenbaum-Sharkovsky-Magnitskii. In this case, due to the absence of homoclinic and heteroclinic separatrix contours, incomplete FShM bifurcation cascades are realized in the systems, ending with a complete subharmonic cascade and an incomplete homoclinic cascade of bifurcations. It has been proven that in both systems the so-called “hidden” attractors are in fact complex singular attractors of systems in the sense of the FShM theory.

Keywords: *dissipative systems, bifurcations, dynamic chaos, “hidden” attractor, FShM theory.*

DOI: 10.14357/20790279240203 **EDN:** FCHEHC

References

1. Wang X., Chen G.R. A chaotic system with only one stable equilibrium // Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul. 2012. No. 17. P.1264-1272.
2. Huan S., Li Q., Yang X.-S. Horseshoes in a chaotic system with only one stable equilibrium // Int. J. Bifurc. Chaos. 2013. Vol. 23. No. 1. 1350002.
3. Wei Z., Zhang W. Hidden hyperchaotic attractors in a modified lorenz-stenflo system with only one stable equilibrium // Int. J. Bifurc. Chaos. 2014. Vol. 24, No. 10. 1450127.
4. Pham V. T., Volos Ch. K., Jafari S. and Kapitaniak T. Coexistence of hidden chaotic attractors in a novel no-equilibrium system // Nonlinear Dynamics 2017. Vol. 87. No. 3. P. 2001–2010.
5. Zuo Z. L. and Li C. Multiple attractors and dynamic analysis of a no-equilibrium chaotic system // Optik. 2016. Vol. 127. No. 19. P. 7952–7957.
6. Sambas I A., Mamat M., Vaidyanathan S., Mohamed M. A. and MadaSanjaya W. S. A New 4-D Chaotic System with Hidden Attractor and its Circuit Implementation // Int. J. Eng. & Tech. 2018. Vol. 7. No.3. P. 1245-1250
7. Jafari S., Sprott J.C. Simple chaotic flows with a line equilibrium // Chaos, Solitons & Fractals. 2013. 57. P. 79–84.
8. Mohamed M.A., Bonny T., Sambas A. et al. A Speech Cryptosystem Using the New Chaotic System with a Capsule-Shaped Equilibrium Curve // Computers, Materials & Continua. 2023. Vol. 75. 3. P.5987-6006
9. Sambas I A., Vaidyanathan S., Sen Zhang S. et al. A New Double-Wing Chaotic System with Coexisting Attractors and Line Equilibrium: Bifurcation Analysis and Electronic Circuit Simulation // IEEE Access. 2017. 7. 115454 – 115462. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2933456
10. Magnitskii N.A. Universal Bifurcation Chaos Theory and Its New Applications // Mathematics, 2023, 11 (11), 2536. <https://doi.org/10.3390/math11112536>
11. Magnitskiy N.A. Teoriya dinamicheskogo khaosa. M.: Lenand. 2011. 320 p.
12. Magnitskii N.A. Universality of Transition to Chaos in All Kinds of Nonlinear Differential Equations. Chapter in Nonlinearity, Bifurcation and Chaos – Theory and Applications. Rijeca: InTech. 2012. P. 133-174.
13. Magnitskii N.A. Bifurcation Theory of Dynamical Chaos. Chapter in Chaos Theory. Rijeca: InTech. 2018. P.197-215
14. Magnitskii N.A. On the nature of hidden attractors in nonlinear autonomous systems of differential equations // Proceedings of ISA RAS. 2023. 73. 3. P.16-20. DOI: 10.14357/20790279230302

Magnitskii N.A. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, 44/2 Vavilova Str., Moscow, 119333. Number of publications: more than 250. Research interests: nonlinear differential equations, chaotic dynamics, mathematical physics, neural networks, integral equations, mathematical modeling. E-mail: nikmagn@gmail.com

Компьютерный анализ текстов

Применение вычислительных методов корпусного анализа к исследованию текстов литературных произведений

Н.Л. Аванесян^I, О.В. Губина^{II}, А.М. Чеповский^{I,II}

^I Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

^{II} Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена применению математических методов корпусного анализа для исследований литературных текстов русских писателей. Для исследований создан корпус прозаических текстов художественной литературы России XIX века, состоящий из пяти подкорпусов. Каждый подкорпус содержит тексты одного из авторов. На примере созданного корпуса продемонстрированы возможности применения метода анализа соответствий, интегрированного в корпусную платформу ТХМ в качестве одного из средств статистического метода исследований. В качестве другого метода рассматривается анализ коэффициентов попарной ранговой корреляции для сравнения частотных характеристик текстов различных подкорпусов. Описанные методики дают коррелированные результаты и позволяют констатировать возможность выделения дифференцирующих признаков. Они могут использоваться как для лингвистических исследований, так и создания корректных обучающих текстовых наборов для задач искусственного интеллекта.

Ключевые слова: корпусная лингвистика, платформа ТХМ, анализ соответствий, корреляционный анализ.

DOI: 10.14357/20790279240204 **EDN:** IKHGUO

Введение

С развитием тенденции на машинное обучение для систем искусственного интеллекта возрастает необходимость в создании большого числа подходящих для данной задачи выборок данных. Корпусная лингвистика может служить средством создания специализированных коллекций текстов для машинного обучения в области обработки естественного языка, решения задач, относящихся к проблемам классификации текстов (распознавания образов). Корпусы литературных текстов предоставляют обширный объем информации и

помогают в построении моделей для задач искусственного интеллекта.

Методы статистических исследований применялись для анализа корпусов текстов террористической и антиправовой направленности, описанные в [1–3], для анализа корпусов текстов пользователей социальных сетей [4,5].

В работах в [1,2 и 4] для корпусных исследований применялась платформа ТХМ ([6,7]), которая представляет собой программное обеспечение с открытым кодом, предназначенное для подготовки, обработки, анализа и публика-

ции корпусов среднего размера (примерно до 10 000 000 словоупотреблений). Платформа TXM развивается в лаборатории IHRIM Высшей нормальной школы Лиона и Национального центра научных исследований Франции (CNRS & ENS de Lyon, France) [7].

Корпусная платформа TXM дает возможность быстро и достоверно решать задачи, связанные с анализом текста. Морфологическая разметка осуществляется автоматически при загрузке текстов на платформу TXM. Используемые процедуры морфологического анализа, описанные в [8], включают снятие омонимии в корпусе. Корпусная платформа TXM позволяет добавлять нестандартные для корпусных средств методы морфологического анализа [9]. В платформу TXM интегрированы математические процедуры для статистических исследований, такие как анализ специфичности и анализ соответствий, описанный в [10,11].

В работах в [3 и 5] для анализа корпусов текстов применялся корреляционный ранговый анализ словарей, составленных для объединенных наборов текстов, которые можно рассматривать как специальные текстовые корпуса. Составление словарей для данного исследования основано на оригинальных процедурах морфологического анализа, описанных в [12].

В работе [13] процедуры платформы TXM были применены для анализа корпуса текстов русских рассказов 1901-1930 годов, в котором тексты большого числа авторов разделялись на подкорпуса по времени написания рассказов.

В данной работе на примере созданного корпуса текстов литературных произведений русских классиков, разбитого на подкорпуса по авторам произведений, мы изучаем одновременное использование двух технологий: средств корпусного анализа платформы TXM и методов корреляционного рангового анализа словарей текстов.

1. Исследуемый корпус текстов

В данной работе мы анализируем корпус текстов художественной литературы, созданный авторами данной работы из прозаических текстов художественной литературы России 1824–1913 гг. В качестве литературных текстов, которые формируют корпус, выбраны следующие литературные произведения и сборники произведений пяти авторов-прозаиков России: А.С. Пушкин – «Повести Белкина», «Дубровский», «Капитанская дочка», «Моцарт и Сальери», «Пиковая дама»; Н.В. Гоголь – «Невский проспект», «Игроки», «Нос», «Повесть о том, как поссорился Иван Ива-

нович с Иваном Никифоровичем», «Шинель», «Старосветские помещики», «Записки сумасшедшего», «Женитьба»; А. П. Чехов – «Моя жизнь», «Степь», «Учитель словесности»; И. С. Тургенев – «Холостяк», «Му-му», «Первая любовь», «После смерти», «Три встречи»; Максим Горький – «Детство», «Мой спутник», «Супруги Орловы».

С целью исследования различий в употребляемой лексике авторов одного периода времени корпус составлялся из наборов текстов, составленных из произведений пяти авторов. Корпус состоит из пяти подкорпусов текстов, каждый из которых составлен из литературных текстов одного из известных авторов. Каждый из пяти подкорпусов текстов составлен из суммарного набора текстов сравнимого размера, что необходимо для корректного сравнительного анализа. Подкорпуса составлены так, чтобы наблюдались равноценные распределения частотностей словоупотреблений между образованными подкорпусами. Корпус состоит из подкорпусов текстов прозы разных авторов, указанных в табл. 1.

Сформированный корпус был загружен на платформу TXM. При загрузке на корпусную платформу TXM морфологическая разметка осуществлялась автоматически на базе программной процедуры TreeTagger [8]. Формирование словарей для корреляционного анализа осуществлялось по итогам морфологического анализа, методами описанными в [12]. Размеры основных составленных словарей указаны в табл. 1.

2. Анализ соответствий (*correspondence analysis*) для корпусов текстов

Для анализа созданного корпуса текстов применялся множественный анализ соответствий [10,11,14], который можно трактовать как аналогичный факторному анализу метод снижения размерности анализируемого пространства признаков. Данный метод позволяет сравнить подкорпус с другим подкорпусом и с корпусом в целом. Корпус должен быть относительно сбалансирован по объемам подкорпусов. В нашем случае все подкорпуса специально создавались приблизительно одного размера (порядка 100 000 словоупотреблений).

Множественный анализ соответствий – это статистический метод анализа данных, основная цель которого состоит в формировании факторов из некоторого выделенного набора значений параметра (значений из лексической таблицы). Найденные факторы формируются таким образом, чтобы

Табл. 1

Состав корпуса текстов и размеры словарей

№	Подкорпус, тексты	Число словоупотреблений	Размеры словарей в количестве записей		
			Существительных	Глаголов	Прилагательных
1	А. П. Чехова	103534	6270	5806	3467
2	Н. В. Гоголя	102561	5579	5194	2972
3	М. Горького	104581	5592	6382	3129
4	А. С. Пушкина	103203	5770	5607	3030
5	И. С. Тургенева	97975	4422	5261	2639

первый фактор объяснял наибольшую долю различий между подкорпусами, второй – меньшую, третий – еще меньшую и т.д.

Объектом анализа соответствий являются таблицы сопряженности. В корпусном анализе – это таблицы встречаемости лексических характеристик для различных подкорпусов. В наших исследованиях в таблицы включаются 200 наиболее частотных в текстах корпуса лексических единиц и рассматриваются отдельно для частотных наборов всех лемм и разных частей речи, исключая имена собственные.

Таблица сопряженности представляется в бинарной форме, которая представляет собой матрицу, значениями элементов которой могут быть только 0 и 1, а число столбцов равно суммарному количеству категорий для всех признаков. Формируется матрица Берта [14] – симметричная матри-

ца блочного вида. Вычленение факторов есть следствие решения задачи на собственное значение для сформированной матрицы.

Анализ соответствий позволяет представить полученные результаты графически, что существенно облегчает интерпретацию (рис. 1, 2). Процент, предоставленный для каждой оси, указывает на ее вес в сформированном факторе разделяющем подкорпуса. На рис. 1, например, две первые оси захватывают почти две трети (34,86% + 29,70% = 64,56%) от общей информации о корпусе, а на рис. 2 представлены результаты описывающие более двух третей (47,09% + 24,27% = 71,36%) характеристик (признаков соответствующего пространства). Визуальное представление данных дает возможность увидеть и описать определенные закономерности, взаимосвязи подкорпусов.

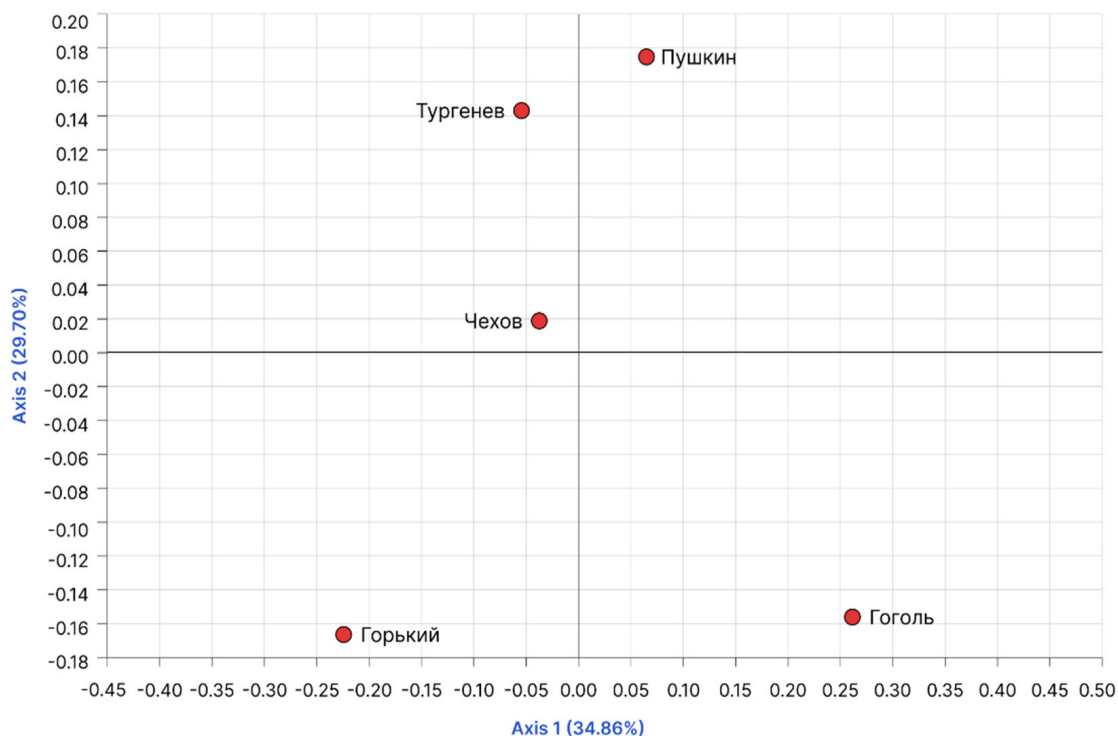


Рис. 1. Результат анализа соответствий для существительных

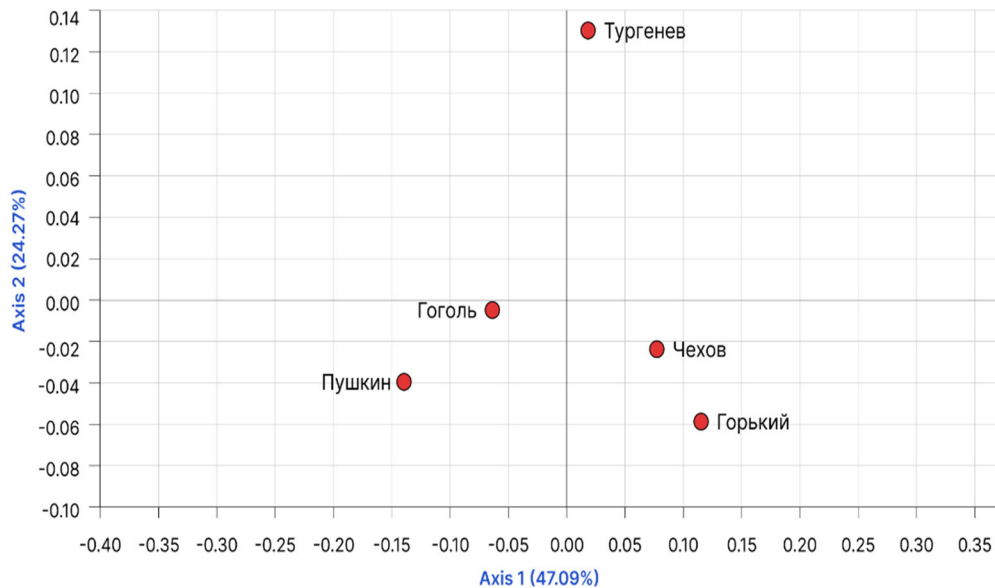


Рис. 2. Результат анализа соответствий для глаголов

В качестве процедуры метода анализа соответствий в ТХМ используется интегрированная в платформу сторонняя библиотека, описанная в [11].

3. Корреляционный ранговый анализ

Сравнение подкорпусов текстов можно проводить попарным сравнением частотных словарей различных лингвистических характеристик (всей лексики в целом, отдельных частей речи), составленных для наборов текста каждого подкорпуса. Определяются ранги записей словаря по результатам сортировки по частоте встречаемости занесенной в словарь характеристики. Данные записи рассматриваются как случайные величины. Тогда для каждой пары словарей можно подсчитать коэффициенты попарной ранговой корреляции. Для каждой пары словарей рассматриваем одинаковое количество n записей, которое в реальных расчетах ограничивается некоторым заданным значением. Данное ограничение числа записей словарей обеспечивает отбрасывание характеристик с низкими частотами использования.

Если записи в словарях рассматриваются как выборки для двух случайных величин: $X^n = \{X_i\}_{i=1}^n$, $Y^n = \{Y_i\}_{i=1}^n$. Мера зависимости случайных величин X , Y определяется через средние значения выборок \bar{X}^n и \bar{Y}^n . Для ковариации $cov(X^n, Y^n)$ имеем:

$$cov(X^n, Y^n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}^n)(Y_i - \bar{Y}^n), \quad (1)$$

а дисперсия может быть записана в следующей форме:

$$\sigma X^n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}^n)^2}. \quad (2)$$

Для отсортированных по частотам словарей рассматриваются ранги rgX^n и rgY^n . Коэффициент попарной ранговой корреляции определяется следующим образом [15]:

$$r = r(rgX^n, rgY^n) = \frac{cov(rgX^n, rgY^n)}{\sigma rgX^n \cdot \sigma rgY^n}, \quad (3)$$

где числитель и знаменатель определяются формулами (1) и (2), соответственно.

Коэффициент попарной ранговой корреляции, определенный в (3), не накладывает никаких ограничений на порядок элементов, имеющих одинаковые значения. В случае наличия элементов, имеющих одинаковые значения, они могут быть упорядочены согласно произвольной перестановке [5]. Для целей однозначности вычисления коэффициента (3) используется ранг, усредненный по всем перестановкам. Равные по значению элементы получают одинаковое значение усредненного ранга, не зависящее от их перестановки. Если все частоты внутри каждого из анализируемых словарей не совпадают, формула (3) преобразуется в классическую формулу ранговой корреляции Спирмена [16].

Посредством коэффициента попарной ранговой корреляции сравниваются два частотных словаря. Анализируемые словари могут иметь достаточно большие размеры. Поэтому мы рассматриваем только первые 10000 (по убыванию частоты) элементы каждого из словарей.

Вычисляемый коэффициент попарной ранговой корреляции принимает значения на интервале $[-1,1]$. Близкие к 1 значения говорят о монотонной согласованности словарей. Близкие к -1 говорят об обратном эффекте: если в одном словаре слово с частотой выше второго, то в другом – наоборот, его частота будет ниже. Если значение близко к 0, то словари несогласованы: соотношение между частотами слов в одном словаре независимо от соотношения с частотами в другом словаре. Результаты такого анализа определяют, близки ли тексты разных подкорпусов по тематической и психологической направленности.

4. Результаты исследований

Вычислительные эксперименты для описанного корпуса проводились двумя указанными выше методами: множественным анализом соответствий и корреляционным анализом частотных словарей подкорпусов.

Примеры результатов анализа соответствий для исследуемого корпуса представлены на рис. 1 и 2, для существительных и глаголов, соответственно. В качестве результатов представляются

графики, имеющие две оси координат. В названии каждой из осей графика указан процент характерных (отличительных) параметров, выделенных в ходе процедуры анализа соответствий по корпусу. В качестве величин, которые характеризуют оси координат, используется численная характеристика степени отклонения набора признаков от указанной в названии оси процента вариации для конкретного подкорпуса. Пространственное удаление, расположение корпуса от начала отсчета координат свидетельствует о сильном отличии его набора признаков от признаков по корпусу.

Очевидно, что в графическом представлении результатов анализа соответствий для существительных и глаголов подкорпуса текстов разнесены по пространству диаграммы. Представленные результаты анализа соответствий для наборов признаков подкорпусов текстов (по авторам) исследуемого корпуса демонстрируют достаточно явное разделение по лингвистическим характеристикам.

Вычислительные эксперименты по исследованию частотных словарей подкорпусов заключались в подсчете коэффициента корреляции (3) для всех пар частотных словарей лингвистических характеристик текстов подкорпусов, перечисленных

Табл. 2

Сравнение словарей существительных

Подкорпус, номер	1 А.П. Чехова	2 Н.В. Гоголя	3 М. Горького	4 А. С. Пуш- кина	5 И.С. Тургенева
1.А. П. Чехова	1				
2. Н. В. Гоголя	-0.023	1			
3. М. Горького	0.069	-0.085	1		
4. А. С. Пушкина	-0.078	-0.014	-0.138	1	
5. И.С. Тургенева	0.046	0.011	-0.037	-0.007	1

Табл. 3

Сравнение словарей глаголов

Подкорпус, номер	1 А.П. Чехова	2 Н.В. Гоголя	3 М. Горького	4 А. С. Пуш- кина	5 И.С. Тургенева
1.А. П. Чехова	1				
2. Н. В. Гоголя	0.017	1			
3. М. Горького	0.047	-0.119	1		
4. А.С. Пушкина	-0.044	0.083	-0.133	1	
5. И.С. Тургенева	0.043	0.114	-0.101	0.034	1

в табл. 1. В качестве примеров приведены таблицы сравнения через коэффициент корреляции словарей существительных и словарей глаголов для исследуемых подкорпусов (табл. 2,3).

Значения коэффициентов корреляции для всех частотных словарей в табл. 2 и 3 колеблются около нулевого значения, что указывает на то, что частотные словари разных подкорпусов (текстов одного автора) несогласованы: частоты слов в одном словаре независимы от частот в другом. По сути, фиксируются принципиальные различия текстов по частотным характеристикам лексических характеристик. В целом результаты сравнения, представленные в табл. 2 и 3, показывают возможность рассматривать лексические единицы (части речи в наших исследованиях) как дифференцирующие признаки литературных произведений различных авторов.

Сравнение представленных результатов на рис. 1 и 2 с одной стороны и в табл. 2 и 3 с другой демонстрирует хорошую корреляцию результатов разными методами анализа подкорпусов текстов по разделению подкорпусов текстов (в нашем исследовании по авторам) по набору признаков (значений лингвистических характеристик).

Заключение

Применение анализа соответствий демонстрирует возможности разделения подкорпусов на основе анализа частот совместного появления значений переменных. Набор характерных (отличительных) параметров (например, лексических единиц), выделенных в ходе процедуры анализа соответствий, можно рассматривать как дифференцирующие признаки, которые можно использовать в самых различных задачах классификации, например, в задачах разделения текстов по тематике, задачах определения авторства. Корреляционный ранговый анализ показывает соответствие результатам анализа соответствий разделения подкорпусов текстов.

Приведенные примеры иллюстрируют возможность использования всех сформированных в исследованиях признаков двумя представленными методами (анализа соответствий и корреляционного рангового анализа) для решения задач классификации текстов.

Исследуемый корпус и методы его анализа демонстрируют возможности использования математических методов компьютерной лингвистики для создания наборов данных для машинного обучения с целью решения различных задач средствами методов искусственного интеллекта.

Литература

1. *Лаврентьев А.М., Смирнов И.В., Соловьев Ф.Н., Суворова М.И., Фокина А.И., Чеповский А.М.* Анализ корпусов текстов террористической и антиправовой направленности // Вопросы кибербезопасности. 2019. № 4(32). С.54-60. DOI: 10.21681/2311-3456-2019-4-54-60.
2. *Лаврентьев А.М., Смирнов И.В., Соловьев Ф.Н., Суворова М.И., Фокина А.И., Чеповский А.М.* Создание специальных корпусов текстов на основе расширенной платформы TXM // Системы высокой доступности. 2018. Т.14. № 3. С.76-81.
3. *Аванесян Н.Л., Соловьев Ф.Н., Тихомирова Е.А., Чеповский А.М.* Выявление значимых признаков противоправных текстов // Вопросы кибербезопасности. 2020. № 4 (38). С. 76–84. DOI: 10.21681/2311-3456-2020-04-76-84
4. *Фокина А.И., Чеповский А.А., Чеповский А.М.* Использование платформы TXM корпусного анализа для анализа текстов сообществ социальных сетей // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2023. Т. 21. № 2. С. 29-38. DOI: 10.25205/1818-7900-2023-21-2-29-38.
5. *Аванесян Н.Л., Зенькова В.В., Чеповский А.А., Чеповский А.М.* Анализ текстов сообществ социальных сетей // Успехи кибернетики. 2023. 4(2). С. 33–39. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-05.
6. *Heiden S.* The TXM Platform: Building Open-Source Textual Analysis Software Compatible with the TEI Encoding Scheme. In: 24th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation – PACLIC24 / Ed. by R. Otoguro, K. Ishikawa, H. Umemoto, K. Yoshimoto and Y. Harada. Institute for Digital Enhancement of Cognitive Development. Waseda University, Sendai, Japan. 2010. P. 389–398.
7. TXM public website. [Online] Available from: <http://textometrie.org>. (Дата обращения 23.01.2024)
8. *Schmid, H.* Probabilistic Part-of-Speech Tagging Using Decision Trees. In: Proceedings International Conference on New Methods in Language Processing, Manchester, UK, Sept. 1994. P. 44–49.
9. *Лаврентьев А.М., Соловьев Ф.Н., Чеповский А.М.* Внедрение в TXM дополнительных инструментов автоматической обработки текста. В кн.: Труды международной конференции «Корпусная лингвистика – 2019». СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета. 2019. С. 55-62.
10. *Benzécri J.-P., Bellier L.* L'analyse des données. V. 2:L'analyse des Correspondances. Paris: Dunod. 1976. 616 p.
11. *Lé S., Josse J., Husson F.* FactoMineR: an R package for multivariate analysis // Journal of statistical software. 2008. № 25 (1). P. 1-18.

12. Чеповский А.М. Информационные модели в задачах обработки текстов на естественных языках. Второе издание, переработанное. М.: Национальный открытый университет «ИНТУИТ». 2015. 228 с.
13. Lavrentiev A., Sherstinova T., Chepovskiy A., Pincetin B. Using TXM Platform for Research on Language Changes over Time: The Dynamics of Vocabulary and Punctuation in Russian Literary Texts // Вестник Томского государственного университета. Филология. 2021. № 70. С. 69-89. DOI: 10.17223/19986645/70/5.
14. Прикладная статистика: Классификации и снижение размерности / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин / Под ред. С.А. Айвазяна. М.: Финансы и статистика. 1989. 607 с.
15. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир. 1989. 540 с.
16. Деца Е.И., Деца М.М. Энциклопедический словарь расстояний. М.: Наука. 2008. 444 с.

Аванесян Нина Леоновна. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия. Аспирант. Область научных интересов: автоматическая обработка текста, информационная безопасность. E-mail: nlavanesyan@edu.hse.ru

Губина Ольга Вячеславовна. Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия. Студент. Область научных интересов: автоматическая обработка текста. E-mail: 1032201737@pfur.ru

Чеповский Андрей Михайлович. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия. Профессор. Доктор технических наук. Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Россия. Профессор. Область научных интересов: автоматическая обработка текста, информационный поиск, кибернетика, информационная безопасность. E-mail: achipovskiy@hse.ru (Ответственный за переписку).

Corpus analysis methods for study of texts of prose literary works by various authors

N.L. Avanesyan^I, O.V. Gubina^{II}, A.M. Chepovskiy^{I,II}

^I National Research University «Higher School of Economics», Moscow, Russia.

^{II} Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russia.

Abstract. This article is devoted to the application of corpora analysis mathematical methods for the research of Russian fiction texts. A corpus of prose texts of Russian XIX century fiction, consisting of five subcorpora, has been created for the research. Each subcorpora contains texts of one certain author. Using the example of the created corpora, the possibilities of using the correspondence analysis method integrated into the TXM platform as one of the tools of the statistical research method are demonstrated. As another method, we consider the analysis of pairwise rank correlation coefficients to compare the frequency characteristics of texts of different subcorps. The methods described give correlated results and make it possible to identify differentiating features. The methods described give correlated results and make it possible to identify differentiating features. The described method can be used both for linguistic and literary studies and for creating appropriate training text sets for artificial intelligence tasks.

Keywords: *corpus linguistics, TXM platform, correspondence analysis, correlation analysis.*

DOI: 10.14357/20790279240204 **EDN:** IKHGUO

References

1. Lavrentiev A.M., Smirnov I.V., Soloviev F.N., Suvorova M.I., Fokina A.I., Chepovskiy A.M. Analysis of corpus of extremist texts and unlawful texts // Voprosi kiberbezopasnosti. 2019. № 4(32). P. 54–60. DOI: 10.21681/2311-3456-2019-4-54-60 [in Russian].
2. Lavrentiev A.M., Smirnov I.V., Soloviev F.N., Suvorova M.I., Fokina A.I., Chepovskiy A.M. Creating text corpora for special purposes on the basis of extended TXM platform // Sistemy vysokoy dostupnosti, 2018. Vol. 14. No. 3. P. 76–81. [in Russian].

3. *Avanesyan N.L., Solovev F.N., Tikhomirova E.A., Chepovskiy A.M.* Identifying the significant features in illegal texts. *Voprosy kiberbezopasnosti*, 2020. No. 4 (38). P. 76–84. (in Russ.) DOI: 10.21681/2311-3456-2020-04-76-84.
4. *Fokina A.I., Chepovskiy A.A., Chepovskiy A.M.* Using TXM Platform of Corpus Analysis for Text Analysis of Social Media // *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2023. Vol. 21. No. 2. P. 29–38. DOI: 10.25205/1818-7900-2023-21-2-29-38. [in Russian].
5. *Avanesyan N.L., Zenkova V.V., Chepovskiy A.A., Chepovskiy A.M.* Analysis of Social Media Community Posts. *Russian//Journal of Cybernetics*. 2023;4(2):33–39. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-05.
6. *Heiden S.* The TXM Platform: Building Open-Source Textual Analysis Software Compatible with the TEI Encoding Scheme In: 24th Pacific Asia Conference on Language, Information and Computation – PACLIC24 / Ed. by R. Otoguro, K. Ishikawa, H. Umemoto, K. Yoshimoto and Y. Harada. Institute for Digital Enhancement of Cognitive Development. Waseda University. Sendai. Japan. 2010. P. 389–398.
7. TXM public website. [Online] Available from: <http://textometrie.org>. [accessed:23.01.2024],
8. *Schmid H.* Probabilistic Part-of-Speech Tagging Using Decision Trees/ In: *Proceedings International Conference on New Methods in Language Processing*. Manchester. UK. Sept. 1994. P. 44–49.
9. *Lavrentiev A.M., Solovev F.N., Chepovskiy A.M.* Implementation in the TXM Platform of Additional Instruments of Automatic Text Processing. In: *Proceedings of the international conference “Corpus linguistics – 2019”* St. Petersburg University Publishing House. 2019. P. 55-62. [in Russian]
10. *Benzécri J.-P., Bellier L.* L’analyse des données. V. 2: L’analyse des Correspondances. Paris: Dunod. 1976. 616 p.
11. *Lê S., Josse J., Husson F.* FactoMineR: an R package for multivariate analysis // *Journal of statistical software*. 2008. № 25 (1). P. 1-18.
12. *Chepovskiy A.M.* Informatsionnyye modeli v zadachakh obrabotki tekstov na estestvennykh yazykakh [Information Models for the Problems of Natural Text Processing]. 2nd ed. Moscow: Natsional’nyy otkrytyy universitet “INTUIT”. 228 p. [in Russian]
13. *Lavrentiev A., Sherstinova T., Chepovskiy A., Pincemin B.* Using TXM Platform for Research on Language Changes over Time: The Dynamics of Vocabulary and Punctuation in Russian Literary Texts // *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Filologiya*. 2021. Vol. 70. P. 69-89. DOI: 10.17223/19986645/70/5.
14. Applied statistics: Classifications and dimensionality reduction / S.A. Ayvazyan, V.M. Buhstaber, I.S. Enucov, L.D. Meshalkin. / Ed. S.A. Ayvazyan. – M.: Finansy I statistika. 1989. 607 p.
15. *Bendat J., Piersol A.* Prikladnoy analiz sluchainikh dannikh. Moscow: Mir, 1989. 540 p. [in Russian].
16. *Deza Elena, Deza Michel Marie.* Dictionary of Distances. Moscow: Nauka. 2008. 444 p. [in Russian].

Avanesyan Nina L. Postgraduate student, National Research University «Higher School of Economics» (Moscow, Russia). Author of 5 publications. Research interests: natural language processing, information security. E-mail: nlavanesyan@edu.hse.ru

Gubina Olga V. Student, Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University, Moscow, Russia). Research interests: natural language processing, E-mail: 1032201737@pfur.ru

Chepovskiy Andrey M. Doctor of Technical Science, professor of chair of computer security in National Research University «Higher School of Economics» (Moscow, Russia) and professor of chair of mathematical modeling and artificial intelligence in Peoples’ Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University, Moscow, Russia). Author of 120 publications. Research interests: natural language processing, information retrieval, cybernetics, information security. E-mail: achepovskiy@hse.ru

Методы и модели системного анализа

Вопросы системного анализа средств пассивного дистанционного зондирования атмосферных газов

Х.Г. АСАДОВ, Н.Ш. АБИЛОВА

Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку, Республика
Азербайджан

Аннотация. Рассмотрены вопросы системного анализа и синтеза систем пассивного дистанционного зондирования атмосферных газов. Показана возможность применения решения задачи Эйлера в области вариационного исчисления для оптимизации пассивного дистанционного зондирования атмосферных газов. Составлен функционал цели, названный функционалом Эйлера-Бугера и проанализированы условия оптимизации трех режимов измерения атмосферных газов: без производного спектра, с основным и производным спектром, только с использованием производного спектра. Рассмотрен подход формирования требований к основному и производному сигналу проводимых пассивных атмосферных измерений в оптимальном режиме по квадратичному интегральному критерию в виде суммы основного и производного сигнала.

Ключевые слова: *оптическая толщина, внеатмосферное излучение, дистанционное зондирование, атмосферные газы, системный анализ.*

DOI: 10.14357/20790279240205 **EDN:** JZK0VC

Введение

Можно с уверенностью сказать, что существует определенные пробелы в области системного анализа пассивных систем дистанционного зондирования (ДЗ) с применением метода производной спектроскопии. Анализ существующих работ по применению производных методов спектроскопии в дистанционном зондировании [1-5] показал, что применение суммы основного и производного спектра осуществляется применительно к выявлению спектральных признаков наличия отдельно взятых компонент, представляющих определенный интерес для исследователя. Однако если рассматривать аналогичную задачу в более широком плане, а именно ставить цель выявления

спектральных признаков ранее не предполагаемых компонентов в исследуемой среде, то приходим к решению задачи повышения потенциальной общей информативности систем дистанционного зондирования в широком интервале длин волн. Данная задача достижения экстремума информативности неявным образом решается с применением метода вариационной оптимизации предложенного функционала Эйлера-Бугера.

Хорошо известно, что пассивные системы дистанционного зондирования не требуют дополнительного излучения исследуемого объекта и используют естественные природные излучения, такие как Солнце, Луна, атмосферы или собственное излучение различных исследуемых объектов,

включая излучение Земли [6-8]. Пассивные системы дистанционного зондирования используются в основном для измерения концентрации атмосферных газов [8-11], для измерения собственной температуры отдельных предметов, для исследования химического состава веществ, для определения оптических характеристик предметов и т.д. Основным здесь является уравнение Бугера-Бера, согласно которому

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp[-m\tau(\lambda)], \quad (1)$$

где $I_0(\lambda)$ -поток исходного оптического излучения естественно происхождения, т.е. природное излучение, дополнительно не вносимое для проведения измерений; $I(\lambda)$ -поток излучения на входе измерительного устройства; m -оптическая масса, характеризующая наклон прямого луча излучателя относительно перпендикуляра к поверхности плоскости в которой размещен измеритель, т.е. зенитный угол излучателя; $\tau(\lambda)$ -оптическая толщина исследуемого объекта, в случае измерения атмосферных газов.

Например, при измерении общего количества озона оптическая толщина может быть определена как [12]:

$$\tau(\lambda) = \alpha(\lambda)CL, \quad (2)$$

где $\alpha(\lambda)$ -коэффициент ослабления (поглощения) озона; C -концентрация озона в атмосфере; L -толщина атмосферного слоя, в котором размещен озон.

Схема проведения наземных озоновых измерений приведена на рис. 1.

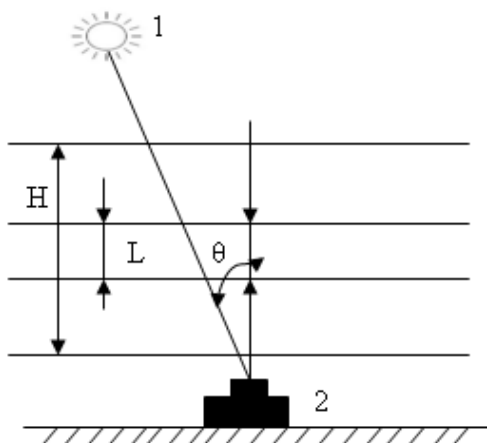


Рис. 1. Схематическое представление наземных озоновых измерений: 1-Солнце; 2-измеритель; H-толщина атмосферного слоя; L-толщина эквивалентного озонового слоя; θ-зенитный угол Солнца

В общем случае, принципы системного анализа в достаточной степени известны и одним из них является синтез оптимальной модели рассматриваемого объекта путем создания математической модели, оптимизация этой модели с учетом выбранного критерия оптимизации и синтез оптимальной модели [13-15]. Что касается спектральных измерений, то в этой области практикуются такие методы совместных измерений как:

- а) исследование основного спектра (поглощения и отражения) [16];
- б) исследование суммы основного и производного спектров [17];
- с) исследование только производных спектров [18].

Например, применительно к наземным измерениям атмосферного озона представляют интерес не только исследование основного спектра, но также и производного спектра. Такие измерения проводятся как в области ультрафиолетового излучения, так и в видимой области спектра.

Вместе с тем, задача оптимизации проведения совместных основных и производных спектральных измерений с точки зрения системного подхода еще не решена. Данная задача часто решается на экспериментальной основе в плане подбора весовых коэффициентов их сложения. Целью настоящей статьи является разработка метода оптимизации совместных спектральных измерений (на примере D3 атмосферных газов) с учетом принципов системного анализа.

1. Материалы и методы

Для решения задачи оптимизации совместных спектральных измерений, в которых используется сумма основного и производного спектра (возможно взвешенная сумма) в первую очередь следует определить критерий такой оптимизации. Как нам представляется, наиболее пригодным для решения указанной задачи является функционал Эйлера, рассматриваемая в теории вариационного исчисления. Согласно [19] этот функционал имеет вид:

$$F_0 = \int_a^b F_0[y(x); y'(x); x] dx. \quad (3)$$

В теории вариационного исчисления суть задачи Эйлера заключается в нахождении такой функции $y(x)$ при которой F_0 достиг бы максимума. Решение указанной задачи определяется уравнением Эйлера [19]

$$\frac{\partial F_0}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial F_0}{\partial y'} \right] = 0 \quad (4)$$

Из условия (4) вытекают два частных случая:

- 1) Если F_0 явно не зависит от y' то получаем [19]:

$$\frac{\partial F_0}{\partial y} = 0. \quad (5)$$

2) Если F_0 явно не зависит от y , то:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial F_0}{\partial y'} \right] = 0. \quad (6)$$

Из условия (6) получаем

$$\frac{\partial F_0}{\partial y'} = const. \quad (7)$$

Также возможен случай

$$\frac{\partial F_0}{\partial y'} = 0. \quad (8)$$

Рассмотрим возможность совместного использования задачи Эйлера (3) и уравнения Бугера-Бера (1).

С учетом (1) и (3) составим функционал цели для оптимизации совместных атмосферных спектральных измерений, которую назовем функционалом Эйлера-Бугера:

$$F_1 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_0[I(\lambda); I'(\lambda); \lambda] d\lambda, \quad (9)$$

где λ -длина волны проводимых измерений.

Блок-схема предлагаемого измерителя F_1 , где

$$F_0 = [I(\lambda) + I'(\lambda)]^2, \quad (10)$$

показана на рис. 2.

Аналогично (4) для функционала (9) напишем условие решения:

$$\frac{\partial F_0}{\partial I(\lambda)} - \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{\partial F_0}{\partial I'(\lambda)} \right] = 0. \quad (11)$$

Рассмотрим условия (10) применительно к вышеотмеченным режимам спектральных измерений:

1. Использование только основного спектра, т.е. F_0 не содержит $I'(\lambda)$. В этом случае оптимизация спектральных измерений осуществляется по условию:

$$\frac{\partial F_0}{\partial I(\lambda)} = 0. \quad (12)$$

2. Совместное использование $I(\lambda)$ и $I'(\lambda)$. В этом случае оптимизация осуществляется по условию (10).

3. Использование только $I'(\lambda)$, т.е. производная спектроскопия. В этом случае используется выражение:

$$\frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{\partial F_0}{\partial I'(\lambda)} \right] = 0. \quad (13)$$

В качестве конкретного примера предлагаемого метода второй из вышеотмеченных режимов оптимизации, где целевой функционал оптимизации Эйлера-Бугера с учетом выражений (9) и (10) принимает следующий вид:

$$F_0 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} [I(\lambda) + I'(\lambda)]^2 d\lambda. \quad (14)$$

Для вычисления оптимального режима измерений применим условие (10) к функционалу (12), переходя от частных производных к обычным.

Имеем:

$$\frac{dF_0}{dI'(\lambda)} = 2[I(\lambda) + I'(\lambda)]; \quad (15)$$

$$\frac{dF_0}{dI(\lambda)} = 2[I(\lambda) + I'(\lambda)]; \quad (16)$$

$$\frac{d}{d\lambda} \left[\frac{dF_0}{dI'(\lambda)} \right] = 2[I''(\lambda) + I''(\lambda)]. \quad (17)$$

С учетом (15)-(17) получим:

$$2[I(\lambda) + I'(\lambda)] - 2[I'(\lambda) + I''(\lambda)] = 0. \quad (18)$$

Примем обозначение:

$$z(\lambda) = I(\lambda) + I'(\lambda). \quad (19)$$

В этом случае с учетом (18) и (19) получаем следующее дифференциальное уравнение:

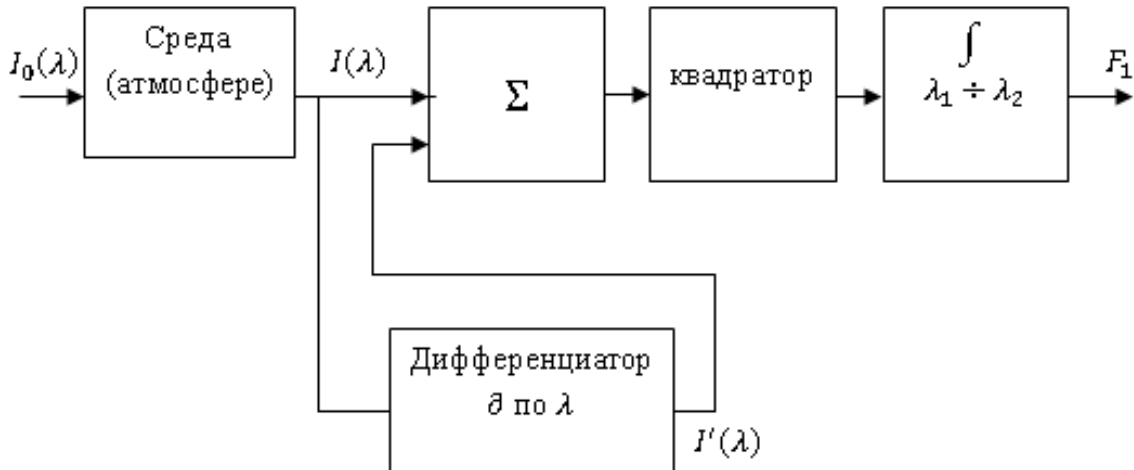


Рис. 2. Блок-схема измерителя F_1

$$z - \frac{dz}{d\lambda} = 0. \tag{20}$$

Уравнение (20) приведем к виду:

$$\frac{dz}{z} = \lambda. \tag{21}$$

Интегрируя (21) получим:

$$\ln z = \lambda + c \tag{22}$$

или

$$z = \exp(\lambda + c), \tag{23}$$

где c -постоянная интегрирования.

С учетом (17) и (21) получим:

$$I(\lambda) + I'(\lambda) = \exp(\lambda + c). \tag{24}$$

Из выражения (22) можно заключить следующие правила выбора функции $I(\lambda)$ для реализации оптимального режима измерений:

- 1) Если в диапазоне длин волн $\lambda_1 + c - \lambda_2 + c$ имеет место неравенство

$$I(\lambda) > \exp(\lambda + c), \tag{25}$$

то функция $I(\lambda)$ в указанном диапазоне должна удовлетворить условию

$$I'(\lambda) < 0; I'(\lambda) = \exp(\lambda + c) - I(\lambda). \tag{26}$$

- 2) Если в диапазоне длин волн $\lambda_1 + c - \lambda_2 + c$ имеет место неравенство

$$I(\lambda) < \exp(\lambda + c), \tag{27}$$

то функция $I(\lambda)$ в указанном диапазоне должна удовлетворить условию:

$$I'(\lambda) > 0; I'(\lambda) = \exp(\lambda + c) - I(\lambda). \tag{28}$$

Условия (25)-(26) иллюстрированы на рис. 3.

На рис. 4 приведена условная графическая интерпретация условий (27) и (28).

2. Обсуждение

Таким образом рассмотрен вопрос о применении условий уравнения Эйлера для оптимизации трех режимов пассивного дистанционного зондирования атмосферных газов. Обсуждены режимы использования только основного сигнала спектрометра, совместной суммы основного и производного сигнала, только производного сигнала. В качестве примера рассмотрен квадратичный функционал оптимизации, составленный из квадрата суммы основного измерительного сигнала пассивного зондирования атмосферы и его производной по длине волны. Определены основные требования к указанным функциям в оптимальном режиме измерения на выбранном интервале длин волн.

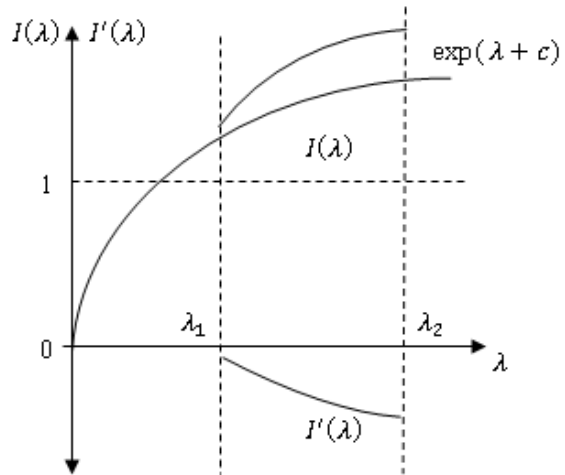


Рис. 3. Условная графическая интерпретация условий (25) и (26) для выбора оптимальной функции $I(\lambda)$

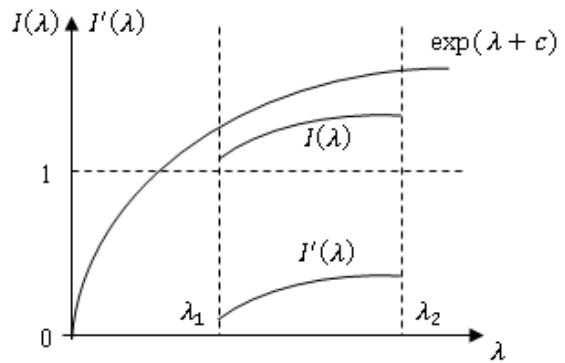


Рис. 4. Условная графическая интерпретация условий (27) и (28) для выбора оптимальной функции $I(\lambda)$

Заключение

Предложено применение решения задачи Эйлера в области вариационного исчисления для оптимизации пассивного дистанционного зондирования атмосферных газов. Составлен функционал цели, названный функционалом Эйлера-Бугера и проанализированы условия оптимизации трех режимов измерения атмосферных газов: без производного спектра, с основным и производным спектром, только с использованием производного спектра.

Литература

1. Ortiz J.D., Avouris D.M., Schiller S.J., Luvall J.C., Lekki J.D. Evaluating visible derivative

- spectroscopy by varimax-rotated, principal component analysis of aerial hyperspectral images from the western basin of lake Erie// *Journal of great lakes research*. 45(3). 2019. P. 522-535. <http://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.03.005>.
2. *Bostater C.R.* High order derivative spectroscopy for selecting spectral regions&channels for remote sensing algorithm development// Part of the EUROPTO Conference on remote Sensing for earth science applications. Florence, Italy. September 1999.
 3. *Shafique N.A., Fulk F., Cornier S.M., Autrey B.C.* Coupling hyperspectral remote sensing with field spectrometer to monitor inland water quality parameters.
 4. *Hong Y., Chen Y., Yu L., Liu Y., Zhang Y., Liu Y., Cheng H.* Combining fractional order derivative and spectral variable selection for organic matter estimation of homogeneous soil samples by VIS-NIR spectroscopy// *Remote Sens*. 2018. P. 479.
 5. *Louchard E.M., Reid R.P., Stephens C.F., Davis C.O., Leathers R.A., Downes T.V.* Derivative analysis of absorption features in hyperspectral remote sensing data of carbonate sediments// *Optics express*. Vol. 10. No. 26. 2002.
 6. *Girona T., Realmuto V., Lundgren P.* Large-scale thermal unrest of volcanoes for years prior to eruption// *Nature Geoscience* 14. 2021. P. 238-241.
 7. *Chuvieco E., Mouillot F., Werf G. R., San Miguel J., Tanase M., Koutsias N. et al.* Historical background and current developments for mapping burned area from satellite observation// *Remote Sens. Environ*. 225. 2021. P. 45-64.
 8. *Klapp I., Yafin P., Oz N., Brand O., Bahat I., Goldshtein E, et al.* Computational end-to-end and super-resolution methods to improve thermal infrared sensing for agriculture// *Precision agriculture* 22. 2021. P. 452-474.
 9. *Klanner L., Hoveler K., Khordakova D., Perfahl M., Rolf C., et al.* A powerful lidar system capable of 1 h measurements of water vapour in the troposphere and the lower stratosphere as well as the temperature in the upper stratosphere and mesosphere// *Atmos. Meas. Tech*. 14. 2021. P. 531-555.
 10. *Kuhn J., Bobrowski N., Lubcke P., Vogel L., Platt U.* A fabry-perot interferometer-based camera for two-dimensional mapping of SO₂ distributions// *Atmos. Meas. Tech*. 7. 2014. <https://doi.org/10.5194/amt-7-3705-2014>.
 11. *Kuhn J., Bobrowski N., Platt U., Wagner T.* Towards imaging of atmospheric trace gases using Fabry-Perot interferometer correlation spectroscopy in the UV and visible spectral range// *Atmos. Meas. Tech*. 12. 2019. <https://doi.org/10.5194/amt-12-735-2019>.
 12. *Гуцин Г.П., Виноградова И.Н.* Суммарный озон в атмосфере// *Гидрометеоздат*. 1983. С. 121.
 13. *Горбунов К.Ю., Любецкий В.А.* Линейный алгоритм кратчайшей перестройки графов при разных ценах операций// *Информаций. Процессы*. 2016. Т. 16. № 2. С. 223-236.
 14. *Lyubetsky V.A., Gershgorin R.A., Seliverstov A.V., Gorbunov K.Yu.* Algorithms for reconstruction of chromosomal structures// *BMC Bioinformatics*. 2016. Vol. 17. P. 40.1-40.23.
 15. *Braga M.D.V., Stoye J.* Sorting linear genomes with rearrangements and indels// *IEEE/ACM trans. On computational biology and bioinformatics*. 2015. Vol. 12. No. 3. P. 1-13.
 16. *Poberovskii A.V., Makarova M.V., Rakitin A.V. et al.* Variability of total column amounts of climate influencing gases obtained from ground based high resolution spectroscope measurements// *Dokl. Akad. Nauk* 432 (2). 2010. P. 257-259.
 17. *Ельчищева Ю.Б.* Спектрофотометрические методы анализа: учебное пособие// Пермский государственный национальный исследовательский университет. 2023. С. 188.
 18. *Абрамов В.М., Егоров А.Д., Потанова И.А.* Методологические основы оптической спектрометрии атмосферного аэрозоля для геоинформационного обеспечения поддержки решений при рациональном природопользовании// *Спецлит*. 2016. С. 103.
 19. *Михайлов А.В.* Методы оптимизации а примерах и задачах// М. Издательский комплекс МГУПП. 2009. С. 93.

Асадов Хикмет Гамид оглы. НИИ Аэрокосмической информатики Национального Аэрокосмического Агентства, г. Баку, Республика Азербайджан. Начальник отдела. Доктор технических наук, профессор. Область научных интересов: информационно-измерительные системы, системный анализ, дистанционное зондирование, экология. E-mail: asadzade@rambler.ru (ответственный за переписку)

Абилова Наргиз Шамил гызы. НИИ Аэрокосмической информатики Национального Аэрокосмического Агентства, г. Баку, Республика Азербайджан. Зам. начальника отдела. Докторант (аспирант). Область научных интересов: информационно-измерительные системы, системный анализ, дистанционное зондирование, экология. E-mail: nergiz.ebilova36@gmail.com

Issues of system analysis of passive remote sensing of atmospheric gases

H.H. Asadov, N.S. Abilova

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract. The issues of system analysis and synthesis of passive remote sensing systems for atmospheric gases are considered. The possibility of applying the solution of the Euler problem in the field of calculus of variations to optimize passive remote sensing of atmospheric gases is considered. The objective functional, called the Euler-Booger functional, is compiled and the optimization conditions for three atmospheric gas measurement modes are analyzed: (a) without a derivative spectrum; (b) with a basic and derivative spectrum; (c) using the derived spectrum only. Equations are obtained for the formation of an optimal relationship between the optical thickness of the atmosphere and the extra-atmospheric solar radiation flux at which the target functional called the Euler-Booger functional reaches a maximum.

Keywords: *optical thickness, extra-atmospheric radiation, remote sensing, atmospheric gases, system analysis*

DOI: 10.14357/20790279240205 **EDN:** JZKOBС

References

1. Ortiz J.D., Avouris D.M., Schiller S.J., Luvall J.C., Lekki J.D. Evaluating visible derivative spectroscopy by varimax-rotated, principal component analysis of aerial hyperspectral images from the western basin of lake Erie// *Journal of great lakes research*. 45(3). 2019. P. 522-535. <http://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.03.005>.
2. Bostater C.R. High order derivative spectroscopy for selecting spectral regions&channels for remote sensing algorithm development// Part of the EUROPTO Conference on remote Sensing for earth science applications. Florence, Italy. September 1999.
3. Shafique N.A., Fulk F., Cornier S.M., Autrey B.C. Coupling hyperspectral remote sensing with field spectrometer to monitor inland water quality parameters.
4. Hong Y., Chen Y., Yu L., Liu Y., Zhang Y., Liu Y., Cheng H. Combining fractional order derivative and spectral variable selection for organic matter estimation of homogeneous soil samples by VIS-NIR spectroscopy// *Remote Sens*. 2018. P. 479.
5. Louchard E.M., Reid R.P., Stephens C.F., Davis C.O., Leathers R.A., Downes T.V. Derivative analysis of absorption features in hyperspectral remote sensing data of carbonate sediments// *Optics express*. Vol. 10. No. 26. 2002.
6. Girona T., Realmuto V., Lundgren P. Large-scale thermal unrest of volcanoes for years prior to eruption// *Nature Geoscience* 14. 2021. P. 238-241.
7. Chuvieco E., Mouillot F., Werf G. R., San Miguel J., Tanase M., Koutsias N. et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite observation// *Remote Sens. Environ*. 225. 2021. P. 45-64.
8. Klapp I., Yafin P., Oz N., Brand O., Bahat I., Goldshtein E, et al. Computational end-to-end and super-resolution methods to improve thermal infrared sensing for agriculture// *Precision agriculture* 22. 2021. P. 452-474.
9. Klanner L., Hoveler K., Khordakova D., Perfahl M., Rolf C., et al. A powerfull lidar system capable of 1 h measurments of water vapour in the troposphere and the lower stratosphere as well as the temperature in the upper stratosphere and mesosphere// *Atmos. Meas. Tech*. 14. 2021. P. 531-555.
10. Kuhn J., Bobrowski N., Lubcke P., Vogel L., Platt U. A fabry-perot interferometer-based camera for two-dimensional mapping of SO₂ distributions// *Atmos. Meas. Tech*. 7. 2014. <https://doi.org/10.5194/amt-7-3705-2014>.
11. Kuhn J., Bobrowski N., Platt U., Wagner T. Towards imaging of atmospheric trace gases using Fabry-Perot interferometer correlation spectroscopy in the UV and visible spectral range// *Atmos. Meas. Tech*. 12. 2019. <https://doi.org/10.5194/amt-12-735-2019>.
12. Gushchin G.P., Vinogradova I.N. Total ozone in the atmosphere// *Hydrometeorological data*. 1983. p. 121.(In Russ).
13. Gorbunov K.Yu., Lyubetsky V. A. Linear algorithm of the shortest graph rearrangement at different transaction prices// *Informatiy. Processes*. 2016. Vol. 16. No. 2. P. 223-236 (In Russ).
14. Lyubetsky V.A., Gershgorin R.A., Seliverstov A.V., Gorbunov K.Yu. Algorithms for reconstruction of chromosomal structures// *BMC Bioinformatics*. 2016. V. 17. P. 40.1-40.23.
15. Braga M.D.V., Stoye J. Sorting linear genomes with rearrangements and indels// *IEEE/ACM trans. On computational biology and bioinformatics*. 2015. Vol. 12. No. 3. P. 1-13.
16. Poberovskii A.V., Makarova M.V., Rakitin A.V. et al. Variability of total column amounts of climate

- influencing gases obtained from ground based high resolution spectroscopy measurements// Dokl. Akad. Nauk 432 (2). 2010. P. 257-259.
17. *Yelchishcheva Yu.B.* Spectrophotometric methods of analysis: textbook// Perm State National Research University. 2023. P. 188 (In Russ).
18. *Abramov V.M., Egorov A.D., Potapova I.A.* Methodological foundations of optical spectrometry of atmospheric aerosol for geoinformation support of decision support in rational environmental management// Special edition. 2016. P. 103 (In Russ).
19. *Mikhailov A.V.* Optimization methods in examples and tasks// M. Publishing complex MGUPP. 2009. P. 93 (In Russ).

Asadov Hikmet Hamid oglu. Research Institute of Aerospace Informatics of the National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan. The head of the department. Doctor of Technical Sciences, Professor. Research interests: information and measurement systems, system analysis, remote sensing, ecology.
E-mail: asadzade@rambler.ru (responsible for correspondence)

Abilova Nargiz Shamil gizi. Research Institute of Aerospace Informatics of the National Aerocosmic Agency, Baku, Republic of Azerbaijan. Deputy. the head of the department. Doctoral student (post-graduate student). Research interests: information and measurement systems, system analysis, remote sensing, ecology.
E-mail: nergiz.ebilova36@gmail.com

Управление рисками и безопасностью

Оптовый продовольственный рынок как общественно значимый инвестиционный проект

И.А. Миронова, Т.И. Тищенко, М.П. Фролова

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук», г. Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена обоснованию необходимости государственного финансирования проектов создания оптовых продовольственных рынков (ОПР), которые рассматриваются в качестве общественно значимых инвестиционных проектов. Отмечается и подробно анализируется факт проявления основного эффекта от создания ОПР вне рамок проекта и коммерческая неэффективность последнего. Рассмотрены основные виды внешних эффектов создания ОПР. В качестве дополнительного аргумента в пользу необходимости государственного финансирования развития ОПР приводятся исторические данные о неудавшихся попытках развития данного вида логистической инфраструктуры в Российской Федерации и, в частности, в Москве, начиная с 90-х годов прошлого века.

Ключевые слова: *оптовый продовольственный рынок, общественно значимый проект, внешний эффект, реальная общественная прибыль, государственное финансирование.*

DOI: 10.14357/20790279240206 **EDN:** KUOHNE

Введение

Понятие «общественно значимый инвестиционный проект» введено авторами для обозначения инвестиционного мероприятия, основные результаты которого проявляются в экономических показателях деятельности юридических и физических лиц, не являющихся его непосредственными участниками (инвесторов, проектировщиков, строителей, хозяйствующих субъектов, эксплуатирующих созданный объект недвижимости). Такого рода проекты по объективным обстоятельствам нуждаются в государственном финансировании в том или ином виде. Причина проста – частный инвестор гарантиро-

ванно не получит прибыли от реализации данного проекта в течение устраивающего его срока, а значит у него нет мотива вкладывать в проект собственные средства [1, 2].

Наряду с магистральной транспортной инфраструктурой, о которой шла речь в предыдущих работах авторов на рассматриваемую тему [1-4], к общественно значимым проектам относится большинство объектов энергетической, информационно-коммуникационной и логистической инфраструктуры, продовольственного рынка, в первую очередь, оптовые продовольственные рынки.

Оптовый продовольственный рынок – это предприятие, предоставляющее оборудованные

торговые места и сопутствующие услуги конкурирующим между собой оптовым торговцам для осуществления ими оптовой торговли сельскохозяйственной продукцией и продовольствием в определенном месте, в определенное время и по установленным правилам¹.

Оптовый продовольственный рынок как хозяйствующий субъект не осуществляет торгово-закупочную деятельность. Его основным функционалом является организация оптового оборота: предоставление помещений, необходимого оборудования, оказание других услуг для торговли производителям продукции и оптовым организациям.

Оптовый продовольственный рынок – это инфраструктура распределения скоропортящихся продуктов питания, для которых скорость доведения от производителя до «прилавка» существенно влияет на качество и цену товара. Это продукты питания местного производства, имеющие относительно короткие сроки годности: фрукты, ягоды, овощи, зелень, мясо и мясопродукты, рыба и рыбопродукты, морепродукты и т.п.

Скоропортящаяся продукция входит в ежедневный рацион питания населения, непосредственно влияет на его здоровье и качество жизни. Ее поставки должны осуществляться бесперебойно и иметь максимально простую логистику с минимальным количеством звеньев. Это обеспечит качество и ценовую доступность данной продукции для населения, с одной стороны, а с другой – даст возможность производителям создавать новые производства и наращивать уже действующие без опасений, что продукцию некому будет продавать (по справедливой рыночной цене) и где-то будет хранить.

Проекты, о которых идет речь, также как, например, проект создания высокоскоростной магистрали, уникальны. Это не массовое строительство рынков в городах и населенных пунктах. Каждый ОПР представляет собой некую конгломерацию, расположенную в черте крупного города или рядом с городом, на территории которой организована в том или ином виде (в зависимости от вида продукции, сезона и т.д.) оптовая торговля свежей продовольственной продукцией, а также прочая деятельность, связанная с обеспечением этой торговли. В среднем площадь такого оптового предприятия может составлять не менее 50 гектаров.

1. Государственная поддержка ОПР за рубежом

Социальная значимость свежих продуктов питания признана во всем мире. В большинстве стран развитие и функционирование инфраструктуры распределения таких продуктов планируется и финансируется при существенной поддержке государства в разных формах [5, 6].

Оптовые продовольственные рынки строятся с участием государства, которому, как правило, принадлежит значительная часть акций в акционерных компаниях, управляющих рынками. Эти компании получают от государства долгосрочную концессию на право пользования землей и недвижимостью. Государство осуществляет карантинный, санитарный и таможенный контроль на оптовых продовольственных рынках. Цены, устанавливающиеся в результате свободной конкуренции, фиксируются общегосударственной информационной системой и являются общедоступными.

В документах Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) в части планирования, проектирования и управления оптовыми продовольственными рынками (Wholesale Market Management)² подчеркивается необходимость государственного участия в этих процессах, что связано с обязанностями и функциями национальных правительств по обеспечению адекватного снабжения населения городов продовольствием. Не случайно во многих странах количество оптовых продовольственных рынков совпадает с количеством крупных городов.

В Европе большинство оптовых продовольственных рынков являются государственными. В Испании функционирует компания «Меркаса», 100% акций которой принадлежит государству. Компания владеет 23 оптовыми рынками сельхозпродукции, через которые проходит до 65% оптовых продаж в стране фруктов и овощей, до 55% – рыбы и морепродуктов. Рынки располагаются на окраинах крупных городов. Розничная торговля на ОПР в стране запрещена. В каждом отдельном ОПР учредителями и владельцами являются управляющая компания «Меркаса» и местный муниципалитет. Сотрудники «Меркасы» собирают информацию о средних отпускных ценах на продовольственные товары, реализуемые на ОПР, и отправляют их в Правительство Испании. Эти цены публикуются и являются индикатором для оптовых продавцов и покупателей, в том числе и при госзакупках продовольствия.

¹ Распоряжение Правительства РФ от 27.09.2021 № 2689-р «Об утверждении Концепции развития оптовых продовольственных рынков в РФ».

² <https://www.fao.org/sustainable-food-value-chains/library/details/en/c/266438/> (дата обращения: 20.08.2023).

Во Франции правительством создано 16 национальных оптовых рынков, через которые проходит 45% оптовых продаж в стране овощей и фруктов³.

В Польше оптовые продовольственные рынки начали строиться в конце 90-х годов прошлого века в рамках «Программы организации оптовых рынков и товарных бирж на период до 2000 года». В настоящее время их по всей стране насчитывается 27, из которых 5 – межрегиональных, остальные предназначены для обслуживания близлежащих городов региона. На создание этих рынков государство потратило порядка 100 млн евро, что составляет примерно 20% всего привлеченного на эти цели капитала [7].

В Италии, Германии, США, Японии государство развивает собственную инфраструктуру оптовой торговли продовольствием. В США наряду с частными функционируют продовольственные рынки государственной и смешанной собственности.

Оптовый продовольственный рынок как коммерческое предприятие должен окупаться и давать прибыль за счет предоставления услуг оптовым продавцам и оптовым покупателям. При этом тарифы на услуги рынка должны обеспечивать стабильные оптовые цены на социально значимые виды продовольствия. Возникает неизбежное противоречие между общественным интересом и интересом владельца рынка. Выход – государственное финансирование и предоставление рынку возможности зарабатывать на дополнительных услугах. Практика показывает, что последнее может иметь место, но, как правило, недостаточно для того, чтобы преодолеть убыточность бизнеса. Очевидно, что, если основная функция рынка не приносит прибыли, она будет реализована недостаточно эффективно и перевес внимания и средств будет происходить в пользу прочих функций, собственно обеспечивающих доход.

Зарубежная практика подтверждает данный тезис. Большинство ОПР испанской компании «Меркаса» первые 10 лет были убыточными. Государство, создавая систему ОПР, не преследовало цели извлечение прибыли за счет взимания арендной платы с оптовых торговцев, которая всегда была и остается в Испании относительно низкой. Многие ОПР страны стали прибыльными спустя более десятка лет после их открытия только за счет предоставляемых администрацией рынка сопутствующих сервисов, которыми торговцы и оптовые покупатели могут при желании пользоваться (логистика, подготовка товаров к продаже, уборка, банковская деятельность, гостиницы, рестораны и т.д.).

³ <https://agrocart.com/889/mirovoj-opyt-optovykh-rynkov> (дата обращения: 10.09.2023).

2. Российская практика создания ОПР

Коммерческая неэффективность деятельности оптовых продовольственных рынков подтверждается и российской практикой. Начиная с 90-х годов прошлого века в поле зрения органов власти несколько раз попадала проблема оптовых продовольственных рынков, поскольку советская плановая система распределения сельскохозяйственной продукции и продовольствия была разрушена, а на смену ей пришел рынок, на котором продавцы и покупатели свежих скоропортящихся продуктов «потеряли» друг друга.

Крупные производители продовольствия в лице агрохолдингов и крупные оптовые покупатели в лице торговых сетей сумели построить каналы товародвижения, организовать логистику, в то время как множество мелких производителей сельскохозяйственной продукции и продовольствия стали, по существу, «жертвами» мелких оптовых фирм, потеряли гарантированные каналы сбыта и возможности хранить продукцию в надлежащих условиях и т.п. [8].

При этом не встроенные во вновь созданные логистические цепочки крупных производителей, оптовых поставщиков и розничных торговых сетей мелкие торговцы (несетевые магазины, палатки, киоски, в том числе на розничных рынках) также не имели гарантированных возможностей получать свежие продукты по оптимальным оптовым ценам.

Первая попытка создать государственные оптовые продовольственные рынки предпринималась в 1994 году, когда Правительство Российской Федерации выпустило соответствующее постановление⁴. Через несколько лет была принята «Комплексная программа развития инфраструктуры товарных рынков РФ на 1998-2005 годы», в рамках которой предусматривалось создать 70 оптовых продовольственных рынков в 29 регионах России.⁵ Финансирование мероприятий по развитию ОПР, согласно программе, должны были осуществлять администрации (правительства) субъектов Российской Федерации с привлечением средств заинтересованных организаций. В случае выигрыша конкретным проектом инвестиционного конкурса финансирование могло осуществляться из федерального бюджета на возвратной основе.

Первым по этой программе был открыт Волгоградский оптовый продовольственный рынок,

⁴ Постановление Правительства Российской Федерации от 23.02.1994 №126 «Об экономических условиях функционирования агропромышленного комплекса Российской Федерации в 1994 году».

⁵ Приложение №2 к Комплексной программе развития инфраструктуры товарных рынков РФ на 1998-2005 годы. Утв. Постановление Правительства РФ от 15 июня 1998 г. №593.

созданный для отработки технологической, организационной и управленческой модели⁶. Учредителями рынка были администрации города Волгограда и Волгоградской области, Министерство сельского хозяйства Российской Федерации и товаропроизводители Волгоградской области. В качестве вклада в акционерное общество городская администрация передала имущество в виде плодово-овощной и продовольственной баз советской постройки. В дальнейшем мэрия вкладывала в предприятие бюджетные деньги, увеличив в результате дополнительных эмиссий свою долю до 44%. В начале 2003 года мэрия продала свои акции частному предприятию. В 2003 году после смены руководства города мэрия подала в Волгоградский арбитражный суд иск о признании недействительной приватизацию муниципального имущества рынка и возврате этого имущества в муниципальную собственность. В 2006 году организация закончила свое существование в том виде, в котором создавалась в рамках госпрограммы.

Московское правительство также в прошлом уделяло большое внимание проблеме развития оптовых продовольственных рынков. В середине 90-х было принято решение о строительстве 25 оптовых продовольственных рынков. В 1995 году было создано акционерное общество «Оптовые продовольственные рынки Москвы», которое эту программу должно было осуществлять. Программа не выполнена: были построены только два рынка – «Садовый» (40 тыс. кв. м) и «Отрадное» (22 тыс. кв. м), деятельность которых в настоящее время далека от модели оптового продовольственного рынка. Причина – отсутствие финансирования, в том числе, связанное с экономическим кризисом 1998 года.

В 2001 году Правительство Москвы приняло новую программу развития оптовой торговли продовольствием на 2002–2004 годы⁷. На базе плодово-овощных объединений предполагалось создать девять универсальных оптовых продовольственных рынков, контрольный пакет акций которых должен был находиться в собственности Москвы. Стоимость программы оценивалась примерно в 2,8 млрд руб., из которых 499 млн руб. должно было выделить правительство Москвы. Планы не были реализованы.

⁶ Постановление Правительства РФ от 13.10.94 № 1121 «О создании Федеральной продовольственной корпорации и системы оптовых продовольственных рынков»; постановление Администраций Волгоградской области от 24.07.95 № 374 и города Волгограда от 24.07.95 № 697п.

⁷ Постановление Правительства Москвы от 23.04.2002 № 306-ПП «О мерах по развитию оптовой торговли продовольствием в г. Москве на 2002–2004 гг.».

Причины всех перечисленных выше «провалов» сводятся к одному: государственные средства не выделяются в необходимом количестве, а частный бизнес не видит экономического смысла вкладываться в инфраструктуру оптового продовольственного рынка. Если государство прекращало контроль над уже созданным рынком (путем приватизации, сокращения доли в акционерном капитале и т.д.), владельцы объекта подчиняли его деятельность достижению максимальной прибыли. Это проявлялось в ставках аренды, ассортименте реализуемой продукции, доле в ней импорта, составе участников торговли и т.д.

В 2014 году по инициативе Минпромторга России вопросы создания системы оптовых продовольственных рынков вновь начали разрабатываться на теоретическом уровне, были предложены соответствующие изменения в законодательство Российской Федерации, разработана Концепция развития оптовых продовольственных рынков. Однако до практической реализации разработанных теоретических положений не дошло.

Наконец, в 2021–2022 годах Правительством Российской Федерации были утверждены Концепция развития оптовых продовольственных рынков в Российской Федерации⁸ и План мероприятий по реализации Концепции развития продовольственных рынков Российской Федерации на 2022–2026 годы⁹. Минпромторгом России выпущены Методические рекомендации по организации оптовых продовольственных рынков в Российской Федерации¹⁰.

Таким образом, новая попытка создания оптовой продовольственной инфраструктуры имеет место. Возможно, она будет успешнее предыдущих, по крайней мере, после преодоления текущего экономического и геополитического кризиса [9].

3. Критерий оценки социально-экономической эффективности проекта создания ОПР

На наш взгляд, предыдущие попытки окончились неудачей в том числе по причине недостаточного научного обоснования общественной значимости такого рода проектов и вытекающей отсюда практической необходимости и даже в какой-то степени неизбежности государственного финансирования.

⁸ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.09.2021 № 2689-р.

⁹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.04.2022 № 832-р.

¹⁰ Об утверждении методических рекомендаций по организации оптовых продовольственных рынков в Российской Федерации. Приказ Минпромторга России от 25.03.2022 № 1006.

Деятельность рассматриваемых логистических объектов носит обслуживающий характер, поэтому их создание и функционирование имеет многоаспектные экономические, социальные и иные последствия. Эта особенность, как правило, приводит к низким показателям коммерческой эффективности проектов создания оптовых продовольственных рынков и требует привлечения для их реализации ассигнований из бюджетных источников, в том числе на принципах государственно-частного партнерства.

Показатель социально-экономической¹¹ эффективности общественно значимого проекта должен учитывать допускающее стоимостное измерение последствия осуществления проекта для рассматриваемой общественной системы, включая затраты и результаты в смежных областях, в предположении, что все результаты проекта используются этой общественной системой, и за счет ее ресурсов производятся все затраты, необходимые для реализации проекта. Среди этих последствий – снижение розничных цен на свежие продукты, сокращение потерь сельскохозяйственной продукции и продуктов питания, увеличение ассортимента и качества, повышение территориальной доступности продовольствия, рост прибыли представителей малого и среднего предпринимательства в сельском хозяйстве, оптовой и розничной торговле, общественном питании за счет увеличения рынка сбыта и сокращения оптовых цен.

В качестве критерия оценки эффективности общественно значимого инфраструктурного проекта предлагается величина реальной общественной прибыли (РОП) в конце расчетного периода проекта (время реализации плюс обоснованно выбранный период функционирования созданных основных средств) [1, 2, 10].

Эта величина определяется как алгебраическая сумма наращенного к концу расчетного периода проекта дохода (с учетом оптимального использования получаемых доходов в течение этого срока) и приведенной к тому же моменту упущенной выгоды от возможного альтернативного вложения инвестиций, выделенных на проект:

$$\begin{aligned} \text{РОП} = \sum_{n=1}^N & [\mathcal{E}_n^{\text{внут}} \times (1 + d_n)^{t_n - t_n} + \mathcal{Z}_n^{\text{внут}} \times (1 + E_n)^{t_n - t_n} + \\ & \mathcal{E}_n^{\text{внеш}} \times (1 + d_n)^{t_n - t_n} + \mathcal{Z}_n^{\text{внеш}} \times (1 + E_n)^{t_n - t_n} + \\ & + (\Delta\text{ДБ}_n + \Delta\text{ДН}_n + \text{СП}_n + \text{ЭП}_n) \times (1 + \beta)^{t_n - t_n}] \geq 0, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_n^{\text{внут}}$, $\mathcal{Z}_n^{\text{внут}}$ – эффекты и затраты (потери), соответственно, непосредственных участников проекта в году n ;

$\mathcal{E}_n^{\text{внеш}}$, $\mathcal{Z}_n^{\text{внеш}}$ – эффекты и затраты (потери) экономических субъектов, не участвующих в проекте, связанные с реализацией проекта (внешние эффекты) в году n ;

$\Delta\text{ДБ}_n$ – прирост доходов консолидированного бюджета Российской Федерации в связи с реализацией проекта в году n ;

$\Delta\text{ДН}_n$ – прирост доходов населения в связи с реализацией проекта в году n ;

СП_n – оценка социальных последствий реализации проекта в году n ;

ЭП_n – оценка влияния реализации проекта на окружающую среду в году n ;

N – продолжительность расчетного периода проекта;

d_n – доходность обобщенного депозита при использовании средств, полученных в ходе реализации проекта, принимаемая для года n ;

β – единая ставка компаундирования для приведения стоимостных оценок внешнего эффекта к концу расчетного периода проекта;

E_n – ставка компаундирования, принимаемая для года n .

Данный критерий дает оценку эффективности проекта именно с позиций общества. Он учитывает ограниченность всех видов ресурсов, требующихся для реализации проекта, возможность их использования в других сферах; предусматривает повторное инвестирование средств, получаемых в ходе реализации проекта.

Модель расчета реальной общественной прибыли включает внешние эффекты (в отличие от внутренних эффектов) – результаты реализации проекта, не оказывающие влияния на стоимостные показатели экономической деятельности его участников, демонстрируя тем самым равнозначность для общества затрат и результатов проекта, относящихся как к его непосредственным участникам, так и к экономическим субъектам (включая физических лиц), не имеющим к нему прямого отношения [3,4,10].

В рамках модели оценки общественной эффективности проект рассматривается на протяжении длительного отрезка времени. Параметры модели меняются по годам расчетного периода и зависят от изменения во времени ключевых характеристик мирового и российского финансовых рынков (валютных курсов, ставок налогов, ставок по кредитам и депозитам, ключевой ставки, доходности ценных бумаг и т.д.), уровня инфляции, уровня цен и тарифов на основные виды ресурсов и услуг (топливо, электроэнергия, транспорт и т.д.).

Состав внешних эффектов, степень их общественной значимости для региона существенным

¹¹ Авторы рассматривают понятия «общественная эффективность», «социально-экономическая эффективность» и «системная эффективность» инвестиционных проектов как синонимы.

образом зависят от конкретного проекта и его целей. Он обуславливается, в значительной степени, социально-экономическими показателями региона влияния проекта.

В дополнение к внутренним притокам и оттокам денежных средств участников проекта при оценке социально-экономической эффективности создания оптового продовольственного рынка рассматриваются притоки и оттоки денежных средств в виде дополнительной прибыли:

- производителей сельскохозяйственной продукции и перерабатывающих предприятий в регионе влияния проекта в связи с увеличением объемов реализации продукции, сокращением дальности перевозок и снижением потерь готовой продукции;
- транспортных и логистических компаний, работающих в регионе, за счет увеличения объемов деятельности;
- предприятий торговли и общественного питания за счет снижения оптовых цен на свежие продукты, расширения ассортимента.

В качестве отдельной составляющей реальной общественной прибыли проекта рассматриваются доходы населения, полученные в результате реализации проекта, и доходы консолидированного бюджета Российской Федерации и государственных внебюджетных фондов.

При оценке социально-экономической эффективности проекта в отличие от расчета коммерческой эффективности доходы физических лиц, налоги и платежи в бюджет считаются частью общественной прибыли, а не частью затрат. Прирост доходов населения в регионах влияния проекта включает дополнительные доходы работников промышленных и торговых предприятий, транспортных и логистических компаний.

Доходы консолидированного бюджета Российской Федерации и государственных внебюджетных фондов складываются из:

- экономии бюджетных расходов на выплату пособий по безработице в связи с реализацией проекта на стадиях строительства и эксплуатации в регионах с высоким уровнем безработицы;
- прироста доходов федерального, регионального бюджетов и государственных внебюджетных фондов за счет дополнительных налогов, сборов, платежей, включая:
 - а) прирост налогов на дополнительную прибыль действующих перерабатывающих и сельскохозяйственных предприятий за счет роста производства и расширения возможности реализации продукции; увеличение выплат страховых взносов и налога на дохо-

ды физических лиц за счет увеличения количества работающих и/или роста заработной платы на этих предприятиях;

- б) прирост налогов на дополнительную прибыль предприятий торговли, общественного питания, транспортных и логистических компаний в регионе влияния проекта; увеличение выплат страховых взносов и налога на доходы физических лиц этими предприятиями.

Реальные денежные потоки, в том числе не связанные с участниками проекта, не исчерпывают всех последствий его реализации для общества, поскольку не все внешние эффекты можно представить в виде выгоды или ущерба хозяйствующего субъекта – юридического или физического лица. Поэтому в денежные потоки проекта при расчете реальной общественной прибыли включены условные (в отличие от реальных) денежные потоки, связанные с качеством жизни населения в регионе влияния и экологическими последствиями реализации проекта. Цель такого включения – учесть общественные интересы.

Оценка социальных последствий реализации проекта создания ОПР может включать, например, экономию затрат населения на продукты питания.

Оценка влияния реализации проекта на окружающую среду может включать стоимость отчуждаемой земли сельскохозяйственного назначения в виде оттока денежных средств; денежную оценку сокращения ущерба от вредных выбросов в атмосферу населенных пунктов в регионе влияния проекта за счет рационализации транспортных потоков в связи с созданием ОПР на окраине населенного пункта и т.д.

Оценка экономии затрат населения на продукты питания должна быть основана на данных Росстата о средних оптовых ценах в регионе на товары рассматриваемых категорий и научно обоснованном прогнозе динамики средних оптовых цен после начала функционирования новой системы дистрибуции, созданной в результате организации ОПР.

Денежная оценка влияния проекта на окружающую среду должна осуществляться на основе действующих нормативно-правовых и инструктивно-методических документов, регламентирующих вопросы природопользования и охраны окружающей среды.

Все описанные выше виды внешних эффектов имеют место только при определенных обстоятельствах, связанных как с характеристиками проекта, так и с уровнем развития оптовой и розничной дистрибуции продовольственных товаров на территории региона. Например, нельзя безусловно считать внешний эффект от роста занятости

населения за счет реализации проекта. Для этого должны быть определенные основания в виде, например, избытка трудовых ресурсов в регионе.

Еще одна немаловажная деталь, связанная с расчетом внешних эффектов, – это необходимость дополнительных инвестиций в производства, которые являются объектами положительного влияния рассматриваемого проекта. К примеру, если развитие производства в регионе тормозилось недостатком сбытовой инфраструктуры, то создание последней само по себе не решит данную проблему. Нужны инвестиции в производство, которые следует вычестить при оценке внешнего эффекта.

В качестве источников информации для расчета значений внешних эффектов от реализации проекта рассматриваются проектные материалы (вариант ТЭО создания объекта инфраструктуры на момент расчетов): данные Росстата; перспективные планы и прогнозы органов регионального управления; результаты специальных маркетинговых исследований, экспертных опросов, проведенных разработчиками или оценщиками проекта (или сделанные по их заказу); данные государственных и региональных министерств и ведомств, получаемые по специальным запросам или имеющиеся в открытом доступе и т.д.

Величину внешних эффектов предлагается рассчитывать по установленным формулам с использованием соответствующих нормативных и удельных характеристик. Алгоритмы расчета строятся таким образом, чтобы значения большинства параметров можно было оценивать на основании данных из перечисленных выше источников информации [10].

Как уже подчеркивалось ранее, при оценке эффективности по критерию «реальная общественная прибыль» все параметры формулы (1) должны иметь стоимостную оценку. При этом прочие аргументы в пользу или против реализации проекта, которые невозможно оценить в деньгах, с точки зрения решаемой задачи рассмотрению не подлежат и должны остаться за рамками оценки социально-экономической эффективности проекта.

Заключение

По данным Росстата, за период 2022-2023 годов потребительские цены на овощи в Российской Федерации выросли на 19%, мясо птицы – на 25, говядину – на 24, свинину – на 13, огурцы свежие – на 27, помидоры свежие – на 42, яблоки – на 23% и т.п. В некоторых регионах России рост цен превысил средние значения. В Новгородской и Псковской

областях цены на мясо птицы выросли на 30%, в Красноярском крае – на 35; в Иркутской области – на 40, в Республике Тыва – на 42%. Тоже самое можно сказать и об овощной продукции. Так, темп роста цен (в течение того же периода) на помидоры и огурцы составили: в Республике Тыва – 174 и 168% соответственно; в Новосибирской области – 162 и 139% и т.д.

Во многом эти негативные тенденции в динамике цен связаны с отсутствием рациональной системы дистрибуции свежих продуктов питания, производимых в регионах. Об этом свидетельствуют и данные о товарности¹² малых форм хозяйствования в сельском хозяйстве. Согласно Росстату, например, товарность производства картофеля в крестьянско-фермерских хозяйствах составляет 58,5%; овощей – 76,1; молока – 73,6%. Специалисты связывают низкий уровень товарности с отсутствием достаточного доступа к рынку.

В этих условиях государство должно приложить все усилия, чтобы способствовать изменению тенденции с ростом цен, не нарушая законов рынка. Создание инфраструктуры продовольственной логистики, которая наряду с транспортной, энергетической, информационно-коммуникационной инфраструктурой должна рассматриваться как общественное благо, за счет бюджетного финансирования может быть одним из способов снижения (или прерывания тенденции роста) розничных цен на продукты за счет рационализации товародвижения, сокращения промежуточных звеньев, формирования информационной базы для справедливого ценообразования.

В большинстве регионов России существует проблема недостатка местных скоропортящихся продовольственных товаров в магазинах. Региональные власти пытаются решать ее, в том числе тратя огромные деньги на разработку проектов, программ, дорожных карт, организацию всякого рода мероприятий, выставок-ярмарок, закупочных сессий, промоакций и т.п. Для регионов, производящих мясо, овощи, зелень и прочую свежую продукцию, добывающих рыбную продукцию (а также соседних с ними регионов), было бы целесообразнее на окраине одного-двух крупных городов построить оптовые продовольственные рынки и наладить их функционирование.

Литература

1. *Миронова И.А., Тищенко Т.И., Фролова М.П.* Эффективность общественно значимых проек-

¹² Уровень товарности произведенной продукции определяется удельным весом реализованной продукции в натуральном выражении к объему производства данного вида продукции.

- тов // Стратегическое планирование и развитие предприятий: материалы XXIV Всероссийского симпозиума. Москва, 11–12 апреля 2023 г. / Под ред. чл.-корр. РАН Г.Б. Клейнера. М.: ЦЭМИ РАН. 2023. С. 163-168. DOI: 10.34706/978-5-8211-0814-2-s1-31, EDN: MWIQSW.
2. *Livchits V., Mironova I., Tischenko T., Frolova M., Shvetsov A.* Risk Accounting in Calculations of Public Efficiency of Large-scale Infrastructure Projects / Proceedings of the 14th International Conference “Management of Large-Scale System Development” (MLSD). М.: IEEE, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9600112> DOI: 10.1109/MLSD52249.2021.9600112.
 3. *Миронова И.А., Тищенко Т.И., Фролова М.П.* Внешние эффекты от реализации общественно значимых проектов развития транспортной инфраструктуры // Труды ИСА РАН. 2021. Т. 71. Вып. 2. С. 80-91. DOI: 10.14357/20790279210210
 4. *Миронова И.А.* Оценка внешних эффектов в расчетах общественной эффективности крупных инвестиционных проектов строительства и реконструкции участков железной дороги // Аудит и финансовый анализ. 2013. № 4. С. 200–217.
 5. *Сальникова Е.В., Попова Е.А., Полунина Н.Ю., Чернышева И.И.* Развитие инфраструктуры агропродовольственного рынка: зарубежный опыт // Современная экономика: проблемы и решения. 2018. №6 (102). С. 100-108.
 6. *Нуралиев С.У.* Концепция развития оптовых и розничных рынков и ее основные задачи в обеспечении продовольственной безопасности страны // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 35–37.
 7. *Кострова Ю.Б.* Перспективы формирования и развития оптовых продовольственных рынков в РФ // Тренды развития современного общества: управленческие, правовые, экономические и социальные аспекты: сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции. Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. С. 166-173.
 8. *Инишаков О.В., Демидов В.А.* Стратегия и тактика инновационного развития системы оптовых продовольственных рынков в России // Вестник ВолГУ. Серия 3. Экономика. 1997. Вып. 2. С. 46-51.
 9. *Зубов Д.Л., Грицай С.В., Нуралиев С.У. и др.* Сборник материалов по созданию регионального оптового продовольственного рынка: научное издание. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°». 2022. 88 с.
 10. *Миронова И.А., Тищенко Т.И., Фролова М.П.* Оценка эффективности общественно значимого проекта развития логистической инфраструктуры // Российский экономический журнал. 2023. № 5. С. 63–79.

Миронова Инна Алексеевна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» г. Москва, Россия. Главный специалист. Область научных интересов: теория оценки эффективности инвестиционных проектов. E-mail: makbat@mail.ru

Тищенко Татьяна Ивановна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник. Область научных интересов: системный анализ эффективности естественных монополий. E-mail: ttischenko@isa.ru (ответственный за переписку).

Фролова Марина Петровна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» г. Москва, Россия. Старший научный сотрудник. Область научных интересов: системный анализ эффективности естественных монополий. E-mail: marinafr2011@yandex.ru

Wholesale food market as a socially significant investment project

I.A. Mironova, T.I. Tishchenko, M.P. Frolova

Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy
Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article is devoted to substantiating the need for state financing of projects to create wholesale food markets, which are considered as socially significant investment projects. The fact of the manifestation of the main effect of creating a market outside the framework of the project and the commercial inefficiency of the latter are noted and analyzed in detail. The main types of external effects from the creation of a wholesale food market are considered. As an additional argument in favor of the need for state financing for the development of wholesale food markets, historical data on unsuccessful attempts to develop this type of logistics infrastructure in the Russian Federation and, in particular, in Moscow, since the 90s of the last century are presented.

Keywords: *wholesale food market, socially significant project, external effect, real public profit, state financing.*

DOI: 10.14357/20790279240206 **EDN:** KUOHNE

References

1. *Mironova I.A., Tishchenko T.I., Frolova M.P.* Efficiency of socially significant projects // Strategic planning and development of enterprises: materials of the XXIV All-Russian Symposium. Moscow, April 11–12, 2023 / Ed. Corresponding member RAS G.B. Kleiner. M.: 2023, CEMI RAS. P. 163-168. DOI: 10.34706/978-5-8211-0814-2-s1-31, EDN: MWIQSW (In Russ.).
2. *Livchits V., Mironova I., Tishchenko T., Frolova M., Shvetsov A.* Risk Accounting in Calculations of Public Efficiency of Large-scale Infrastructure Projects // Proceedings of the 14th International Conference “Management of Large-Scale System Development” (MLSD). M.: IEEE, 2021. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9600112> DOI:10.1109/MLSD52249.2021.9600112.
3. *Mironova I.A., Tishchenko T.I., Frolova M.P.* External effects from the implementation of socially significant projects for the development of transport infrastructure // Proceedings of ISA RAS. 2021. T. 71. Issue. 2. P. 80-91. DOI: 10.14357/20790279210210 (In Russ.).
4. *Mironova I.A.* Assessment of external effects in calculations of the social efficiency of large investment projects for the construction and reconstruction of railway sections // Audit and financial analysis. 2013. No. 4. P. 200–217 (In Russ.).
5. *Salnikova E.V., Popova E.A., Polunina N.Yu., Chernysheva I.I.* Development of infrastructure of the agri-food market: foreign experience // Modern economics: problems and solutions. 2018. No. 6 (102). P. 100-108 (In Russ.).
6. *Nuraliev S.U.* The concept of development of wholesale and retail markets and its main tasks in ensuring food security of the country // Food industry. 2021. No. 12. P. 35-37 (In Russ.).
7. *Kostrova Yu.B.* Prospects for the formation and development of wholesale food markets in the Russian Federation // Trends in the development of modern society: managerial, legal, economic and social aspects: collection of scientific articles of the 9th International Scientific and Practical Conference. Kursk: Publisher: Southwestern State University. 2019. P. 166-173 (In Russ.).
8. *Inshakov O.V., Demidov V.A.* Strategy and tactics of innovative development of the system of wholesale food markets in Russia // Bulletin of VolSU. Series 3. Economics. 1997. Issue 2. P. 46-51. (In Russ.).
9. *Zubov D.L., Gritsai S.V., Nuraliev S.U.* and others. Collection of materials on the creation of a regional wholesale food market: scientific publication. M.: Publishing and trading corporation «Dashkov and Co», 2022. 88 p. (In Russ.).
10. *Mironova I.A., Tishchenko T.I., Frolova M.P.* Evaluation of the effectiveness of a socially significant project for the development of logistics infrastructure // Russian Economic Journal. 2023. No. 5. P. 63-79 (In Russ.).

Mironova I.A. PhD in economics, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: makbat@mail.ru

Tishchenko T.I. PhD in economics, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: ttishchenko@isa.ru

Frolova M.P. PhD in economics, Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: marinafr2011@yandex.ru

Концептуальные основы цивилизационной безопасности России: социально-политический аспект

Ю.В. ПАЗЮК^{II}, В.П. ЕФИМОВА^{II}, С.Н. ОСИПОВ^I

^I Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук», г. Москва, Россия

^{II} НП ЭКЦ «МЭТ-Сертификация», г. Москва, Россия

Аннотация. В условиях сложившегося противостояния Россия-Запад делается попытка спрогнозировать логику развития общемировых процессов с позиции философии, социологии, политологии, психологии, направленных на безопасное цивилизационное развитие России. При этом делается вывод о том, что основой Евразийской модели цивилизационного развития России является человек, личные качества которого позволяют обеспечить его самореализацию и самоактуализацию с целью обеспечения защиты духовно-нравственных и культурных ценностей. Показано, что главной задачей обеспечения цивилизационной безопасности России является защита ее населения, духовно-нравственных и культурных ценностей от возможных диверсий со стороны вероятного противника, политического, идеологического и психологического характера, воспитание подрастающего поколения, развитие высоконравственной личности, разделяющей российские традиционные духовно-нравственные ценности. Выявлены причины противостояния Россия-Запад, основные вызовы и угрозы цивилизационной безопасности России со стороны США и НАТО, а также методологические подходы, принципы и направления обеспечения цивилизационной безопасности РФ.

Ключевые слова: *цивилизационная безопасность, элита, вызовы и угрозы, информационная война, цивилизационное развитие, диверсии, Евразийская локальная цивилизация.*

DOI: 10.14357/20790279240207 **EDN:** NFBXAH

Введение

Согласно прогнозам Всемирной ассоциации исследователей будущего развития человечества в третьем тысячелетии, человечество может прийти к Глобальному нравственно-экологическому кризису и, как итог, к возможной гибели всего живого на планете Земля.

Духовно-нравственные и информационные признаки кризиса заключаются в потере физического, духовного и психологического здоровья населения.

Безответственное поведение США и консолидированного Запада противоречит не только принципам международного права, но, прежде всего, общепризнанным нормам морали и нравственности. Весь, так называемый «западный блок», сформированный США по своему образу и подобию, олицетворяет теперь «империю лжи»,

где действуют двойные стандарты, приветствуется ложь и лицемерие, тотальная русофобия, попытки реабилитации и возрождения фашизма, но нет места справедливости и правде. Противостояние Россия-Запад привело к тому, что если обычная война ведется за физическое пространство и материальные активы, то новая холодная война выходит за рамки материального и представляет собой битву за метафизическое пространство смыслов и интерпретаций сознания человека.

Кардинальная причина данного кризиса связана с несоответствием между «взрывом» научно-технического прогресса общества и отставанием его духовного состояния, нравственных устоев и, прежде всего, в сознании человека. Все это требует поиска путей выхода из противостояния Россия-Запад, роли, места и статуса России в складывающемся многополярном мире.

Философия осмысления цивилизационного бытия России сегодня должна быть направлена на обеспечение ее безопасности в рамках исторически сложившейся национальной и государственной генетики, на основе ее национальной идентичности.

Цивилизационный разлом в мировоззрении планетарного масштаба в начале XXI века привел к тому, что США и консолидированный запад направили свои геополитические, геэкономические, геидеологические и военно-политические усилия на подрыв конституционного строя, смену Президента РФ В. Путина, нарушение единства и территориальной целостности, дестабилизацию внутренней политической и социальной ситуации в России.

В условиях сложившегося противостояния Россия-Запад необходимо уяснить и спрогнозировать логику развития общемировых процессов с позиции философии, социологии, политологии, психологии. При этом основополагающие духовно-нравственные положения заключаются в том, что основой Евразийской модели цивилизационного развития России является ЧЕЛОВЕК, личные качества которого позволяют обеспечить его самореализацию и самоактуализацию с целью обеспечения защиты духовно-нравственных и культурных ценностей; заключить общественный договор между властью и российским обществом, который направлен на реализацию и развитие общенациональных российских ценностей и интересов; учет и рациональное использование всех видов материальных и нематериальных ресурсов, возможность получения качественного образования, здравоохранения на всех этапах жизненного цикла деятельности человека как механизм устойчивого цивилизационного развития России.

В этих условиях необходимы новые подходы к обеспечению цивилизационной безопасности России на период до 2030 г., опирающиеся на Конституцию РФ, ФЗ «Об обороне» от 14.05.1996 № 61-ФЗ; «О безопасности» от 28.12.2010 № 390-ФЗ; «Стратегию национальной безопасности РФ»; Указ Президента РФ от 02.07.2021, № 400; «Об утверждении Основ государственной политики по сохранению и укреплению традиционных духовно-нравственных ценностей» Указ Президента РФ от 09.11.2022 № 809; «Военная доктрина РФ», Указ Президента РФ № 2976пр от 25.12.2015 г.

Главной задачей обеспечения цивилизационной безопасности России должна быть защита населения, ее духовно-нравственных и культурных ценностей (мировоззрение, национальное благосостояние и всего ценного для человека от прямого или косвенного ущерба) от возможных

диверсий политического, идеологического и психологического характера от вероятного противника или конкурента, воспитание подрастающего поколения, развитие высоконравственной личности, разделяющей российские традиционные духовно-нравственные ценности в условиях современного общества, а также возможных антропогенных и техногенных катастроф и катаклизмов в рамках новой компоненты Национальной безопасности РФ.

1. Россия в современном мире

Россия исторически всегда была «опасна» для Западной Европы и США не своей национальной экономикой, а человеческим потенциалом, мировоззрением и идеологией, базирующихся на концепциях «русской православной цивилизации» и ее преемнице – Евразийской локальной цивилизации, «русском мире», «евразийстве» и традиционных духовно-нравственных и культурных ценностях [4, с. 67].

США вновь пытаются повторить «сценарий развала СССР» в России, а именно: развязывание войны на Украине аналогично войне в Афганистане, обрушение российской экономики санкциями, отсечение нефтепродуктов не только от европейских, но и международных рынков сбыта, развал национальной экономики России, как и в случае с СССР – за счет снижения цен на энергоресурсы и, как следствие, распад России и смена ее политического руководства.

Проведенный авторами анализ современного состояния в мире выявил следующие основополагающие причины противостояния Россия-Запад.

- Исторически заложенная на генетическом культурном коде скрытая зависть к России, у которой есть все свое: она самодостаточна, может сделать все сама, имеет свою национальную духовно-нравственную и культурную идентичность, как совокупность смыслов и ценностей бытия личности, общества и государства в целом.
- Исторически сложившиеся нравственные и культурные особенности русского народа, опирающиеся на «справедливость», как цивилизационную ценность, а не на англосаксонскую субкультуру, основу которой составляет только «выгода»: «Мы живем по душе, а они – по правилам».
- Страны западного мира исторически всегда боялись, боятся сейчас и будут бояться в будущем «независимой и суверенной» России – важного субъекта мировой политики.

- Особый исторический путь развития России как «великой державы», со своим геополитическим, геокультурным и геоидеологическим своеобразием, отличающим ее как от Запада, так и от Востока. Евразийская идентичность России представляет собой сущность ее «исторической миссии» – стать центром интеграции Евразии, противостоящей «атлантизму» и «мондиализму» Запада во главе с США.
- США и ее западные союзники по НАТО воспринимают усиление и самостоятельность России, ее стратегическое партнерство с Китаем, в том числе в военной сфере, как главную угрозу для собственной гегемонии в мире. Они не могут взять Россию под свой контроль, сдержать развитие России, оказывая на нее комплексное политическое, экономическое, информационное и психологическое давление.
- Сегодня Запад показывает свое истинное лицо по отношению к РФ. Подписывая Минские соглашения в 2014 г., он скрывал свои реальные цели, одновременно вооружая и подготавливая к войне Украину против России.
- Война Запада с Россией связана с еще одной причиной – Президентом РФ В. Путиным: страх перед усилением роли России и попытка использовать выборы для отстранения от власти политической элиты под его руководством.

Целью Запада является не В. Путин, а вся группа единомышленников, пришедшая во власть вместе с ним и сформировавшая заказ на суверенитет и расширение влияния России там, куда нацелился Запад.

В условиях сложившегося глобального цивилизационного кризиса противостояния Россия-Запад актуальной становится не только военно-политическая составляющая будущего миропорядка, но и проблема морального лидерства и создания привлекательной идейной основы будущего мироустройства западного и не-западного мира. Рядом западных государств предпринимаются попытки целенаправленного размывания традиционных ценностей, искажения мировой истории, пересмотра взглядов на роль и место России в ней, реабилитации фашизма, разжигания межнациональных и межконфессиональных конфликтов, активно применяются не прямые методы, направленные на провоцирование долговременной нестабильности внутри РФ.

Одна из причин многовековой нескрываемой злобы западных элит в отношении России как раз и состоит в том, что мы не дали себя обобрать в период колониальных захватов, заставили европейцев вести торговлю на основе взаимной выгоды. Этого

удалось достичь создав в России сильное централизованное государство, которое развивалось, укреплялось на великих нравственных ценностях православия, ислама, иудаизма и буддизма, на открытых для всех русской культуре и русском слове.

Наряду с США, НАТО как инструмент «атлантизма» является геополитическим противником всех стран не-западного мира. США реализует свою стратегию «Америка превыше всего» и продвигает идею однополярного мира. Можно констатировать, что в эпоху «новой холодной войны» НАТО под руководством США является единственным в мире дееспособным военно-политическим союзом, реально претендующим не только на роль основы системы европейской, но и мировой безопасности: на Ближнем Востоке, Центральной и Юго-Восточной Азии, Африке. Это было подтверждено отказом руководства США и НАТО реализовывать предлагаемые РФ проекты Договоров о гарантиях безопасности, имеющих принципиальное значение не только для России, но и для США и НАТО от 17.12.2021 г.

Пришедшее в XXI веке к власти новое руководство в странах ЕС, потеряв свою субъектность полностью подчинилось США, хотя страны ЕС прекрасно понимают, что на них нападать никто не собирается, а возникающие в средствах массовой информации разговоры об «имперских устремлениях России» являются не более, чем попытками давления на высшее руководство России. Основные положения предлагаемых Россией проектов договоров включают: отказ от дальнейшего расширения НАТО, об отзыве «Бухарестской формулы» о том, что «Украина и Грузия станут членами НАТО» и об отказе от создания военных баз на территории государств, ранее входивших в СССР и не являющихся членами альянса, включая использование их инфраструктуры для ведения любой военной деятельности, а также возврате военных потенциалов, в том числе ударных, инфраструктуры НАТО к состоянию на 1997 г., когда был подписан основополагающий акт Россия-НАТО.

Руководство США при пособничестве ее союзников ведет внешнюю политику «управляемого хаоса», позволяет себе под вывеской «демократического мира» постоянно организовывать социально-политические и экономические конфликты, проводить «опосредованные и гибридные войны» в различных регионах мира.

Россия в течение 30-ти лет подвергалась воздействию со стороны западного мира: разрушались базовые моральные и культурные нормы, религиозные устои, институт брака, семейные

ценности, абсолютизировалась свобода личности, велась активная пропаганда вседозволенности, безнравственности и эгоизма, насаждался культ насилия, потребления и наслаждения, поощрялась легализация употребления наркотиков, имело широкое распространение коррупция, формирование криминальных сообществ, суицид молодежи и др.

К сожалению, в российском обществе сложились клановые группы по интересам: криминал, олигархия, чиновники-компрадоры и коррупционеры, отдельные, не ассимилирующиеся нацменьшинства из ближнего зарубежья, продажная не системная оппозиция, «киноагенты», НКО и другие, «шкурные» интересы которых имеют индивидуалистский, эгоистичный, потребительский характер. В политической, культурной, властной элите складывается мировоззрение, в основе которого лежит идея превосходства (библейская гордыня), формируется и соответствующая система целей, сводящихся к максимизации потребления и удовольствий при минимизации затрат своего труда, то есть к паразитической жизни за счет простого народа, эксплуатации других людей и общенациональных природных недр.

С началом проведения СВО на Украине, российское общество столкнулось с внутренним феноменом «морального уродства» отдельных его представителей, которым стало «стыдно говорить по-русски». Вместо поддержки соотечественников, годами подвергавшихся уничтожению, эти либеральные персонажи устраивают вселенский плач, каясь перед нацистскими террористами и старательно возводимой частью западных элит глобальной русофобской парадигмой, поставившей целью разрушить Россию.

Не удивительно, что весь вышеприведенный перечень «жестких мер» противодействия России был принят в полном объеме и активно используется США и их союзниками по НАТО. Однако для Запада дело осложняется тем, что «заплатить высокую цену» в случае ведения военных действий на Украине придется не только России, но и всем западным странам. Россия – это тот, кто по замыслу сегодняшних западных расистов должен пополнить список «варваров» и «дикарей». Ничего нового в этом нет: западные элиты какими были, такими и остались – колонизаторскими. Россия никогда не принимала и не примет такой политический национализм, реваншизм и расизм.

Стремление США и НАТО сохранить свое доминирование в глобальной политике и экономике направлено на сдерживание России на мировой

арене и оказание на нее политического, экономического, военного, информационного, психологического и идеологического давления, является вызовом суверенитету, территориальной целостности и национальной безопасности для России.

2. Вызовы и угрозы, стоящие перед Россией

Политика США и ряда стран западного мира после так называемой «аннексии» Крыма Россией в 2014 г, стала отличаться особенно враждебным русофобским отношением к нашей стране и ко всему русскому. Начиная с 2022 г., в период после начала специальной военной операции (СВО) по денацификации и демилитаризации Украины, такое противостояние приняло особо острую форму. Такое противостояние приняло особо острую форму через 8 лет в период после начала специальной военной операции (СВО) по денацификации и демилитаризации Украины.

Сегодня речь должна идти не о выборе социалистического, капиталистического, имперского или иного пути развития России, а о ее выживании [1, с. 30-31], защите суверенитета, безопасности и территориальной целостности, поддержке наших соотечественников на Украине, обеспечении защиты новых границ, а также обеспечении мобилизационных действий России в противостоянии агрессивной политике части украинских и западных элит.

России очень важно определить внешние вызовы и угрозы, способные погубить, лишить фундаментальных материальных и духовных ценностей, закрыть путь для выживания и развития России в третьем тысячелетии. К ним можно отнести вызовы и угрозы со стороны США в геополитической сфере:

- Возможность политического устранения России как собирательной державы не только на евразийском пространстве, но и на всех государствах не-западного мира.
- Политика мондиализма, где Россия рассматривается как сырьевой, дешевый источник для западного мира.
- Ослабление роли ООН и ее институтов, потеря независимости и справедливости в принятии решений.
- Политическая неспособность России в условиях западных санкций полноценно встроиться в глобальный инновационный процесс.
- Агрессивные устремления к границам России со стороны недружественных иностранных государств и военных формирований США и НАТО, развязавших гибридную войну против России – войну до последнего украинца.

- Деятельность разведывательных и специальных служб иностранных государств, направленных на ослабление политического строя и нелегитимную смену власти.

Происходит усиление стремления США к «достижению подавляющего превосходства своих военно-морских сил», а также укрепление военно-морских сил другими западными державами; рост количества учений, проводимых странами НАТО и союзниками в акваториях морей, прилегающих к территории РФ; экономическое, политическое, международное, информационное и военное давление на Россию в целях ее дискредитации и снижения морской деятельности; усилия ряда государств, предпринимаемые для ослабления контроля РФ над Северным морским путем; увеличение масштабов международного терроризма и пиратства, незаконной транспортировки по морю оружия, наркотических, химических и радиоактивных веществ и так далее.

Негативные события в странах стратегических интересов России (Афганистан, Ближний Восток, Балканы, Северная Корея, Украина, Грузия, Армения, Молдова) привели к тому, что акцент понимания сути безопасности, механизм и вектор их обеспечения динамически изменяются, особенно в условиях размывания основ международного права и ослабления стабилизирующей роли ООН.

Медийные атаки целенаправленно трансформируют систему ценностей россиян, культивируя послушный конвейер общества потребления, атеистичных нигилистов, руководствующихся практической сиюминутной выгодой и не мыслящих стратегическими категориями.

В информационной войне усиливается роль идеологических воздействий, включающих следующие направления: идеологические противоречия между государствами, входящими в состав различных локальных цивилизаций западного и не-западного мира; выдавливание России из глобальных и мировых процессов международной политики, культуры, науки, спорта; падение духовно-нравственных основ и патриотизма у части населения России. Особенно это проявилось в отношении к СВО по демилитаризации и денацификации Украины со стороны 5-й и 6-й колонны, что требует глубокого осмысления поведения человека, т.к. в течение последних 30-ти лет российская школа перестала «воспроизводить» социального гражданина, готового встать на защиту своей Родины.

Россия, как государство-лидер Евразийской локальной цивилизации, является главным и твердым «противником» на пути агрессивного продвижения

США своих «жизненно важных» национальных интересов по всему миру. Для официального Вашингтона понятия «партнер» и «Россия» несовместимы, т.к. они стоят на противоположных «полюсах».

За противостоянием Запад-Россия и действиями западных союзников внимательно наблюдают руководство КНР и Индии, независимых стран Латинской Америки и Африки, чтобы защитить в будущем свои национальные интересы и стратегические цели развития.

Анализ безопасного цивилизационного развития России выявил возможные «критические точки», определяющие ее духовную сферу, преобладающий исторически сложившийся социокультурный уклад, моральное состояние общества (браки, разводы, преступность), наличие духовно-нравственных и культурных ориентиров, активность религиозной жизни и ее влияние на российское общество, идеологический настрой, уровень развития образования, культуры, науки, изобретательства.

Основные вызовы и угрозы со стороны США и НАТО включают: уничтожение, подмену и разрушение механизмов развития культурных образцов и духовно-нравственных ценностей; потерю знания русского языка, переход ряда стран, входящих в ЕАЭС, с «кириллицы» на «латиницу».

Геополитические и геоэкономические амбиции мировой западной цивилизации во главе с США, ставят перед Россией ключевые вопросы обеспечения ее безопасности, сохранения ее бытия, исторически сложившегося мировоззрения и обеспечения условий дальнейшего саморазвития ее культурной и социальной целостности.

Методология изучения проблем цивилизационной безопасности опирается на философию научного познания человека, системного управления в области социальных и технических систем, философию междисциплинарного научного подхода, регулирующего интегральные познания мироощущения, отражающиеся в следующих основополагающих механизмах изучения процессов: выбор методов исследований; объяснение, описание, истолкование фактов; разработка моделей на основе функционально-системного подхода; построение теории развития цивилизаций; разработку концепций цивилизационной безопасности России.

В новой редакции Стратегии национальной безопасности РФ уточнены планы и мероприятия, направленные на безопасное развитие народов России, включенные в сферы деятельности в рамках ее национальных интересов, суверенитета и территориальной целостности. Для России, в условиях ее противостояния с Западом, основой

национальной безопасности является всемерное укрепление ее суверенитета, независимости, государственной и территориальной целостности, ее обороны, защита традиционных духовно-нравственных основ человека, общества, обеспечение цивилизационной безопасности.

Методологические подходы и принципы обеспечения цивилизационной безопасности, положенные в основу исследований, направлены, в первую очередь, на защиту духовно-нравственных и культурных ориентиров русского народа как системообразующей нации в Евразийской локальной цивилизации [4, с. 23-31].

За счет эффективно действующей системы мер защиты обеспечение цивилизационной безопасности предусматривает прогноз опасностей и принятие превентивных мер, не допускающих саму возможность возникновения опасности в следующих сферах: информационной, политической, идеологической, психологической.

Исключение возможности возникновения таких опасных ситуаций может быть обеспечено за счет: разработки, принятия, выполнения и контроля правовых норм (договоры на межгосударственном уровне, законы, постановления, распоряжения, правовые и нормативные акты на федеральном, местном и объектовом уровнях, обеспечение информационной открытости и др.); разработки и реализации организационных мер (использование резервных, мобилизационных возможностей по предотвращению опасных ситуаций, выбор безопасных методов противодействия); мер научно-технического характера (изучение, прогнозирование опасностей с выработкой путей и технических средств для их недопущения и др.).

Практической задачей обеспечения цивилизационной безопасности, решаемой на уровне «ценностного целеполагания», является нахождение оптимальных качественных и количественных значений уровня обеспечения духовных основ; менталитета; мировоззрения; идеологии, отражающих возможности цивилизационного развития России на долгосрочный период. Ценностные основания, опирающиеся на православие, в рамках тысячелетней истории России могут позволить восстановить после реформ 90-х годов у человека, как личности, его уверенность в завтрашнем дне, и другие ценностные факторы, формируемые на уровне массового сознания человека.

Схема принципов и методологических подходов к исследованию системы управления цивилизационной безопасностью России, основанная на цивилизационном подходе, приведены на рис. 1.

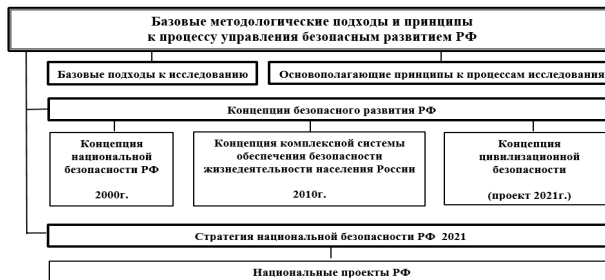


Рис. 1. Схема методологических подходов и принципов к исследованию системы управления цивилизационной безопасностью РФ

Предлагаемые Концепции являются методологической основой для разработки и последующей реализации нормативных документов по научному направлению цивилизационной безопасности, как компоненту Стратегии национальной безопасности РФ в третьем тысячелетии. Она представляет собой ценностно-нормативную основу взаимодействия российских спецслужб с другими субъектами РФ, подлежащих защите от внешних и внутренних негативных воздействий на человека, общество, государство и локальную Евразийскую цивилизацию в целом.

3. Основные направления диверсионной деятельности против России

США пытаются диктовать всему миру свои «правила игры» и насаждать свои ценности, но эра США, как «безальтернативное благо для всех», потеряло свою привлекательность для многих стран мира. Это связано с синдромом усталости от ее гегемонизма, протекционизма и навязыванием западных либеральных ценностей.

Негативные воздействия на Россию направлены, в первую очередь, на разрушение сложившейся в 90-х годах прошлого века «авторитарной системы управления» России и размывание ее этнонациональной системы: исторические корни, мировоззренческие идеалы и моральные ценности.

Противостояние Россия-Запад находится на стадии цивилизационной войны, т.к. идет политический упадок США как мирового гегемона, а Россия за последние десятилетия накопила достаточно сил, чтобы противостоять США, НАТО и консолидированному западу. В рамках проводимой гибридной войны в Европе, наряду с «классическими» военными действиями, используются информационные, политические, идеологические и психологические воздействия не только на театре военных действий Украины, но и негативное

воздействие на население, проживающее на евразийском пространстве.

Одной из форм информационного управления сознанием со стороны западного мира на историческую память человека является психоисторическая война, распространяющаяся на такую важную сферу как история, знание и понимание прошлого, без чего невозможно понимание настоящего и будущего России. Следует подчеркнуть, что тот, кто стремится к мировому господству делает все, чтобы заглушать свои действия и представить события либо в качестве случайностей, либо развивающихся якобы самих по себе, так как Россия и русские являются экзистенциальным противником (в смысле человеческого существования в его конкретной реальности на уровне общественного индивида).

Главная цель психоисторической войны – полностью поменять модели мышления и поведения общества – мишени, то есть поставить под контроль его психосферу.

Скрытые, тщательно подготовленные специальные мероприятия диверсионно-разведывательного характера, как правило направлены на инициирование, стимулирование и использование антиобщественных тенденций, процессов и сил в целях подрыва или ослабления государственного или общественного строя.

С позиции цивилизационного подхода наиболее важными являются политические, идеологические, психологические, информационные диверсии против народов России, базирующиеся на добываемых и инспирируемых политической разведкой материалах. При этом диверсия может иметь длящиеся во времени цели и включать в себя не только единичные, но и массовые неоднократные, систематические акции.

Диверсии политические, наиболее распространенные в мировой практике, направлены на создание политической нестабильности и подрыв конституционного строя России: политические конфликты исполнительной и законодательной властей на местах, межнациональные и межконфессиональные конфликты, нацеленные на снижение уровня инвестиционного климата для иностранных партнеров и, как следствие, создание социальной напряженности (низкие доходы, неустроенный быт, социальная агрессия населения). Направлены на разжигание межнациональной и межконфессиональной вражды, территориальной целостности государства и дестабилизации политической обстановки в государстве. В результате у человека формируется стойкий негативный образ собственного государства, а вместе с ним и тотальное чувство па-

тологической вины. Всегда имеет отложенные последствия и может давать взрывной эффект в час X. Что мы и увидели с началом СВО на Украине и продолжаем наблюдать сейчас. К счастью для нашей страны, глубина корневой системы традиционных ценностей в отечественной коллективной ментальности оказалась существенно более значительной, чем прогнозировали современные западные социологические лаборатории, аналитики кибервойн, политтехнологи-мастера деструкции и проектировщики госпереворотов из США и ЕС.

Основная цель политических диверсий – перевести недовольство какими-либо социальными недостатками страны и государства в политическую плоскость.

Диверсии идеологические – одна из основных форм подрывной деятельности разведывательных и иных специальных служб различных государств мира, их идеологических, пропагандистских и других некоммерческих центров, представляющих собой агитационно-пропагандистские, разведывательно- и контрразведывательно-пропагандистские центры, осуществляющие противоправные действия относительно России. Отличительными особенностями этих диверсий являются: идеологическая угроза, осуществляемая при помощи разнообразных методов и средств публичного характера.

Основными объектами в культурной и интеллектуальной сфере являются средства массовой информации, ученые, студенты и самые богатые и влиятельные люди в видимых общественных ролях, таких как актеры и знаменитости. Эти общественные группы становятся манипулируемыми представителями рупора дня, начиная с повествования, которое поддерживает идеологическую подрывную деятельность. Эти группы людей демонстрируют множество неэтичных качеств, связанных с неукротимым негативным эго и его аддиктивными желаниями. Это люди с низкими моральными принципами и доминирующим эго, наполненные нарциссизмом, жадностью, тщеславием, жадной славой и власти, которые могут легко обмануть других и лгать общественности для достижения своих личных целей [1, с. 135-149].

Идеологическая подрывная деятельность, как форма контроля над разумом или промывания мозгов человека, происходит постепенно с течением времени с повторным и последовательным воздействием на одни и те же факторы, вызывающие раскол. При этом эффективно используются методы психологического воздействия на население России.

Главная цель заключается в тайном или открытом воздействии на сознание людей. При этом,

чтобы осуществить поставленную задачу, заинтересованные силы западного мира в процессе своей деятельности, не щадят сил и денежных средств.

Этот вид диверсий пронизывает все сферы общественной жизни государства – идеологию, политику, экономику, мораль, право, культуру, науку. Однако инспирирование и стимулирование антироссийских тенденций и процессов во всех этих сферах спецслужбы противника подчиняют политическим целям — целям подрыва и ослабления российского государства.

Диверсии психологические – целенаправленное психологическое воздействие на человека (национальные чувства, чувства и эмоции самосохранения, предрассудки, слухи, мифы, создание ложных стереотипов и пр.), ориентированное на дестабилизацию в социальных группах, в российском обществе, государстве и цивилизации в целом.

Психологические диверсии отрицательно действуют на психические процессы человека, его эмоционально-волевою регуляцию поведения, моральную сферу личности (кража, шпионаж и др.), деморализуют население в экстремальных ситуациях (военные действия, техногенные и природные катастрофы и другие экстремальные условия) и в повседневной жизни. Основные направления психологических диверсий в России со стороны западных спецслужб включают: психологическое давление, распространение информации, драматизирующей события, создание атмосферы эмоционального дискомфорта; обращение к бессознательному за счет демонстрации определенного образа; нарушение или искажение логических умозаключений за счет подмены одних понятий другими на основе опросов и других источников информации.

В течение последних десятилетий западный мир для России был внешним позитивным фактором – соседом, партнером, конкурентом, т.е. в последующем он вошел в наше внутреннее социокультурное пространство, как образец демократии, что привело к негативным последствиям, к утверждению иррационализма и антисциентизма, как мировоззренческого обоснования смысла жизни индивида в условиях кризиса западноевропейской культуры.

В течение двух тысячелетий славянские народы: Россия, Беларусь и Украина являлись не только братьями исторической судьбы и естественными цивилизационными и геополитическими союзниками, но и мобилизационным ресурсом России, ее безопасным развитием на евразийском пространстве и гарантом защиты интересов СНГ и ЕАЭС.

В процессе сложившегося противостояния Россия-Запад обострились «психоисторические

воздействия» на Россию, где «русофобия» становится одним из инструментов психологической войны против России.

Психоисторическая война идет в основном по двум направлениям: по идентичности, которую она старается изменить, и по исторической памяти. Нужно защищать свою психосферу, это одна из главных вещей, влияющих на сознание человека.

Если на уровне личности эти пороки приводят к неминемому ее разрушению, то на уровне государств они также разрушительны, так как приводят к войнам, в которых сгорает вся социальная суть их участников.

Инфильтрация социальных и специальных институтов и образовательных систем с целью организации психоисторической подрывной деятельности западными спецслужбами и НКО, осуществляется путем использования методов деморализации, заложенных в учебные программы, предназначенные для распространения дезинформации и путаницы. Искаженные учебные программы способствуют распространению нарративов, содержащих противоречивую информацию, заблуждения и неверные послылы развития российского общества [6].

Информационные диверсии – одна из самых современных форм подрывной деятельности разведывательных и иных специальных служб различных недружественных стран мира, осуществляющих информационно-подрывные, идеологические и психологические воздействия на человека, общество, государство и цивилизацию в целом. Информационный фактор играет ключевую роль в обеспечении защищенности информационных ресурсов, технологий, а также прав субъектов информационной деятельности за «умы» людей. Он направлен на обеспечение необходимыми ресурсами и устойчивое функционирование в любых условиях жизнедеятельности на территории России и на постсоветском пространстве.

Информационные диверсии, как правило, используют разнообразные информационно-компьютерные технологии: СМИ (интернет, радио, телевидение, пресса и т. д.). Распространяется разнообразная пропагандистская литература, листовки. Организуются выступления, интервью, беседы. Печатаются произведения искусства; создаются секретные специальные религиозные конфессии и секты, отраслевые организации и центры, занимающиеся террористическими актами для достижения своей цели. Распространяются среди населения разрушительные идеи и догмы, обманывающие слабовольных и несовершеннолетних.

Необходимо отметить, что если военные, экономические и политические угрозы можно предвидеть и избежать, то влияние и последствия информационных угроз (инсценировки, провокации, вбросы, фейки) трудно быстро отследить и нейтрализовать. В процессе проведения СВО на Украине, российские специалисты в значительной степени проиграли информационную войну, развязанную странами западного мира.

Основная цель информационного воздействия – соответствующим образом повлиять на поведение человека для формирования общественного мнения. При этом объектами информационно-идеологических угроз является человек, общество и государство. В тоже время объектом угрозы может быть и индивидуальное, и общественное сознание самого человека. Своеобразием особенности информационно-идеологического воздействия на индивидуума является то, что он не может понять, что на него осуществляется воздействие. В качестве средств воздействия используются: завоевание информационных сетей, применение террористических актов, возбуждение в сознании народа неверия в будущее, откровенная фальсификация, раздувание мелких проблем, провоцирование на то, чтобы объект опирался на чувства вместо использования рационального мышления, стремление снизить авторитет государственной политики и т.д. СМИ в данное время оцениваются в качестве одного из наиболее эффективных методов информационных диверсий, что подтверждено в процессе проведения СВО на Украине.

Диверсии в киберпространстве (кибердиверсии) направлены в основном на подрыв социальной, экономической, политической сфер, тесно связаны с тем, что многие государственные, экономические и социальные институты широко используют информационно-коммуникационные технологии всемирных компьютерных сетей (банки, биржи, телефонные сети, органы государственной власти, включая силовые структуры).

Принципиально новой ареной для взаимодействия государственных и негосударственных акторов системы мировой политики становится киберпространство. Оно оказывает огромное влияние на развитие экономики, политической жизни, культуры, техносферы, военного дела.

Современное киберпространство создается за счет функционального объединения взаимосвязанных сетей компьютеров, различных «жестких» и «мягких» компонентов информационных систем и телекоммуникационных инфраструктур. Трудно переоценить роль различных компо-

нентов киберпространства, в том числе информационно-коммуникационной инфраструктуры вооруженных сил, для обеспечения интересов национальной безопасности практически любого государства.

4. Предложения по созданию системы цивилизационной безопасности РФ

Основной целью создания системы цивилизационной безопасности является формирование целостного представления о структуре, составе, определении путей и направлений, задач и реализации мероприятий, обеспечивающих необходимую защищенность человека, общества, государства – генетического ядра Евразийской локальной цивилизации.

Назначение, состав, правовые основы и принципы деятельности создаваемой системы цивилизационной безопасности в составе ФСБ РФ, определяются федеральными законами, указами Президента РФ, распоряжениями Правительства РФ и другими законодательными, нормативными и рекомендательными документами в сфере национальной безопасности.

Предлагаемая авторами Система цивилизационной безопасности России должна включать в себя следующие основополагающие элементы защиты [3, с. 71-76].

ЦЕЛЬ. Создание системы цивилизационной безопасности РФ, как одной из составляющих направлений национальной безопасности России, направлена, в первую очередь, на выявление взаимосвязей между целями национальной безопасности и нового направления безопасного развития России как государства-лидера Евразийской локальной цивилизации, а также выработку соответствующих мер по снижению уровня негативных явлений, вызовов и угроз в сфере политических, информационных, идеологических и психологических воздействий и диверсий, их предупреждению, локализации и устранению, включающих выявление, предотвращение, нейтрализацию, пресечение, отражение, уничтожение за счет следующих организационно-правовых мероприятий:

- Создание системы цивилизационной безопасности РФ, не подменяет национальную систему безопасности России, а лишь дополняет ее и делает упор на всемерную защиту духовно-нравственных и культурных ценностей от информационных, идеологических и психологических воздействий и диверсий, влияющих на сознание, личные качества человека, российского общества, государства.

- Эффективный мониторинг и анализ в пределах своей компетенции, политической, идеологической и психологической обстановки с позиции цивилизационного подхода, предоставления информации для действий федеральных органов безопасности, обеспечивающих своевременность принятия управленческих решений по обеспечению цивилизационной безопасности.
- Приоритет исторических национальных культурных и духовно-нравственных ценностей человека, российского общества, государства, которые позволяют обеспечить цивилизационную безопасность населения России, защиту всех ее наций и народов, населяющих не только территорию России, но и ближнего зарубежья.
- Основу деятельности системы цивилизационной безопасности РФ составляет разведывательная и контрразведывательная работа по линии борьбы с информационно-политическими, идеологическими и психологическими воздействиями и диверсиями в сфере защиты духовно-нравственных и культурных составляющих ценностей человека, российского общества, государства и цивилизации в целом, от потенциальных противников и врагов.
- Качество управления системой цивилизационной безопасности РФ обеспечивается за счет использования методов риск-ориентированного мышления. Упреждающие действия являются частью стратегического и оперативного планирования, направленного на получение наилучшего результата при обеспечении цивилизационной безопасности.

НАПРАВЛЕНИЯ. Обеспечение цивилизационной безопасности включает следующие направления:

- Эндеогенное. Предотвращение цивилизационного отставания России как государства-лидера Евразийской локальной цивилизации от трех ведущих локальных цивилизаций: США, КНР и Индия. Сохранение реального суверенитета России, развитие демократии и гражданского общества, модернизация национальной экономики и формирование шестого технико-технологического уклада.
- Экзогенное. Предотвращение возможной ассимиляции Евразийской локальной цивилизации в западную мировую цивилизацию и превращения России в сырьевой придаток Запада через глобализацию экономики, участие в ВТО, стандартизацию и унификацию культуры, утрату генетического цивилизационного кода и «размывание» его духовно-нравственных и культурных ценностей.

- Культурное (информационное). Нейтрализация (пропаганда и контрпропаганда) односторонних деструктивных информационных потоков, настроенных на неограниченное потребление материальных и нематериальных благ для человека, ЛГБТ-пропаганда, терроризм, сепаратизм, экстремизм, наркомания, криминализация, коррупция российского общества.

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЕ. Предотвращение разложения, «маргинализации», «коррупционности» органов власти и других социальных институтов российского общества и государства в целом.

ЗАДАЧИ. Основными задачами обеспечения цивилизационной безопасности являются:

- Знание основных процессов обеспечения национальной и цивилизационной безопасности в иерархической системе взаимодействия и взаимосвязей «Человек – Общество – Государство – Цивилизация».
- Прогнозирование, своевременное выявление и устранение возможных вызовов и угроз безопасности, причин и условий, способствующих нанесению политического, социального и морального ущерба человеку, обществу, государству и цивилизации от окружающей среды в части внешних и внутренних негативных воздействий.
- Выявление взаимосвязей и взаимодействий между отдельными аспектами спектра возможных вызовов, угроз с целью обеспечения деятельности человека, качества и уровня жизни.
- Выявление закономерностей и тенденций, обоснование показателей и критериев их оценки устойчивой и безопасной деятельности человека в обществе, государстве.
- Создание механизма и условий оперативного реагирования на угрозы безопасности и проявления негативных тенденций развития России со стороны врага и потенциального противника.
- Эффективное пресечение вызовов, возможных опасностей и угроз человеку, обществу, государству, цивилизации, посягательств, на его духовно-нравственные и другие жизненные устои, на основе правовых, организационных, инженерно-технических средств и иных мер обеспечения цивилизационной безопасности.

МЕРОПРИЯТИЯ. Обеспечение цивилизационной безопасности России может быть представлено в виде совокупности оперативно-розыскных, разведывательных и контрразведывательных мер, направленных на противодействие всему спектру вызовов и угроз, от внешних

и внутренних информационно-идеологических и психологических негативных воздействий, обеспечивающих заданный уровень условий безопасности объекту защиты и включающих предотвращение, защиту и ликвидацию вызовов и угроз, а именно:

- Рассмотрение всего спектра аспектов, содержащих безопасный уровень государственной деятельности по защите политического, социального, экономического, оборонного, научно-технического, духовно-нравственных и культурных ценностей, является основой не только национальной, но и цивилизационной безопасности РФ.
- Выделение основных направлений обеспечения цивилизационной безопасности, в первую очередь, гуманитарного и научно-технического характера (воспитание, образование, право, наука, техника, медицина).
- Рассмотрение всей группы мер, отражающих полную совокупность возможных действий для парирования вызовов и угроз политического, информационного, идеологического и психологического характера (исключить, отвести, воспринять).

Заключение

В данной статье проведен анализ современного состояния в мире, выявлены основные вызовы и угрозы России со стороны США и НАТО, определены методологические подходы, принципы и направления цивилизационной безопасности России, мероприятия по их обеспечению.

По мнению авторов основополагающими причинами противостояния Россия-Запад являются заложенная на генетическом уровне у политической элиты западных стран скрытая зависть к России, ее самодостаточности, национальной духовно-нравственной и культурной идентичности как совокупности ценностей бытия личности, общества и государства в целом; исторически сложившиеся нравственные и культурные особенности русского народа; геополитическое, геокультурное и геоидеологическое влияние России на страны ближнего и дальнего зарубежья. Ее «историческая миссия» заключается в том, чтобы стать центром интеграции Евразии в противовес Западу во главе с США. Кроме того, имеет место боязнь стран западного мира самостоятельной, независимой и суверенной России, важного субъекта мировой политики, восприятие ими России как главной угрозы собственной гегемонии в мире.

Коллективный запад не оставляет попыток разрушить механизмы развития, уничтожить, подменить традиционные, исторически сложившиеся культурные образцы и духовно-нравственные ценности русского народа, оторвать от России бывшие азиатские республики, чему свидетельствует переход ряда стран, входящих в ЕАЭС, с «кириллицы» на «латиницу».

Предлагаемая система цивилизационной безопасности, по мнению авторов, должна дополнить национальную безопасность РФ, ориентируясь на защиту духовно-нравственных и культурных ценностей от информационных, идеологических и психологических воздействий и диверсий, влияющих на сознание, личные качества человека, российского общества, государства.

Системы цивилизационной безопасности РФ предполагают выполнение ряда функций.

Во-первых, проведение, с использованием методов риск-ориентированного мышления, мониторинга и анализа политической, идеологической и психологической обстановки в российском обществе.

Во-вторых, предоставление информации федеральным органам власти для своевременного принятия управленческих решений по обеспечению цивилизационной безопасности. При этом акцент делается на упреждающие действия, которые являются частью стратегического и оперативного планирования.

В-третьих, обеспечение приоритета исторически сложившихся национальных культурных и духовно-нравственных ценностей российского общества, их защита от потенциальных противников, борьба с информационно-политическими, идеологическими и психологическими воздействиями и диверсиями.

Работу по обеспечению цивилизационной безопасности РФ предлагается вести по следующим направлениям.

Во-первых, сохранение реального суверенитета России, развитие демократии и гражданского общества, модернизация национальной экономики и формирование шестого технико-технологического уклада, предотвращение отставания России от трех ведущих локальных цивилизаций: США, КНР и Индия. Превращения России в сырьевой придаток Запада через глобализацию экономики, участие в ВТО. Восстановления статуса России как государства-лидера Евразийской локальной цивилизации в полном объеме.

Во-вторых, предотвращение возможной ассимиляции России в западную цивилизацию, стандартизацию и унификацию ее образования и культуры по западному образцу, утрату генетического

цивилизационного кода и «размывание» ее духовно-нравственных и культурных ценностей.

В-третьих, нейтрализация посредством пропаганды и контрпропаганды деструктивных информационных потоков со стороны западного мира, настроенных на неограниченное потребление человеком материальных и нематериальных благ, пропаганды ЛГБТ, наркотиков. Непримируемая борьба с такими общественными явлениями, как терроризм, сепаратизм, экстремизм, криминал, коррупция российского общества.

Литература

1. Пазюк Ю.В., Ефимова В.П. Стратегическое управление: личный капитал человека как основа Евразийской модели цивилизационного развития России в третьем тысячелетии. Вопросы национальной безопасности России. М.: СВР-Аргус. 2015. 360 с.
2. Пазюк Ю.В., Ефимова В.П., Кубрина В.А. Закономерность развития локальных цивилизаций в третьем тысячелетии. Вопросы национальной безопасности России. М: Свр-Аргус. 2016. 162 с.
3. Пазюк Ю.В. Концептуальные основы цивилизационной безопасности России в третьем тысячелетии. М: ПолиПринтСервис. 2019. 174 с.
4. Пазюк Ю.В., Ефимова В.П. Стратегическое управление: безопасность развития России как государства-лидера Евразийской локальной цивилизации в третьем тысячелетии. Вопросы национальной безопасности. М.: Т. 8. Изд. Технологии. 2021. 825с.
5. Пазюк Ю.В., Ефимова В.П. Концептуальные основы безопасного цивилизационного развития России. Вопросы национальной безопасности. М.: 2022. 242 с.
6. Фурсов Л. <https://zen.yandex.ru/media/govorit-fursov/psihoistoricheskaia-voina-protiv-rossii-andrei-fursov-61ade62c02e930708a51alfa>

Пазюк Юрий Васильевич. НП ЭКЦ «МЭТ-Сертификация», г. Москва. Директор. Доктор технических наук, профессор, член-корр. Область научных интересов: стратегическое управление развитием социально-экономических систем (цивилизационный подход), социология, политология, теория цивилизаций, национальная цивилизационная безопасность России. E-mail: rasmnet@yandex.ru

Ефимова Вера Петровна. НП ЭКЦ «МЭТ-Сертификация». Начальник аналитического отдела. Кандидат технических наук. Область научных интересов: социология, теория цивилизаций, теория базальных личностных конструкторов. E-mail: rasmnet@yandex.ru

Осипов Сергей Николаевич. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва. Ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук. Область научных интересов: математическое моделирование социально-экономических процессов. E-Mail: osipov@isa.ru

Conceptual foundations of Russia's civilizational security: socio-political aspect

Yu. V. Pazyuk^{II}, V. P. Efimova^{II}, S.N Osipov^I

^I Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

^{II} NP EKC "MET-Certification», Moscow, Russia

Abstract. In the context of the current Russia-West confrontation, an analysis is carried out and an attempt is made to predict the logic of the development of global processes from the standpoint of philosophy, sociology, political science, psychology, aimed at a single common result – the safe civilizational development of Russia, taking into account the following fundamental spiritual and moral grounds: the basis of the Eurasian model of civilizational development of Russia is a person whose personal qualities allow to ensure his self-realization and self-actualization in order to ensure the protection of his spiritual, moral and cultural values. It is shown that the main task of ensuring the civilizational security of Russia is to ensure the protection of the Russian population, its spiritual, moral and cultural values from possible sabotage by a potential enemy, political, ideological and psychological in nature, the development of education of the younger generation, the development of a highly moral personality sharing Russian traditional spiritual and moral values in modern society. The causes of the Russia-West confrontation, the main challenges and threats to Russia's civilizational security from the United States and NATO, methodological approaches, principles and directions for ensuring the civilizational security of the Russian Federation are revealed.

Keywords: *civilizational security, elite, challenges and threats, information war, civilizational development, sabotage, Eurasian local Civilization.*

DOI: 10.14357/20790279240207 **EDN:** NFBXAH

References

1. Pazyuk YU.V., Efimova V.P. Strategicheskoe upravlenie: lichnostnyj kapital cheloveka kak osnova Evrazijskoj modeli civilizacionnogo razvitiya Rossii v tret'em tysyacheletii. Voprosy nacional'noj bezopasnosti Rossii. M.: SVR-Argus. 2015. 360 p.
2. Pazyuk YU.V., Efimova V.P., Kubrina V.A. Zakonomernost' razvitiya lokal'nyh civilizacij v tret'em tysyacheletii. Voprosy nacional'noj bezopasnosti Rossii. M.: Svr-Argus. 2016. 162 p.
3. Pazyuk YU.V. Konceptual'nye osnovy civilizacionnoj bezopasnosti Rossii v tret'em tysyacheletii. M: PoliPrintServis. 2019. 174 p.
4. Pazyuk YU.V., Efimova V.P. Strategicheskoe upravlenie: bezopasnost' razvitiya Rossii kak gosudarstva-lidera Evrazijskoj lokal'noj civilizacii v tret'em tysyacheletii. Voprosy nacional'noj bezopasnosti. M.: t.8, Izd. Tekhnologii. 2021. 825 p.
5. Pazyuk YU.V., Efimova V.P. Konceptual'nye osnovy bezopasnogo civilizacionnogo razvitiya Rossii. Voprosy nacional'noj bezopasnosti. M.: 2022. 242 p.
6. Fursov L. <https://zen.yandex.ru/media/govoritfursov/psihistoricheskaja-voina-protiv-rossii-andrei-fursov-61ade62c02e930708a51alfa>

Pazyuk Yuri Vasilievich. Doctor of technical Sciences, Professor. Director of NP EKC "MET-Certification". The total experience of scientific and pedagogical activity is 40 years. Research interests: strategic management of development of socio-economic systems (civilizational approach), sociology, political science, theory of civilizations, civilizational security of Russia. Author of a number of monographs, methods and patents, Laureate of the Russian Government Prize in science and technology. E-mail: rasm@yandex.ru

Efimova Vera Petrovna. Candidate of technical Sciences, head of analytical Department of NP EKC "MET – Certification". The total experience of research activities – 40 years. Research interests: sociology, theory of civilizations, theory of basal personal constructs. The author of methodology of research of personal capital of the person, a technique of psycho-diagnostic assessment of personal properties of the person, methods of cost estimation of the total human capital. Author of a number of patents for invention, monographs and publications. E-mail: rasm@yandex.ru

Osipov Sergey Nikolaevich. Leading researcher of Federal Research Center 'Computer Science and Control' of the Russian Academy of Sciences. PhD in Physics and Mathematics-Sciences, senior researcher. Number of printed works: more than 50. Research interests: modeling and forecasting of developing systems. E-mail: isa@isa.ru

Принципы разработки прикладных мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур*

А.В. МАСЛОБОВЕВ

Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова, Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Россия

Аннотация. Работа направлена на развитие информационных технологий интеллектуальной поддержки принятия решений в области организационного управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур. Исследование базируется на систематизации, анализе и обобщении известных методологических подходов к обеспечению надежности, безопасности и жизнеспособности сложных динамических объектов, а также методах общей теории систем, принципах сетецентрического управления и мультиагентного моделирования. Дана общая классификация методов и средств анализа и моделирования, используемых на практике в целях поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур. Обоснована необходимость применения парадигмы мультиагентных систем для поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур. Для этого определены преимущества и возможные ограничения их использования. Предложены принципы построения прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений по управлению жизнеспособностью критических инфраструктур, основанные на сопряжении общей методологии проектирования мультиагентных систем и методических подходов к организации систем обеспечения комплексной безопасности критически важных объектов.

Ключевые слова: мультиагентная система, управление, информационная поддержка, моделирование, жизнеспособность, критическая инфраструктура.

DOI: 10.14357/20790279240208 **EDN:** OYAAOQ

Введение

В настоящее время технологии мультиагентных систем [1-3] по-прежнему широко применяются в задачах управления и системах поддержки принятия решений в различных предметных областях (транспорт, энергетика, экономика, производство и т.д.), характеризующихся структурной сложностью, динамичностью, неоднородностью объектов и многоаспектностью. Среди всего многообразия динамичных областей отдельное внимание заслуживают так называемые «критические сферы», к которым относятся, например, региональная безопасность, государственное управле-

ние, экологическая устойчивость, организационная жизнеспособность и другие. Объекты этих предметных областей являются стратегически значимыми для развития общества и государства и в совокупности образуют критические инфраструктуры, нарушение нормального функционирования которых может нанести значительный ущерб здоровью населения, экономике и обороноспособности страны.

Управление рисками и жизнеспособностью критических инфраструктур по структуре многофункционально и представляет собой сложный многоуровневый процесс, требующий специализированных знаний, подходов и средств автоматизированной обработки и анализа больших объемов

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИИММ КНЦ РАН (НИР № FMEZ-2022-0023).

разноплановой информации о динамике состояния объектов критических инфраструктур. Распределенность объектов, сетцентрический характер организационного управления и неопределенность в ситуационной осведомленности, в свою очередь, требуют более эффективного использования ресурсов и оперативного реагирования на возникающие угрозы и критические события. Мультиагентный подход позволяет учесть эту специфику и особенности критических инфраструктур для реализации эффективного управления ими в условиях неполноты оперативных данных и воздействия множественных угроз различной природы. Однако в реальных приложениях мультиагентные системы редко применяются для управления критически важными объектами и инфраструктурами. Зачастую это связано, во-первых, с непредсказуемостью поведения агентов, автономно принимающих решения на основе локальной информации, и, как следствие, самой системы управления в целом, что может приводить к нежелательным последствиям. Во-вторых, перекладывание ответственности за принимаемые решения на агентов в условиях критических ситуаций, а также сложность координации деятельности агентов и интеграции со сторонними системами вызывают недоверие риск-менеджеров, системных аналитиков и операторов ситуационных центров. И, в-третьих, жесткие завышенные требования к надежности и устойчивости систем управления критическими инфраструктурами склоняют разработчиков систем безопасности к выбору известных стандартных решений, что не всегда приемлемо и обосновано в ущерб обеспечению гибкости и адаптивности средств управления.

Несмотря на противоречивость мнений российских и зарубежных экспертов в области безопасности по вопросам оценки применимости мультиагентных систем для управления критически важными объектами, использование мультиагентных технологий в управлении жизнеспособностью критических инфраструктур обусловлено следующими решающими факторами, которые нивелируют указанные выше субъективные ограничения в той или иной степени:

- необходимость обеспечения управляемости системы в условиях высокой динамичности среды функционирования и состава участников процессов принятия решений по управлению жизнеспособностью критических инфраструктур;
- необходимость учета сетцентрической, социотехнической и киберфизической природы управления критическими инфраструктурами для поддержания их жизнеспособности;

- необходимость координации децентрализованного управления жизнеспособностью на всех уровнях принятия решений;
- необходимость учета человеческого фактора в системе управления, то есть постоянного активного влияния управляемой системы на процесс управления;
- необходимость быстрой реакции на изменения внешней среды и адаптации к этим изменениям без потери функциональности управляемой системы;
- необходимость наличия способности системы управления к реконфигурации, обучению и самоорганизации;
- необходимость сквозного процессного управления жизненным циклом жизнеспособности критических инфраструктур и комбинирования горизонтальных и вертикальных связей в структуре распределенного управления жизнеспособностью.

Вместе с тем, мультиагентные системы являются эффективным средством реализации сетцентрического управления жизнеспособностью критических инфраструктур и средством системной интеграции гетерогенных программных и физических объектов (систем), которые выполняют заданные функции, взаимодействуют друг с другом и с окружающей средой по определенным правилам, обмениваясь информацией, для достижения глобальной цели – обеспечения и повышения безопасности и жизнеспособности критических инфраструктур в условиях воздействия множественных угроз.

Согласно выводам исследований [4, 5] высокая степень автоматизации процессов принятия управленческих решений и адаптивность управления достигаются за счет использования в мультиагентных системах алгоритмов машинного обучения и методов искусственного интеллекта, которые позволяют агентам быстро адаптироваться к изменяющимся условиям и оперативно принимать решения на основе анализа больших объемов разнородных данных. Мультиагентные системы также учитывают социальные и организационные аспекты процессов управления безопасностью и жизнеспособностью, включая индивидуальные особенности конкретного класса критических инфраструктур, важные для адекватного решения задач мониторинга, сценарного анализа и прогнозирования проблемных ситуаций в этих системах.

В данной работе предпринята попытка обосновать необходимость и целесообразность применения парадигмы и технологии мультиагентных систем для поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур.

способностью критических инфраструктур, а также разработать принципы построения прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений в этой сфере на основе обобщения известных методологических подходов к обеспечению надежности, безопасности и устойчивости сложных динамических систем, положений концепции жизнеспособности и общей теории безопасности, методологий сетецентрического управления и проектирования агентно-ориентированных систем, основанных на знаниях, а также анализа организационно-технических и нормативных аспектов создания, интеграции и внедрения систем обеспечения безопасности критически важных объектов и инфраструктур. Определены преимущества и возможные ограничения применения мультиагентного подхода к решению задач управления жизнеспособностью критических инфраструктур. Приводится общая классификация методов и средств моделирования, анализа, автоматизации и управления, используемых на практике в целях обеспечения жизнеспособности критических инфраструктур.

1. Методологические основы исследования

Классифицировать известные на сегодняшний день методы и средства поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур можно по их функционально-целевому назначению и лежащему в их основе методическому подходу к моделированию данного класса динамических систем.

Первая категория средств включает следующие классические методы:

- выявления уязвимостей и анализа рисков, которые могут негативным образом отразиться на рабочих характеристиках функционирования системы или качественных свойствах ее отдельных элементов, а также нанести определенный ущерб;
- оценки величины риска и его приемлемости в разрезе вероятности возникновения рисков событий, степени возможных последствий и затрат на восстановление работоспособности системы в случае потери функциональности в результате влияния негативных факторов;
- приоритизации и минимизации риска, нацеленные на планирование и выбор наилучших для заданных условий превентивных мер по смягчению последствий реализации угроз на основе ранжирования рисков событий по степени критичности, и применения решающих правил;

- управления рисками и аудита безопасности сложных систем, предполагающие разработку адекватных программ снижения идентифицированных рисков и реализацию релевантных ситуаций защитных контрмер по противодействию множественным угрозам;
- стратегического анализа и оценки эффективности проводимых мероприятий по обеспечению безопасности и устойчивости исследуемых объектов, направленные на переосмысление риска и пересмотр превентивных мер по его снижению.

Вторая категория средств, используемых в процессе управления жизнеспособностью критических инфраструктур, согласно исследованиям [6,7], объединяет методы, которые различаются методологическими подходами к моделированию сложных систем, а именно:

- эмпирические методы, основанные на глубоком каузальном анализе статистических данных и экспертных знаний о типовых источниках угроз, инициирующих неблагоприятные события в работе критических инфраструктур, и характере их реализации в этих системах, что позволяет выявлять закономерности сбоев и отказов, а также установить и количественно оценить степень взаимозависимости показателей качества функционирования системы и влияющих ситуационных факторов;
- метод системной динамики, основанный на нисходящем подходе к анализу сложных динамических систем с взаимозависимыми параметрами и моделирующий поведение этих систем через уровни, потоки и петли обратной связи;
- методы сетевого планирования и когнитивного моделирования, позволяющие проводить анализ рисков нарушения безопасности критических инфраструктур на графе (сетевой модели), узлы которого представляют собой критически важные объекты этой инфраструктуры, а дуги - физические и относительные взаимосвязи между этими объектами, что обеспечивает за счет имитации воздействия на узлы системы негативных факторов оценку возмущения и реакции элементов критической инфраструктуры на системном уровне, а также возможность исследования каскадных сбоев и отказов в работе системы в целом;
- методы агентного имитационного моделирования, основанные на восходящем подходе к анализу сложных динамических систем [8, 9] и описывающие функционирование критических инфраструктур в виде совокупности взаимодействующих друг с другом и внешней средой

автономных агентов с заданными правилами поведения, имитирующих как логику работы реальных элементов критических инфраструктур, так и их реакцию на внутренние и внешние воздействия.

Среди прочих методических подходов можно выделить: методы нечеткой логики, сценарного анализа и информационного управления, в том числе «концептуальные рамки» [10, 11]; методы аналогового и дискретно-событийного моделирования; вероятностные методы моделирования в реальном масштабе времени; методы теории клеточных автоматов; методы экономической теории; метод Монте-Карло; деревья решений; аналитические и численные математические модели и методы, описывающие зависимости характеристик, режимы работы и поведение исследуемого класса систем; другие гибридные методы и инструменты моделирования, используемые, например, в современных геоинформационных и интеллектуальных информационно-аналитических системах.

Вместе с тем, ситуационное управление [12] такими сложными трудноформализуемыми объектами информатизации, как критические инфраструктуры, требует проведения регулярной оценки и анализа состояния защищенности и устойчивости компонентов этих инфраструктур в условиях воздействия множественных угроз различной природы. Для этих целей необходим соответствующий аналитический инструментарий оценки системных рисков нарушения жизнеспособности и безопасности критических инфраструктур.

Классификация моделей и средств анализа жизнеспособности сложных систем предложена в работах [7,13], в которых рассматриваются качественные и количественные подходы к управлению и оценке жизнеспособности. Первый класс оперирует методами, позволяющими получить интегральные оценки жизнеспособности системы на качественном уровне без учета количественных измерений характеристик функционирования системы. В этом классе дополнительно выделяют методы концептуального анализа жизнеспособности сложных систем, основанные на зарубежных практиках управления риском и безопасностью, а также определяющие принципы и характеристики жизнеспособных систем, и методы полуколичественного анализа, обеспечивающие оценку жизнеспособности систем на основе коллективных экспертных знаний о различных качественных аспектах жизнеспособности в заданных условиях и ограничениях.

Второй класс оперирует количественными методами, основанными на детерминированных и стохастических моделях оценки жизнеспособности,

описывающих характер поведения статических и динамических систем соответственно, а также определяющими выбор стратегии управления жизнеспособностью путем сравнения общей эффективности функционирования системы до и после возникновения критической ситуации, не сосредотачиваясь на конкретных рабочих характеристиках системы. В этом же классе отдельно выделяют структурные методы анализа, исследующие влияние системы на ее жизнеспособность посредством наблюдения за динамикой структуры системы, поведением системы и моделирования ее динамических характеристик во времени.

Еще одна классификация существующих подходов к управлению рисками и анализу жизнеспособности сложных систем представлена в работе [14]. Согласно этой классификации принято выделять индикаторные методы, основанные на измерении показателей (метрик) жизнеспособности систем, и моделирующие инструменты, предполагающие исследование характеристик жизнеспособности на различных типах моделей. Первый класс использует индикаторную систему оценки измеряемых характеристик жизнеспособности, построенную на основе общих и специфических групп показателей жизнеспособности для конкретных условий, и обеспечивает получение агрегированной оценки жизнеспособности системы по совокупности этих показателей с учетом целей и ограничений на управление. Второй класс включает методы сценарного анализа и моделирования жизнеспособности, обеспечивающие определение общей эффективности системы по совокупности обобщенных показателей качества функционирования и конфигурации системы. Эти методы основаны на использовании математических и физических моделей реальной системы и ее окружения, а также требуют знаний о критических функциях системы, ее задачах, целях, временных закономерностях, предельно-допустимых значениях рабочих характеристик, способностях системы к запоминанию, обучению и адаптации в меняющихся условиях обстановки.

Согласно материалам исследования [13], известные подходы к решению проблем обеспечения жизнеспособности критических инфраструктур методологически являются либо централизованными с позиций теории управления, либо основанными на резервировании с точки зрения теории надежности. Учитывая реальную природу критических инфраструктур и децентрализацию функций управления различными аспектами жизнеспособности этого класса систем, централизованные подходы зачастую недостаточно эффективны, а ре-

ализация механизмов резервирования, требующая существенных затрат и приводящая, как правило, к избыточности системы, не всегда технически осуществима на практике, в частности, при управлении распределенными системами, включающими большое количество физических объектов и управляющих элементов, в том числе участников процессов принятия решений.

Исходя из рассмотренных выше классификаций, агентно-ориентированный подход и мультиагентные системы относятся к классу средств управления жизнеспособностью критических инфраструктур, основанных на методах моделирования и исследования модельных представлений сложных взаимосвязанных объектов управления, имеющих распределенную гетерогенную структуру. Агентные технологии обеспечивают возможность повышения жизнеспособности таких объектов за счет поддержания высокой степени про-активности/автономности принятия решений элементами системы управления, что позволяет своевременно обнаруживать критические ситу-

ации и реагировать на них, а также оперативно адаптировать поведение объекта управления к этим ситуациям, используя арсенал методов искусственного интеллекта и социальные метафоры (модели) киберфизических систем [15]. Мультиагентная парадигма [16] на протяжении последних десятилетий вполне успешно зарекомендовала себя на практике как эффективный инструмент поддержки управления организационными и техническими системами различного уровня и, следовательно, может быть адаптирована для класса задач обеспечения жизнеспособности сложных систем, в нашем конкретном случае - критических инфраструктур.

Функциональная структура управления жизнеспособностью и рисками нарушения безопасности критических инфраструктур с использованием мультиагентных систем поддержки принятия решений приведена на рис. 1.

Мультиагентный подход обеспечивает децентрализованное решение проблемы единой точки отказа (когда потеря функциональности хотя бы

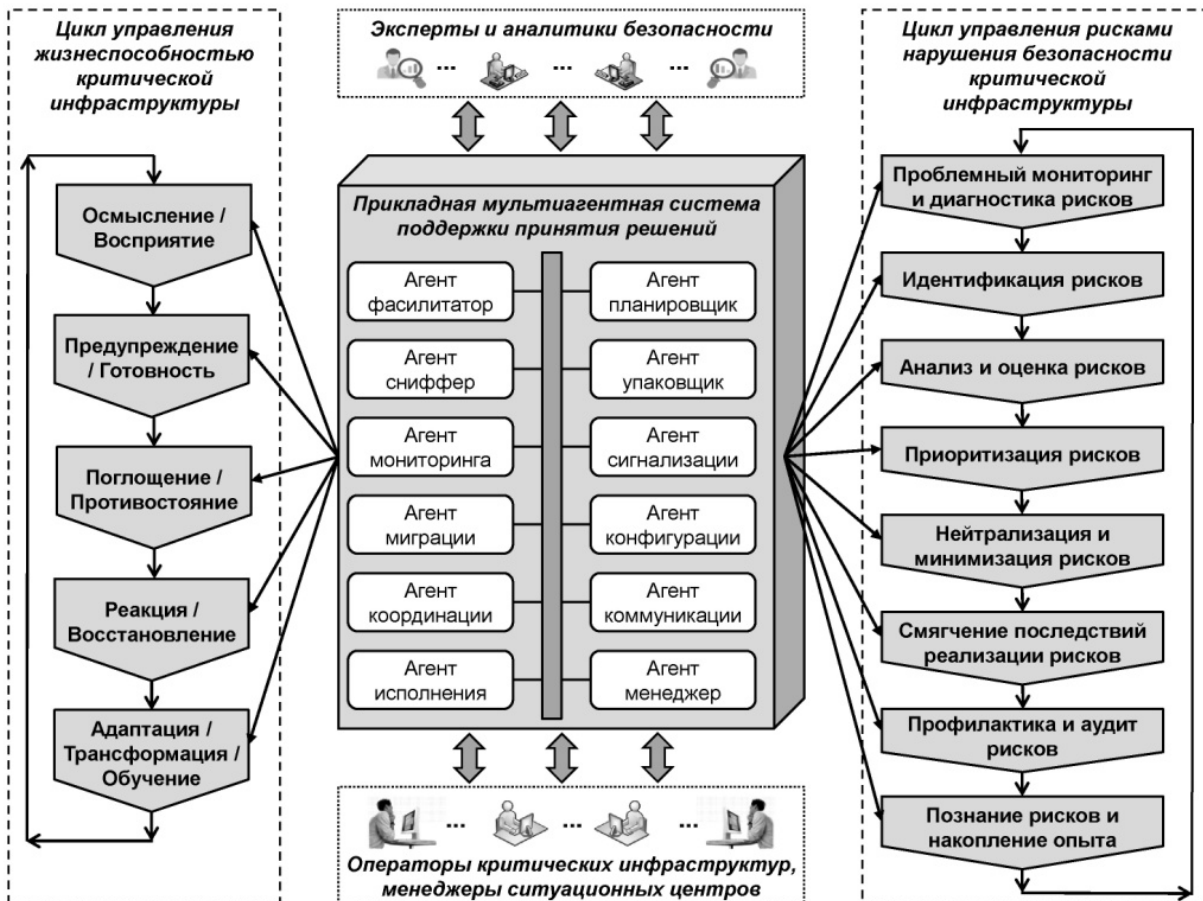


Рис. 1. Структура мультиагентного управления жизнеспособностью и безопасностью критических инфраструктур

одного элемента системы приводит к неработоспособности системы в целом), присущей централизованным решениям. Подход подразумевает, что каждый агент автономен и выполняет определенную роль в системе, в которой отсутствует иерархия контроля (глобальная управляемость), данные распределены, а локальные решения принимаются независимо и децентрализованно. За счет свойства автономности и способности к самоорганизации мультиагентные системы могут поддерживать свою работоспособность в случае потери функциональности ее отдельных элементов или связи между ними, а также в случае потери данных или масштабирования системы, что позволяет избежать избыточности (дублирования) программных компонентов и технических средств, используемых в управлении физическими объектами реального мира. Кроме того, по сравнению с традиционными методами, мультиагентный подход опирается на когнитивную науку и психологию для имитации когнитивных функций управляющих агентов, как в процессе принятия решений, так и в групповой самоорганизации.

Обзор научной литературы показал, что исследования вопросов применения технологии мультиагентных систем для управления жизнеспособностью критических инфраструктур носят точечный характер, то есть ориентированы на узкие приложения, например, анализ и решение проблем повышения жизнеспособности социотехнических, киберфизических, энергетических и контрольно-измерительных систем с иерархической или сетевой структурой [8, 17, 18].

2. Принципы построения мультиагентных систем управления

Для всех типов критических инфраструктур (мягкие/жесткие), классифицируемых как крупномасштабные системы, имеющие конкретные физические характеристики и свои индивидуальные особенности, опираясь на анализ современной научной литературы, можно сформулировать достаточно общие принципы построения прикладных мультиагентных систем поддержки управления жизнеспособностью этих инфраструктур в независимости от рассматриваемой области жизнеспособности - технологической, организационной и т.д. К этим принципам относятся следующие:

1. *Принцип изоморфизма.* Архитектура мультиагентной системы, включающая агенты и отношения между ними, должна взаимно-однозначно соответствовать моделируемой структуре организационного управления (участники, объекты/про-

цессы и связи между ними) критической инфраструктурой.

2. *Принцип независимости.* Состав и физические характеристики критической инфраструктуры определяют минимальное количество независимых активных управляющих элементов (агентов), необходимых для полного и адекватного описания функционирования и степеней свободы этой инфраструктуры с учетом наложенных ограничений на управление.

3. *Принцип существования.* Для каждого участника процесса принятия решений по управлению жизнеспособностью критической инфраструктуры или физического элемента этой инфраструктуры в мультиагентной системе управления должен существовать хотя бы один активный элемент – агент, определяющий его целеполагание и выполняющий заданные функции, направленные на поддержание жизнеспособности критической инфраструктуры с учетом определенной ресурсоемкости и имеющихся физических возможностей.

4. *Принцип функционального разнообразия.* По своей структуре агенты должны быть многофункциональными и поддерживать весь спектр операций в рамках жизненного цикла управления жизнеспособностью критических инфраструктур: от проблемного мониторинга и предобработки информации о нештатных ситуациях до оценки рисков и анализа последствий реализации угроз нарушения жизнеспособности критических инфраструктур. При выборе конкретной функции агенты должны учитывать неоднородную структуру инфраструктурных систем, детерминированную и стохастическую природу, протекающих в них процессов, ресурсные возможности и ограничения на управление. Агенты должны моделироваться через определенный набор признаков (критериев), например: качество выполнения задания (высокое, среднее, низкое); скорость выполнения задания (высокая, средняя, низкая); используемый ресурс (малый, средний, большой) и т.п.. В результате, подбор подмножества агентов для выполнения конкретного задания становится нетривиальной задачей: какой выбрать агент, который быстро выполняет задание, но расходует большой ресурс, или же агент, который выполняет задание медленно, но при этом ресурс расходует экономно. Ответить на эти вопросы помогают многокритериальные методы для описания неоднородных агентов [19, 20].

5. *Принцип интеграции.* Для эффективной информационно-поддержки управления жизнеспособностью критических инфраструктур агенты должны объединяться в коллективы (коалиции) на

разных уровнях принятия решений, а сама мультиагентная система должна отражать физическую интеграцию управляющих элементов (центров управления или отдельных акторов), деятельность которых она моделирует в виртуальной среде.

6. *Принцип пригодности.* Мультиагентная система поддержки принятия решений должна обеспечивать возможность использования функционала агентов для моделирования и анализа процессов управления жизнеспособностью критической инфраструктуры в условиях неопределенности, высокой динамики степеней свободы инфраструктурной системы и заданных ограничений.

7. *Принцип взаимодействия.* Для совместной деятельности при решении задач управления жизнеспособностью критической инфраструктуры агенты должны взаимодействовать друг с другом на всех уровнях управления и принятия решений, а мультиагентная система должна поддерживать стандартные языки, модели и средства коммуникации агентов, независимые от выбранной методологии разработки мультиагентной системы и ограничений на управление. К специализированным агентным языкам, применяемым в имитационных моделях, относятся, например, РДО, Microsoft Axum [8, 9] и другие языки программирования агентов [21]. В виртуальной среде управления глобальное поведение системы однозначно определяется взаимодействием между распределенными агентами.

8. *Принцип самоорганизации.* В условиях динамически меняющейся внешней среды и показателей функционирования критических инфраструктур мультиагентная система должна обладать потенциалом к самоорганизации, то есть способностью к реконфигурации своих ресурсов и активных элементов (агентов) под новые условия исходной задачи, в том числе при наложении дополнительных ограничений на управление жизнеспособностью. При этом система не должна становиться избыточной и терять управляемость в области воздействия на физические элементы моделируемой критической инфраструктуры. Кроме того, запуск адекватных ситуаций механизмов перенастройки и реконфигурации, например, механизма самоорганизации агентов на основе градиентных вычислительных полей [22], должен быть предусмотрен как на уровне агентов, так и мультиагентной системы в целом. Поскольку один и тот же процесс реконфигурации может потребовать существенных ресурсных затрат в зависимости от выбранного механизма самоорганизации, мультиагентная система должна обеспечивать полноту и разнообразие используемых информационных ресурсов и

сервисов агентов, что непосредственно влияет на способность системы управления к реконфигурации. Это особенно важно в поддержке управления жизнеспособностью на этапах восстановления и адаптации критических инфраструктур после воздействия множественных угроз.

9. *Принцип свободы действий.* Возможности, область действий и намерения агентов должны ограничиваться целями и сферой ответственности участников процессов управления жизнеспособностью критических инфраструктур, деятельность которых агенты имитируют в виртуальной среде, и согласовываться с реальной картиной, отражающей физическое состояние элементов критических инфраструктур на всех этапах жизненного цикла управления жизнеспособностью. Чем выше функциональная и информационная мощность агентов и чем выше динамичность их взаимодействия друг с другом, тем выше степень свободы агентов, а также вариативность действий и гибкость, которыми они обладают для поиска и генерации оптимальных решений ситуационного управления в условиях неполноты и нечеткости информации о состоянии жизнеспособности критических инфраструктур.

10. *Принцип инкапсуляции.* Агент, моделирующий конкретный физический объект критической инфраструктуры или акторов, управляющих жизнеспособностью этой инфраструктуры, должен быть реализован как программная сущность, основанная на знаниях и способная агрегировать внутри себя разноплановую информацию о состоянии жизнеспособности критических инфраструктур и их элементов, а также применять методы и средства автоматизированной обработки и анализа этих данных для решения задач, стоящих перед мультиагентной системой. При этом агент должен иметь возможность предоставления доступа к своим ресурсам и сервисам другим агентам по запросу, если возможности последних ограничены в силу каких-либо обстоятельств.

12. *Принцип интероперабельности.* Для совместного использования разнородных информационных ресурсов и сервисов, а также их интеграции в единую виртуальную среду управления, мультиагентная система должна поддерживать современные стандарты интероперабельности активных компонентов распределенных информационно-управляющих систем на технологическом, семантическом и организационном уровнях взаимодействия агентов и связанных с ними веб-сервисов. К таким стандартам относятся, например, специализированные FIPA [23] и IEC61499 [24], а также общепринятые ГОСТ Р 55062-2012, LISI, SCOPE

и DODAF, подробно рассмотренные в научных работах [25, 26]. Формирование профилей интероперабельности на уровне протоколов, интерфейсов и процессов является важной задачей при разработке агентов и прикладных мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур. Кроме того, при создании данного класса систем необходимо применять единые подходы, основанные на отечественных и зарубежных методиках и открытых стандартах инфокоммуникационных технологий, регламентирующих обеспечение функциональной совместимости элементов этих систем.

Вместе с тем, стоит отметить, что структурная сложность объектов, образующих различные типы критических инфраструктур, моделируемых и управляемых агентами, в совокупности с динамическими характеристиками жизнеспособности этих инфраструктур во многом определяют структуру и состав проектируемых прикладных мультиагентных систем управления, однако архитектура агентов и самих систем может быть в общем случае унифицированной.

12. Принцип системной динамики. Жизнеспособность – это динамичная предметная область, а критические инфраструктуры – это пространственно-распределенные сложные динамические системы, развивающиеся во времени. Мультиагентные системы, нацеленные на мониторинг и управление поведением таких комплексных объектов, должны оперировать развитыми моделями принятия решений и средствами прогнозирования, учитывающими как динамические характеристики критических инфраструктур, так и саму динамику показателей жизнеспособности, изменяющихся в реальном масштабе времени. Кроме того, используемые модели должны максимально подробно описывать поведение критических инфраструктур во всех измерениях жизнеспособности, для которых требуется эффективное принятие решений, и моделировать динамику показателей жизнеспособности и управляющих воздействий как в непрерывном, так и в дискретном времени.

13. Принцип дискретизации. Область действий агентов должна быть ограничена во времени, то есть агент-регулятор или агент-исполнитель вырабатывают управляющие воздействия на элементы критических инфраструктур строго в определенные дискретные моменты времени. При этом в мультиагентной системе динамические характеристики моделируемой критической инфраструктуры должны контролироваться в реальном времени как минимум одним агентом, способным принимать своевременные решения при заданных усло-

виях в пределах своих полномочий и компетенций.

14. Принцип координации. Принимаемые решения агентами системы на всех уровнях управления жизнеспособностью критических инфраструктур должны быть согласованными во времени и в пространстве, а также не противоречить логике функционирования реальной физической системы. Для этого в мультиагентной системе должны быть реализованы методы согласования распределенного управления, основанные на моделях активных систем [27] и принципах координации путем «развязывания» и прогнозирования взаимодействий, известных в теории иерархических многоуровневых систем [28, 29]. Таким образом, агенты должны действовать согласованно для достижения глобальной цели системы.

15. Принцип децентрализации. Каждый агент в мультиагентной системе управления должен строго иметь свою зону ответственности, регулировать конкретные характеристики моделируемой физической системы и выполнять возложенные на него функции независимо от других агентов. Несмотря на то, что иерархическое подчинение агентов неизбежно, но малоэффективно, при управлении жизнеспособностью таких крупномасштабных систем, как критические инфраструктуры, агенты должны иметь возможность делегировать часть своих функций другим агентам в случае, когда требуется реализовать групповое принятие решений в условиях многокритериальности или большой размерности глобальной задачи системы. Для этого мультиагентная система должна обеспечивать сетевой принцип организационного управления с выделенными управляющими центрами. При этом агенты, распределяющие подзадачи внутри локально сформированных иерархий агентов, выступают в роли центров координации и контролируют эквивалентность иерархии агентов декомпозиции глобальной задачи системы, а также процессы дискретизации действий агентов во времени на основе анализа связей между агентами и динамики рабочих характеристик управляемой системы (критической инфраструктуры). Децентрализация функций управления позволяет агентам системы поддерживать приемлемую для заданных условий работоспособность элементов критических инфраструктур в случае возникновения непредвиденных событий и нештатных ситуаций.

16. Принцип автономности и про-активности. В распределенной мультиагентной системе поддержки принятия решений, моделирующей процессы ситуационного управления жизнеспособностью критических инфраструктур, агенты должны функционировать как целеустремленные автоном-

ные программные сущности и активно реагировать на возможные изменения внешней среды и действия других агентов, на основе чего планировать стратегию своего поведения в будущем. У агентов должна быть предусмотрена собственная внутренняя логика или интеллектуальный механизм принятия решений, что не требует тотального контроля над их деятельностью в процессе достижения глобальной цели системы или решения конкретной задачи, то есть агенты работают по гетерархическому принципу [30].

17. *Принцип открытости.* Для обеспечения возможности системной интеграции новых программных компонентов в единую мультиагентную систему, ее модификации и обновления интерфейсы агентов системы и спецификации интегрируемых компонентов должны быть реализованы с использованием непроприетарных средств и открытых стандартов. Открытые мультиагентные системы ориентированы на работу в динамических распределенных средах и поддерживают совместимость и переносимость агентов и внешних приложений (сервисов). При этом агенты свободно обмениваются данными, взаимодействуют друг с другом и имеют доступ к внешним ресурсам за счет унификации регламентов и форматов коммуникации. Здесь стоит также отметить большой потенциал специальных языков программирования агентов [8, 9, 21] в обеспечении указанных возможностей.

18. *Принцип репликации.* Общесистемная (глобальная) информация и знания должны быть доступны всем агентам системы и использоваться централизованно, что положительно влияет на эффективность процесса принятия решений. Специфичная информация, требуемая для решения конкретной задачи, генерируется самими агентами локально, тиражируется и предоставляется другим агентам по запросу в ходе распределенного принятия решений. Для этих целей в мультиагентной системе, как правило, реализуются специальные сервисы обмена данными и стандартные модели коммуникации, например, «витрина задач», «доска объявлений», «круглый стол» и др. [31], позволяющие в той или иной степени удовлетворить информационные потребности агентов.

19. *Принцип «дружественности».* В идеале агенты системы не должны находиться в антагонизме по отношению друг к другу, а должны придерживаться рационального и альтруистичного поведения, несмотря на конкуренцию в вопросах распределения и использования ресурсов системы. Для реальных задач управления безопасностью и жизнеспособностью критических инфраструктур на практике не всегда удается достичь однотипно-

го поведения всех акторов, поэтому в мультиагентной системе должна быть реализована возможность гибкой настройки поведения управляющих агентов, цели и предпочтения которых могут естественным образом меняться в процессе индивидуальной адаптации к изменению ситуации. Кроме того, стоит отметить, что асимметрия намерений субъектов управления и их стремление доминировать в информационном поле характерны для большинства децентрализованных систем принятия решений в этой сфере. Однако при этом сохраняются риски потери управляемости и не достижения глобальной цели системы.

20. *Принцип самовосприятия.* Для анализа собственного состояния и потенциала других агентов системы, а также адаптации к меняющимся условиям архитектура агентов должна включать имитационный аппарат [32] или упрощенные модели внутреннего состояния и внешней среды. Это позволяет агентам строить и выбирать стратегию своего поведения, опираясь на прогноз деятельности других агентов и изменений внешней среды, а также находить баланс между имеющимися в их распоряжении возможностями и системными ресурсами при выполнении заданных функций и задач. Агентное имитационное моделирование [8, 9] хорошо зарекомендовало себя для исследования природоподобных и социальных систем. Поэтому, при агентном моделировании процессов управления жизнеспособностью критических инфраструктур прослеживаются определенные аналогии с моделями биологических систем.

21. *Принцип локализации (размещения).* Любая мультиагентная система должна быть развернута на агентной платформе, которая встроена в существующую информационно-коммуникационную инфраструктуру, а агенты системы должны функционировать в рамках определенной вычислительной или физической среды, имея возможность косвенно или напрямую воздействовать на ее составные части или процессы, а также воспринимать возмущения этой среды и ее отдельных элементов.

22. *Принцип «качества обслуживания».* Работоспособность мультиагентной системы поддержки принятия решений для таких сложных объектов управления, как критические инфраструктуры, должна максимально не зависеть от обстоятельств непреодолимой силы, то есть форс-мажорных событий, например, отключение электроэнергии, что приведет к потере связи между агентами, нарушению функциональности системы в целом и будет замедлять процесс принятия решений в условиях критических ситуаций. Особенно ощутимо это от-

развиться на уровне оперативного управления. Для предотвращения подобных инцидентов в мультиагентной и соответственно физической системах должны быть предусмотрены резервные каналы связи, чтобы взаимодействие между агентами не прерывалось. Однако это может быть технически сложно реализовать и является весьма ресурсозатратным с точки зрения сервисной поддержки и регулярного обслуживания. Потеря актуальной информации и управляющих сигналов в результате сбоев в работе информационно-коммуникационной инфраструктуры снижает общую эффективность деятельности агентов системы кризисного реагирования. Вместе с тем, время жизни агентов может быть ограничено сроком решения поставленных перед ними задач или продолжительностью оказания информационных услуг (предоставление сервисов) другим агентам системы. Таким образом, требования обеспечения эксплуатационной надежности и живучести элементов моделируемой физической системы должны быть заложены в логику работы мультиагентной системы управления на этапе ее проектирования.

Приведенные принципы обеспечивают общую методологическую основу разработки прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений и призваны повысить эффективность управления жизнеспособностью сложных динамических систем, в частности, критических инфраструктур, за счет практической реализации и внедрения этих систем. На практике рассмотренные принципы нашли применение при проектировании мультиагентных приложений, например, в сфере управления жизнеспособностью транспортных, банковских, энергетических, телекоммуникационных и производственных инфраструктурных систем [33, 34], представляющих собой совокупность взаимосвязанных критически важных объектов и коммуникаций, нацеленных на обеспечение устойчивого функционирования городов и даже регионов. Обобщенная методология и принципы разработки прикладных мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур представлены на рис. 2.

В дополнение к перечисленным принципам должны применяться базовые подходы организации систем обеспечения безопасности сложных социально-экономических объектов, которые лежат в основе теории и методологии управления жизнеспособностью критических инфраструктур, а именно [35]:

1. *Принцип локальности.* Этот принцип заключается в парировании и локализации возможных угроз и опасностей на начальной фазе их зарожде-

ния (до развития) посредством создания особых условий, препятствующих возникновению и распространению негативных факторов и тенденций и, в то же время, выгодных с экономической точки зрения. Данный принцип применяется однократно или многократно в зависимости от специфики постановки решаемой задачи обеспечения безопасности/жизнеспособности критических инфраструктур.

2. *Принцип глобальности.* Этот принцип состоит в более широкой многоуровневой организации управления безопасностью/жизнеспособностью критических инфраструктур и реализуется в тех случаях, когда нарушается принцип локальности, либо применение последнего недостаточно эффективно. Данный принцип представляет собой надстройку над принципом локальности и призван обеспечить благоприятные условия существования и функционирования системы (критической инфраструктуры) при возникновении глобальных угроз за счет упорядочивания и регулирования взаимодействия элементов критической инфраструктуры и внешней среды.

3. *Принцип функциональной декомпозиции.* Применение этого принципа предполагает реализацию двух защитных механизмов (специальных мер, выстроенных по системному принципу): внутренний механизм обеспечения безопасности/жизнеспособности критической инфраструктуры, интегрированный в потенциально уязвимые области ее функционирования, и внешний механизм противодействия множественным угрозам. Внешний механизм защиты реализует модели и методы, обеспечивающие приемлемые условия для нормального функционирования и поступательного развития критической инфраструктуры, то есть минимально допустимый уровень воздействия на нее негативных факторов, приводящих к отклонению показателей жизнеспособности от нормативных значений. Внешний механизм обеспечения жизнеспособности нацелен на достижение состояния защищенности критических инфраструктур от воздействия множественных угроз и их проникновения в критически важные объекты, образующие эти инфраструктуры. Внутренний механизм защиты обеспечивает парирование и локализацию внутренних угроз жизнеспособности (структурных трансформаций и возмущений, порождаемых элементами критических инфраструктур в результате самоорганизации), а также внешних угроз жизнеспособности (воздействий, продуцируемых окружающей средой и преодолевших внешний защитный механизм). Другими словами, внутренний механизм

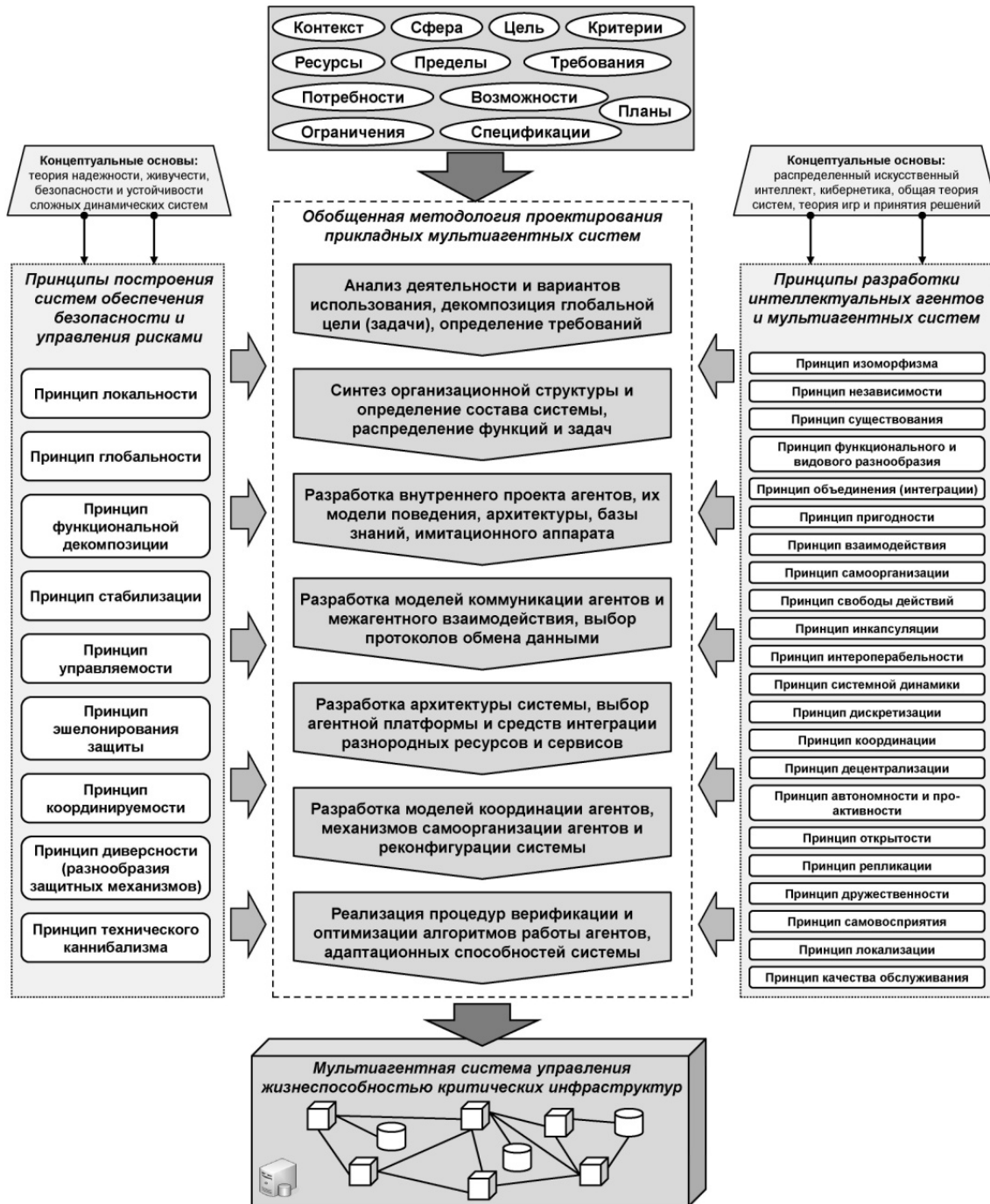


Рис. 2. Концептуальные основы и принципы разработки мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур

обеспечения жизнеспособности ориентирован своими мерами на поддержание динамического равновесия элементов критической инфраструктуры (системного гомеостаза) и удержание их критических параметров в области безопасности/устойчивости за счет саморегуляции и адаптации системы. Использование принципа, базирующе-

гося на рассмотренных механизмах защиты, в теории жизнеспособности позволяет более глубоко исследовать природу происхождения внутренних и внешние угроз, а также различать их при решении проблем управления безопасностью/жизнеспособностью критических инфраструктур и других сложных систем.

4. *Принцип стабилизации.* Этот принцип может рассматриваться применительно как к исследуемому классу систем (критических инфраструктур), так и к конкретной ситуации при взаимодействии отдельных элементов системы друг с другом и с внешней средой в условиях действия параметрических возмущений. Критические инфраструктуры относятся к классу сложных развивающихся целеустремленных систем, структура и функции которых изменяются с течением времени. При этом с позиции общей теории систем и теории управления в процессе анализа их устойчивости на некотором фиксированном временном интервале такие системы можно рассматривать, как системы стабилизации типа «объект - регулятор», вследствие наличия органов управления, противодействующих внутренним и внешним возмущениям. Тогда задачи теории жизнеспособности сложных систем можно отождествить с задачами стабилизации. Принцип стабилизации предполагает реализацию комплекса мер по сохранению и движению системы в пространстве устойчивых состояний (области жизнеспособности), наблюдаемые характеристики которых в критических условиях могут динамически меняться и предопределять характер поведения системы. Как правило, на практике приходится иметь дело с несколькими, функционально связанными областями безопасности/жизнеспособности в пространстве состояний критических инфраструктур, соответствующими множеству источников и каналов инициализации угроз в этих системах.

В качестве регулятора для компенсации возмущений используются механизмы управления, обеспечивающие формирование благоприятных условий для целенаправленного поведения объекта управления (в данном исследовании - критической инфраструктуры) [36]: «жесткое» институциональное управление через контроль ограничений и норм деятельности (координация управления на метауровне); «мягкое» мотивационное управление через изменение функций полезности и предпочтений субъектов управления путем введения системы штрафов и поощрений за выбор тех или иных действий (стимулирование деятельности субъектов); «гибкое» информационное управление через изменение информации (ситуационной осведомленности), которой оперируют субъекты управления в процессе выработки и реализации решений (адекватная ситуации информационно-аналитическая поддержка принятия решений). Нарушение стабильности системы приводит к неполадкам и коллизиям в ее функционировании, обусловленным развитием критических ситуаций и случайных про-

цессов, которые на деле могут не поддаваться корректирующим управляющим воздействиям.

5. *Принцип управляемости.* Этот принцип характеризует достижение поставленных целей системой обеспечения безопасности/жизнеспособности критических инфраструктур. Для реализации данного принципа, как известно из практики, необходимо, чтобы органы управления безопасностью и жизнеспособностью критических инфраструктур имели возможность целенаправленно воздействовать на параметры состояния критически важных объектов, образующих эти инфраструктуры, а также, чтобы ресурсное обеспечение процесса управления было достаточным для решения задач на пути к цели и адекватным ей. Вместе с тем, для реализации управления критическими инфраструктурами должны быть выполнены требования наблюдаемости системы, обеспечивающие получение и доступ к информации о состоянии системы. Для этого широко применяются средства мониторинга и идентификации состояния функционирования критических инфраструктур. Для нелинейных динамических систем условие управляемости сопряжено с большими трудностями, тогда, как для линейных систем оно известно.

6. *Принцип эшелонирования защиты.* Этот принцип базируется на сетевом подходе [36] к управлению жизнеспособностью критических инфраструктур и реализации механизма обеспечения жизнеспособности системы «в глубину» посредством развертывания многоуровневых распределенных систем ситуационного управления безопасностью. Примерами сетевой инфраструктуры безопасности на федеральном и региональном уровне являются системы распределенных ситуационных центров и центров управления регионом [37], соответственно. Сеть большая, решающих центров много и всем необходимо предоставить информацию, точно соответствующую текущей ситуации, для согласования управленческих решений и координации совместных действий. Сдержательно принцип сетевости в теории жизнеспособности сложных систем подразумевает реализацию полностью или частично децентрализованной структуры организационного управления жизнеспособностью критически важных объектов, входящих в состав критических инфраструктур, с выделенными управляющими центрами, взаимодействие между которыми осуществляется на базе их интеграции в единое информационное пространство. Управляющие центры выполняют функции мониторинга, превентивной аналитики, фильтрации и контроля рисков, связанных с нарушением безопасности функционирования кри-

тических инфраструктур, а на основе прогнозов неблагоприятных событий формирует антикризисные меры по минимизации возможных последствий реализации угроз в каждой области жизнеспособности системы и обеспечению приемлемого уровня риска защищенности критически важных объектов.

7. Принцип координируемости. Этот принцип в теории жизнеспособности сложных систем реализуется путем контроля ограничений на управление. При таком способе координации должны выполняться принципы согласования взаимодействий и функций качества, а также постулат совместимости задач, решаемых элементами системы, по отношению к общей задаче системы. Под координацией понимается достижение согласованности в работе всех звеньев системы путем установления рациональных связей между ними, что обеспечивает получение оптимального решения общей задачи системы при оптимизации подзадач, решаемых подсистемами. Система координируема, если существует координирующий сигнал, обеспечивающий согласованность связующих входов и согласованность ожидаемых и фактических значений локальных функций соответственно.

8. Принцип диверсности (разнообразия). Принцип диверсной защиты является одним из центральных как в теории безопасности, так и теории жизнеспособности сложных систем. Он реализуется как на объектовом (локальная диверсность), так и на инфраструктурном (глобальная диверсность) уровне организации крупномасштабных систем. Данный принцип нацелен на рациональное сочетание и распределение различных видов ресурсов и средств обеспечения безопасности на всех уровнях ситуационного управления жизнеспособностью критических инфраструктур. Это необходимо для уменьшения вероятности (риска) нарушения работы группы критически важных объектов по общей причине. При создании систем ситуационного управления жизнеспособностью критических инфраструктур этот принцип подразумевает наличие и запуск многоверсионных механизмов резервирования (генерация двух или более резервных систем), оптимизирующих функционирование критически важных объектов по критериям «надежность - стоимость» или «безопасность (приемлемый риск) – готовность парирования», в случае деструктивного воздействия множественных внутренних и/или внешних угроз, в том числе необратимого характера. Принцип диверсной защиты ориентирован на адаптивные системы управления жизнеспособностью критических инфраструктур, способные к самоорганизации и работающие по

непрограммируемой логике. Разнообразие в защите достигается за счет использования взаиморезервирующих каналов и элементов обеспечения безопасности, либо путем расширения существующей системы дополнительными средствами управления жизнеспособностью, построенными на принципиально иных методах и подходах. Параметрическое разнообразие, как правило, является программируемым и предполагает активацию и запуск адекватных ситуаций алгоритмов управления (регуляторов) на основе данных мониторинга за состоянием показателей жизнеспособности управляемой системы и контроля их допустимых значений. Применение принципа диверсности позволяет учитывать влияние человеческого фактора при решении задач управления безопасностью и жизнеспособностью критических инфраструктур.

9. Принцип «технического каннибализма». Этот принцип предполагает использование ресурсов системообразующих элементов критических инфраструктур, деградировавших или утративших свою функциональность в результате воздействия множественных угроз, в интересах восстановления работоспособности других элементов этих инфраструктур для поддержания их жизнеспособности и системы в целом. Данный принцип реализуется в процессе трансформации и эволюции элементов критических инфраструктур, что зачастую обусловлено изменением их свойств, системных требований, высокой динамикой внешней среды и т.д., для адаптации систем управления жизнеспособностью к новым вызовам и меняющимся условиям функционирования. Это способствует рациональному выбору сил и средств по обеспечению безопасности и жизнеспособности критических инфраструктур в целях минимизации рисков потерь функциональности критически важных объектов этих инфраструктурных систем.

3. Преимущества мультиагентного подхода

При решении задач ситуационного управления мультиагентный подход, основанный на взаимодействии групп распределенных автономных агентов, и методы многокритериальной оптимизации, широко используемые в системах поддержки принятия решений, гармонично дополняют друг друга. При этом, по сравнению с другими инструментами информационной поддержки, мультиагентные системы обеспечивают такие неотъемлемые преимущества, как масштабируемость, расширяемость, локальную устойчивость, релевантность, прозрачность, автономность, контекстуальность, социальность и адаптивность:

– *Масштабируемость*. Мультиагентный подход обеспечивает более высокую гибкость при масштабировании системы информационной поддержки управления за счет интеграции дополнительных поставщиков информационных услуг, программных компонентов или веб-сервисов в общую структуру системы управления. При этом существенных изменений в концептуальную модель и логику работы этой системы в целом вносить не потребуется.

– *Расширяемость*. Мультиагентный подход обеспечивает более высокую гибкость при расширении (наращивании) функциональных возможностей системы управления за счет включения в процессы распределенного принятия решений новых участников (агентов) «под задачу», обладающих требуемыми функциями и компетенциями для мониторинга и контроля состояния новых типов объектов управления в моделируемой физической системе. При этом реконфигурация информационной структуры принятия решений в целом не потребуется. Однако в случае, если внедряемые про-активные элементы влияют определенным образом на деятельность существующих агентов, то может потребоваться модификация структуры взаимосвязей между управляющими элементами мультиагентной системы или перераспределение функций управления.

– *Локальная устойчивость*. В процессе решения задач агенты объединяются в проблемно-ориентированные коалиции, образуя устойчивые центры принятия локальных решений в системе децентрализованного управления. Эти центры представляют собой виртуальные сети агентов, информационных ресурсов и сервисов, работающие по сетевому принципу [38]. За счет этого мультиагентный подход обеспечивает более высокую гибкость при самоорганизации и адаптации системы управления в условиях возмущения внешней среды и изменения характеристик функционирования элементов моделируемой физической системы. Кроме того, это позволяет в целом отказаться от централизованного управления и изолированности локальных ресурсов, а также повышает ситуационную осведомленность и доступность сервисов агентов, что, в свою очередь, способствует быстрой реакции системы на изменение обстановки и выработке согласованных решений ситуационного управления.

– *Релевантность*. Серьезной проблемой для лиц, принимающих решения, при управлении сложными динамическими объектами является оперирование (получение, анализ, поиск, генерация) достоверной и релевантной информацией о состо-

янии рабочих характеристик этих объектов. Как автоматизированные средства поддержки управления, агенты призваны частично нивелировать эту проблему в части своевременной актуализации, регулярного обновления, анализа и контроля достаточной полноты управляющей информации, поступающей в систему из разнородных источников, как в дискретном режиме, так и в режиме реального времени, а также необходимой операторам для принятия обоснованных решений. Для этого агенты непрерывно взаимодействуют друг с другом и с внешней средой, оценивая влияние наблюдаемых ситуационных факторов и обмениваясь информацией о состоянии контролируемых параметров в зависимости от происходящих в системе событий. Кроме того, агентами обеспечивается оперативность распределенного принятия решений с минимальными задержками, которые могут быть вызваны продолжительным откликом централизованных служб или других элементов системы управления на целевые информационные запросы.

– *Прозрачность*. Автономные агенты, используемые для поддержки и оптимизации управления сложными системами, взаимодействуют в открытой децентрализованной виртуальной среде. Прозрачность этой среды определяется тем, что вся управляющая информация об агентах, о самой среде и моделируемых в ней объектах и процессах, открыта. Это достигается за счет коммуникации агентов, которые предоставляют друг другу информацию о своем текущем состоянии, имеющихся в их распоряжении ресурсах и собственных намерениях в ходе совместного решения задач управления. Несмотря на то, что агенты являются независимыми сущностями и ориентированы на самостоятельное принятие решений, за счет такого взаимодействия, восприятия среды и самообучения, обеспечивается более эффективное функционирование всей системы управления в целом. Вместе с тем, обобщенная модель деятельности агентов представляет собой «прозрачный ящик» [32], в котором отражаются внутренние механизмы функционирования агентов путем анализа собственного поведения, опыта других агентов, процессов саморегуляции и моделирования внешней среды.

– *Автономность*. Агентные технологии в управлении сложными объектами различной природы обеспечивают автономность активных программных компонентов систем управления этими объектами на оперативном, тактическом и стратегическом уровнях принятия решений, а также инкапсуляцию алгоритмов управления, но не дан-

ных, внутри агентов, что в целом снижает сложность управления крупномасштабными системами, характеризующимися высокой внутренней динамикой, полицентризмом, вариативностью и распределенностью структурных элементов этих систем, а также динамичностью параметров операционной и внешней среды.

– *Эксплицитная ситуативность (контекстуальность)*. Несмотря на вполне естественную ограниченность знаний агентов о всей управляемой системе и внешней среде, агентно-ориентированный подход обеспечивает полное погружение в контекст ситуации и ее всестороннее восприятие при управлении сложными распределенными объектами за счет взаимодействия групп управляющих агентов и связанных с ними сенсоров (датчиков), а также вариативность моделирования сценариев управления этими объектами в условиях ограниченности ресурсов на управление и ситуационной неопределенности. Встроенность агентов в среду, способность изменения ее состояния и учет контекста, в свою очередь, вкупе с последним позволяют строить более адекватную модель принятия решений для каждой конкретной ситуации и проводить более глубокую детализацию (декомпозицию) глобальной задачи системы, что уменьшает трудоемкость решения отдельных подзадач для достижения целей управления.

– *Социальность*. Мультиагентный подход позволяет гибко организовать высокоуровневое одноранговое взаимодействие между динамичными про-активными элементами кибер-физических и социотехнических систем (агентами, людьми, сенсорами, роботами и т.п.) за счет цифрового отображения физических объектов реального мира в виртуальное пространство с сохранением внутренней динамики, особенностей социального поведения, структуры взаимосвязей, логики и сценариев функционирования в процессе имитации этих объектов средствами цифровых двойников – интеллектуальных агентов.

– *Адаптивность*. Мультиагентный подход обеспечивает синтез адаптивных систем управления сложными распределенными объектами, обладающих способностью к самонастройке и самоорганизации. В процессе инициативных взаимодействий между агентами происходит обмен опытом и взаимообучение, а адаптационные способности системы управления в целом развиваются, что позволяет адекватно реагировать на изменения условий функционирования управляемого объекта с приемлемыми потерями его функциональности и расширить заранее запрограммированный репертуар возможных вариан-

тов поведения для ситуаций, характеризующихся новизной и неопределенностью.

Заключение

В работе исследованы: стратегическая для обеспечения региональной безопасности предметная область – жизнеспособность критических инфраструктур, а также потенциал и перспективы применения мультиагентных систем для поддержки принятия управленческих решений в этой сфере. По результатам проведенного анализа современного состояния исследований в области разработки прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений установлено, что вопросы приложения агентных технологий для задач управления жизнеспособностью региональных критических инфраструктур недостаточно изучены как в теоретическом плане, так и на практике, в связи с чем требуют более детальной научной проработки. Вместе с тем, комплексная информационная поддержка всего жизненного цикла управления жизнеспособностью критических инфраструктур на базе мультиагентного подхода ранее не проводилась. В отечественной и зарубежной практике известны лишь независимые друг от друга фрагментарные технологические решения этой проблемы с применением средств мультиагентного моделирования и виртуальных анализаторов (агентов) для отдельных этапов жизненного цикла, например, связанные с мониторингом, сценарным анализом, аудитом и прогнозированием потенциальных угроз нарушения безопасности и устойчивости критических инфраструктур.

В ходе исследования предложены принципы построения прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений по управлению жизнеспособностью региональных критических инфраструктур, основанные на сопряжении общей методологии разработки мультиагентных систем и методических подходов к организации систем обеспечения комплексной безопасности критически важных объектов и ситуационному управлению их жизнеспособностью.

С теоретической точки зрения, полученные результаты развивают общую теорию безопасности сложных систем в части расширения потенциала применения мультиагентного подхода к управлению жизнеспособностью критических инфраструктур и разработки новых принципов синтеза адаптивных систем сетевидного ситуационного управления безопасностью и жизнеспособностью критически важных объектов.

С практической точки зрения, полученные результаты в случае успешной реализации и верификации на практике могут быть использованы для повышения эффективности средств информационной поддержки стратегического и оперативного управления безопасностью и жизнеспособностью критических инфраструктур за счет обеспечения более высокого уровня автоматизации управленческой деятельности операторов региональных ситуационных центров, наряду с повсеместно применяемыми стандартными инструментами мониторинга и контроля для данного класса задач и объектов информатизации.

Вместе с тем, стоит отметить некоторые ограничения мультиагентных систем для управления жизнеспособностью критических инфраструктур, которые могут оказать влияние на эффективность их применения в реальной практике:

- системная сложность и, как следствие, сложность координации взаимодействий между большим числом агентов, моделирующих процессы функционирования критических инфраструктур в мультиагентной системе управления жизнеспособностью, что создает определенные трудности на этапах разработки, тестирования и технического обслуживания такой системы после введения в эксплуатацию;
- невысокая надежность в случае непредсказуемого поведения автономных агентов и несогласованности действий при совместном решении задач управления жизнеспособностью критических инфраструктур, по сравнению с централизованными системами обеспечения безопасности;
- уязвимость активных элементов (агентов) мультиагентных систем в плане рисков нарушения информационной безопасности, то есть вероятности возникновения кибератак или реализации других видов угроз, что недопустимо для таких объектов управления как критические инфраструктуры и что может привести к потере их управляемости средствами мультиагентных систем, а также к частичной или полной утрате своей жизнеспособности;
- высокая стоимость разработки, оценки рисков и внедрения мультиагентных систем управления жизнеспособностью критических инфраструктур, включая специализированные программно-технические средства, поддерживающих корректную работу этих адаптивных систем, отвечающих всем требованиям и стандартам обеспечения безопасности, надежности и устойчивости, принятых для данного класса объектов информатизации и управления;
- высокая трудоемкость непрерывного обучения/самообучения агентов и сложность организации

этого процесса, что необходимо для принятия обоснованных решений агентами и что отражается на общей эффективности работы мультиагентной системы управления жизнеспособностью критических инфраструктур.

Дальнейшие исследования будут направлены, главным образом, на разработку научно-методологических основ проектирования прикладных мультиагентных систем поддержки принятия решений в сфере управления жизнеспособностью критических инфраструктур на базе предложенных принципов, а также их апробацию в структуре управления региональных ситуационных центров.

Литература

1. *Goonatilleke S.T., Hettige B.* Past, Present and Future Trends in Multi-Agent System Technology // *Journal Européen des Systèmes Automatisés.* 2022. Vol. 55, No. 6. P. 723-739.
2. *Dorri A., Kanhere S.S., Jurdak R.* Multi-Agent Systems: A Survey // *IEEE Access.* 2018. Vol. 6. P. 28573-28593.
3. *Wooldridge M.* An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd Edition. John Wiley & Sons, 2009. 484 p.
4. *Поспелов Д.А.* Многоагентные системы – настоящее и будущее // *Информационные технологии и вычислительные системы.* 1998. № 1. С. 14-21.
5. *Сохова З.Б., Редько В.Г.* Моделирование поиска инвестиционных решений автономными агентами в прозрачной конкурентной экономике // *Искусственный интеллект и принятие решений.* 2019. № 2. С. 98-108.
6. *Ouyang M.* Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems // *Reliability Engineering and System Safety.* 2014. Vol. 121. P. 43-60.
7. *Маслобоев А.В.* Формальные модели жизнеспособности региональных критических инфраструктур // *Труды ИСА РАН.* 2022. Т. 72. № 3. С. 59-80.
8. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р.* Социальное моделирование – новый компьютерный прорыв (агент-ориентированные модели). М.: Экономика. 2013. 295 с.
9. *Емельянов В.В., Ясиновский С.И.* Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. М.: АНВИК. 1998. 432 с.
10. *Serflippi E., Ramnath G.* Resilience measurement and conceptual frameworks: A review of the literature // *Annals of Public and Cooperative Economics.* 2018. Vol. 89. Iss. 4. P. 645-664.

11. *Andersson J., Grassi V., Mirandola R., Perez-Palacin D.* A conceptual framework for resilience: fundamental definitions, strategies and metrics // *Computing*. 2021. Vol. 103. P. 559-588.
12. *Поспелов Д.А.* Ситуационное управление. Теория и практика. 2 изд. М.: УРСС. 2021. 288 с.
13. *Hosseini S., Barker K., Ramirez-Marquez J.E.* A review of definitions and measures of system resilience // *Reliability Engineering & System Safety*. 2016. Vol. 145. 47-61.
14. *Linkov I., Kott A.* Fundamental concepts of cyber resilience: Introduction and overview // *Cyber resilience of systems and networks. Risk, Systems and Decisions*. Springer, Cham. 2019. P. 1-25.
15. *Kouicem E., Raiievsky C., Ocelllo M.* Artificial emotions for distributed cyber-physical systems resilience // *Proceedings of the Cyber-Physical systems PhD Workshop*. 2019. P. 84-95.
16. *Ferber J., Weiss G.* Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence. 1st Edition. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA USA. 1999. 509 p.
17. *Janu'ario F., Cardoso A., Gil P.* Multi-agent framework for resilience enhancement over a WSAAN // *15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON'2018)*. Chiang Rai, Thailand. 2018. P. 110-113.
18. *Janu'ario F., Cardoso A., Gil P.* A distributed multi-agent framework for resilience enhancement in cyber-physical systems // *IEEE Access*. 2019. Vol. 7. P. 31342-31357.
19. *Ройзензон Г.В.* Синергетический эффект в принятии решений // *Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник / Под ред. Ю.С. Попкова, В.Н. Садовского, В.И. Тищенко. № 36. 2011-2012. М.: УРСС, 2012. С. 248-272.*
20. *Фоминых И.Б., Романчук С.В., Алексеев И.П.* Модель целеполагания в многоагентной системе с ограниченным ресурсом времени // *Вестник МЭИ*. 2018. № 5. С. 73-78.
21. *Cardoso R.C., Ferrando A.* A Review of Agent-Based Programming for Multi-Agent Systems // *Computers*. 2021. Vol. 10. No. 2. 16.
22. *Masloboev A.V.* A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control // *Reliability and Quality of Complex Systems*. 2020. No. 3(31). P. 112-120.
23. *Poslad S., Charlton P.* Standardizing Agent Interoperability: The FIPA Approach // *Multi-Agent Systems and Applications. ACAI 2001. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2001. Vol. 2086. P. 98-117.
24. *Zoitl A., Lewis R.* Modeling control systems using IEC 61499 (Control, Robotics and Sensors). Second Edition. London: The Institution of Engineering and Technology. 2014. 248 p.
25. *Макаренко С.И.* Интероперабельность организационно-технических систем. Санкт-Петербург: Изд-во Научоемкие технологии. 2024. 313 с.
26. *Маслобоев А.В.* Средства поддержки интероперабельности сетевых систем управления региональной безопасностью // *Надежность и качество сложных систем*. 2020. № 1(29). С. 91-105.
27. *Бурков В.Н., Новиков Д.А.* Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтег. 1999. 128 с.
28. *Методы и модели согласования иерархических решений / Под ред. А.А. Макарова.* Новосибирск: Наука. 1979. 240 с.
29. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973. 343 с.
30. *Ou-Yang C., Lin J.S.* The development of a hybrid hierarchical/heterarchical shop floor control system applying bidding method in job dispatching // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 1998. Vol. 14. Iss. 3. P. 199-217.
31. *Тарасов В.Б.* От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. Серия «Науки об искусственном». М.: УРСС. 2002. 352 с.
32. *Маслобоев А.В.* Гибридная архитектура интеллектуального агента с имитационным аппаратом // *Вестник МГТУ: Труды Мурманского государственного технического университета*. 2009. Т. 12. № 1. С. 113-124.
33. *Городецкий В.И., Скобелев П.О.* Многоагентные технологии для промышленных приложений: реальность и перспектива // *Труды СПИИРАН*. 2017. № 6(55). С. 11-45.
34. *Baig Z.A.* Multi-agent systems for protecting critical infrastructures: A survey // *Journal of Network and Computer Applications*. 2012. Vol. 35. Iss. 3. P. 1151-1161.
35. *Masloboev A.V.* An overview of the regional security theory and methodological foundations // *Reliability and Quality of Complex Systems*. 2022. No. 2(38). P. 102-118.
36. *Маслобоев А.В.* Модель и технология поддержки принятия решений в условиях сетецентрического управления региональной безопасностью // *Надежность и качество сложных систем*. 2019. № 2(26). С. 43-59.

37. *Masloboev A.V.* Regional management center framework for G2C-feedback and public safety support // *Reliability and quality of complex systems*. 2021. No. 4(36). P. 127-138.
38. *Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я., Кудж С.А.* Концепция сетевидного управления сложной организационно-технической системой. М.: МаксПресс. 2010. 136 с.

Маслобоев Андрей Владимирович. Институт информатики и математического моделирования им. В.А. Путилова, Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук», г. Апатиты, Россия. Ведущий научный сотрудник. Доктор технических наук, доцент. Область научных интересов: системный анализ, моделирование социально-экономических систем, ситуационное управление, теория безопасности систем, мультиагентные системы. E-mail: masloboev@iimm.ru.

Principles of applied multi-agent system engineering for resilience management of critical infrastructures

A. V. Masloboev

Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Centre "Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences", Apatity, Russia

Abstract. The work is aimed at development of information technologies for intelligent decision-making support in the field of organizational management of the regional critical infrastructures resilience. This is urgent to enhance the efficiency of systems for ensuring the security and stability of these infrastructures under the influence of heterogeneous situational factors. The study is based on systematization, analysis and generalization of well-known methodological approaches to ensuring the reliability, security and resilience of complex dynamic entities, as well as methods of general system theory, principles of network-centric control and multi-agent modeling concepts. A general classification of analysis and simulation methods and techniques used in practice to management support of the critical infrastructures resilience is given. The crucial need for applying the multi-agent systems paradigm to management support of the critical infrastructures resilience is substantiated. For this purpose, the field-of-use advantages and potential restrictions of applying a multi-agent approach in management problems of critical infrastructures resilience are determined. Design principles of applied multi-agent decision support systems for overall resilience management of critical infrastructures, based on the conjugation of generic methodology for multi-agent systems engineering and technical approaches to organizing integrated security systems for critical facilities protection, have been proposed.

Keywords: *multi-agent system, management, information support, simulation, resilience, critical infrastructure.*

DOI: 10.14357/20790279240208 **EDN:** OYAAOQ

References

1. *Goonatilleke S.T., Hettige B.* Past, Present and Future Trends in Multi-Agent System Technology. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*. 2022; 55(6): 723-739.
2. *Dorri A., Kanhere S.S., Jurdak R.* Multi-Agent Systems: A Survey. *IEEE Access*. 2018; 6: 28573-28593.
3. *Wooldridge M.* An Introduction to MultiAgent Systems. 2nd Edition. John Wiley & Sons. 2009; 484.
4. *Pospelov D.A.* Multi-agent systems – present and future. *Information technologies and computing systems*. 1998; 1: 14-21. (In Russ.)
5. *Sokhova Z.B., Redko V.G.* Modeling the search for investment decisions by autonomous agents in a transparent competitive economy. *Artificial intelligence and decision making*. 2019; 2: 98-108. (In Russ.)
6. *Ouyang M.* Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems. *Reli-*

- ability Engineering and System Safety. 2014; 121: 43-60.
7. *Masloboev A.V.* Formal models of the regional critical infrastructures resilience. Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences. 2022; 72(3): 59-80. (In Russ.)
 8. *Emel'yanov V.V., Yasinovskiy S.I.* Introduction to intelligent simulation modeling of complex discrete systems and processes. RDO language. Moscow: ANVIK, 1998; 432. (In Russ.)
 9. *Makarov V.L., Bakhtizin A.R.* Social modeling - a new computer breakthrough (agent-based models). Moscow: Ekonomika, 2013; 295. (In Russ.)
 10. *Serfilippi E., Ramnath G.* Resilience measurement and conceptual frameworks: A review of the literature. Annals of Public and Cooperative Economics. 2018; 89(4): 645-664.
 11. *Andersson J., Grassi V., Mirandola R., Perez-Palacin D.* A conceptual framework for resilience: fundamental definitions, strategies and metrics. Computing. 2021; 103: 559-588.
 12. *Pospelov D.A.* Situational control. Theory and practice. 2nd Edition. Moscow: URSS, 2021; 288. (In Russ.)
 13. *Hosseini S., Barker K., Ramirez-Marquez J.E.* A review of definitions and measures of system resilience. Reliability Engineering & System Safety. 2016; 145: 47-61.
 14. *Linkov I., Kott A.* Fundamental concepts of cyber resilience: Introduction and overview. Cyber resilience of systems and networks. Risk, Systems and Decisions. Springer, Cham, 2019; 1-25.
 15. *Kouicem E., Raiievsky C., Occello M.* Artificial emotions for distributed cyber-physical systems resilience. Proceedings of the Cyber-Physical systems PhD Workshop. 2019; 84-95.
 16. *Ferber J., Weiss G.* Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence. 1st Edition. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. Boston, MA USA. 1999; 509.
 17. *Janu'ario F., Cardoso A., Gil P.* Multi-agent framework for resilience enhancement over a WSA. 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON'2018). Chiang Rai, Thailand. 2018; 110-113.
 18. *Janu'ario F., Cardoso A., Gil P.* A distributed multi-agent framework for resilience enhancement in cyber-physical systems. IEEE Access. 2019; 7: 31342-31357.
 19. *Roizenon G.V.* Synergetic effect in decision making. System Research. Methodological problems. Yearbook. In Yu.S. Popkov, V.N. Sadovsky, V.I. Tishchenko (eds.). Moscow: URSS, 2012; 36: 248-272. (In Russ.)
 20. *Fominykh I.B., Romanchuk S.V., Alekseev I.P.* Model of goal setting in a multi-agent system with a limited time resource. Bulletin of MPEI. 2018; 5: 73-78. (In Russ.)
 21. *Cardoso R.C., Ferrando A.* A Review of Agent-Based Programming for Multi-Agent Systems. Computers. 2021; 10(2): 16.
 22. *Masloboev A.V.* A technology for dynamic synthesis and configuration of multi-agent systems of regional security network-centric control. Reliability and Quality of Complex Systems. 2020; 3(31): 112-120.
 23. *Poslad S., Charlton P.* Standardizing Agent Interoperability: The FIPA Approach. Multi-Agent Systems and Applications. ACAI 2001. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Berlin, Heidelberg. 2001; 2086: 98-117.
 24. *Zoitl A., Lewis R.* Modeling control systems using IEC 61499 (Control, Robotics and Sensors). Second Edition. London, The Institution of Engineering and Technology, 2014; 248.
 25. *Makarenko S.I.* Interoperability of organizational and technical systems. St. Petersburg: Publishing house Science-intensive technologies. 2024; 313. (In Russ.)
 26. *Masloboev A.V.* Tools for interoperability support of network-centric systems for regional security management. Reliability and quality of complex systems. 2020; 1(29): 91-105. (In Russ.)
 27. *Burkov V.N., Novikov D.A.* Theory of active systems: state and prospects. Moscow: Sinteg Publishing. 1999; 128. (In Russ.)
 28. Methods and models for coordinating hierarchical decisions. In A.A. Makarov Eds. Novosibirsk: Nauka, 1979; 240. (In Russ.)
 29. *Mesarovic M., Mako D., Takahara I.* Theory of hierarchical multi-level systems. Moscow: Mir Publishing. 1973; 343. (In Russ.)
 30. *Ou-Yang C., Lin J.S.* The development of a hybrid hierarchical/heterarchical shop floor control system applying bidding method in job dispatching. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 1998; 14(3): 199-217.
 31. *Tarasov V.B.* From multi-agent systems to intelligent organizations. Series "Sciences of the Artificial". Moscow: URSS. 2002; 352. (In Russ.)
 32. *Masloboev A.V.* Hybrid architecture of an intelligent agent with a simulation apparatus. Bulletin of MSTU: Proceedings of the Murmansk State Technical University. 2009; 12(1): 113-124. (In Russ.)
 33. *Gorodetsky V.I., Skobelev P.O.* Multi-agent technologies for industrial applications: reality and

- prospects. Proceedings of SPIIRAS. 2017; 6(55): 11-45. (In Russ.)
34. *Baig Z.A.* Multi-agent systems for protecting critical infrastructures: A survey. Journal of Network and Computer Applications. 2012; 35(3): 1151-1161.
35. *Masloboev A.V.* An overview of the regional security theory and methodological foundations. Reliability and Quality of Complex Systems. 2022; 2(38): 102-118.
36. *Masloboev A.V.* Model and technology of decision support in the conditions of network-centric management of regional security. Reliability and quality of complex systems. 2019; 2(26): 43–59. (In Russ.)
37. *Masloboev A.V.* Regional management center framework for G2C-feedback and public safety support. Reliability and quality of complex systems. 2021; 4(36): 127-138.
38. *Tikhonov A.N., Ivannikov A.D., Solov'ev I.V., Tsvetkov V.Ia., Kudzh S.A.* Concept of network-centric management of complex technical-organizational system. Moscow: MaksPress Publishing. 2010; 136. (In Russ.)

Masloboev Andrey V. Leading Researcher, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Putilov Institute for Informatics and Mathematical Modeling of the Federal Research Centre «Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences», 14 Fersmana St., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia.
E-mail: masloboev@iimm.ru.

Системный анализ в медицине и биологии

Продолжительность жизни как индикатор качества управления государством

В.Н. Крутько

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук», г. Москва, Россия

Аннотация. В работе выполнен анализ возможностей использования показателя ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ) в качестве индикатора макроэкономической и психологической обстановке в стране, а также качества управления государством. Анализ проведен по данным изменений ОПЖ в России в XX-XXI веках. Проведено сравнение с аналогичными данными по Швеции. Показано, что ОПЖ очень быстро и чувствительно отражает эти характеристики и может использоваться для их оценки.

Ключевые слова: *ожидаемая продолжительность жизни, индикатор качества жизни, критерий качества управления государством, индикатор макроэкономической и психологической обстановки.*

DOI: 10.14357/20790279240209 **EDN:** PCOVBG

Введение

Медико-демографическая ситуация в России является одним из главных препятствий эффективному социально-экономическому развитию страны в настоящем и будущем [1,2]. Несмотря на наблюдающиеся в последние годы позитивные сдвиги по ряду главных показателей здоровья нации (рождаемость, смертность, ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ)), мы недалеко ушли от уровня этих показателей, имевших место в России в 60-х годах прошлого века. Отставание России по показателям здоровья не только от развитых, но и от многих развивающихся стран мира в настоящее время очень велико.

Bloom, Canning & Sevilla [3] показали, что здоровье населения является критической составляющей экономического роста. Вклад этого фактора в совокупный объем национального производства

более значим, чем эффекты других параметров человеческого капитала – уровня образования и профессионального опыта работающих. Увеличение ОПЖ на 1 год дает прирост ВВП на 4%.

Учитывая вышесказанное, становится ясным, почему Президент России В.В. Путин в своих постановлении и выступлениях последних лет настоятельно призывает принять безотлагательные меры по решению этих серьезнейших медико-демографических проблем, стоящих перед страной. Серьезность данных проблем связана с огромными потерями, которые несет как государство в целом, так и каждый отдельно взятый россиянин.

Показатель ОПЖ часто используют как интегральный показатель качества жизни населения, в том числе как одну из компонент индекса человеческого развития (ИЧР), применяемого ООН для межстрановых сравнений (две других компоненты

ИЧР – уровень образования и душевой валовой национальный доход).

Задачей настоящей работы является анализ возможности использования показателя ОПЖ как интегрального критерия качества управления государством.

Результаты и обсуждение

Показатель ОПЖ вычисляется как математическое ожидание продолжительности жизни человека при условии, что он всю свою будущую жизнь будет жить в поле среднепопуляционных возрасто-зависимых рисков смерти, соответствующих моменту определения данного показателя. Данные риски смерти системно характеризуют качество среды обитания человека и в целом качество жизни, в которой живет среднестатистический житель государства.

Мы оценили по данным ООН [4,5] связь между ОПЖ и ожидаемой продолжительностью здоровой жизни (ОПЗЖ). Рис. 1 иллюстрирует очень тесную почти линейную связь между этими показателями. Таким образом, низкая продолжительность жизни сокращает человеческий потенциал страны не только в количественном, но и в качественном отношении.

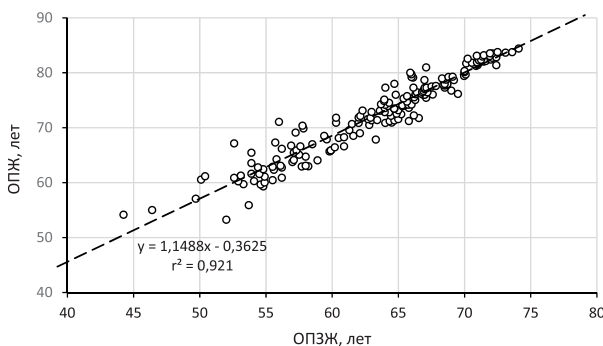


Рис. 1. Связь между ОПЖ и ОПЗЖ в странах – членах ВОЗ в 2019 г. (рассчитано автором по данным [4,5])

Качество жизни населения страны является одним из главных, может быть даже основным, критерием качества управления государством. Однако методы оценки показателя качества жизни различны, сложны и противоречивы. Поэтому представляет интерес рассмотреть динамику ОПЖ как показателя, интегрально отражающего качество жизни в России в XX–XXI вв. (рис. 2). Этот показатель можно достаточно точно оценить на основе имеющихся статистических данных, и сравнить его динамику с динамикой социально-

экономических и политических процессов, чтобы понять, насколько показатель ОПЖ репрезентативно и чувствительно отражает эти процессы. Оценка динамики ОПЖ проводится по сравнению с динамикой данного показателя для одного из типичных представителей развитых европейских стран – Швецией, для которой имеется надежная доступная статистика.

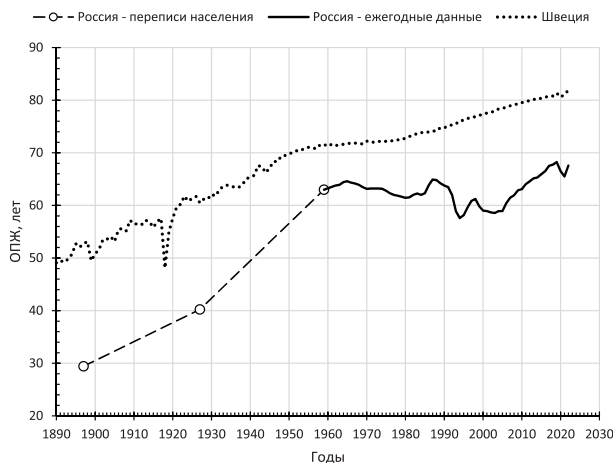


Рис 2. Динамика ожидаемой продолжительности жизни в России и Швеции в XX–XXI вв. Рассчитано автором по данным [4]

Для оценки скорости монотонных изменений ОПЖ в определенные отрезки времени использовалась линейная интерполяция. В периоды между переписями населения в России, проходившими в 1897, 1926, 1959 годах нет достоверных данных по возрастной смертности. Поэтому скорость изменения ОПЖ на этих участках определялась по крайним значениям, определяемым переписями.

Как показали исследования сверхсмертности в России в «лихие 90-е» [6,7], одной из ведущих причин, а по нашему мнению, главной явился фактор невостребованности человека социумом, приводящей к потере цели жизни, жизненных перспектив и, в результате, мотивации к жизни. Таким образом, психологический не материальный фактор стал главным убийцей в этот период. Этот фактор необходимо учитывать при анализе динамики смертности и ОПЖ в различные периоды жизни России.

На рис. 2 видно, что в период правления И.В. Сталина 1922 – 1953 гг. в целом, в России наблюдался быстрый рост ОПЖ, вдвое превосходящий скорость роста в Швеции, соответственно: 8.3 и 4.0 мес./год. Это был период индустриализации, победы в Великой отечественной войне и быстрого послевоенного восстановления страны. Мате-

риальные условия каждого отдельного человека не очень сильно улучшились в этот период, но каждый человек ощущал себя гражданином великой страны, чувствовал энтузиазм и свою сопричастность к ее достижениям, был проникнут ощущением светлого будущего, которое он сам строит. Этим в значительной мере объясняется очень быстрый рост ОПЖ в сталинский период.

Данная тенденция быстрого роста ОПЖ сохранялась и при правлении Н.С. Хрущева (1953 – 1964 гг.), хотя, в конце этого периода, начиная с 1960 г., скорость роста ОПЖ стала заметно уменьшаться. В результате ОПЖ достигла своего максимума в 1965 г. (64.6 лет), после чего стала уменьшаться, т.е. скорость прироста ОПЖ стала отрицательной. Данную динамику можно объяснить инерционностью процессов предыдущего периода в начале правления Н.С. Хрущева и началом периода партийной бюрократизации и застойной плановой экономики в конце его правления.

В 1964 году Н.С. Хрущева на посту Первого секретаря ЦК КПСС сменил Л.И. Брежнев (1964 – 1982 гг.). В период его правления наблюдалось монотонное падение ОПЖ со скоростью – 1.8 мес./год. Это был период застоя, когда условия жизни не улучшались, инакомыслящие преследовались. Зарплата мало зависела от талантов и достижений человека. Не было возможности и смысла ставить большие интересные цели в жизни и стремиться к их достижению. Люди не видели перспектив. И все это интегрально отражало неуклонное падение ОПЖ.

Далее чуть больше года у власти находились Ю.В. Андропов (12 ноября 1982 – 9 февраля 1984) и К.У. Черненко (13 февраля 1984 – 10 марта 1985). В период правления Ю.В. Андропова наблюдался небольшой рост ОПЖ (с 62.0 в 1982 г. до 62.3 в 1983 г.), а в период правления К.У. Черненко – небольшой спад (с 62.3 в 1983 г. до 62.0 в 1984 г.). Такую динамику можно объяснить сначала надеждами на новую прогрессивную власть и позитивные изменения, а потом разочарованием, вызванным ощущением, что застой вернулся.

В период правления М.С. Горбачева (1985 – 1991 гг.) наблюдался сначала очень быстрый рост ОПЖ со скоростью 15,6 мес./год, достигшей своего максимума в 1987 г., после чего ОПЖ начала монотонно снижаться. Быстрый рост ОПЖ в период правления М.С. Горбачева можно объяснить так называемым эффектом «горбачевской весны» – свободой, энтузиазмом и большими ожиданиями, но это не было подкреплено реальными делами и изменениями, обстановка в стране оставалась практически прежней, что опять повлекло за собой снижение ОПЖ.

Начальный период правления Б.Н. Ельцина (1991–1999) охарактеризовался беспрецедентно быстрым повышением рисков смертности и снижением продолжительности жизни со скоростью 23.5 мес./год в период 1991–1994 гг., после чего до 1998 г. наблюдался рост ОПЖ, который опять сменился спадом, продолжающимся до 1999 г. Такой обвал ОПЖ параллельно с обвальным снижением рождаемости в мирное время – в период 1991–1994 гг. интерпретировался ВОЗ как наиболее крупная демографическая катастрофа XX века. Объясняются эти обвалы упомянутым выше эффектом неответственности человека социумом, связанным с обвальным переходом на рыночную экономику в ее худшем варианте – «волчий оскал капитализма». Человек – это наиболее хорошо приспособляющееся существо. Поэтому в условиях дикого рынка, когда все позволено, люди стали быстро находить себе пути и способы приспособления и выживания и ОПЖ стал достаточно быстро расти. Однако этот рост оборвал кризис 1998 г., разоривший очень многих и вызвавший ответное достаточно быстрое снижение ОПЖ вплоть до 1999 г.

В период правления В.В. Путина (31.12.1999 г. – наст. время) в качестве президента и премьер-министра инерционный спад ОПЖ, вызванный кризисом 1998 г., сначала существенно затормозился, и, начиная с 2004 г., наметилась тенденция к ее повышению. В период 2005–2018 гг. наблюдался очень быстрый рост ОПЖ со скоростью сталинского периода – 8.2 мес./год, тогда как в Швеции в этот период скорость прироста ОПЖ была 2.5 мес./год., т.е. Россия более чем в три раза обогнала развитую капиталистическую страну Швецию, также как и другие развитые страны, по скорости прироста продолжительности жизни населения – основному критерию качества жизни. Данный эффект можно объяснить как ростом благосостояния россиян, так и появлением широкого спектра возможностей ставить и достигать свои жизненные цели при широкой поддержке и заботе государства в областях от малого до крупного бизнеса.

Заключение

Анализ изменений интегрального индикатора качества жизни – ожидаемой продолжительности жизни в период XX–XXI веков существования России показал, что ОПЖ является очень чувствительным индикатором, практически мгновенно реагирующим на макроэкономическую обстановку в стране и, что очень важно, на психоэмоциональное состояние населения. Чем больше возможностей у человека ставить свои жизненные цели и достигать

их, чувствовать уверенность в будущем и гордость за свою страну, тем быстрее растет продолжительность жизни. Уныние, застой и беспросветность будущего неизбежно выражаются в снижении ОПЖ. Ее динамика интегрально характеризует качество руководителя страны.

Литература

1. «Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» (разработан Минэкономразвития России). [Электронный ресурс] // <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf>. Ссылка активна на 06.03.2024
2. Крутько В.Н., Смирнова Т.М. Человеческий капитал: проблема и ресурс инновационного развития России. М.: Цифровичок. 2012. 279 с. ISBN 978-5-91587-060-3.
3. David E. Bloom, David Canning, Jaypee Sevilla. The Effect of Health on Economic Growth: Theory and Evidence. NBER Working Paper No. 8587. November 2001. [Электронный ресурс] // <http://www.nber.org/papers/w8587>. Ссылка активна на 06.03.2024.
4. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022). World Population Prospects 2022, Online Edition. Доступно по: <https://population.un.org/wpp/>. Ссылка активна на: 06.03.2024.
5. The Global Health Observatory. Healthy life expectancy (HALE). Доступно по: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-ghe-hale-healthy-life-expectancy-at-birth>. Ссылка активна на 05.03.2024.
6. Гундаров И.А. Демографическая катастрофа в России: причины, механизм, пути преодоления. М.: УРСС. 2001. 206 с. ISBN 5-8360-0214-2.
7. Крутько В.Н., Смирнова Т.М. Анализ тенденций смертности и продолжительности жизни населения России в конце XX века. М: Едиториал УРСС. 2002. 48 с. ISBN 5-354-00165-X.

Крутько Вячеслав Николаевич. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва. Заведующий отделом. Доктор технических наук, кандидат биологических наук, профессор. Область научных интересов: медицинская информатика и компьютерные системы для оценки и прогноза здоровья и старения. E-mail: krutkovn@mail.ru.

Life expectancy as an indicator of the quality of government

V.N. Krut'ko

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The paper analyzes the possibilities of using the life expectancy (LE) as an indicator of the macroeconomic and psychological situation in the country, as well as an indicator of the quality of government. The analysis was carried out based on the data of LE changes in Russia in the 20th and 21st centuries. A comparison was made with similar data for Sweden. It is shown that the LE reflects these characteristics very quickly and sensitively and can be used to evaluate them.

Keywords: *life expectancy, indicator of quality of life, criterion of quality of government, indicator of macroeconomic and psychological situation.*

DOI: 10.14357/20790279240209 **EDN:** PCOBGG

References

1. "Prognoz dolgosrochnogo sotsialno-ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda" (razrabotan Minekonomrazvitiya Rossii). [Elektronnyy resurs] // <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf>. Ssylka aktivna na 06.03.2024
2. Krutko V.N., Smirnova T.M. Chelovecheskiy kapital: problema i resurs innovatsionnogo razvitiya Rossii. M.: Tsifrovichok. 2012. 279 s. ISBN 978-5-91587-060-3.
3. David E. Bloom. David Canning. Jaypee Sevilla. The Effect of Health on Economic Growth: Theory

- and Evidence. NBER Working Paper No. 8587. November 2001. [Elektronnyy resurs] // <http://www.nber.org/papers/w8587> . Ssylka aktivna na 06.03.2024.
4. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division (2022). World Population Prospects 2022. Online Edition. Dostupno po: <https://population.un.org/wpp/>. Ssylka aktivna na: 06.03.2024.
 5. The Global Health Observatory. Healthy life expectancy (HALE). Dostupno po: <https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/gho-ghe-hale-healthy-life-expectancy-at-birth>. Ssylka aktivna na 05.03.2024.
 6. *Gundarov I.A.* Demograficheskaya katastrofa v Rossii : prichiny. mekhanizm. puti preodoleniya. – M. : URSS. 2001. 206 p.
 7. *Krutko V.N., Smirnova T.M.* Analiz tendentsiy smertnosti i prodolzhitel'nosti zhizni naseleniya Rossii v kontse KhKh veka. M: Editorial URSS. 2002. 48 p. ISBN 5-354-00165-X.

Krutko Vyacheslav Nikolaevich. Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow. Head of the department. Doctor of Technical Sciences, Candidate of Biological Sciences, Professor. Research interests: medical informatics and computer systems for the assessment and prognosis of health and aging. E-mail: krutkovn@mail.ru.

Анализ кадровой обеспеченности в отраслях промышленности на примере Оренбургской области

Е.Н. Кошкина

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук, г. Москва, Россия

Аннотация. Уровень развития промышленности России в эпоху перехода от экспортно-сырьевой к инновационной модели экономики напрямую зависит от обеспеченности кадрами. Однако отрасли промышленности зачастую испытывают кадровый голод, особенно в регионах России с неблагоприятной демографической обстановкой. На примере Оренбургской области проводится анализ причин кадрового дефицита путем сопоставления статистической и оценочной информации о демографической ситуации и миграционных потоках трудоспособного населения, направлений подготовки в образовательных организациях области и потребностей местной промышленности. На основе проведенного анализа даются предложения по привлечению и подготовке кадров для индустрии области.

Ключевые слова: кадры, кадровый дефицит, регион, промышленность, демография, инновационное развитие, миграция.

DOI: 10.14357/20790279240210 **EDN:** WQWVGM

Введение

Промышленная политика России¹ нацелена на формирование высокотехнологичных, конкурентоспособных решений. Для этого требуются подготовленные специалисты в области внедрения инновационных технологий.

В тоже время в плане обеспеченности кадрами предприятий промышленности, химии, добычи полезных ископаемых, водоснабжения сохраняется сложная ситуация: не всегда совпадает возможность подготовки кадров в регионах и спрос на них в отраслях. Дополнительная профессиональная подготовка лишь отчасти может решить эти задачи.

Проведем анализ Оренбургской области, в котором широко развита промышленность с точки зрения соответствия потребностей и возможностей подготовки работников отрасли. Дадим краткую характеристику области. Проведем обзор демографической ситуации в ней.

1. Краткая характеристика Оренбургской области

Оренбургская область, входит в состав Приволжского федерального округа с территорией 123

700 км² километра и населением чуть более 1,8 млн человек.

Оренбургская область преимущественно аграрная, состоит из 35 районов и 12 городов: Оренбург, Орск, Новотроицк, Бузулук, Бугуруслан, Абдулино, Гай, Кувандык, Медногорск, Соль-Илецк, Сорочинск, Ясный. Число сельских населенных пунктов составляет 1718.

Половину ее территории занимают пашни, 38% – кормовые угодья, 5% – леса, 7% – прочее (4,9% всех российских сельхозугодий). Ежегодно выращивается более 3 млн т зерновых культур, в том числе свыше 1,5 млн т пшеницы твердых и сильных сортов.

Вместе с тем, в области широко развита промышленность. На территории региона разведано 2500 месторождений более 75 видов полезных ископаемых, в том числе газ, нефть, бурый уголь, медно-колчеданные и железные руды, каменная соль, хризотил-асбест, яшма. Богатство недр благоприятно отражается на развитии производственной инфраструктуры. Базовыми отраслями экономики региона являются газовая, нефтяная, энергетическая, металлургическая (11,4 %), и машиностроение. Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) занимает 42% в объеме промышленного производства Оренбуржья [1].

¹ Федеральный закон от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации».

С 2014 года по настоящее время на территории региона построено 16 солнечных электростанций, суммарной мощностью 330 МВт или 8,4 % установленной мощности энергосистемы области.

Кроме того, на территории Оренбургской области работает предприятие, использующее в своей деятельности вырабатываемую при помощи ветра электроэнергию. Агропредприятие ООО «ЭкоСельЭнерго» установило семь ветро-

энергетических установок суммарной мощностью 2,7 мегаватта в селе Тамар-Уткуль Соль-Илецкого района.

2. Численность населения, миграция

Численность населения на 1 января 2023 г. - 1 841 377 чел., что на 7 % ниже численности 2018 г. (табл. 1) и на 10% 2009 г. [1].

Табл. 1

Анализ численности населения муниципальных образований Оренбургской области

Показатель	На 1 января 2018 г.	На 1 января 2023 г.	2023 г. в % к 2018 г.
В регионе проживают*:	1 977 420	1 841 377	93
в городах, из них:	1 188 958	1 102 225	92,7
Оренбург, в том числе городской округ	579 840	552 831	95,3
Орск, в том числе городской округ	233 235	190 980	81,8
Новотроицк, в том числе городской округ	92 238	79 946	86,6
Всельской местности, из них:	788 762	739 152	93,7
Оренбургский район	98 730	115 724	117,2

* <https://56.rosstat.gov.ru/folder/135151> (данные территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Оренбургской области – Ориенстат)

Табл. 2

Основные показатели промышленности Оренбургской области*

№	Показатель	2020 г. в % к 2019 г.	2021 г в % к 2020 г.	2022 г. в % к 2021 г.	2023 г. в % к 2022 г.
1	Индекс промышленного производства	96,0	101,6	96,5	102,9
2	Добыча полезных ископаемых	94,9	100,6	95,7	100,4
3	Обрабатывающие производства, из них:	96,9	99,6	99,4	109,2
3.1	производство пищевых продуктов	99	100,9	100,7	103,9
3.2	производство одежды	96,6	121,9	107,2	96,9
3.3	производство химических веществ и химических продуктов	н.д.	109,3	92,4	98,6
3.4	производство кокса и нефтепродуктов	93,2	95	93,9	103,7
3.5	производство резиновых и пластмассовых изделий	109,1	126,9	97,7	123,9
3.6	производство металлургическое	94,9	95,1	90,5	108
3.7	производство готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования	97	95,1	106,3	164,7
3.8	производство электрического оборудования	91,3	124	94,4	103,3
4	Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	101,5	115,8	103,9	117,9

* Таблица составлена в соответствии с данными официального сайта Ориенстата: <https://56.rosstat.gov.ru>

В регионе наблюдается отток мигрантов, так за период с 2018 – 2022 гг. прибыло в область 87 580 человек (из них из зарубежных стран – 36 530), выбыло – 130 786 (из них в зарубежные страны – 12 701). Общий миграционный отток за этот период составил – 16 206 человек.

3. Основные показатели промышленного производства, предприятий

Индекс промышленного производства в 2023 г. повысился по сравнению с предыдущим годом до 102,9 %, в том числе по следующим видам деятельности:

- добыча полезных ископаемых – 100,4 %, отгружено на 851,8 млн руб. (107,7 % к 2022 г.);
- обрабатывающие производства: производство пищевых продуктов (103,9%), кожи и изделий из кожи (108,6), кокса и нефтепродуктов (103,7), резиновых и пластмассовых изделий (123,9), металлургия (108), готовых металлических изделий, кроме машин и оборудования (164,7), электрического оборудования (103,3) – 109,2 %, отгружено на 544,6 млн руб. (115,4 % к 2022 г.) (табл. 2).

Анализ объема выполненных работ и услуг области показал прирост в добыче полезных ископаемых на 7,7%, обрабатывающих производствах – на 15,4%, энергетике – на 30,4% (табл. 3).

В области наблюдается увеличение количества убыточных предприятий в 2,7 раз в 2023 г. по сравнению с 2022 г., которые нуждаются в ремонтах и (или) переоснащении, поэтому финансовый результат от деятельности предприятий ниже на 0,4%. В тоже время, учитывая показатели прошлых лет (табл. 4), область уверенно выходит на положительный финансовый результат.

Рейтинговое агентство Fitch Ratings 12 июня 2020 г. подтвердило долгосрочные рейтинги Оренбургской области на уровне «BB+» со «Стабильным» прогнозом.

4. Трудовые ресурсы

Количество трудоспособного населения области в 2023 г. сократилось на 4,9 тыс. чел. По прогнозам Министерства труда и занятости населения Оренбургской области в последующие 2 года также следует ожидать отрицательную динамику

Табл. 3

Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг (в действующих ценах)*

№	Вид экономической деятельности	2020 г. в % к 2019 г.	2021 г. в млн руб.	2022 г. в млн руб.	2023 г. в млн руб.
1	Добыча полезных ископаемых	79,1%	173,2	103,1	107,7
2	Обрабатывающие производства	97,7	135,6	113,1	115,4
3	Обеспечение электроэнергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	102	107,3	108,9	130,4

* Таблица составлена в соответствии с данными официального сайта Ориенстата: <https://56.rosstat.gov.ru>

Табл. 4

Основные показатели финансовой деятельности предприятий Оренбургской области*

№	Показатель	2020 г. в % к 2019 г.	2021 г. в % к 2020 г.	2022 г. в % к 2021 г.	2023 г. в % к 2022 г.
1	Финансовый результат деятельности крупных и средних предприятий	37,7	В 4,2 р.	78,3	99,6
1.1	в т.ч. прибыль прибыльных предприятий	64,7	176,4	79,5	110,2
1.2	убытки убыточных предприятий	в 2,5 р.	28,7	100,7	в 2,7 р.
2	Количество убыточных предприятий (крупных и средних)	118	84,3	100,7	111,6

* Таблица составлена в соответствии с данными официального сайта Ориенстата: <https://56.rosstat.gov.ru>

(табл. 5). В сфере промышленности наблюдается увеличение количества занятых в добыче полезных ископаемых, обрабатывающих производствах, энергетике.

Согласно официальной информации на сайте Минтруда Оренбургской области на 01.01.2021 года в металлургической отрасли было занято более 12 тыс. чел., на производстве машин и оборудования – более 18 тыс. чел., на предприятиях ТЭК – более 24 тыс. человек.

По представленным данным за 2022/2023 года количество человек занятых на производствах значительно возросло по сравнению с 2021 годом. Прогнозируется, что к 2026 году потребность в кадрах в отраслях промышленности будет расти при ожидаемом снижении

численности трудовых ресурсов (без учета иностранных трудовых мигрантов) с учетом привлечения лиц старше трудоспособного возраста и подростков (табл. 5). Доля трудоспособного населения в промышленности в области сегодня составляет около 18% (17,6% по России), с прогнозируемым увеличением к 2026 г. на 0,2% (на 0,1 % по России).

По информации Минтруда Оренбургской области потребность в подготовке квалифицированных рабочих, служащих и специалистов среднего звена по направлениям подготовки инженеров в 2024 году составляет 7,3 тыс. человек, с нарастающим итогом оценочно к 2030 году – 33,4 тыс. чел. Наиболее востребованными профессиями названы инженер, слесарь-ремонт-

Табл. 5

Баланс трудовых ресурсов в промышленности Оренбургской области*

№ п/п	Наименование	2024 г. (тыс. чел)	2025 г. (тыс. чел)	2026 г. (тыс. чел)	Справочно	
					2022 г. (тыс. чел)	2023 г. (тыс. чел)
I.	Численность трудовых ресурсов, в том числе:	1050,3	1049,9	1049,5	1055,6	1050,7
1	трудоспособное население в трудоспособном возрасте	969,0	968,8	968,6	969,4	969,2
2	иностраные трудовые мигранты	11,0	11,0	11,0	14,6	11,0
3	лица старше трудоспособного возраста и подростки, занятые в экономике	70,3	70,1	69,9	71,6	70,5
II.	Распределение занятых в промышленности по разделам ОКВЭД:					
1	добыча полезных ископаемых	39,4	39,6	39,9	39,0	39,2
2	обрабатывающие производства	103,7	104,2	104,8	102,7	103,2
3	обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха	22,6	22,7	22,8	22,4	22,5
4	водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений	8,7	8,7	8,8	8,6	8,6
III.	Примерная доля трудоспособного населения в промышленности по Оренбургской области	18%	18%	18,2%	17%	18%
IV	Примерная доля трудоспособного населения в промышленности по России	-	-	17,7%	17,6%	-

* Таблица составлена в соответствии с данными сайта Минтруда Оренбургской области <https://56.rosstat.gov.ru/folder/30938>, <https://mintrud.orb.ru/activity/10695/>

ник, электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования.

5. Подготовка кадров

В Оренбургской области в школах обучается около 250 тыс. человек, доля детей иностранных граждан по состоянию на сентябрь 2022 года составляет 0,6 % от общего количества учащихся.

В области работает 31 профессиональная образовательная организация (СПО), из них 16 готовят кадры для промышленности в городах Бугуруслан, Медногорск, Новотроицк, Оренбург, Орск, Соль-Илецк, Ясный и поселке Акбулак, остальные для сельского хозяйства, экономики, сервиса и юриспруденции. По направлениям подготовки кадров для промышленности области имеет место следующее распределение:

- 1) добыча нефти и газа – 8 организаций СПО;
- 2) металлургия – 2 организации СПО;
- 3) производство электроэнергии – 5 организаций СПО;
- 4) химическая отрасль – 1 организация СПО;
- 5) легкая и пищевая отрасль – 5 организаций СПО;
- 6) обслуживание промышленного оборудования – 7 организаций СПО.

В области работает также 17 высших учебных заведений, из них 9 филиалов. По подготовке кадров для промышленности – 2 вуза (в сфере энергетики и электроники) и 2 филиала (для нефтяной отрасли и металлургической). Это свидетельствует о том, что далеко не по всем ключевым направлениям развития промышленности ведется соответствующая подготовка кадров, а это, в свою очередь, говорит о высокой вероятности оттока молодежи в другие регионы России. Данная тенденция сохраняется уже более 25 лет.

6. Размещение опорных образовательных организаций для подготовки кадров в индустриальных районах области

Основными точками роста области являются: западный район нефтедобычи, центральный район (Оренбургская агломерация) и восточный район (Орско-Новотроицкая агломерация). Поэтому именно там и должны быть сосредоточены опорные образовательные организации по подготовке кадров для промышленности. Как говорилось выше, в области 4 вуза и 16 СПО готовят кадры для промышленности. Далее рассмотрим подробнее [3].

Центральный район — самый большой по площади, занимая 38% территории, и численности

населения более 40%. Его выгодное положение, а также многоотраслевой хозяйственный комплекс с относительно высокой долей современных наукоемких производств, способствуют надежным перспективам развития экономики [2]. Кроме того, именно в этом районе сосредоточено около 60% вузов области, в числе которых 2 вуза – профилям промышленности: Оренбургский государственный университет (ОГУ), филиал РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина.

На Восточный район приходится 31% территории области, а жители составляют 32%. В этом районе, наиболее развита крупная горнодобывающая и металлургическая промышленность, которая в настоящее время уже не опирается, как раньше, на богатую сырьевую базу. Запасы сырья близки к истощению, часть необходимого сырья приходится завозить из Казахстана, собственные топливные ресурсы полностью отсутствуют. Поэтому район постепенно переходит с переработки природного сырья на изготовление конечной продукции. Так, в области появились содовый и цементный заводы, мясоперерабатывающий комбинат и др. В этом районе готовят специалистов в области машиностроения, электроэнергетики, металлургии (Орский гуманитарно-технологический институт и филиал Университета науки и технологий МИСИС в г. Новотроицк). Обучение специалистов для легкой и пищевой промышленности возможно только на уровне СПО, чего явно недостаточно для развития полного цикла этих отраслей [2].

Западный район занимает 31% территории области, в нем проживает 24% населения. Перспективы развития экономики Западного Оренбуржья связаны главным образом с дальнейшим развитием агропромышленного комплекса полного цикла и нефтегазового комплекса. К сожалению, из шести филиалов вузов этого района ни один не ориентирован на подготовку специалистов для стратегических комплексов. Поэтому в данном районе с точки зрения подготовки кадров [2] имеются серьезные проблемы.

Таким образом, проведенный анализ показал заметный дисбаланс между потребностью в специалистах и их подготовкой в образовательных организациях высшего образования. Особенно это критично для западного района, в котором отсутствуют профильные вузы.

7. Предложения по обеспечению трудовыми ресурсами промышленность региона

В целях формирования баланса обеспечения кадрами отрасли промышленности региона предлагается:

1. Установить взаимосвязь отраслевых стратегических документов по вопросам кадров, а именно региональных отраслевых документов стратегического планирования, программ развития образовательных организаций и программ предприятий промышленности.
2. Расширять деятельность научно-образовательного центра ОГУ в части реализации проектов, направленных на развитие промышленности региона в рамках программы «Приоритет 2030».
3. Создать информационную платформу кадровой потребности для региона.

По мнению автора, для достижения кадровой обеспеченности, в первую очередь, необходимо провести анализ стратегических документов, перечисленных в первом предложении [7, 8]. Проведение такого анализа покажет возможные «нестыковки» в планировании и поможет взаимоувязать возможности и потребности, а при необходимости пересмотреть планы. При этом такая работа может быть проведена представителями всех заинтересованных лиц (региональных органов власти, вузовского сообщества и промышленности) путем создания соответствующей комиссии (группы и т.п.) по решению кадрового вопроса региона.

Кроме этого, в качестве прикладной составляющей предлагается рассмотреть возможности программы «Приоритет 2030», которая была запущена Правительством РФ для решения проблем инновационного развития региональной экономики. Эта программа предоставляет широкие возможности, в том числе при освоении ресурсов региона, направляемых на реализацию вузовских проектов, а также на развитие государственно-частного партнерства в сфере образования. Для этого создаются научно-образовательные центры (НОЦ), которые и выполняют прикладные проекты региона для конкретных отраслей. При этом деятельность НОЦ осуществляется под контролем губернатора и финансируется из бюджета региона [6, 9]. То есть заказчиком выступает регион.

В качестве примера рассмотрим НОЦ, который был создан на базе ОГУ в рамках инновационной площадки по программе «Приоритет 2030». Перед НОЦ ОГУ поставлены следующие задачи²:

- развитие фундаментальных и прикладных исследований в области материаловедения и перспективных производственных технологий получения, обработки, восстановления и упрочнения материалов.
- создание условий для качественной, практико-ориентированной подготовки бакалавров, маги-

стров, аспирантов, кандидатов и докторов наук путем вовлечения в НИР;

- привлечение средств российских, международных и иностранных фондов, федеральных, региональных и отраслевых программ различного уровня;
- расширение международного сотрудничества с вузами и научно-исследовательскими учреждениями зарубежных стран;
- проведение школ-семинаров и конференций для аспирантов, студентов и молодых сотрудников.

К сожалению, результаты деятельности НОЦ ОГУ широко не освещены, поэтому сложно дать им оценку. Но масштабных изменений в кадровом обеспечении региона пока не наблюдается. Поэтому предлагается расширение деятельности центра по двум направлениям:

- 1) привлечение предприятий промышленности, которые могут сформировать предложения под заказ региона;
- 2) привлечение дополнительных вузов-участников, которые могут при необходимости обеспечить проект молодыми талантами и научными кураторами.

Такое расширение деятельности центра позволит обогатить палитру проектов в Оренбуржье.

Третье предложение связано с созданием информационной платформы, которая способна помочь в формировании кадровой потребности для конкретного проекта НОЦ. По мнению автора, эта платформа должна содержать информацию о всех проектах региона, профильных вузах, СПО, потребность в исполнителях и наличие вакантных мест. Организация такой платформы позволит создавать коллективы, привлекая как студентов, аспирантов, так и выпускников не только из Оренбургской области, но и из других регионов.

В перспективе она могла бы стать неким кадрово-адаптационным блоком, который будет не только банком данных, но и поможет выявлять наиболее подходящие кадры, являясь посредником между работодателями и образовательными организациями [9]. Само создание платформы в принципе может стать отдельным проектом для НОЦ региона.

Заключение

Проведенный анализ показал, что в Оренбургской области сложилась неблагоприятная демографическая ситуация. Причиной является ряд факторов: плохая экологическая обстановка в промышленных городах, низкие заработные платы на производстве и отсутствие заинтересованности у молодежи в развитии области. Данная ситуация

² <http://www.osu.ru/doc/5510> (Официальный сайт НОЦ ОГУ)

характерна для области на протяжении 30 лет. По данным Оренстата, максимум его численности был зафиксирован в 1996 году, когда в регионе проживало 2 млн 218 тыс. человек. Но уже с 1997 года начался спад, который продолжается и поныне³. Хотя в последние два года согласно статистическим данным численность населения значительно не уменьшилась, но большое число жителей, сохраняя регистрацию в области, фактически проживает в других регионах.

В регионе наблюдается рассогласованность потребности промышленности в обеспечении кадрами и направлениями подготовки в образовательных организациях, вследствие чего не только усугубляется «кадровый голод», но и увеличивается отток населения в другие регионы. Для удержания трудоспособного населения в области требуется принятие комплексных усилий по подготовке кадров требуемой квалификации и специализации, по повышению производительности труда и трудовой мобильности, улучшения экологической ситуации.

В рамках перехода от экспортно-сырьевой ориентации на инновационную следует пересмотреть специализацию районов, создавать предприятия с учетом допустимого уровня загрязнения окружающей среды, новые высокотехнологичные рабочие места.

Предусмотреть открытие или перепрофилирование образовательной сферы региона для подготовки необходимых кадров. Расширить программу НОЦ, вовлекая в его деятельность предприятия и организации образования, расположенные в восточном и западном районах Оренбуржья.

Выше даны предложения по формированию баланса обеспечения кадрами, а инструментами для устранения кадрового дефицита могут стать:

- развитие деятельности НОЦ в части разработки проектов инновационного развития отраслей региона;
- заключение соглашений с работодателями для участия в их проектах и привлечение талантливой молодежи к этой работе;
- открытие новых или перепрофилирование образовательных организаций области, внедрение новых программ обучения, необходимых для конкретного района;
- создание информационной платформы кадровых резервов по отраслям промышленности, направлениям, уровням подготовки кадров;
- повышение мотивации среди профессорско-педагогического состава по выявлению талантливой молодежи;

- запуск стартапов с участием студентов и молодых специалистов;
- разработка программ создания комфортных условий труда, быта и отдыха с целью привлечения новых кадров.

Только комплексный подход к формированию кадровой политики, к развитию объектов инноваций в промышленности поможет вывести регион на более высокий уровень и решить вопрос оттока населения [4].

Литература

1. Кошкина Е.Н. Проблемы диверсификации регионального рынка образовательных услуг в России. Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / ИСА РАН. Москва. 2009.
2. Кошкина Е.Н., Орлова Е.Р., Бочарова И.Е. Трансформация образовательного пространства России (с XI по начало XXI века). Государственный университет «Дубна». Кафедра цифровой экономики и управления. Дубна. 2020. 124 с.
3. Бочарова И.Е., Орлова Е.Р., Кошкина Е.Н., Вершинина А.В. Полюса роста и центры регионального развития системы образования. В сборнике: Системное моделирование социально-экономических процессов. Труды 41-й Международной научной школы-семинара им. акад. С.С. Шаталина. Под ред. В.Г. Гребенникова, И.Н. Щепиной. 2018. С. 100.
4. Кошкина Е.Н., Бочарова И.Е. Как профессиональное образование влияет на формирование человеческого капитала в региональных экономиках // Сборник трудов 43-ой Международной научной школы-семинара. Под редакцией В.Г. Гребенникова, И.Н. Щепиной. Воронеж. 2020. С. 187-190.
5. Колесник Е.А., Половинко В.С. Трудовая мобильность в системе стратегий занятости населения региона // Вестник университета. 2023. № 7. С. 99-109.
6. Орлова Е.Р. Государственно-частное партнерство в сфере образования В сборнике: Теория и практика экономики и предпринимательства Труды XX Международной научно-практической конференции. Симферополь – Гурзуф, 20–22 апреля 2023 года / Под редакцией Н.В. Апатовой. Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского. 2023. С. 86-88.
7. Кошкина Е. Н. О формировании единого образовательного пространства России / Е. Н. Кошкина, Е. Р. Орлова // Ученые записки Орловского госу-

³ https://oren.aif.ru/society/people/neestestvennaya_ubyl_chislo_zhiteley_orenburzhya_upalo_do_urovnya_1967_goda

- дарственного университета. 2023. № 1(98). С. 251-257. DOI: 10.33979/1998-2720-2023-98-1-251-257.
8. Кошкина Е.Н., Орлова Е.Р., Бочарова И.Е., Банников С.А. Стратегическое планирование в сфере образования регионов // Вестник университета. 2023. № 7. С. 109-121.
9. Кошкина Е.Н. Влияние инновационной инфраструктуры сферы образования на подготовку кадров // Аудит и финансовый анализ. 2024 (в печати).

Кошкина Елена Николаевна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия. Старший научный сотрудник. Кандидат экономических наук. Область научных интересов: проблемы образования, региональная специфика сферы образования, развитие дистанционных образовательных технологий, развитие регионов. E-mail: e-kosh@yandex.ru

Analysis of Staffing in Production Industries on Example of Orenburg Region Annotation

E.N. Koshkina

Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The level of industrial development in Russia in the epoch of transition from export and raw materials economic model to the innovation one depends directly on staffing. However, Russian production industries often experience staff hunger, especially in the regions with unfavorable demographic situation. In the article the author considers Orenburg region as an example. The reasons for staff deficit are analyzed by comparing statistical and evaluation information on demographic situation and migration flows of working-age population, directions of training in education institutes and needs of production industries of the region. On the base of this analysis suggestions on staff recruitment and training for the regional industry are made.

Keywords: *staff, staff hunger, region, industry, demography, migration, innovation development*

DOI: 10.14357/20790279240210 **EDN:** WQWVGM

References

1. Koshkina E.N. Problems of Diversification of the Regional Market of Educational Services in Russia. Dissertation for the degree of Candidate of Economic Sciences / Institute for System Analysis of Russian Academy of Sciences. Moscow. 2009
2. Koshkina E.N., Orlova E.R., Bocharova I.E. Transformation of the Educational Space in Russia (from XI to early XXI centuries). State University Dubna. Department of Digital Economy and Management, Dubna. 124 p.
3. Bocharova I.E., Orlova E.R., Koshkina E.N., Vershinina A.V. Poles of Growth and Centers of Education System Regional Development. In collected works: Systems Modeling of Social and Economic Processes. Works of the 41-st International Scientific School-Seminar named after Academic S.S. Shatalin. Ed. by V.G. Grebennikov. I.N. Schepina. 2018. P.100
4. Koshkina E.N., Bocharova I.E. How Professional Education Influences Forming Human Capital in Regional Economies//Collected Works of the 43-d International Scientific School-Seminar. Ed. by V.G. Grebennikov, I.N.Schepina. Voronezh. 2020. P. 187-190
5. Kolesnik E.A., Polovinko V.S. Labor Mobility in System of Employment Strategies for the Region// Vestnik of the University. 2023. No.7. P. 99-109.
6. Orlova E.R., Koshkina E.N. Public-Private Partnership in the Sphere of Education.//Theory and Practice of Economy and Business. Works of the XX International Scientific-Practical Conference. Simferopol-Gurzuf, April 20-22 2023// Ed. by N.V.Apatova.- Simferopol: The Crimean Federal University named after V.I.Vernadsky. 2023. P. 86-88.
7. Koshkina E.N., Orlova E.R. On Forming Unified Education Space. Scientific Notes of the Oryol State University. 2023; 1(98):251–257. <https://doi.org/10.33979/199827202023981251257> (In Russian).

8. *Koshkina E.N., Bocharova I.E., Orlova E.R., Bannikov S.A. (2023) Strategic planning in the sphere of education in regions. Vestnik of the University. No. 7. P. 109–120.*
9. *Koshkina E.N. Influence of Innovation Infrastructure of Education Sphere to Staff Training // Audit and Financial Analysis. 2024 (in printing).*

Koshkina Elena Nikolaevna. Senior scientific worker, FRC CSC RAS, PhD (Economics). Number of printed works: over 65. Field of scientific interest: problems of education, regional specificity in educational sphere, development of distance educational technologies, regional development. E-mail: e-kosh@yandex.ru.

Отдельные вопросы внедрения цифрового профиля гражданина

Е. Р. Орлова^I, Э.В. Голоманчук^{II}

^I Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук», г. Москва, Россия

^{II} Волгоградский институт управления филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», г. Волгоград, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены отдельные проблемы, возникающие при создании цифрового профиля гражданина, также известного как цифровая идентификация или электронный паспорт. Он представляет интерес для России как потенциальное средство улучшения и повышения безопасности государственных услуг, упрощения бюрократических процедур. Приведены некоторые особенности и направления данного процесса в мире в целом и в России, а также проанализированы потенциальные риски, с ним связанные. Раскрыта специфика интеграции цифрового профиля гражданина с существующими цифровыми системами в нашей стране с различных точек зрения.

Ключевые слова: цифровой профиль, цифровизация государственного управления, компоненты цифрового профиля гражданина, алгоритмы создания цифрового профиля гражданина.

DOI: 10.14357/20790279240211 **EDN:** ZPBQJG

Введение

Актуальность внедрения цифрового профиля гражданина заключается в констатации потребности в сокращении бюрократических процедур и упрощении процесса взаимодействия граждан с государством. Именно цифровой профиль гражданина позволяет обеспечить удобный и быстрый доступ к государственным и коммерческим сервисам, а также сделать процесс получения и обработки информации более быстрым и эффективным.

Задачи внедрения цифрового профиля могут быть различны – это и создание единой платформы для управления персональными данными граждан через удаленный доступ, и ускорение процесса получения государственных и муниципальных услуг, таких как: выдача паспортов, получение медицинской помощи, подача налоговых деклараций и справок, улучшение и упрощение взаимодействия граждан с государственными структурами, обеспечение безусловной защиты персональных данных граждан.

Для изучения направлений внедрения цифрового профиля гражданина проводятся исследования и разработка методологий, основанных на анализе потребностей населения. Также осуществ-

ляются консультации с участниками и заинтересованными сторонами, чтобы понять их запросы и ожидания.

1. Материалы исследования

Внедрение цифрового профиля гражданина является темой, вызывающей значительный интерес у ученых и исследователей в различных областях, включая юриспруденцию, экономику, социологию и информатику. Изучение материалов, связанных с внедрением цифрового профиля гражданина, предполагает комплексный анализ различных технических, юридических и экономических аспектов этой инициативы. Нами использовался широкий спектр методологических подходов – в частности, метод экспертных оценок, метод профиля среды, метод синтеза и сравнительного анализа и другие.

Междисциплинарный характер изучения возможностей внедрения цифрового профиля гражданина имеет решающее значение, поскольку предполагает изучение правовых, технических и социальных последствий. Такой подход позволяет лучше понять перспективы использования данного

процесса и потенциальные последствия и проблемы с ним связанные.

2. Результаты исследования

Цифровой профиль гражданина — это комплексная электронная информационная система, которая содержит данные и информацию о каждом гражданине, в том числе персональные данные, сведения о занятости, медицинской страховке, налоговых платежах и других аспектах жизни. Целью создания цифрового профиля является формирование единой платформы, на которой граждане могут управлять своей персональной информацией и получать быстрый доступ к государственным и коммерческим сервисам.

Особенности и задачи цифрового профиля гражданина могут варьироваться в зависимости от конкретных условий и общей ориентации властных интересов. В частности, они могут включать в себя удобство и быстрый доступ к государственным и коммерческим сервисам, возможность мониторинга и управления своими правами и законными интересами, например, правом на участие в выборах, получение социальных услуг, право на работу и взаимодействие с работодателем (например, 22 ноября 2021 года в Трудовом кодексе РФ был закреплен термин «электронный кадровый документооборот», с которого можно начинать рассмотрение цифровизации трудовых отношений) и так далее.

Особенности и направления введения цифрового профиля гражданина в России можно рассматривать с различных точек зрения — в первую очередь, речь идет о создании современной и соответствующей всем нормативным требованиям централизованной базы данных, в которой и будет храниться цифровой профиль гражданина. Также следует учитывать, что он содержит персональные биометрические данные, такие как отпечатки пальцев или технологии антропометрического распознавания лиц, и используется для аутентификации личности гражданина при предоставлении различных государственных услуг.

Важно, что цифровой профиль гражданина неизбежно будет интегрирован с существующими государственными системами, такими как налогообложение и социальное обеспечение. Этот процесс в России уже идет и направлен на упрощение бюрократических процедур, улучшение процесса предоставления услуг и повышение безопасности. Интеграция системы цифрового профиля с имеющимися цифровыми системами предполагает подключение централизованной базы данных к

различным государственным системам и обеспечение их совместимости. Техническое обслуживание системы цифрового профиля включает регулярные обновления, техническую поддержку и соблюдение правил защиты данных. Цифровой профиль взаимосвязан с системами социального обеспечения, такими как пенсионная и здравоохранительная системы (в России эти функции выполняет Социальный фонд), для упрощения и улучшения процедур предоставления услуг: с налоговыми системами — для упрощения процедур уплаты налогов и снижения уровня мошенничества. Причем для него ФНС России создает единый реестр населения, в котором аккумулируются все основные сведения о гражданах.

Внедрение системы цифрового профиля включает в себя развитие необходимой цифровой инфраструктуры, обучение государственных и муниципальных служащих, стимулирующих повышение уровня жизни населения. Как ни парадоксально, но внедрение цифрового профиля гражданина не предполагает его неукоснительного использования самими гражданами. Он будет, в первую очередь, ориентирован на упрощение бюрократических процедур и сокращение объема физических документов, что является его несомненным плюсом.

В целом, создание цифрового профиля гражданина направлено на достижение целей электронного правительства, которое стремится использовать современные технологии для повышения уровня комфорта и удобства взаимодействия граждан с государством.

Там, где есть плюсы, есть, конечно, и минусы. Наиболее существенным является риск утечки или хищения личных данных. За 2023 год было обнаружено более 290 утечек данных различных размеров, включая как небольшие, так и крупные массивы с сотнями миллионов строк. За 2022 год утекло примерно 600 млн записей [1]. Есть также и высокая вероятность нарушения прав граждан и угроз несоблюдения конфиденциальности. Появляется возможность формирования нового вида неравенства, связанного со знанием, использованием и доступом к цифровым технологиям.

Цифровой профиль гражданина — это набор электронных данных о гражданине, который содержат сведения о его личности (фамилия, имя, отчество, адрес, дата рождения, пол и СНИЛС), связях с государственными органами, рынком труда, финансовом состоянии, образовательном уровне и медицинских характеристиках. Он может содержать информацию обо всех видах паспортов (от паспорта гражданина Российской Федерации

до паспорта моряка), водительских и пенсионных удостоверениях и других документах, удостоверяющих личность.

Отдельные авторы проводили исследования, в результате которых было выявлено, что участники опроса понимают, что цифровой профиль позволит сократить время на оформление множества официальных бумаг и получение откликов от органов государственной власти и местного самоуправления. Также он упростит процедуру идентификации, аутентификации и управления на всех государственных и муниципальных ресурсах и на некоторых коммерческих сайтах [2].

В цифровом профиле гражданина могут содержаться данные о налоговых платежах, образовании (все реквизиты школьных аттестатов и дипломов ССУЗов и ВУЗов), занятости (Россия с 2020 года перешла на электронную трудовую книжку), банковских счетах и договорах, которые можно использовать для решения большинства вопросов взаимодействия с государственными органами.

Цифровой профиль гражданина также может стать одним из ключевых инструментов в реализации программ «Умный город», применяться для управления транспортным движением, предоставления медицинских услуг, льготных кредитов и осуществления других государственных программ.

Как было уже сказано, создание и использование цифровых профилей граждан сопряжено с проблемами конфиденциальности и безопасности данных, поэтому необходимы специальные правовые механизмы, гарантирующие защиту приватности гражданина и контроля за доступом к информации о нем.

Внедрение цифрового профиля гражданина может способствовать в решении нескольких экономических проблем в России. Одной из таких проблем является неэффективность государственных услуг, что приводит к неудовлетворенным потребностям граждан и неоправданным затратам. Другая проблема заключается в недостаточной цифровизации взаимодействия граждан и государственных органов, что затрудняет доступ к услугам и ресурсам.

Первая и самая очевидная предпосылка повсеместного внедрения системы цифрового профиля гражданина – это упрощение взаимоотношений конкретных индивидов, общества и государства, минимизация коррупционных рисков и снижение бюрократической нагрузки.

Второй предпосылкой является необходимость повышения качества жизни россиян через улучшение доступа к государственным услугам и

ресурсам. Цифровой профиль гражданина может способствовать развитию человеческого капитала.

Наконец, третья предпосылка состоит в необходимости обеспечения экономического роста страны. Цифровой профиль гражданина может создать новые возможности для развития бизнеса, создания рабочих мест и повышения доходов граждан, что особенно важно сейчас, когда в России фиксируется крайне острая нехватка рабочих кадров.

Цифровой профиль гражданина — это своего рода концепция, реализуемая в разнообразных формах в разных странах.

В последнее время лидером по внедрению эффективных методов работы с цифровым профилем гражданина является Эстония. Их система электронного правительства отличается не только высоким уровнем безопасности данных, но также удобством, простотой и доступностью для всех жителей. Эстония опережает многие страны по уровню внедрения цифровых технологий в государственном управлении. Это в свою очередь позволяет повышать качество жизни резидентов страны, которые могут получить государственные услуги, не выходя из дома, экономя время и затраты. Здесь почти 100 % всех государственных услуг можно получить через онлайн [3]. Цифровой профиль гражданина в Эстонии содержит информацию о медицинских рекомендациях, налоговых декларациях, цифровых подписях.

В качестве примеров эффективного функционирования системы цифрового профиля Эстонии можно назвать официальный туристический ID для граждан Эстонии, путешествующих в пределах ЕС, карту государственного медицинского страхования, подтверждение личности при входе в банковский счет и т. д. [4].

Другой страной-лидером по использованию цифрового профиля гражданина является Китай. Цифровой профиль хранится в централизованной базе данных, известной как «система социального кредитования», которая находится в ведении правительства. Китайский цифровой профиль интегрирован с различными государственными системами, такими как налоговая и система социального обеспечения, и используется для оценки кредитоспособности и благонадежности граждан. Граждане, имеющие низкий социальный кредитный рейтинг, могут быть внесены в черный список и столкнуться с различными штрафами, такими как ограничения на поездки, на доступ к государственным услугам, и даже с потерей работы.

С марта 2019 г. была запущена специальная программа социального рейтингования молодежи.

Каждому молодому человеку присваивается от 350 до 800 баллов. Набравший более 640 баллов вводится в особую группу, члены которой имеют доступ к привилегиям, и ему открывается широкая дорога в большую жизнь. Программа молодежного социального рейтинга собирает, обрабатывает, анализирует огромные массивы самой разнообразной информации от уровня образования до покупок в онлайн-магазинах [5]. Социальный кредит помимо финансово-экономических показателей включает и поведенческо-общественные критерии, такие как отношение к близким и соседям, волонтерство, антиобщественное поведение.

Характеризуя китайскую систему цифрового профиля гражданина, можно выявить как плюсы, так и минусы. С одной стороны, есть улучшение социального порядка. Использование системы социального кредитования привело к сокращению числа определенных видов преступлений и улучшению социального порядка. Интеграция различных государственных и частных систем с системой социального кредитования упростила гражданам доступ к различным услугам онлайн. Но система вызывает опасения по поводу государственного надзора и контроля при недостаточной прозрачности или подотчетности. Персональные данные граждан Китая открыты для всех. С ними, а также с ограничениями, установленными в отношении конкретного лица, можно ознакомиться в Интернете. Подобные списки существуют и на местах, к ним также открыт доступ в Сети [6].

Еще одной страной, где распространен цифровой профиль, является Индия. Здесь цифровой профиль гражданина привязан к уникальному идентификационному номеру, известному как Aadhaar, который находится в ведении правительства. Индийский цифровой профиль включает в себя биометрические данные, такие как сканирование радужной оболочки глаза и отпечатков пальцев, и используется для аутентификации личности граждан при получении различных государственных услуг [7].

Aadhaar интегрирован с различными государственными системами, такими как системы налогообложения и социального обеспечения. Его применение способствует снижению уровня коррупции [8] в различных государственных системах, таких как государственные распределительные системы [9]. Использование Aadhaar привело к улучшению предоставления услуг за счет сокращения бюрократии и повышения эффективности. При этом применение Aadhaar вызвало беспокойство по поводу конфиденциальности и безопасности данных. В СМИ появились сообщения об

утечках и нарушениях данных, уменьшении доступа к Aadhaar для определенных групп населения, например, тех, кто не может позволить себе нести расходы на его получение.

В Аргентине под цифровым профилем гражданина подразумевается сервис управления процедурами, смены, доступа к учетным данным человека и получения им персонализированной информации. Учетная запись цифрового профиля заводится для любого человека старше 13 лет. Важно отметить, что подавляющее большинство услуг и возможностей данной системы доступны гражданам только после подтверждения личности, которая проводится с применением биометрических технологий через систему цифровой идентификации [10].

В Сингапуре был запущен аналогичный рассмотренным выше сервис SingPass, позволяющий гражданам получать доступ к государственным услугам и коммерческим сервисам, используя единую цифровую идентификацию. Там также успешно реализуется программа «Умный город», во многом аналогичная российской [11].

В России цифровой профиль гражданина в том виде, в каком он существует сегодня, представляет собой «цифровой отпечаток», содержащий исключительно официальные сведения первого уровня. Они предназначены для проверки сведений о лице в государственных информационных системах, но сами по себе малопригодны для оценки индивидуальных характеристик и поведения человека (хотя уже на их основе можно сформировать предварительное представление о надежности, платежеспособности и деловой репутации лица) [12]. Получается, что государство практически ничем не ограничено во включении в цифровой профиль любых имеющихся у него данных об индивидууме. Из чего видно, что одним из главных рисков при внедрении цифрового профиля гражданина является потенциальная утечка или хищение личных данных. Это может произойти, если система не обеспечивает достаточную защиту данных или если злоумышленники получают доступ к базе данных. Чтобы минимизировать такой риск, необходимо обеспечить высокий уровень безопасности данных уже на этапе проектирования системы, а также регулярно проверять наличие уязвимостей и проводить аудит системы безопасности.

Поскольку бюрократические и этические нормы в разных странах во многом совпадают, граждане имеют схожие опасения и трудности при обращении со смарт-картами, онлайн-сервисами и мобильными приложениями [13].

Другой риск – это потенциальное нарушение прав граждан, связанное с наличием информации, собранной в цифровом профиле. Например, государство может воспользоваться информацией из цифрового профиля для блокировки доступа к сервисам или будущей работе, если гражданин нарушит какие-то правила. Для минимизации подобного риска необходимо разработать строгие правила использования данных и обеспечить доступ к информации только для лиц с соответствующими полномочиями и на законных основаниях, что можно осуществлять в рамках реализации проекта «Экономика данных».

Внедрение цифрового профиля способно вызывать проблемы у тех граждан, которые не имеют как устройств, так и знаний по применению цифровых технологий, что может привести к новому виду неравенства.

Одним из способов снижения рисков этого вида является обеспечение доступности обучения для таких граждан и создание систем, которые позволят им управлять своим цифровым профилем через другие каналы связи, такие как телефонная связь или личное общение.

Нужно также разрабатывать специальные доступные цифровые сервисы, которые стационарно могут располагаться в помещениях органов социальной защиты населения. А в труднодоступных местах Российской Федерации нужно организовать работу передвижных мобильных пунктов, оснащенных устройствами для работы с цифровым профилем и доступом к Сети.

Эффективный способ установить полный контроль над цифровым профилем и минимизировать эти риски заключается в предоставлении данных о пользователе открытыми для него. Европейское законодательство уже требует от компаний, которые занимаются отслеживанием и профилированием, сделать эти процессы более прозрачными для пользователя. Общий регламент по защите данных (General Data Protection Regulation, GDPR), который вступил в силу в мае 2018 года, дает европейским пользователям право проверять свои данные, включая маркетинговые профили, созданные брокерами, интернет-платформами или онлайн-СМИ. Хотя компании все еще могут защищать свои коды и алгоритмы как бизнес-секреты, они больше не могут скрывать личные данные, которые они генерируют, от своих пользователей [14].

Отметим, что вопросы оценки рисков цифровизации не новы для отечественной науки, они в контексте методологии их изучения и систематизации рассматривались, в частности,

В. Н. Садовским [15]. О.И. Ларичев предлагал систему вербального анализа решений [16], а С.В. Чесноков разработал способ детерминантного анализа социально-экономических данных [17].

Д.С. Черешкин, Г.В. Ройзензон и В.Б. Бритков исследовали методы искусственного интеллекта для анализа риска в социально-экономических системах, что применимо и к цифровому профилю [18].

Для экспертного оценивания и измерения рисков мы предлагаем их классифицировать на риск вероятностный, модельный, экспертный и социологический. Вероятностный риск проявляется в том, что ошибки, искажения либо неполные данные способны нарушить процесс идентификации гражданина (от проблемы с буквой «ё» – Елкин или Ёлкин до принятия ошибочных решений, отказа в предоставлении государственных услуг из-за таких сложностей и т.д.). Риск модельный мы характеризуем как возможность формирования искаженных моделей и алгоритмов, которые заведомо или в процессе использования будут приводить к неверным результатам. Экспертный риск исключить невозможно, поскольку нельзя и создать цифровой профиль гражданина без привлечения экспертов. Тут проблемы несколько иного плана, они не связаны, например, с кибератаками, а возникают по причине конфликта интересов, недостаточного уровня специальных познаний, заведомой предвзятостью и т.д. Социологический риск имеет разнообразные проявления – от банального «Большого брата» (тотального контроля со стороны государства) до отсутствия равного доступа к гаджетам и технологиям, к сети Интернет, а это может привести к вынужденному исключению части граждан из системы.

В целом, внедрение цифрового профиля гражданина требует продуманного подхода, который должен учитывать все возможные риски и обеспечивать высокий уровень безопасности и защиты данных.

Для минимизации рисков необходима адекватная политическая и правовая поддержка проекта, инвестиции в безопасность и обучение населения пользованию системой. Также стоит учесть, что ответственность за снижение рисков несет государство. Оно должно гарантировать защиту персональных данных граждан и обеспечивать правильное использование информации.

Компоненты цифрового профиля гражданина могут включать в себя данные и сервисы, представленные на рис. 1.

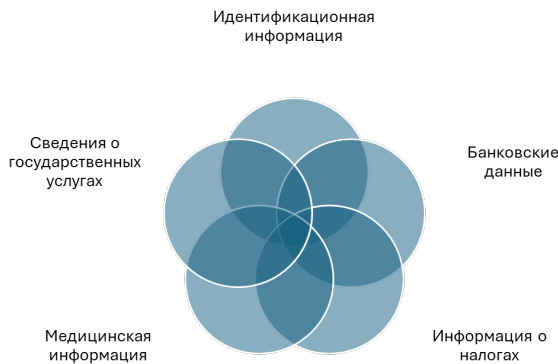


Рис. 1. Компоненты цифрового профиля гражданина

Рассмотрим их подробнее:

1. Идентификационная информация содержит имя, фамилию, дату рождения, адрес проживания, номера телефонов, адреса электронной почты и иные персональные данные.
2. Банковские данные — это информация о банковских счетах, история транзакций, клиентский сервис и т. д.
3. Информация о налогах – налоговые декларации и платежи, сведения о счетах и об имуществе, о транспортных средствах, справки НДФЛ 2 и 3, данные о больничных листах, алгоритмы получения налогового вычета и т. д.
4. Медицинская информация – медицинские документы (включая полис обязательного и добровольного страхования), история болезни, карточка пациента в учреждениях здравоохранения, рецепты и другое.
5. Сведения о государственных услугах – систематизированные данные о получении государственных услуг, электронное и дистанционное голосование, полный доступ к пакету открытых для гражданина услуг, электронные экземпляры паспорта, водительского удостоверения, правоустанавливающих документов.

Алгоритмы создания цифрового профиля гражданина включают в себя:

- сбор данных о гражданах, в частности, об имени, фамилии, дате рождения, адресе проживания и т. п.;
- аккумуляция информации о государственных и коммерческих услугах, которые гражданин может получить через свой цифровой профиль;
- создание безопасной системы для хранения персональных данных, которая обеспечивает их надлежащее хранение и гарантирует защиту от несанкционированного доступа и разглашения;

- совершенствование системы обработки и выдачи данных.

Рассматриваемые алгоритмы должны обеспечивать защиту данных граждан, приватности и неприкосновенности частной жизни, способствовать созданию удобной и интуитивно понятной системы, которая позволит быстро получить нужные государственные услуги и сервисы.

Технические решения обязаны гарантировать многопользовательский доступ и поддержку большой нагрузки на серверы. Их надо строить таким образом, чтобы данные становились доступными для пользователей в любое время суток. Важно создание единой системы управления, которая позволит получить полную информационную картину и легкость работы с профилем.

Схема сервисов цифрового профиля гражданина представлена на рис. 2. Ее содержание:

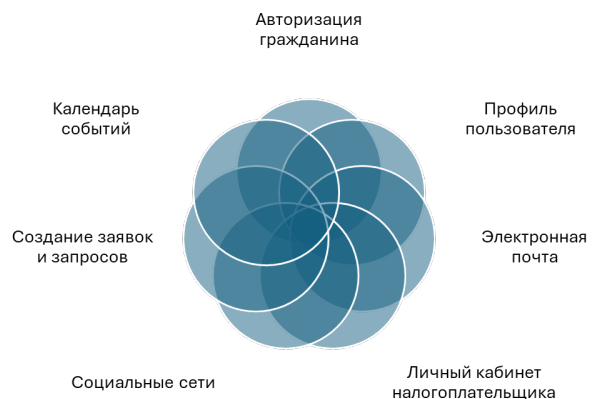


Рис. 2. Схема сервисов цифрового профиля гражданина

- авторизация гражданина в цифровом профиле с помощью уникального двухфакторного идентификатора;
- профиль пользователя – сервис, в котором можно посмотреть информацию о своем профиле, внести изменения, загрузить или удалить документы, подать обращения (заявления, предложения, жалобы) или предоставить декларации;
- электронная почта – сервис, который позволит гражданам получать уведомления о своих заявлениях, документах, сроках их обработки (предпочтительнее push-уведомления для граждан, чем СМС, за которые может взиматься дополнительная плата оператором связи или/и отправка электронных писем);
- личный кабинет налогоплательщика – сервис, позволяющий гражданам получать полную информацию о своем налоговом статусе;

- социальные сети – сервис, который позволяет гражданам взаимодействовать друг с другом, делиться информацией, получать новости и многое другое;
- создание заявок и запросов – сервис, который позволяет гражданам формировать и отправлять интерактивные заявки для получения государственных услуг, для доступа к сервисам и ресурсам;
- календарь событий – сервис, позволяющий получать уведомления о важных датах и событиях, связанных с государственными услугами и т. п.

Необходим также постоянный мониторинг запросов и времени обработки, который позволяет гражданам отслеживать продвижение своих заявок, запросов и проверять время обработки.

Важным является также доступ к такому сервису, как онлайн-платежи, позволяющему гражданам оплачивать государственные услуги, налоги и сборы, проводить операции с лицевыми счетами и совершать иные действия.

Заключение

В заключение следует отметить, что внедрение цифрового профиля гражданина проводилось различными способами в разных странах с неодинаковой степенью успеха, но при этом в целом со сходными рисками. Хотя эти системы обладают значимым потенциалом улучшения в предоставлении услуг и снижении уровня коррупции, но способны привести и к нарушению конфиденциальности, изоляции, дискриминации и усилению государственного надзора.

Можно привести следующие аргументы в пользу внедрения цифрового профиля гражданина в России:

- эффективность: цифровой профиль гражданина способен повысить эффективность государственных услуг за счет сокращения бюрократии, упрощения процедур и уменьшения потребности в физических документах;
- безопасность: внедрение цифрового профиля могло бы повысить безопасность, благодаря снижению риска мошенничества и кражи личных данных, особенно при использовании блокчейн-технологий;
- удобство и простота: граждане будут иметь возможность получать доступ к государственным услугам онлайн, что снизит потребность в физическом взаимодействии с государственными учреждениями.

К рискам внедрения цифрового профиля гражданина, на которые в России стоит обратить особое внимание, можно отнести:

- конфиденциальность данных: централизованное хранение конфиденциальной информации может представлять риск для распространения данных, и существует потенциальная возможность несанкционированного государственного надзора и утечки;
- дискриминация: использование биометрических данных может усугубить дискриминацию в отношении определенных групп по физическим характеристикам (по примеру Китая);
- доступ и контроль: существует обеспокоенность по поводу потенциальной возможности злоупотребления правительством своим доступом и контролем над конфиденциальными данными.

Включение цифрового профиля гражданина в российские цифровые системы подразумевает наличие централизованной базы данных, онлайн-доступа и интеграции с различными государственными системами, в частности, системами социального обеспечения и налогообложения. Этот процесс регулируется конкретными законами и нормативными актами, направленными на защиту права граждан на безопасность и неприкосновенность частной жизни.

Литература

1. <https://www.kommersant.ru/doc/6053673#:~:text=C%20начала%202023%20года%20произошло,утекло%20примерно%20600%20млн%20записей>.
2. Долганова О.И., Васильева Е.В., Рябов Д.А. Цифровой профиль гражданина: необходимый и достаточный набор персональных данных // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 3. С. 1523-1540.
3. Silaskova J., Takahashi M. Estonia built one of the world's most advanced digital societies. During COVID-19, that became a lifeline. World Economic Forum. 01.07.2020. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/estonia-advanced-digital-society-here-s-how-thathelped-it-during-covid-19> (дата обращения: 24.02.2024).
4. Егорова М.А. Проблема цифровой идентификации личности в Российской Федерации и Европейском Союзе // Вестник Университета им. О.Е. Кутафина (МГЮА). 2022. № 1 (89). С. 17-29.
5. Петров А.А. Китайский цифровой профиль или скоринговая система социального доверия // Chronos. 2020. № 8 (47). С. 11-24.
6. Степанов О.А., Степанов М.М. Правовое регулирование генезиса цифровой личности // Правовое применение. 2022. Т. 6. № 3. С. 19-32.

7. *Madon S., Ranjini C., Anantha K.R.* Aadhaar and social assistance programming: local bureaucracies as critical intermediary // *Information Technology for Development*. 02.01.2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/02681102.2021.2021130>.
8. *Dash D.K.* Soon use a single sign-in to access plethora of government services, entitlements // *The Times of India*. 23 12 2021. URL: <https://timesofindia.indiatimes.com/india/soon-use-a-single-sign-in-to-access-plethora-of-government-services-entitlements/articleshow/88441610.cms> (дата обращения: 29.02.2024).
9. *Mungara S.* Kids below five years of age in Telangana can now enroll for // *Times of India*. 12.07.2022. URL: <https://timesofindia.indiatimes.com/city/hyderabad/kids-below-five-yearsof-age-in-telangana-can-now-enroll-for-aadhaar-cards-through-postoffices/articleshow/92165480.cms> (дата обращения: 29.02.2024).
10. *Mi Argentina*. URL: <https://www.argentina.gov.ar/miargentina> (дата обращения: 28.02.2024)
11. *Внукова И.В., Курдынко А.П.* Особенности реализации концепции «умного города» в России и Сингапуре: сравнительный анализ. // *Формирование социально-политической концепции «умный город»: мировой и российский опыт. Материалы научной конференции кафедры российской политики факультета политологии МГУ им. М.В. Ломоносова. Под редакцией И.А. Василенко*. 2019. С. 131-138.
12. *Мочалов А.Н.* Цифровой профиль: основные риски для конституционных прав человека в условиях правовой неопределенности // *Lex Russica (Русский закон)*. 2021. Т. 74. № 9 (178). С. 88-101.
13. *Башикирова О.В., Долганова О.И., Славин Б.Б.* Цифровой профиль гражданина: мировая практика создания и применения // *Информационное общество*. 2023. № 2. С. 134-144.
14. *Кондаков А.М., Костылева А.А.* Цифровая идентичность, цифровая самоидентификация, цифровой профиль: постановка проблемы. // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2019. Т. 16. № 3. С. 207-218.
15. *Садовский В.Н.* Основания общей теории систем. М.: Наука. 1974. 276 с.
16. *Ларичев О.И.* Вербальный анализ решений. М.: Наука. 2006. 181 с.
17. *Чесноков С.В.* Детерминационный анализ социально-экономических данных. М.: Наука. 1982. 168 с.
18. *Черешкин Д.С., Ройзензон Г.В., Бритков В.Б.* Применение методов искусственного интеллекта для анализа риска в социально-экономических системах // *Информационное общество*. 2020. № 3. С. 14–24.

Орлова Елена Роальдовна. Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия. Зав. отделом. Доктор экономических наук, профессор. Область научных интересов: проблемы социально-экономического развития региона, инвестиционное развитие, цифровая трансформация. E-mail: oglova@isa.ru (ответственная за переписку)

Голоманчук Эйда Владимировна. Волгоградский институт управления – филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», Волгоград, Россия. Кандидат юридических наук, доцент. Область научных интересов: противодействие коррупции, государственное управление, государственная служба. E-mail: golomachuk-ev@ranepa.ru

Individual issues of implementing a digital citizen profile

E.R. Orlova¹, A.V. Golomanchuk^{II}

¹ Federal Research Center «Computer Sciences and Control» RAS, Moscow, Russia

^{II} Volgograd Institute of Management – Branch of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation, Russia

Abstract. The article considers some problems of the content and essential elements of a citizen's digital profile. The introduction of a digital citizen profile, also known as digital identification or electronic passport, is of interest to Russia as a potential means of improving public services, increasing security and simplifying bureaucratic procedures. In the article, the authors present some features and directions of the implementation of the digital profile of a citizen in Russia and arguments in favor of its implementation, as well as potential risks associated with its implementation. The authors reveal the specifics of how the digital profile of a citizen is integrated with existing digital systems in Russia, from a digital and legal point of view, as well as identify individual directions and components of this process.

Keywords: digital profile, digitalization of public administration, components of the digital profile of a citizen, algorithms for creating a digital profile of a citizen.

DOI: 10.14357/20790279240211 **EDN:** ZPBQJG

References

1. [https://www.kommersant.ru/doc/6053673#:~:text=From %20 beginning%202023%20year%20 occurred,leaked%20example%20600%20mn%20 records](https://www.kommersant.ru/doc/6053673#:~:text=From%20beginning%202023%20year%20occurred,leaked%20example%20600%20mn%20records).
2. Dolganova O.I., Vasilyeva E.V., Ryabov D.A. Digital profile of a citizen: a necessary and sufficient set of personal data. // Issues of innovative economics. 2022. Vol. 12. No. 3. P. 1523-1540.
3. Silaskova J., Takahashi M. Estonia built one of the world's most advanced digital societies. During COVID-19, that became a lifeline. World Economic Forum. 07/01/2020. URL: <https://www.weforum.org/agenda/2020/07/estonia-advanced-digital-society-here-s-how-that-helped-it-during-covid-19> (date of reference: 02/24/2024).
4. Egorova M.A. The problem of digital identity identification in the Russian Federation and the European Union. // Bulletin of the O.E. Kutafin University (MGUA). 2022. № 1 (89). P. 17-29.
5. Petrov A.A. Chinese digital profile or scoring system of social trust. // Chronos. 2020. № 8 (47). P. 11-24.
6. Stepanov O.A., Stepanov M.M. Legal regulation of the genesis of the digital personality. // Law enforcement. 2022. Vol. 6. No. 3. P. 19-32.
7. Madon S., Ranjini C., Anantha K.R. Aadhaar and social assistance programming: local bureaucracies as critical intermediate // Information Technology for Development. 02.01.2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/02681102.2021.2021130>.
8. Dash D.K. Soon use a single sign-in to access plethora of government services, entitlements // The Times of India. 23 12 2021. URL: <https://timesofindia.indiatimes.com/india/soon-use-a-single-sign-in-to-access-plethora-of-government-services-entitlements/articleshow/88441610.cms> (date of application: 02/29/2024).
9. Mungara S. Kids below five years of age in Telangana can now enroll for // Times of India. 07/12/2022. URL: <https://timesofindia.indiatimes.com/city/hyderabad/kids-below-five-yearsof-age-in-telangana-can-now-enroll-for-aadhaar-cards-through-postoffices/articleshow/92165480.cms> (accessed: 02/29/2024).
10. Mi Argentina. URL: <https://www.argentina.gob.ar/miargentina> (date of application: 02/28/2024).
11. Vnukova I.V., Kurdynko A.P. Features of the implementation of the concept of «smart city» in Russia and Singapore: comparative analysis. // Formation of the socio-political concept of «smart city»: world and Russian experience. Materials of the scientific conference of the Department of Russian Politics, Faculty of Political Science, Lomonosov Moscow State University. Edited by I.A. Vasilenko. 2019. P. 131-138.
12. Mochalov A.N. Digital profile: the main risks for constitutional human rights in conditions of legal uncertainty. // Lex Russica (Russian Law). 2021. Vol. 74. No. 9 (178). P. 88-101.
13. Bashkirova O.V., Dolganova O.I., Slavin B.B. Digital profile of a citizen: world practice of creation and application. // Information Society. 2023. No. 2. P. 134-144.
14. Kondakov A.M., Kostyleva A.A. Digital identity, digital self-identification, digital profile: problem

- statement. // Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Informatization of education. 2019. Vol. 16. No. 3. P. 207-218.
15. *Sadovsky V.N.* The foundations of the general theory of systems. M.: Nauka. 1974. 276 p.
16. *Larichev O.I.* Verbal analysis of solutions. M.: Nauka. 2006. 181 p.
17. *Chesnokov S.V.* Determinational analysis of socio-economic data. M.: Nauka. 1982. 168 p.
18. *Chereshkin D.S., Roizenzon G.V., Britkov V.B.* Application of artificial intelligence methods for risk analysis in socio-economic systems // Information Society. 2020. No. 3. P. 14-24.

Orlova E.R. Doctor of Economics, Professor, Head of Department, Federal Research Center «Computer Sciences and Control» RAS, Russia (Moscow), 9 Prosp. 60—Letia Oktyabrya, Moscow, 117312, Russia, orlova@isa.ru

Golomanchuk A.V. Candidate of Legal Sciences, Volgograd Institute of Management – Branch of the Russian Academy of National Economy and Public Administration under the President of the Russian Federation», Gagarina str., 8, Volgograd, 400066, Russia, golomachuk-ev@ranepa.ru



ИНФОРМАЦИЯ О КОМПАНИИ «ПОЛИ ПРИНТ СЕРВИС»

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Поли Принт Сервис специализируется на издании как научных, так и научно-популярных книг, в первую очередь – по теории систем и системному анализу, экономике и математике.

РЕКЛАМНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Многофункциональное современное предприятие Поли Принт Сервис выпускает самую разнообразную печатную продукцию.

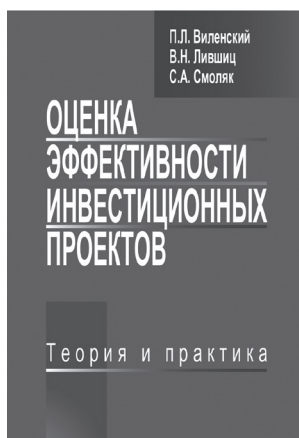
Широкая видовая гамма: этикетки, визитки, листовки, бланки, календари карманные, настольные и настенные, открытки, папки, блокноты, плакаты, постеры, пластиковые карты, таблички, буклеты, альбомы, брошюры, журналы, книги и пр.

У нас собственная полиграфическая база – оборудование для цифровой и офсетной печати. Ограничений в тираже нет – хоть пять экземпляров.

Сделайте первый шаг на пути нашего сотрудничества. Мы подберём для Вас лучший, технологичный вариант по соотношению цены и качества, выполним работу в чётко оговоренный срок.

Наши цены вполне доступные, не выше, чем у наших конкурентов.

Предлагаем вашему вниманию новую книгу нашего издательства!



Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.

Оценка эффективности инвестиционных проектов.

Теория и практика. Учебное пособие.

5-е издание, переработанное и дополненное.

Книга посвящена экономическим проблемам инвестиционного проектирования, оценке эффективности проектов на разных стадиях их разработки, построению рациональных механизмов реализации проектов, методам отбора проектов и формирования инвестиционных программ в современных российских условиях. В ней приводятся варианты постановки соответствующих задач, принципы и «рецепты» их решения, необходимые содержательные и математические обоснования, разъясняются типовые ошибки, встречающиеся в практике расчёта.

Изложенные методы приспособлены как к стационарной рыночной, так и к современной рыночной экономике. Книга позволяет начинающим специалистам, студентам и аспирантам использовать ее как учебное пособие, а научным работникам, проектировщикам-профессионалам и оценщикам-практикам – как пособие для решения сложных методических и практических проблем.

По вопросам приобретения книг

звоните: (495) 797-35-59, (495) 797-85-59

приезжайте: г. Москва, ул. Бутырская, д. 86,

г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 100, стр. 2

издательство «Поли Принт Сервис»

пишите: info@ppsprint.ru

Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk (ISA RAN) **(Proceedings of the Institute for Systems Analysis Russian Academy of Sciences (ISA RAS))**

<http://www.isa.ru/proceedings/>

The journal was founded in 2002
The journal is published quarterly

Founder

Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences (FRC CSC RAS)
44/2, Vavilova str., Moscow, 119333, Russia, tel: +7(499)135-62-60,
e-mail: frccsc@frccsc.ru, <http://www.frccsc.ru>

Editor-in-Chief

Popkov Y.S., Academician of RAS, Professor,
9, Prospekt 60-letiya Oktyabrya, Moscow, 117312, Russia,
tel: +7(499)135-42-22, e-mail: popkov@isa.ru

Editorial Chairs

Popkov Y.S., Academician of RAS, Professor
Chairman of Editorial Board (Moscow, Russia)
Konstantinov I.S., Professor (Belgorod, Russia)
Scherbov S.Y., Professor (Vienna, Austria)
Smuelian B.L., Professor (Tel-Aviv, Israel)
Solovyov A.V., Professor,
Deputy Editor-in-Chief (Moscow, Russia)
van Wissen Leonardus J.G., Professor (Amsterdam, Netherlands)

Editorial Board

Aleskerov F.T., Professor (Moscow, Russia)	Livshits V.N., Professor (Moscow, Russia)
Ashimov A.A., Professor (Almaty, Kazakhstan)	Magnitsky N.A., Professor (Moscow, Russia)
Belov S.P., Professor (Belgorod, Russia)	Mizhidon A.D., Professor (Ulan-Ude, Russia)
Bulychev A.V., Ph.D., Executive Secretary (Moscow, Russia)	Orlova E.R., Professor (Moscow, Russia)
Burkov V.N., Professor (Moscow, Russia)	Petrovsky A.B., Professor (Moscow, Russia)
Gelovani V.A., Academician of RAS, Professor (Moscow, Russia)	Shvetsov A.N., Professor (Moscow, Russia)
Ilin A.V., Corresponding Members of RAS (Moscow, Russia)	Smirnov A.V., Professor (St. Petersburg, Russia)
Krut'ko V.N., Professor (Moscow, Russia)	Tishenko V.I., Ph.D. (Moscow, Russia)
Lexin V.N., Professor (Moscow, Russia)	Voytishsk A.V., Professor (Novosibirsk, Russia)

Editorial Office

Shibaeva L.S., managing editor

Editorial address

9, Prospekt 60-letiya Oktyabrya, Moscow, 117312, Russia
E-mail: tisa@isa.ru, tel. +7 (499) 135-24-33, +7 (926) 490-87-87

Scientific journal "Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk (ISA RAN)" publishes materials on a wide range of fundamental problems of developing systems analysis methodology and its applying to solving various problems in the field of science and practice. The journal is destined for scientists, engineers and researchers working within the framework of these problems, as well as for politicians, employees of state and municipal departments, specialists of enterprises and representatives of social organizations. The rules for articles submission to the journal, as well as for their review are given at the journal's site

The journal is registered in Federal service of observing and controlling legislation in the area of mass media and protection of cultural heritage in 20 of May 2016. Digital certificate - ПИ № ФЦ77-65718.
Journal Subscription Index in the Ural-Press e-catalog (<http://ural-press.ru>) is 36089.

The journal is supported by the Department of Information Technologies and Computing Systems of the Russian Academy of Sciences.
The journal is included in the list of leading peer-reviewed scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission.
Permission of the editorial board and authors is required when using data of the journal.

© Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences

Vol. **74**
Issue **2**

ISSN 2079-0279

2024

TRUDY
INSTITUTA SISTEMNOGO ANALIZA
ROSSIYSKOY AKADEMII NAUK (ISA RAN)
(PROCEEDINGS OF THE INSTITUTE FOR SYSTEMS ANALYSIS
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES (ISA RAS))

ISBN 978-5-6050647-7-0



9 785605 064770 >

Отпечатано в ООО «Поли Принт Сервис»
127015, г. Москва, ул. Бутырская, д. 86
127247, г. Москва, Дмитровское шоссе, д. 100, стр. 2
Формат 60x84/8. Зак. № В-331
Тираж 100 экз.
Тел.: +7 (495) 797-35-59